



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA CIVIL

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

**“COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO
DE CBR Y MODULO DE YOUNG PARA BASE Y SUBBASE. CASO DE
ESTUDIO: MINA LA CHINA (QUEVEDO)”.**

AUTOR: JEAN CARLOS ZAMBRANO ALCÍVAR

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO.

QUITO, ECUADOR.

2019.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por proveerme la fuerza necesaria para nunca darme por vencido en mi camino por convertirme en Ingeniero Civil y bendecirme cada día a lo largo de esta carrera.

A mis padres Afranio y Olga, por guiarme, apoyarme, e incentivar me siempre a ser mejor persona y dar lo mejor de mí a pesar de mis equivocaciones en este largo camino.

A mis hermanos Leonel Alejandro y John Jairo que fueron un apoyo fundamental en el desarrollo de la carrera mediante su ayuda y consejos proporcionados.

A mis familiares, amigos y compañeros en general que siempre estuvieron presentes con su apoyo a través de estos 5 años de carrera.

A mi director de tesis Ing. Wilson Cando por ser un compañero y amigo proporcionándome toda su ayuda, consejos y orientación para la conclusión del trabajo de titulación.

A mis correctores Ing. Jorge Bucheli e Ing. Jorge Albuja por sus consejos, tiempo y ayuda.

Finalmente quiero agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y a los ingenieros que me han brindado los conocimientos necesarios durante toda la carrera.

JEAN CARLOS ZAMBRANO ALCÍVAR.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, hago un reconocimiento especial de mi trabajo de titulación por enseñarme todo lo necesario para poder superarme y nunca rendirme por cumplir cada una de las metas y objetivos que he ido proponiéndome a lo largo de mi vida, siendo este una meta muy importante.

Solo ustedes saben cuáles son las metas que aún faltan por cumplir, pero esta es una muy importante que tenía por realizar en mi vida. Gracias por todo lo enseñado, gracias por los consejos, gracias por siempre creer en mí; todo el esfuerzo realizado ha valido la pena, por mi parte seguiré haciéndoles seguir orgullosos a cada uno de ustedes.

JEAN CARLOS ZAMBRANO ALCÍVAR.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
INDICE DE ILUSTRACIONES	7
INDICE DE TABLAS	8
INDICE DE FIGURAS	10
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	13
1.1. INTRODUCCIÓN	13
1.2. ANTECEDENTES	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	15
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.5. OBJETIVOS	16
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
1.6. ALCANCE	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO	17
2.1. MINA DE LIBRE APROVECHAMIENTO “LA CHINA”	17
2.1.1. GENERALIDADES	17
2.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MINA	18
2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS	20
2.2.1. MUESTREO DE AGREGADOS (ASTM D 75)	20
2.2.2. CUARTEO DE AGREGADOS (ASTM C 702)	21
2.2.3. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES (ASTM C 33)	21
2.2.4. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 4318-84)	21
2.2.5. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES	22
2.2.6. CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C 40-99)	22
2.2.7. DESGASTE A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131)	22
2.2.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C 127 / ASTM C 128)	23
2.2.9. EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	23
2.2.10. DURABILIDAD EN LOS AGREGADOS POR ACCIÓN DEL SULFATOS. (SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO) (ASTM C 88)	24

2.2.11. DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y DE PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS (ASTM C 142-97).	24
2.2.12. PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)	24
2.2.13. ÍNDICE DE CALIFORNIA “CBR” DE LABORATORIO (ASTM D 1883)	25
2.2.14. MODULO DE YOUNG EN SUELOS (USO DE GEOGAUGE H4140) (ASTM D6758)	26
2.3. MATERIALES EMPLEADOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO	27

CAPÍTULO 3. RESULTADOS **28**

3.1. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES (ASTM C 33)	28
3.2. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 4318-84)	37
3.3. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES	37
3.4. CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C 40-99)	38
3.5. DESGASTE A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131)	38
3.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C 127 / ASTM C 128)	38
3.7. EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)	39
3.8. DURABILIDAD EN LOS AGREGADOS POR ACCIÓN DEL SULFATOS. (SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO) (ASTM C 88)	39
3.9. DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y DE PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS (ASTM C 142-97).	40
3.10. PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)	41
3.11. ÍNDICE DE CALIFORNIA “CBR” DE LABORATORIO (ASTM D 1883)	48
3.12. MODULO DE YOUNG EN SUELOS (ASTM D6758)	69

CAPÍTULO 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS **73**

4.1. CORRELACIÓN OBTENIDA ENTRE EL %C.B.R DE LABORATORIO Y EL MODULO RESILIENTE	74
---	----

CAPÍTULO 5. MODELO PRÁCTICO: DISEÑO DE BASE Y SUBBASE **76**

5.1. DISEÑO VIAL A PARTIR DE VALORES DE CBR DE LABORATORIO	80
5.2. DISEÑO VIAL A PARTIR DE VALORES DEL MÓDULO RESILIENTE OBTENIDOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE GEOGAUGE H4140.	87

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **94**

6.1. CONCLUSIONES	94
6.2. RECOMENDACIONES	95

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA **96**

CAPÍTULO 8. ANEXOS

99

7.1. ANEXO A: ECUACIONES UTILIZADAS EN CALCULOS

99

7.2. ANEXO B: TABLAS COMPLEMENTARIAS

102

7.3. ANEXO C: FOTOGRAFIAS

106

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 2.1. Zona de Extracción de Mina de Libre Aprovechamiento "La China".</i>	17
<i>Ilustración 2.2. Acceso a la Mina de Extracción. Recinto La Virginia.</i>	18
<i>Ilustración 2.3. Desembocadura de Ríos Baba y San Mateo en Mina de Extracción.</i>	18
<i>Ilustración 2.4. Coordenadas Geográficas de Mina "La China". Tomado de Registro Ambiental.</i>	19
<i>Ilustración 2.5. Imagen generada por Google Earth – Mina "La China".</i>	19
<i>Ilustración 2.5. Imagen generada en Geovisor ARCOM - Mina "La China".</i>	19
<i>Ilustración 2.6. Muestreo de Agregados.</i>	20
<i>Ilustración 2.7. Tamiz utilizado en Mina.</i>	20
<i>Ilustración 3.1. Número Estructural de Subrasante. Programa AASHTO 1993.</i>	80
<i>Ilustración 3.2. Condiciones Iniciales Base Clase 2. Mina "La China"</i>	81
<i>Ilustración 3.3. Coeficientes Capa "a2". Bases Granulares</i>	81
<i>Ilustración 3.4. Número Estructural de Base Clase 2. Programa AASHTO 1993.</i>	82
<i>Ilustración 3.5. Condiciones Iniciales Subbase Clase 2. Mina "La China"</i>	83
<i>Ilustración 3.6. Coeficientes Capa "a3". Subbases Granulares</i>	83
<i>Ilustración 3.7. Número Estructural de Subbase Clase 2. Programa AASHTO 1993.</i>	84
<i>Ilustración 3.8. Coeficientes Capa "ac". Carpeta asfáltica.</i>	85
<i>Ilustración 3.9. Espesores de Estructura Vial mediante AASHTO 1993.</i>	86
<i>Ilustración 3.10. Número Estructural de Subrasante. Programa AASHTO 1993.</i>	87
<i>Ilustración 3.11. Coeficientes Capa "a2". Bases Granulares</i>	88
<i>Ilustración 3.12. Número Estructural de Base. Programa AASHTO 1993.</i>	89
<i>Ilustración 3.13. Coeficientes Capa "a3". Subbases Granulares</i>	90
<i>Ilustración 3.14. Número Estructural de Subbase Clase 2. Programa AASHTO 1993.</i>	91
<i>Ilustración 3.15. Coeficientes Capa "ac". Carpeta Asfáltica</i>	92
<i>Ilustración 3.16. Espesores de Estructura Vial mediante AASHTO 1993.</i>	93
<i>Ilustración 7.1. Material Utilizado para Ensayos de Caracterización.</i>	106
<i>Ilustración 7.2. Muestra para Ensayo de Terrones de Arcilla.</i>	106
<i>Ilustración 7.3. Ensayo de Granulometría Gruesa.</i>	106
<i>Ilustración 7.4. Muestra para Ensayo de Granulometría Fina.</i>	106
<i>Ilustración 7.5. Resultado obtenido para Contenido Orgánico.</i>	107
<i>Ilustración 7.6. Preparación de muestra Desgaste a Sulfatos.</i>	107
<i>Ilustración 7.7. Compactación de Proctor Modificado.</i>	107
<i>Ilustración 7.8. Ecuación de Calibración en ensayo de penetración CBR.</i>	108
<i>Ilustración 7.9. Excavación de Zanja para Ensayo Geogauge.</i>	108
<i>Ilustración 7.10. Compactación de Zanja para Ensayo Geogauge.</i>	108
<i>Ilustración 7.11. Tamices para elaboración de granulometría.</i>	109
<i>Ilustración 7.12. Colocación de capas de zanja.</i>	109
<i>Ilustración 7.13. Medición de Densidades y Compactación con el uso del Densímetro Nuclear.</i>	109
<i>Ilustración 7.14. Medición de Módulos mediante equipo Geogauge.</i>	109

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Materiales y Muestras utilizados en ensayos. Mina "La China". Quevedo, Ecuador.</i>	27
<i>Tabla 3.1. Granulometría correspondiente a Mina La China. Material: Base</i>	28
<i>Tabla 3.2. Granulometría correspondiente a Mina La China. Material: Subbase</i>	29
<i>Tabla 3.3. Granulometría correspondiente a Base Clase 1b.</i>	30
<i>Tabla 3.4. Granulometría correspondiente a Base Clase 2.</i>	31
<i>Tabla 3.5. Granulometría correspondiente a Base Clase 3.</i>	32
<i>Tabla 3.6. Granulometría correspondiente a Base Clase 4.</i>	33
<i>Tabla 3.7. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 1.</i>	34
<i>Tabla 3.8. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 2.</i>	35
<i>Tabla 3.9. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 3.</i>	36
<i>Tabla 3.10. Límites de Atterberg - Mina "La China"</i>	37
<i>Tabla 3.11. Contenidos de Humedad - Mina "La China"</i>	37
<i>Tabla 3.12. Resultados de Clasificación - Mina "La China"</i>	38
<i>Tabla 3.13. Resultados Contenido Orgánico - Mina "La China"</i>	38
<i>Tabla 3.14. Resultados de Desgaste a la Abrasión - Mina "La China"</i>	38
<i>Tabla 3.15. Resultados Gravedad Específica Agregado Fino - Mina "La China"</i>	38
<i>Tabla 3.16. Resultados Gravedad Específica Agregado Fino - Mina "La China"</i>	39
<i>Tabla 3.17. Resultados Equivalente de Arena - Mina "La China"</i>	39
<i>Tabla 3.18. Resultados Desgaste a los Sulfatos - Mina "La China"</i>	39
<i>Tabla 3.19. Resultados Terrones de Arcilla - Mina "La China"</i>	40
<i>Tabla 3.20. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo.</i>	41
<i>Tabla 3.21. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo.</i>	41
<i>Tabla 3.22. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo.</i>	42
<i>Tabla 3.23. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo.</i>	42
<i>Tabla 3.24. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo.</i>	43
<i>Tabla 3.25. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo.</i>	43
<i>Tabla 3.26. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo.</i>	44
<i>Tabla 3.27. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo.</i>	44
<i>Tabla 3.28. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo.</i>	45
<i>Tabla 3.29. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo.</i>	45
<i>Tabla 3.30. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo.</i>	46
<i>Tabla 3.31. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo.</i>	46
<i>Tabla 3.32. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo.</i>	47
<i>Tabla 3.33. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo.</i>	47
<i>Tabla 3.34. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"</i>	48
<i>Tabla 3.35. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"</i>	48
<i>Tabla 3.36. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"</i>	49
<i>Tabla 3.37. Resultados Finales CBR Base Clase 1 - Mina "La China"</i>	50
<i>Tabla 3.38. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	51
<i>Tabla 3.39. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	51
<i>Tabla 3.40. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	52
<i>Tabla 3.41. Resultados Finales CBR Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	53
<i>Tabla 3.42. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	54
<i>Tabla 3.43. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	54
<i>Tabla 3.44. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	55
<i>Tabla 3.45. Resultados Finales CBR Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	56
<i>Tabla 3.46. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	57

<i>Tabla 3.47. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	57
<i>Tabla 3.48. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	58
<i>Tabla 3.49. Resultados Finales CBR Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	59
<i>Tabla 3.50. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	60
<i>Tabla 3.51. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	60
<i>Tabla 3.52. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	61
<i>Tabla 3.53. Resultados Finales CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	62
<i>Tabla 3.54. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	63
<i>Tabla 3.55. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	63
<i>Tabla 3.56. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	64
<i>Tabla 3.57. Resultados Finales CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	65
<i>Tabla 3.58. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	66
<i>Tabla 3.59. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	66
<i>Tabla 3.60. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	67
<i>Tabla 3.61. Resultados Finales CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	68
<i>Tabla 3.62. Resultados Módulo de Young con Geogauge H4140. Mina "La China"</i>	69
<i>Tabla 4.1. Comparación Material Base con Manual NEVI-12. Mina "La China"</i>	73
<i>Tabla 4.2. Comparación Material Subbase con Manual NEVI-12. Mina "La China"</i>	74
<i>Tabla 4.3. Resumen de Resultados CBR. Mina "La China"</i>	74
<i>Tabla 4.4. Resumen de Resultados Módulo de Young y Módulo Resiliente. Mina "La China"</i>	74
<i>Tabla 4.5. Datos necesarios para la obtención de la correlación entre Módulo Resiliente vs %CBR. Mina "La China"</i>	75
<i>Tabla 5.1. Trafico Promedio Anual (TPDA)</i>	76
<i>Tabla 5.2. Niveles de Confianza para una vía.</i>	76
<i>Tabla 5.3. Valores de Desviación Estándar (So) para una vía.</i>	76
<i>Tabla 5.4. Tipos de Motorizados, Remolques y Semirremolques.</i>	77
<i>Tabla 5.5. Tabla de TPDA final.</i>	78
<i>Tabla 5.6. Tabla de Factor de Carga Equivalente.</i>	78
<i>Tabla 5.7. Perdidas por Serviciabilidad.</i>	79
<i>Tabla 9.1. Porcentaje en Peso que pasa por tamices. (Agregado Grueso)</i>	102
<i>Tabla 9.2. Porcentaje en Peso que pasa por tamices. (Agregado Fino)</i>	102
<i>Tabla 9.3. Conformación Fundas - Proctor Modificado - Mina "La China"</i>	103
<i>Tabla 9.4. Conformación Fundas - Índice de California - Mina "La China"</i>	103
<i>Tabla 9.5. Espesores mínimos según el número de ejes de 8,2 Ton.</i>	103
<i>Tabla 9.6. Clasificación AASHTO. Tomado de: Norma ASTM D-3282</i>	104
<i>Tabla 9.7. Clasificación S.U.C.S. Tomado de: Norma ASTM D-2487</i>	105

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.1. Curva Granulométrica Base. Mina "La China"</i>	28
<i>Figura 3.2. Curva Granulométrica Subbase. Mina "La China"</i>	29
<i>Figura 3.3. Curva Granulométrica Base Clase 1b.</i>	31
<i>Figura 3.4. Curva Granulométrica Base Clase 2.</i>	32
<i>Figura 3.5. Curva Granulométrica Base Clase 3.</i>	33
<i>Figura 3.6. Curva Granulométrica Base Clase 4.</i>	34
<i>Figura 3.7. Curva Granulométrica Subbase Clase 1.</i>	35
<i>Figura 3.8. Curva Granulométrica Subbase Clase 2.</i>	36
<i>Figura 3.9. Curva Granulométrica Subbase Clase 3.</i>	37
<i>Figura 3.10. Curva de Compactación Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo</i>	41
<i>Figura 3.11. Curva de Compactación Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo</i>	42
<i>Figura 3.12. Curva de Compactación Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo</i>	43
<i>Figura 3.13. Curva de Compactación Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo</i>	44
<i>Figura 3.14. Curva de Compactación Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo</i>	45
<i>Figura 3.15. Curva de Compactación Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo</i>	46
<i>Figura 3.16. Curva de Compactación Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo</i>	47
<i>Figura 3.17. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"</i>	49
<i>Figura 3.18. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"</i>	49
<i>Figura 3.19. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"</i>	50
<i>Figura 3.20. Grafica %CBR vs Densidad Seca - Base Clase 1b - Mina "La China"</i>	50
<i>Figura 3.21. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	52
<i>Figura 3.22. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	52
<i>Figura 3.23. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	53
<i>Figura 3.24. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	53
<i>Figura 3.25. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	55
<i>Figura 3.26. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	55
<i>Figura 3.27. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	56
<i>Figura 3.28. Grafica %CBR vs Densidad Seca - Base Clase 3- Mina "La China"</i>	56
<i>Figura 3.29. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	58
<i>Figura 3.30. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	58
<i>Figura 3.31. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	59
<i>Figura 3.32. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Base Clase 4 - Mina "La China"</i>	59
<i>Figura 3.33. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	61
<i>Figura 3.34. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	61
<i>Figura 3.35. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	62
<i>Figura 3.36. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	62
<i>Figura 3.37. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	64
<i>Figura 3.38. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	64
<i>Figura 3.39. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	65
<i>Figura 3.40. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 2 - Mina "La China"</i>	65
<i>Figura 3.41. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	67
<i>Figura 3.42. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	67
<i>Figura 3.43. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	68
<i>Figura 3.44. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 3 - Mina "La China"</i>	68
<i>Figura 3.45. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 1b- Mina "La China"</i>	70
<i>Figura 3.46. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 2 - Mina "La China"</i>	70
<i>Figura 3.47. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 3 - Mina "La China"</i>	71

<i>Figura 3.48. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 4- Mina "La China"</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.49. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente – Subbase Clase 1 - Mina "La China"</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.50. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Subbase Clase 2- Mina "La China"</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.51. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Subbase Clase 3- Mina "La China"</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.1. Correlación entre Módulo Resiliente vs. %CBR - Material Tipo Base - Mina "La China"</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4.2. Correlación entre Módulo Resiliente vs. %CBR - Material Tipo Subbase - Mina "La China"</i>	<i>75</i>

RESUMEN

Con la siguiente investigación, se propone encontrar una correlación entre el Módulo de Young y el "C.B.R" de laboratorio de la Mina de Libre Aprovechamiento "La China" ubicada en la provincia de Quevedo con el fin de obtener valores reales que sirvan para optimizar el material que se utilizará en futuros diseños de proyectos viales. El estudio comienza con la calificación a la mina en estudio, teniendo como base la caracterización de cada uno de los agregados con su respectivo cumplimiento de las normas ASTM para el posterior uso que se le vaya a asignar. Posteriormente, se someterá el material a los ensayos de Índice de California "C.B.R" de laboratorio para cada una de las clases de base y subbase especificadas en la normativa NEVI-12-MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas). De manera simultánea, se realizará el ensayo correspondiente a Determinación de Modulo de Elasticidad o de Young en Sitio mediante el equipo Geogauge H4140 y el Densímetro Nuclear para cada tipo de base y subbase. Finalmente se obtendrá el número estructural de un diseño vial para cada uno de los valores de porcentaje de CBR obtenidos mediante la aplicación de correlaciones.

ABSTRACT

With the following research, it's proposed to find a correlation between Young's Modulus and the laboratory's "CBR" from the Mine of Free Use "La China" located in the Province of Quevedo in order to obtain real values that serve to optimize the material that will be used in future road project designs. The study begins with the qualification of the mine under study, based on the characterization of each one aggregates with their respective compliance with ASTM standards for the subsequent use that will be assigned. Subsequently, the material will be submitted to the California Laboratory Index "C.B.R" tests for each base and subbase classes specified in the NEVI-12-MTOP (Ministry of Transportation and Public Works) regulations. Simultaneously, the test corresponding to the Determination of Elasticity Modulus or Young's Modulus on site will be performed by the Geogauge H4140 and the Nuclear Densimeter for each type of base and subbase. Finally, the structural number of a road design will be obtained for each of the CBR percentage values obtained by applying correlations.

PALABRAS CLAVES

Comparación, Índice de California, Módulo de Young, Correlaciones, Base, Subbase.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis tendrá como meta principal obtener una correlación técnica mediante la comparación entre los ensayos de laboratorio de Índice de California y el Módulo de Young, para ello se contrastarán los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos correspondientes.

Los materiales que se utilizarán para la realización de los ensayos, serán aquellos que sean obtenidos mediante un adecuado muestreo de la mina de libre aprovechamiento “La China”, ubicada en el Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos. Estos agregados serán conformados como un tipo de Base o Subbase para posteriormente poder realizar los ensayos preestablecidos.

El Índice de California o “C.B.R” por sus siglas en inglés correspondientes a “California Bearing Ratio” es un ensayo de compactación dinámica que sirve para determinar la resistencia cortante teniendo la humedad óptima y el peso volumétrico máximo de suelos no consolidados o consolidados con productos no asfálticos que se emplean en la construcción de terracerías. (Rico & Del Castillo, 1982)

El Modulo de Elasticidad o Modulo de Young es una razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Este índice a través del tiempo fue relacionado con los suelos dando origen a los suelos “elásticos”, debido a que existe una correspondencia biunívoca entre tensiones y deformaciones. (Martínez & Azuaga, 1997; Jimenez & De Justo, 1975)

Una de las formas de obtención del Módulo de Young que se realiza con frecuencia es mediante una correlación directa con el ensayo de "C.B.R" a partir de fórmulas empíricas obteniendo un valor aproximado.

Es por este motivo, que mediante la presente investigación se busca cambiar la metodología de obtención del Módulo de Young de una estructura vial sometida a cargas dinámicas propuesta directamente por la normativa AASHTO 1993 (American Association of State Highway and Transportation), para poder obtener valores reales que correspondan con el tipo de material existente en las minas y canteras de nuestro país.

El espesor de cada una de las capas de la estructura vial va a estar sometido a factores como número de vehículos que se encuentran en la capa de rodadura, condiciones de clima, suelo o de nivel freático, por lo cual se deberá obtener resultados en los cuales se asemejen a las condiciones antes descritas. (Giordani & Leone, 2019)

Una vez obtenidos los resultados y valores correspondientes a cada ensayo estipulado con anterioridad, se procedió a analizar si es posible optimizar el material utilizado en la formación de espesores de base y subbase en el diseño de estructuras viales específicamente para el tipo de agregado obtenido de la mina en estudio.

1.2. ANTECEDENTES

El C.B.R de laboratorio es un ensayo que nos permite obtener la resistencia al corte teniendo en cuenta características como la humedad y densidad a diferentes proporciones.

El objetivo del ensayo es determinar la resistencia cortante teniendo la humedad óptima y el peso volumétrico máximo de suelos no consolidados o consolidados con productos no asfálticos que se emplean en la construcción de terracerías. (Rico & Del Castillo, 1982)

La determinación del Módulo de Young mediante equipos electrónicos, es un ensayo que determina las características de elasticidad y rigidez de cualquier clase de estructura en el diseño de pavimentos flexibles. Este método consiste en obtener de manera directa valores de módulos de elasticidad y rigidez del suelo en análisis, para luego poder obtener un valor de

CBR mediante una correlación proporcionada en el manual del equipo, evitando interferencias de obra y retrasos en la misma. (ASTM D6758, 2008)

Los resultados obtenidos mediante este ensayo que se realiza mediante el equipo GEOGAUGE H4140, nos dará los valores respectivos para cada uno de los materiales de base y subbase clasificados según la norma NEVI 12-MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas). Estos deberán estar contrastados con la densidad ideal y la humedad óptima para la compactación que se tenga para cada una de las clases de los materiales de base y subbase obtenidos mediante la realización del ensayo de Proctor modificado.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Con un propósito investigativo se procederá a realizar una comparación técnica del Módulo de Young y el CBR cuyo principal objetivo es analizar de manera técnica la Mina “La China” localizada en el cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos para las distintas clases de materiales de Base y Subbase definidos respectivamente en la normativa AASHTO, y así poder realizar un mejor diseño de espesores para cada una de las respectivas clases de Base y Subbase.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en el diseño y construcción de carreteras, es primordial la optimización de cantidad de material a usar en cada capa del pavimento, es así que utilizando la obtención de valores de Modulo de Young y mediante correlaciones de “C.B.R” a partir de fórmulas empíricas, estamos utilizando características de materiales provenientes de otros países, obteniendo un valor “no real” que produce un gasto innecesario de material para cada componente de la vía.

Por este motivo es necesario realizar un ensayo de Modulo de Young en sitio, con el cual finalmente podremos obtener correlaciones óptimas y condiciones reales de cada uno de los agregados de los materiales utilizados en los ensayos de laboratorio antes mencionados,

además, se obtendrá el espesor primordial de cada una de las capas que tendrá la carretera, produciendo una mejor resistencia frente a solicitaciones de cargas dinámica, alargando la vida útil de la estructura vial.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar de forma técnica el Módulo de Young y el Índice de California obtenidos mediante los respectivos ensayos de laboratorio de materiales de base y sub base de la Mina de Libre Aprovechamiento “La China”, ubicada en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el Módulo de Young mediante el Índice de California (CBR) y el ensayo mediante el equipo GEOGAUGE a partir ensayos de laboratorio e in situ de base y subbase del material obtenido en la Mina de Libre Aprovechamiento “La China” en el cantón Quevedo.
- Contraponer los resultados obtenidos entre el Modulo de Young Real y el obtenido mediante “C.B.R” de laboratorio para conseguir las correlaciones concernientes para la mina.

1.6. ALCANCE

Se procederá a realizar un ensayo que corresponde a caracterización de agregados del C.B.R y otro ensayo de determinación de Modulo de Elasticidad en suelos mediante un equipo electrónico (GEOGAUGE H4140) para las clases de base y subbase de la Mina de Libre Aprovechamiento “La China” en el cantón Quevedo.

CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO

2.1. MINA DE LIBRE APROVECHAMIENTO "LA CHINA"

2.1.1. GENERALIDADES

La Mina de Libre Aprovechamiento "La China" es un sitio de extracción temporal de agregados pétreos perteneciente al Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Quevedo. El área total del proyecto comprende de alrededor de 49 ha. , teniendo como área de extracción un área de 0.10 ha.



Ilustración 2.1. Zona de Extracción de Mina de Libre Aprovechamiento "La China".

La utilización de los agregados que se extraen sirve generalmente para construcción de proyectos públicos de infraestructura que tenga un área mayor o igual a 1000000 m³ en cualquier sector comprendido en el cantón Quevedo.

2.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MINA

La mina en estudio se encuentra rodeada entre los cantones Quevedo, Valencia, Buena Fe, el acceso se encuentra precisamente en el recinto “La Virginia” perteneciente a la Parroquia “La Esperanza” del Cantón Quevedo.



Ilustración 2.2. Acceso a la Mina de Extracción. Recinto La Virginia.

Para ingresar a la mina se debe seguir la carretera Vía Quevedo – Valencia a la altura del Kilómetro 7 ½, y luego seguir el camino lastrado de alrededor de unos 5 Kilómetros para llegar a la mina. La obtención de agregados se realiza principalmente del Rio Quevedo, sin embargo en el área se presenta una desembocadura de los ríos Baba y San Pablo.



Ilustración 2.3. Desembocadura de Ríos Baba y San Mateo en Mina de Extracción.

Las coordenadas geográficas de la mina de libre aprovechamiento son las siguientes:

Este (X)	Norte (Y)	Altitud
672241.0	9895624.0	60
672241.0	9894924.0	60
672941.0	9894924.0	60
672941.0	9895624.0	60
672241.0	9895624.0	60

Ilustración 2.4. Coordenadas Geográficas de Mina "La China". Tomado de Registro Ambiental.

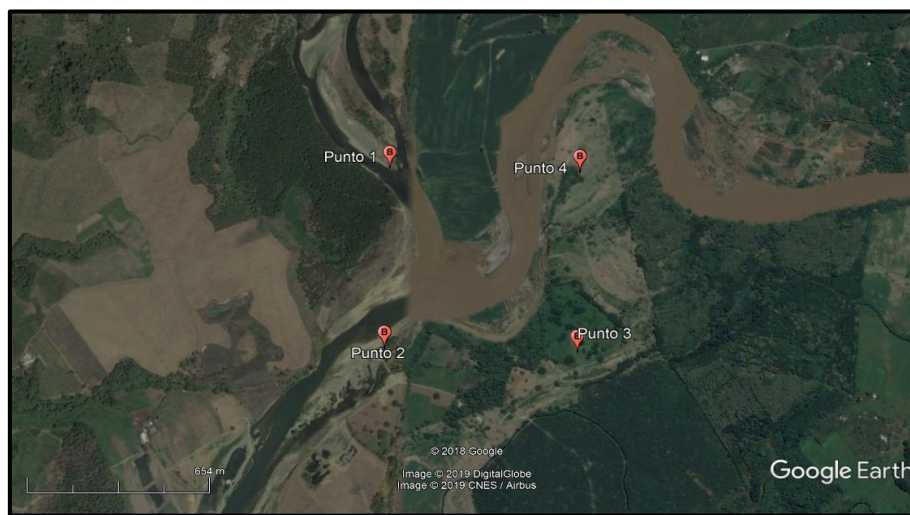


Ilustración 2.5. Imagen generada por Google Earth – Mina "La China".

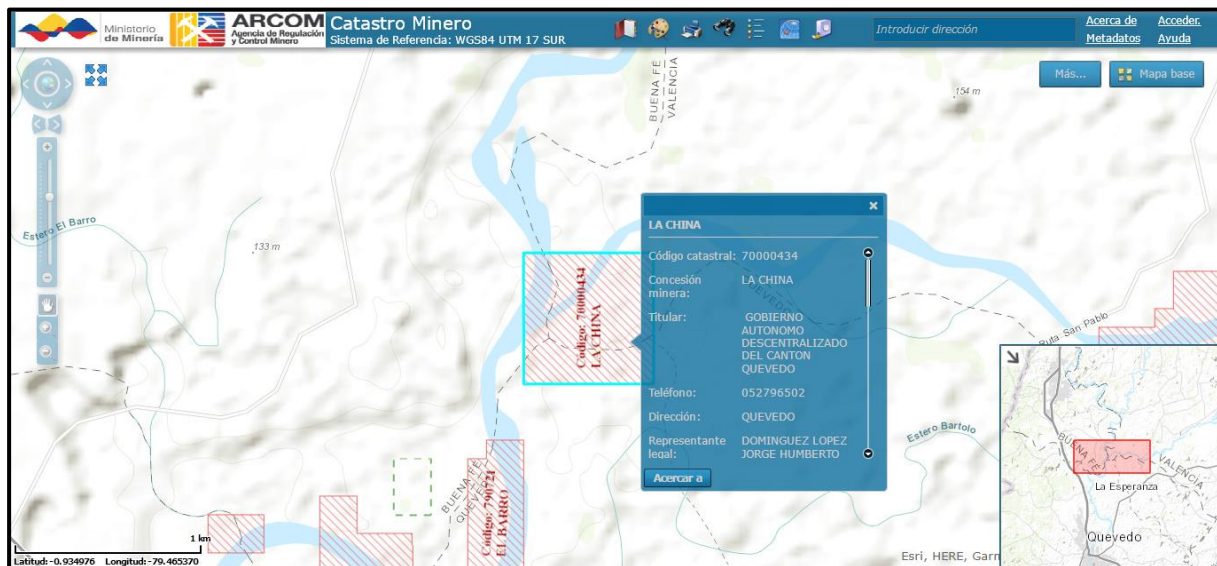


Ilustración 2.6. Imagen generada en Geovisor ARCOM - Mina "La China".

2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

2.2.1. MUESTREO DE AGREGADOS (ASTM D 75)

El Muestreo de Agregados, se siguió bajo la sugerencia de la Normativa ASTM D75. Este ensayo consistió en la obtención de material correspondiente a Base y Subbase proveniente del cauce del Rio Quevedo.

El muestreo que se realizó fue un muestreo en almacenamiento (Ver Ilustración 2.6), es decir se realizó levantamiento de material previamente obtenido del rio. Se realizó la recolección de un total de 1300 Kg repartidos en 10 sacos (Base) de 66 Kg cada uno y de 8 sacos (Subbase) de 80 Kg cada uno.



Ilustración 2.7. Muestreo de Agregados.



Ilustración 2.8. Tamiz utilizado en Mina.

Al momento de muestrear, se pudo conocer mediante los mismos muestreadores de material de la zona, que en la región se procede únicamente a utilizar material inalterado del rio como material para subbase, y que para la base se utiliza material pasante de una zaranda (tamiz) (Ver Ilustración 2.7) con el fin de eliminar aquellos agregados que posean diámetros muy grandes. (Mayores a 2 ½ pulgadas)

2.2.2. CUARTEO DE AGREGADOS (ASTM C 702)

El cuarteo de materiales, consistió en separar muestras representativas que sirvan para realizar cada uno de los ensayos de laboratorios necesarios para el desarrollo de resultados del presente documento. El objetivo de realizar el cuarteo, es el de minimizar las variaciones en el agregado con respecto a las características originales que presenta en sitio. La realización previa del cuarteo de agregados será indispensable para cada uno de los ensayos que se realizaran para la presente tesis. (ASTM C702, 2003)

2.2.3. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES (ASTM C 33)

Una vez realizado el cuarteo de agregados, se procedió a realizar la Granulometría de Materiales bajo la normativa ASTM C33 para el material de base y subbase, que consistió primeramente en muestrear una cantidad significativa de material seco, y luego se procedió a tamizar de distintas maneras con el fin de hallar los diferentes resultados de granulometría. (ASTM C33, 2008)

En el caso del agregado grueso, se muestreo una cantidad de masa Inicial de 20 Kg. de cada material para luego poder tamizarla a través de una tamizadora automática en un tiempo estimado de 9 minutos. Para la obtención de la granulometría del fino se muestreo una cantidad de 1 Kg. o 500 gr. de cada material para luego poder realizar una tamizada manual mediante los tamices (N° 10, N° 40, N° 200).

2.2.4. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 4318-84)

Los ensayos basados en la norma ASTM D4318-84 consisten en determinar los límites líquido (LL) y limite plástico (LP) y así poder calcular el índice de plasticidad (IP) de cada material analizado. Para la determinación de los mismos, se realizó una verificación del porcentaje de arena en una muestra de material que se retiene en el tamiz N°40. Finalmente se realizó una

determinación de contenidos de humedad de cada uno de los materiales. (ASTM D 4318, 1984)

2.2.5. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

Una vez realizado los ensayos y obtenido los resultados que fueron mostrados con anterioridad en el documento (Límites de Atterberg y Granulometría), podemos llegar a clasificar cada uno de los materiales, es por ello que vamos a realizarlo por los siguientes tipos de clasificación como son: Clasificación SUCS, Clasificación AASHTO. (ASTM D2487, 2011); (ASTM D3282, 2015).

2.2.6. CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C 40-99)

La realización del ensayo de Contenido Orgánico de agregados, consistió en someter una cantidad determinada de agregado fino (aprox. 500 gr) en solución de hidróxido de sodio, de acuerdo a lo establecido. Este ensayo fue reproducido a fin de comprobar la existencia de partículas orgánicas en nuestras muestras. (ASTM C40, 1999)

2.2.7. DESGASTE A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131)

El procedimiento realizado para este ensayo, sirve para poder determinar la resistencia que poseen nuestros agregados al desgaste por influencia de la abrasión. (ASTM C131, 2014)

Consistió en someter una cantidad determinada de material (fracciones dependen de la granulometría del material) a la Máquina de los Ángeles en una cantidad de 500 vueltas en un tiempo estimado de 15 minutos. Luego de que se realizó esto, se procedió a pesar la cantidad de material que se retiene en el tamiz N° 12. (ASTM C131, 2014)

2.2.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C 127 / ASTM C 128)

Los ensayos de gravedad específica se realizaron en base a la normativa ASTM C 127 para el caso del agregado fino y de la normativa ASTM C 128 para el agregado grueso. Su objetivo es encontrar la gravedad específica Bulk y la absorción de cada uno de los agregados de una muestra. El agregado fino que se utiliza para el ensayo debe adecuarse a condiciones saturadas con superficie seca, esta condición se realiza mediante la adición de agua y el secado superficial mediante una secadora de mano. Luego al ubicar el material en un matraz con una cierta cantidad de agua, se procedió a extraer el aire que contenía. Una vez que el material se encontró sin vacíos, se introdujo el material en el horno a una temperatura constante para finalmente pesarlo en la balanza y obtener la masa seca. (ASTM C128, 2004)

Para el caso del agregado grueso, se ubicó una cantidad determinada de agregado grueso (50 Kg) dentro de una canasta bajo el agua para poder obtener la masa del material en condiciones secas saturadas. Luego se ubicó el material en el horno a temperatura constante para finalmente obtener la masa seca y poder mediante cálculos matemáticos calcular la gravedad específica. (ASTM C127, 2004)

2.2.9. EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)

Este ensayo realizado en base a la normativa ASTM D 2419, tiene por objeto encontrar la cantidad de polvo o arcilla que poseen una muestra representativa del agregado fino. La realización del ensayo consistió en introducir una cantidad determinada de agregado fino en una probeta en conjunto con una solución compuesta con agua destilada para luego proceder a agitar cíclicamente (90 ciclos) como especifica la norma por un determinado tiempo (30 segundos). Finalmente se introduce en la probeta un irrigador y se visualiza una lectura inicial y final para lograr obtener el equivalente de arena de la muestra. (ASTM D2418, 2014)

2.2.10. DURABILIDAD EN LOS AGREGADOS POR ACCIÓN DEL SULFATOS. (SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO) (ASTM C 88)

El ensayo realizado se hizo bajo la normativa ASTM C 88. Este tiene por objetivo encontrar la resistencia que posee nuestro agregado en cuestión a la desintegración debido a la saturación frente una solución de sulfato de sodio (o magnesio). Esta solución trata de ayudar a simular condiciones de los agregados frente a acciones climáticas. (ASTM C88, 2014)

Este ensayo consistió en realizar ciclos de inmersión de la solución y secado. Un ciclo consiste en una inmersión en solución en una hora determinada de la tarde (4 pm), luego se procedía en horas de la mañana (8 am) a retirar el exceso de solución en el material en intervalos de secado de 10 minutos en el horno y se lo deja dentro del horno por un tiempo estimado de 6 horas y para concluir el ciclo se procede a realizar la inmersión como el inicio del ciclo. Este ciclo se deber realizar 4 veces. Al terminar los ciclos, se lava el material y se procede a pesar cada uno de las masas retenidas en los tamices especificados en la norma. (ASTM C88, 2014)

2.2.11. DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y DE PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS (ASTM C 142-97).

El siguiente ensayo, se basa en las disposiciones establecidas en la normativa ASTM C 142-97. Este ensayo tiene por objetivo determinar la presencia de partículas de arcilla en cada muestra de los agregados que se analizan. Consistió en desmenuzar terrones de arcilla mediante el lavado de los agregados para luego obtener la masa seca mediante la utilización de un horno a temperatura constante. (ASTM C142, 1997)

2.2.12. PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)

El ensayo correspondiente a Proctor Modificado, se realizó en base a la normativa ASTM D 1557. Este ensayo consistió en compactar 4 muestras de suelo formando 5 capas con cada una de las granulometrías pertenecientes a las clases de base y subbase en las que se fundamenta el presente documento. Adicionalmente, estas muestras presentaban diferentes

contenidos de humedad y fueron sometidas a una determinada cantidad de golpes (56 golpes por capa) mediante un martillo de 10 libras, tal como se recomienda en la normativa ASTM antes mencionada.

El objetivo del ensayo, es poder encontrar la humedad óptima y la densidad máxima mediante el porcentaje de compactación y el contenido de agua, para consiguientemente poder realizar el ensayo correspondiente a Índice de California. (ASTM D 1557, 2012)

La masa inicial para cada una de las muestras fue de 5000 Kg.

2.2.13. ÍNDICE DE CALIFORNIA “CBR” DE LABORATORIO (ASTM D 1883)

El ensayo correspondiente a Índice de California de Laboratorio se realizó en base a la normativa ASTM D 1883. En este ensayo se volvieron a elaborar fundas de alrededor de 15.5 Kg en base a las mismas relaciones entre los tamaños de agregados y teniendo presente el volumen del molde utilizado para el ensayo de Índice de California “CBR” de Laboratorio.

El objetivo de realizar este ensayo, consistió en poder obtener el porcentaje de “C.B.R” o Índice de California para una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada uno de los tipos de Base y Subbase en estudio a partir de la Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima calculadas en el Proctor Modificado. Cada una de las fundas elaboradas sirvió para realizar 3 moldes del ensayo, que consistió en ensayos de compactación, saturación, obtención de datos de expansión o contracción y finalmente la penetración de las muestras. La compactación consistió en realizar 3 capas de 56, 25 y 12 golpes a la humedad óptima previamente obtenida en el Proctor Modificado. El ensayo de saturación consistió en colocar los moldes compactados y sometidos a peso en agua por un lapso de 5 días, tomando diariamente medidas de expansión o contracción mediante un manómetro. Finalmente se realizó el ensayo de penetración, en el cual mediante peso se aplica un esfuerzo a los moldes en intervalos de 0,5 pulgadas en 10 minutos. En los ensayos de compactación y penetración se tomaron los respectivos contenidos de humedad de las muestras. (ASTM D 1883, 2016)

En la realización de los resultados, se debe corregir cada una de las gráficas de esfuerzo vs. Deformación que se obtengan en caso de no cumplir con lo establecido en la norma. De igual

manera los valores de CBR que se obtengan para 0,1 y 0,2 deberán estar corregidos para a un valor correspondiente al 100% de la densidad seca máxima (bases y subbases). (Yáñez, 2018)

2.2.14. MODULO DE YOUNG EN SUELOS (USO DE GEOGAUGE H4140) (ASTM D6758)

El Geogauge H4140 es un equipo electrónico que se utiliza en la realización de mediciones en sitio de Modulo de Elasticidad y de Rigidez de capas de una estructura vial como pueden ser subrasantes, subbases, bases y otro tipo de materiales debidamente compactados. El objetivo del equipo electrónico, es poder determinar de manera rápida los módulos antes mencionados sin necesidad de causar demoras o interferir en una construcción. Las mediciones que realizan se llevan a cabo en alrededor de 75 segundos, siempre y cuando no se encuentren objetos o equipos produciendo ruidos o vibraciones en una distancia menor a 10 metros. Su rango de profundidad es de 9 a 12 pulgadas medidas desde la superficie. (ASTM D6758, 2008; Montoya, 2005; Cardenas, 2018)

El ensayo en sitio consistió en realizar primero una zanja de 1,0 x 1,0 x 0,6 m (sin incluir la subrasante) que debía estar debidamente compactada para luego poder colocar agregado de base o subbase dependiendo de las clases que se analizaron en nuestra investigación. Este agregado se fue conformando en 3 capas de 15 cm. A medida que se elaboraba cada capa se agregó el porcentaje indicado con la finalidad de llegar a la humedad óptima para de esta manera poder alcanzar el 100% de compactación de la capa. Esta característica estuvo sujeta a su comprobación mediante el uso del densímetro nuclear, con el cual pudimos varios grados de compactación. Una vez alcanzado el 100% de la compactación de cada capa, se procedió a la utilización del equipo electrónico Geogauge H4140 para poder obtener los valores correspondientes a Módulo de Young. La utilización del equipo Geogauge es sencilla, basta con ubicar el equipo en el terreno compactado presionar la tecla MEAS y esperar un momento para poder visualizar mediante la tecla UNITS los resultados correspondientes a Modulo de Steiner y el Modulo de Young. (Cardenas, 2018; Cárdenas & Ortega, 2007)

Para la conversión del Módulo Resiliente se utilizó al Módulo de Young con una conversión de unidades, esto nos permite tener una estimación del mismo con una variación menor al 10% en un factor de 2. (Humboldt Mfg. Co., 2000)

2.3. MATERIALES EMPLEADOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, se presenta de manera simplificada algunos de los materiales empleados en cada uno de los ensayos de laboratorio:

Tabla 2.1. Materiales y Muestras utilizados en ensayos. Mina "La China". Quevedo, Ecuador.

Ensayo de Laboratorio	Materiales Utilizados	Muestra Utilizada en el Ensayo
MUESTREO DE AGREGADOS	Pala, Sacos.	1300 Kg.
CUARTEO DE AGREGADOS	Pala Recta, Bandeja.	-
GRANULOMETRÍA DE MATERIALES	Maquina Tamizadora, Juego de Tamices, Agregado en General.	20000 gr. (Ag. Grueso) y 1000 gr. (Ag. Fino) para Base y Subbase.
LÍMITES DE ATTERBERG	Copa de Casagrande, Cronometro, Agregado en General, Horno.	2000 gr.
CLASIFICACIÓN DE MATERIALES	Norma de Referencia.	-
CONTENIDO ORGÁNICO	Probeta de 500 cm ³ , Solución de Hidróxido de Sodio (3%), Escala de Contenido Orgánico.	500 gr. (Ag. Fino)
DESGASTE ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	Máquina de los Ángeles, Esferas de Desgaste, Juego de Tamices, Balanza y Bandejas.	5015 gr.
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Balanza, Matraz, Molde cónico, Barra Compactadora, Horno, Recipientes Metálicos, Secadora (Ag. Fino). Cesta Cilíndrica de Metal, Baldes Cilíndricos. (Ag. Grueso)	5000 gr (Ag. Grueso), 1500 gr. (Ag. Fino)
EQUIVALENTE DE ARENA	Solución de Cloruro de Sodio y Agua Destilada, Probeta, Barra Estándar, Irrigador, Tapón de goma. Bandeja, Tamiz N°4, Bandeja, Cucharón, Cronometro.	500 gr. (Ag. Fino)
DURABILIDAD POR ACCIÓN DEL SULFATOS.	Juego de Tamices, Solución de Sulfato de Sodio, Horno, Balanza, Recipientes Metálicos.	Depende de tipo de Fracción (Ag. Fino y Grueso)
TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS	Balanza, Bandeja, Juego de Tamices, Horno, Recipientes Metálicos.	Depende de tipo de Fracción (Ag. Fino y Grueso)
PROCTOR MODIFICADO	Martillo Compactador, Moldes Normalizados, Balanza, Martillo, Cucharón y Recipientes.	5 fundas de 5 Kg por cada clase de material (Base o Subbase)
ÍNDICE DE CALIFORNIA "CBR" DE LABORATORIO	Martillo Compactador, Moldes Normalizados, Balanza, Martillo, Cucharón y Recipientes.	1 funda de 15.5 Kg por cada clase de material (Base o Subbase)
MÓDULO DE YOUNG	Geogauge H4140, Densímetro Nuclear, Vibro-Compactador, Juego de Tamices.	-

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ensayo de acuerdo a lo establecido en el Manual NEVI-12-MTOP para cada uno de los tipos de Bases y Subbases.

3.1. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES (ASTM C 33)

Tabla 3.1. Granulometría correspondiente a Mina La China. Material: Base

Muestra N°		1			
Identificación del Material		Base			
Masa Inicial (gr)		20000			
Masa Inicial Fino (gr)		500			
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Ret. Parcial (gr)	Masa Ret. Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa
AGREGADO GRUESO					
3"	76,20				100
2 1/2"	64,00				100
2"	50,40				100
1 1/2"	38,10	515	515	2,58	97,43
1"	25,40	1850	2365	11,83	88,18
3/4"	19,00	1415	3780	18,90	81,10
1/2"	12,70	2970	6750	33,75	66,25
3/8"	9,51	1615	8365	41,83	58,18
N°4	4,76	2925	11290	56,45	43,55
Pasa N° 4	.....	8710	20000		
Σ		20000			
AGREGADO FINO					
N° 10	2,00	2009	13299	66,5	33,5
N° 40	0,42	3958	17256	86,3	13,7
N° 200	0,074	2296	19552	97,8	2,2
Pasante N° 200		448			
Σ		8710			

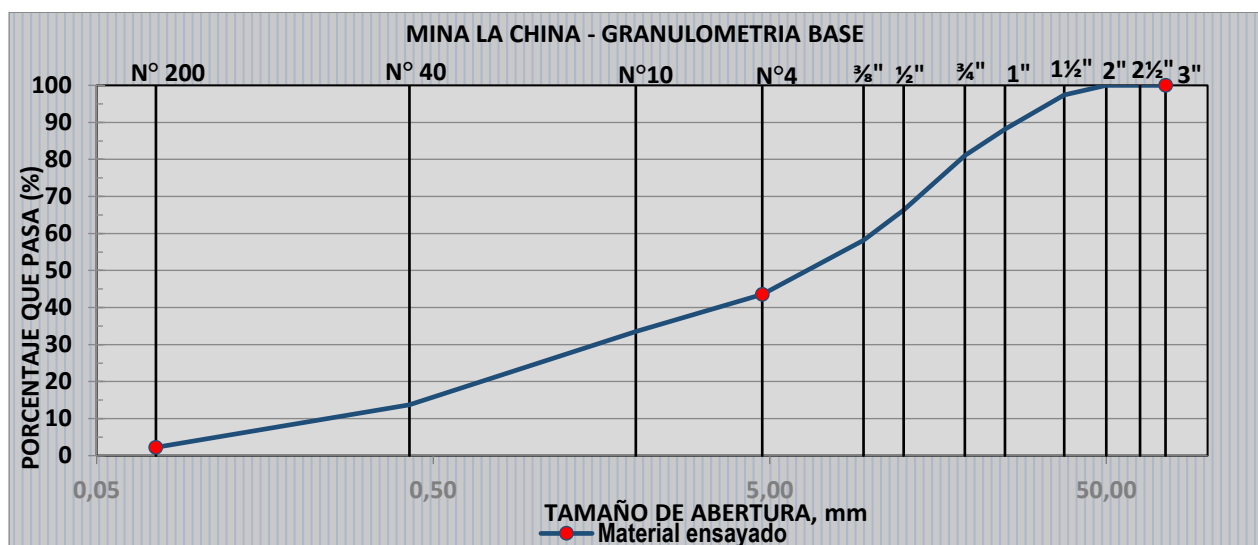


Figura 3.1. Curva Granulométrica Base. Mina "La China"

Tabla 3.2. Granulometría correspondiente a Mina La China. Material: Subbase

Muestra N°		1			
Identificación del Material		Subbase			
Masa Inicial (gr)		20000			
Masa Inicial Fino (gr)		1000			
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Ret. Parcial (gr)	Masa Ret. Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa
AGREGADO GRUESO					
3"	76,20				100
2 1/2"	64,00				100
2"	50,40				100
1 1/2"	38,10	1625	1625	8,13	91,88
1"	25,40	2460	4085	20,43	79,58
3/4"	19,00	1370	5455	27,28	72,73
1/2"	12,70	2300	7755	38,78	61,23
3/8"	9,51	1130	8885	44,43	55,58
N°4	4,76	2060	10945	54,73	45,28
Pasa N° 4	.....	9055	20000		
Σ		20000			
AGREGADO FINO					
N° 10	2,00	1956	12901	64,5	35,5
N° 40	0,42	4297	17197	86,0	14,0
N° 200	0,074	2284	19481	97,4	2,6
Pasante N° 200		519			
Σ		9055			

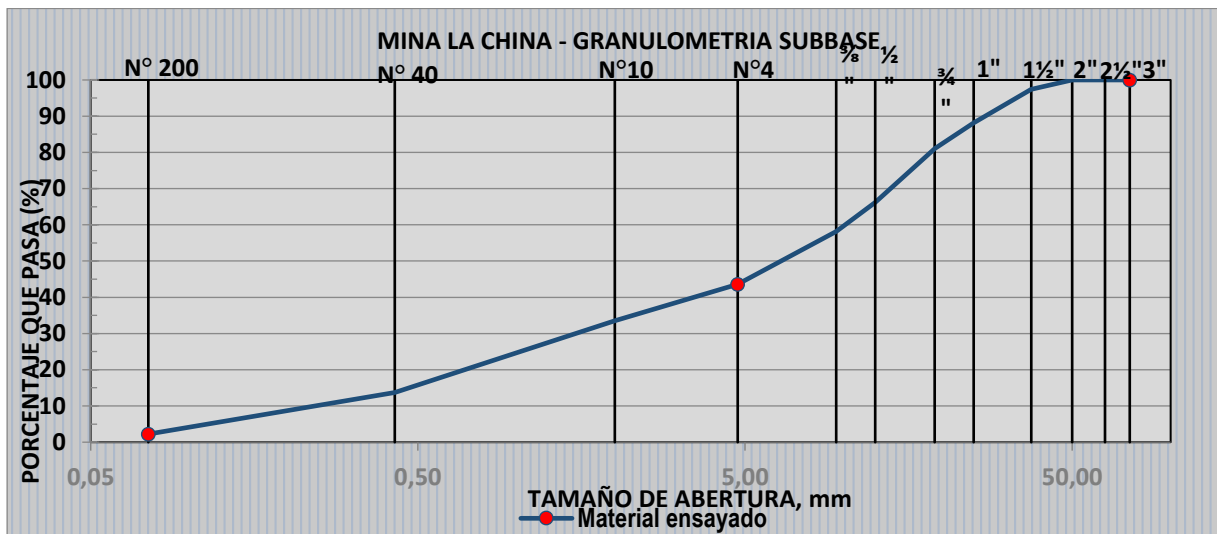


Figura 3.2. Curva Granulométrica Subbase. Mina "La China"

Analizando los resultados se puede determinar que la base y subbase no cumple con los porcentajes establecidos en las Tablas de Especificaciones del MOP y no es posible establecerla como alguna de estas clases. ¹

¹ Anexo B.1.1: Tablas Complementarias. Granulometrías Recomendadas.

Por esta razón se procede a formar las respectivas granulometrías que se utilizaron para los ensayos de Proctor Modificado, C.B.R y Módulo de Young.

- **Base Clase 1B**

Tabla 3.3. Granulometría correspondiente a Base Clase 1b.

Muestra N°		1B				
Identificación del Material		Base				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		500				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	---
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,40	600	600	3,00	97,00	70 - 100
3/4"	19,00	2000	2600	13,00	87,00	60 - 90
1/2"	12,70	2000	4600	23,00	77,00	---
3/8"	9,51	1700	6300	31,50	68,50	45 - 75
N°4	4,76	2000	8300	41,50	58,50	30 - 60
Pasa N° 4	.....	11700	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	2698	10998	55,0	45,0	20 - 50
N° 40	0,42	5316	16315	81,6	18,4	10 - 25
N° 200	0,074	3084	19399	97,0	3,0	2 - 12
Pasante N° 200		601				
Σ		11700				

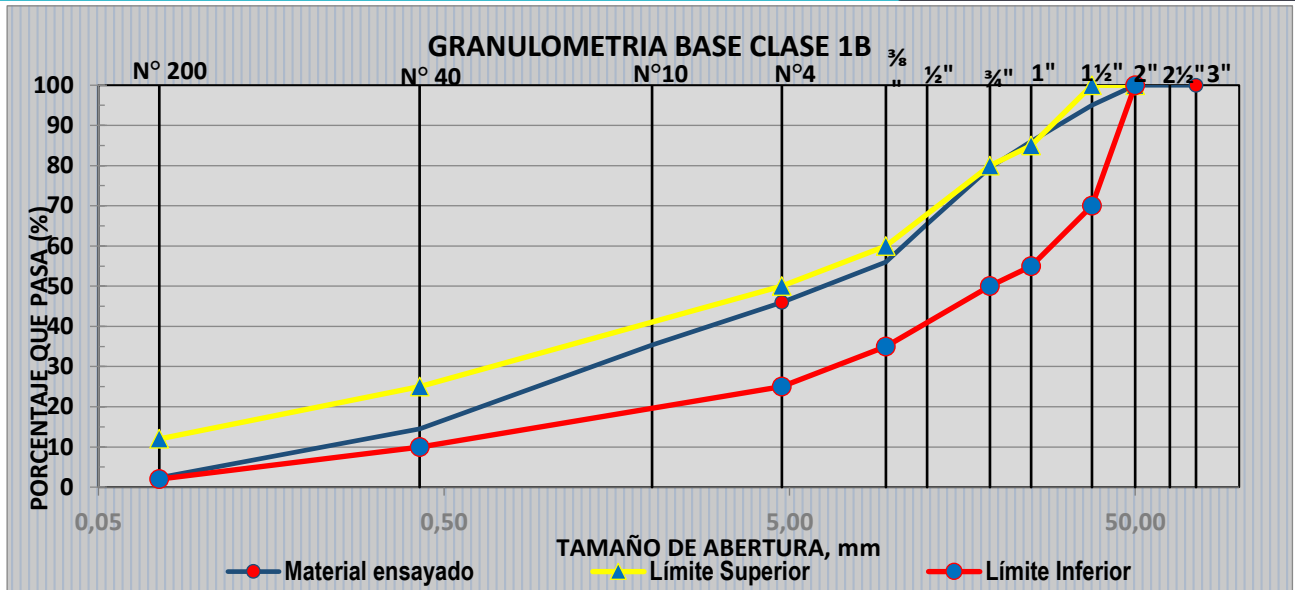


Figura 3.3. Curva Granulométrica Base Clase 1b.

- **Base Clase 2**

Tabla 3.4. Granulometría correspondiente a Base Clase 2.

Muestra N°		2				
Identificación del Material		Base				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		500				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	---
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	---
1"	25,40	0	0	0,00	100,00	100
3/4"	19,00	1300	1300	6,50	93,50	70 - 100
1/2"	12,70	2800	4100	20,50	79,50	---
3/8"	9,51	1900	6000	30,00	70,00	50 - 80
N°4	4,76	2000	8000	40,00	60,00	35 - 65
Pasa N° 4	.....	12000	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	2767	10767	53,8	46,2	25 - 50
N° 40	0,42	5453	16220	81,1	18,9	15 - 30
N° 200	0,074	3163	19383	96,9	3,1	3 - 15
Pasante N° 200		617				
Σ		12000				

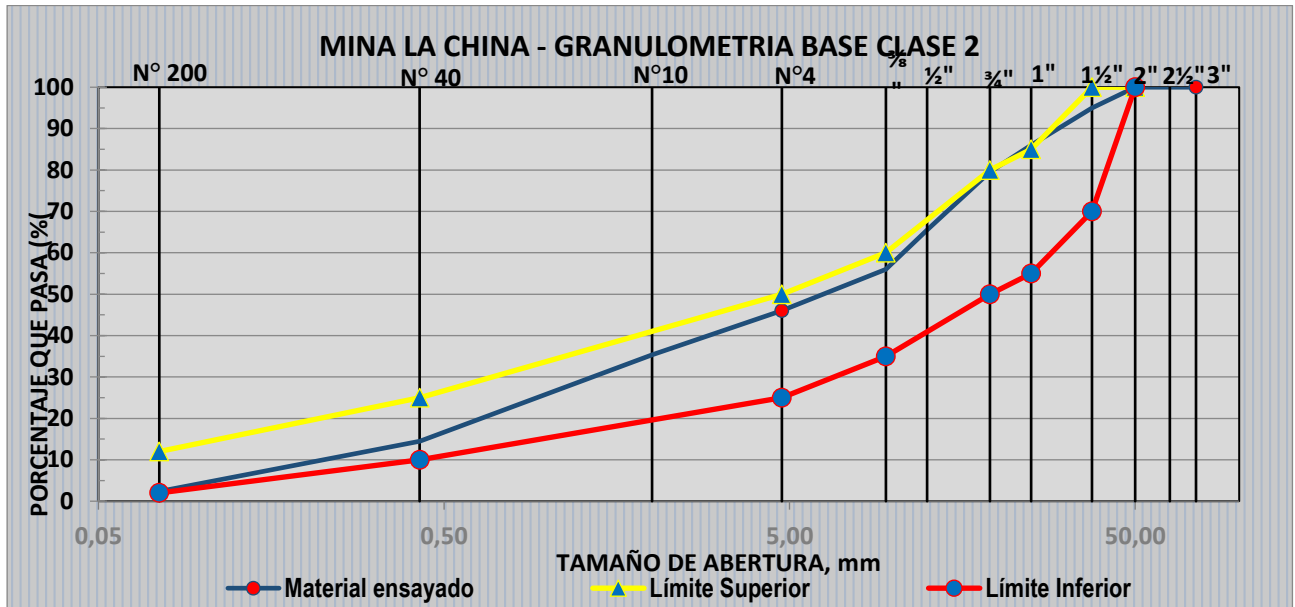


Figura 3.4. Curva Granulométrica Base Clase 2.

- **Base Clase 3**

Tabla 3.5. Granulometría correspondiente a Base Clase 3.

Muestra N°		3				
Identificación del Material		Base				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		500				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	---
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	---
1"	25,40	0	0	0,00	100,00	---
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00	100
1/2"	12,70	2000	2000	10,00	90,00	---
3/8"	9,51	1350	3350	16,75	83,25	---
N°4	4,76	3000	6350	31,75	68,25	45 - 80
Pasa N° 4	.....	13650	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	3148	9498	47,5	52,5	30 - 60
N° 40	0,42	6203	15700	78,5	21,5	20 - 35
N° 200	0,074	3598	19298	96,5	3,5	3 - 15
Pasante N° 200		702				

Σ	13650				
---	-------	--	--	--	--

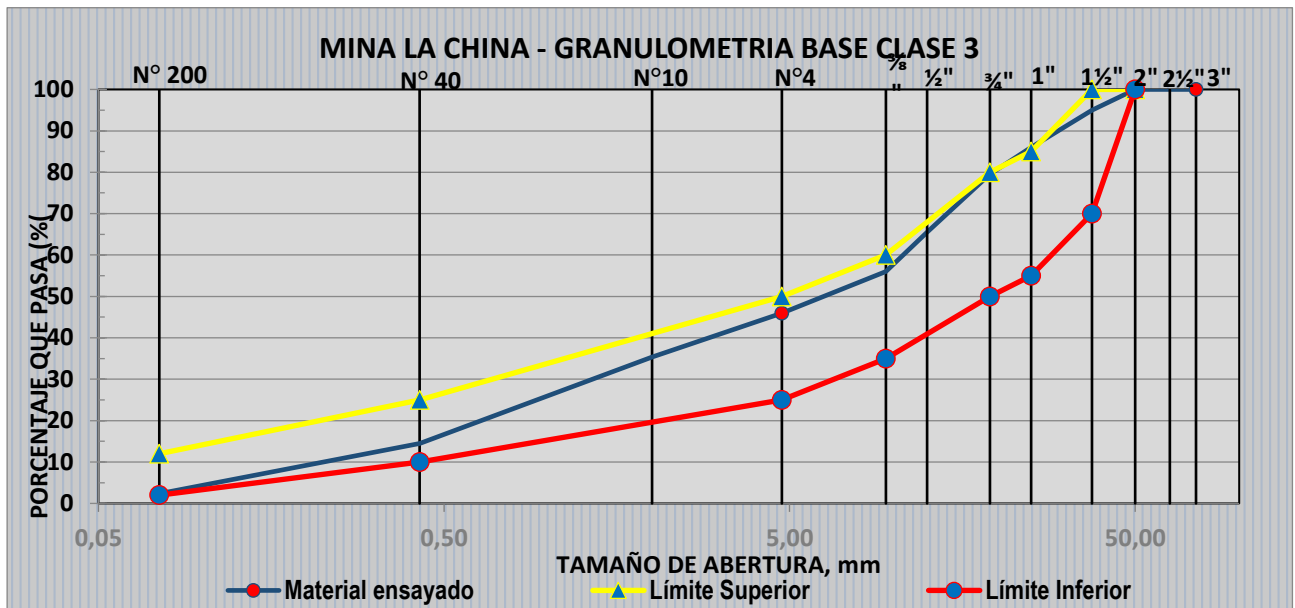


Figura 3.5. Curva Granulométrica Base Clase 3.

- **Base Clase 4**

Tabla 3.6. Granulometría correspondiente a Base Clase 4.

Muestra N°		4				
Identificación del Material		Base				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		500				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	100
1 1/2"	38,10	1000	1000	5,00	95,00	---
1"	25,40	1800	2800	14,00	86,00	60 - 90
3/4"	19,00	1300	4100	20,50	79,50	---
1/2"	12,70	2800	6900	34,50	65,50	---
3/8"	9,51	1900	8800	44,00	56,00	---
N° 4	4,76	2000	10800	54,00	46,00	20 - 50
Pasa N° 4	.....	9200	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	2122	12922	64,6	35,4	---
N° 40	0,42	4180	17102	85,5	14,5	---
N° 200	0,074	2425	19527	97,6	2,4	0 - 15

Pasante N° 200	473			
Σ	9200			

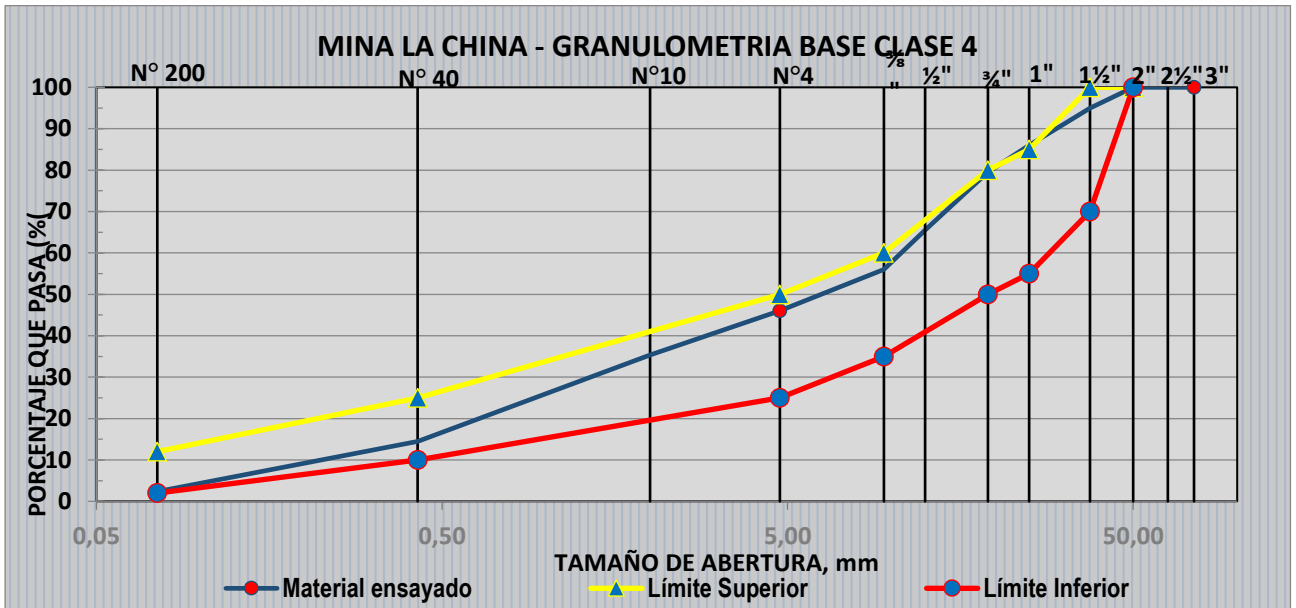


Figura 3.6. Curva Granulométrica Base Clase 4.

- **Subbase Clase 1**

Tabla 3.7. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 1.

Muestra N°		1				
Identificación del Material		Subbase				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		1000				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	---
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00	100
1"	25,40	1800	1800	9,00	91,00	---
3/4"	19,00	1000	2800	14,00	86,00	---
1/2"	12,70	1800	4600	23,00	77,00	---
3/8"	9,51	1000	5600	28,00	72,00	---
N° 4	4,76	2400	8000	40,00	60,00	30 - 70
Pasa N° 4	.....	12000	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	2592	10592	53,0	47,0	---
N° 40	0,42	5694	16286	81,4	18,6	10 - 35

N° 200	0,074	3026	19312	96,6	3,4	0 - 15
Pasante N° 200		688				
Σ		12000				

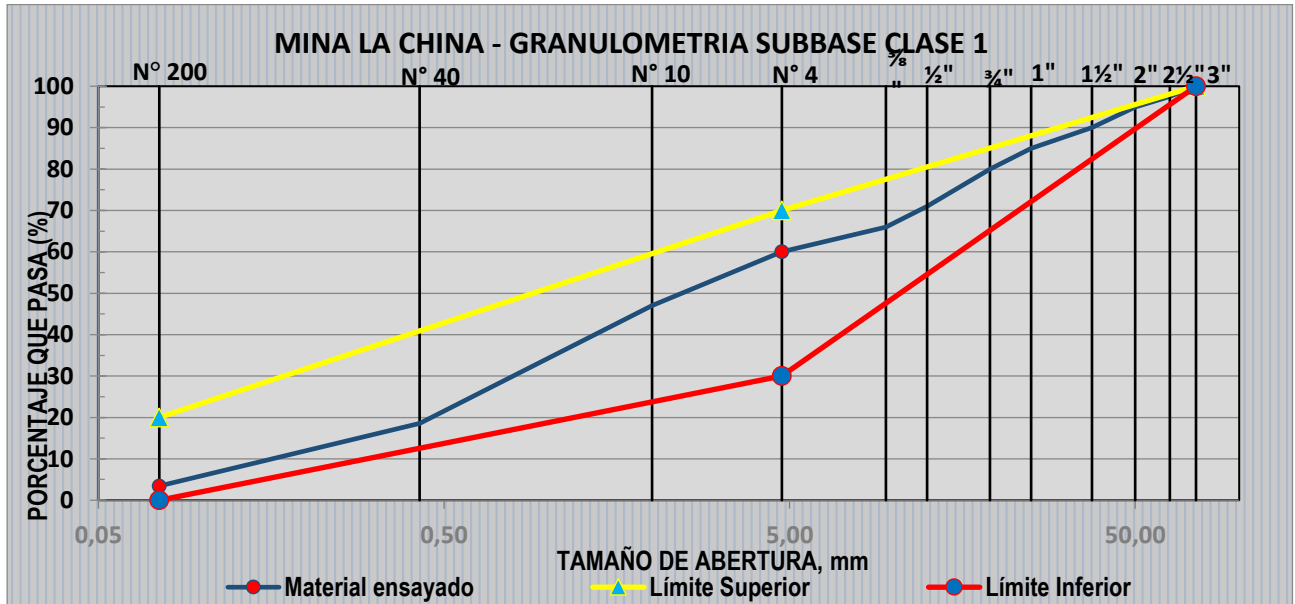


Figura 3.7. Curva Granulométrica Subbase Clase 1.

- Subbase Clase 2

Tabla 3.8. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 2.

Muestra N°		2				
Identificación del Material		Subbase				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		1000				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	---
2 1/2"	64,00	0	0	0,00	100	---
2"	50,40	0	0	0,00	100	100
1 1/2"	38,10	500	500	2,50	97,50	70 - 100
1"	25,40	1600	2100	10,50	89,50	---
3/4"	19,00	1200	3300	16,50	83,50	---
1/2"	12,70	1800	5100	25,50	74,50	---
3/8"	9,51	1000	6100	30,50	69,50	---
N° 4	4,76	1900	8000	40,00	60,00	30 - 70
Pasa N° 4	.....	12000	20000			
Σ		20000				
AGREGADO FINO						

N° 10	2,00	2592	10592	53,0	47,0	---
N° 40	0,42	5694	16286	81,4	18,6	15 - 40
N° 200	0,074	3026	19312	96,6	3,4	0 - 20
Pasante N° 200		688				
Σ		12000				

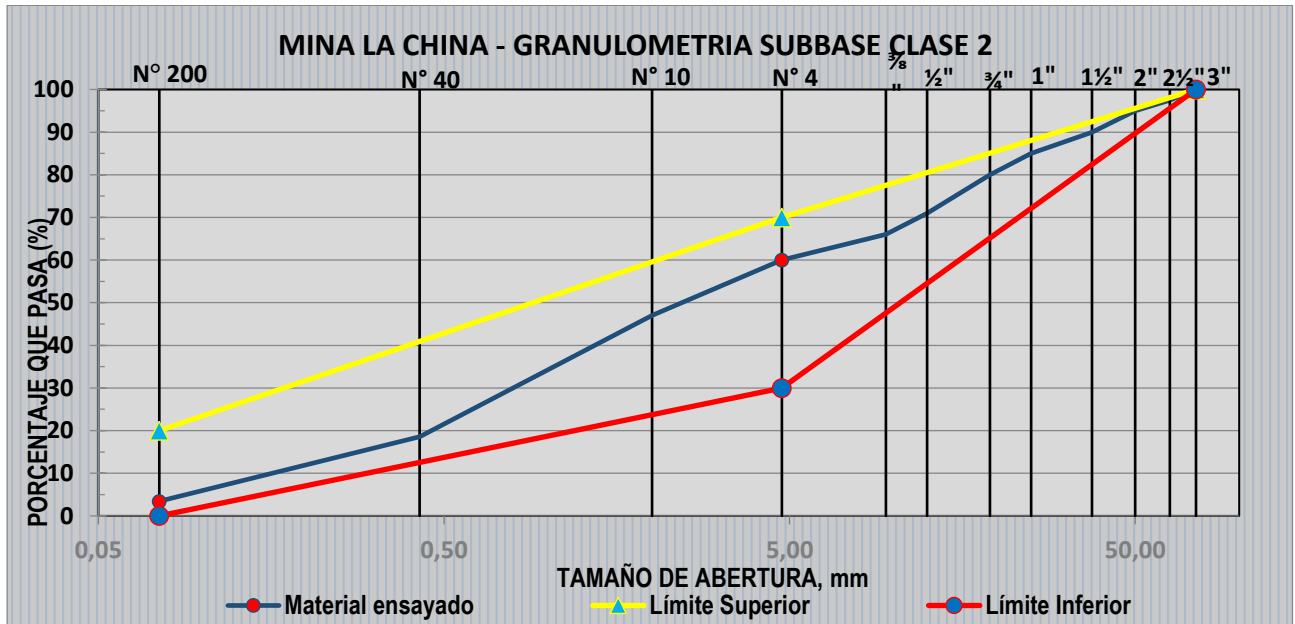


Figura 3.8. Curva Granulométrica Subbase Clase 2.

- **Subbase Clase 3**

Tabla 3.9. Granulometría correspondiente a Subbase Clase 3.

Muestra N°		3				
Identificación del Material		Subbase				
Masa Inicial (gr)		20000				
Masa Inicial Fino (gr)		1000				
Malla N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido	% Pasa	Limites Especificación
AGREGADO GRUESO						
3"	76,20	0	0	0,00	100	100
2 1/2"	64,00	500	500	2,50	97,5	---
2"	50,40	500	1000	5,00	95	---
1 1/2"	38,10	1000	2000	10,00	90,00	---
1"	25,40	1000	3000	15,00	85,00	---
3/4"	19,00	1000	4000	20,00	80,00	---
1/2"	12,70	1800	5800	29,00	71,00	---
3/8"	9,51	1000	6800	34,00	66,00	---
N°4	4,76	1200	8000	40,00	60,00	30 - 70
Pasa N° 4	.....	13000	21000			
Σ		20000				

AGREGADO FINO						
N° 10	2,00	2592	10592	53,0	47,0	---
N° 40	0,42	5694	16286	81,4	18,6	---
N° 200	0,074	3026	19312	96,6	3,4	0 - 20
Pasante N° 200		688				
Σ		12000				

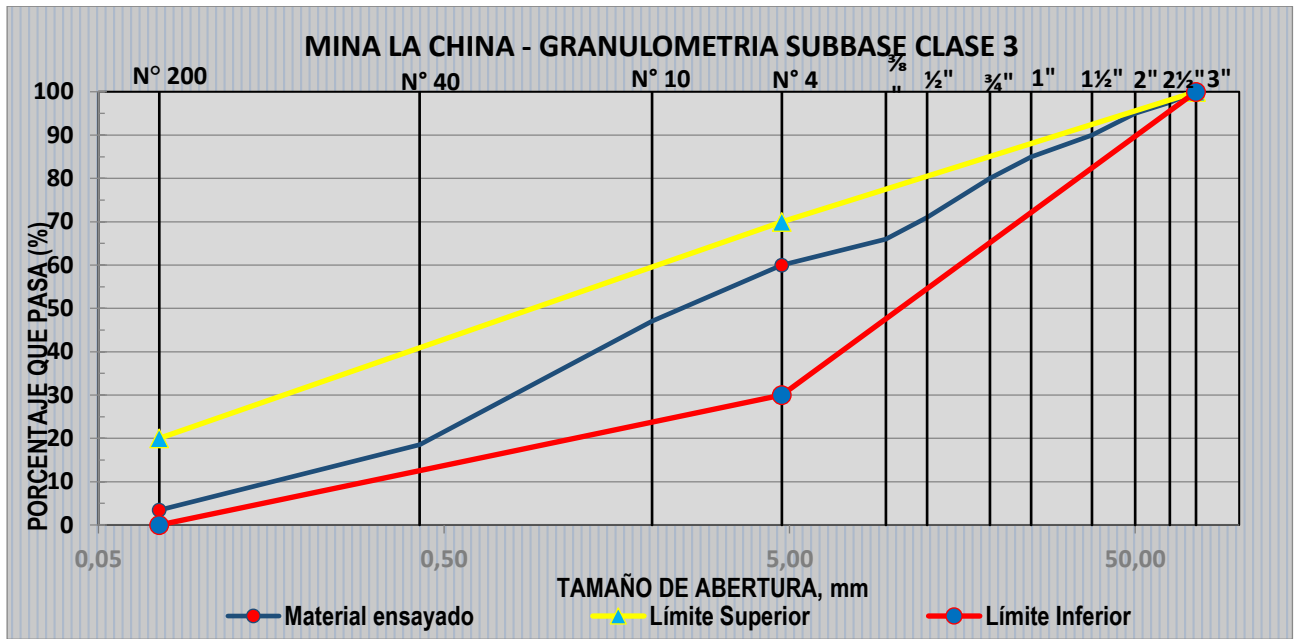


Figura 3.9. Curva Granulométrica Subbase Clase 3.

3.2. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 4318-84)

Tabla 3.10. Límites de Atterberg - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base	Subbase
Límite Líquido (LL)	NP	NP
Límite Plástico (LP)	NP	NP
Índice de Plasticidad (IP)	NP	NP

Tabla 3.11. Contenidos de Humedad - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base		Subbase	
N° de Capsula	062	69z	179	87B
Peso Capsula	19,94	17,82	19,9	17,78
Peso Cápsula + Suelo Hum.	67,1	63,81	66,1	62,78
Peso Cápsula + Suelo Seco	66,65	63,35	65,65	62,35
Contenido de Humedad	0,96	1,01	0,98	0,96
Humedad Promedio	0,99		0,97	

3.3. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

Tabla 3.12. Resultados de Clasificación - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base	Subbase
Clasificación SUCS	GW	GW
Descripción	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino.	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino.
Clasificación AASHTO	A-1-a	A-1-a
Descripción	Fragmentos de piedra, grava y arena.	Fragmentos de piedra, grava y arena.

3.4. CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C 40-99)

Tabla 3.13. Resultados Contenido Orgánico - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base / Subbase
N° en Escala de Gardner	3
Descripción	Se considera aceptable para la fabricación de hormigón

3.5. DESGASTE A LA ABRASIÓN MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131)²

Tabla 3.14. Resultados de Desgaste a la Abrasión - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base / Subbase
N° de Revoluciones	500
Masa Inicial (A) (gr.)	5015
Masa Retenida (Tam. N° 12) (B) (gr.)	4440
Pasante Tamiz N° 12 (C) (gr.)	575
% de Desgaste	11,47 %

3.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C 127 / ASTM C 128)³

Tabla 3.15. Resultados Gravedad Específica Agregado Fino - Mina "La China"

	Identificación de Muestra	Base / Subbase
Datos Iniciales	Masa del Matraz (Mm) (gr.)	158,6
	Masa del Conjunto (Matraz, Agua y Muestra) (Mmw) (gr.)	971,6
	Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca (B) (gr.)	500
	Masa de la Muestra Seca (gr.) (A)	486,2
Datos Calculados	Masa del agua en matraz (Ma)	313
	Gravedad Especifica Seca (Ge)	2,6
	Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca (Ges)	2,67
	Gravedad Especifica Aparente (Gea)	2,81
	Porcentaje de Absorción (%)	4,41

² Anexo A1.1: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayo.

³ Anexos A1.2 y A1.3: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayos

Tabla 3.16. Resultados Gravedad Específica Agregado Fino - Mina "La China"

Identificación de Muestra		Base / Subbase
Datos Iniciales	Masa de la Muestra Seca (A) (gr.)	4975
	Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca (B) (gr.)	5020
	Masa de la muestra sumergida en agua (C) (gr.)	3175
Datos Calculados	Gravedad Especifica Seca (Ge)	2,70
	Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca (Ges)	2,72
	Gravedad Especifica Aparente (Gea)	2,76
	Porcentaje de Absorción (%)	0,90

3.7. EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)⁴

Tabla 3.17. Resultados Equivalente de Arena - Mina "La China"

Identificación de Muestra	Base / Subbase		
	1	2	3
Muestra N°	1	2	3
Lectura Inicial (A)	5	4,8	5,2
Lectura Final (B)	4	3,9	4,2
Porcent. Equiv. De Arena (%)	80,0	81,3	80,8
Equiv. De Arena Promedio (%)	80,7		

3.8. DURABILIDAD EN LOS AGREGADOS POR ACCIÓN DEL SULFATOS. (SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO) (ASTM C 88)⁵

Tabla 3.18. Resultados Desgaste a los Sulfatos - Mina "La China"

Identificación de Muestra				Base / Subbase				
Número del Tamiz				Masa de las fracciones antes del ensayo (B) (gr.)	Masa de las fracciones después del ensayo (A) (gr.)	% Retenido Parcial	% Pasa	% Desgaste Parcial
Pasa		Retiene						
pulg.	mm.	pulg.	mm.					
AGREGADO GRUESO								
		2 1/2 "	64	-	-	-	-	-
2 1/2 "	64	2 "	50,8	-	-	-	-	-
2 "	50,8	1 1/2 "	38,1	-	-	-	-	-
1 1/2 "	38,1	1 "	25,4	1000,3	974,5	97,4	2,6	2,5
1 "	25,4	3/4 "	19	500,1	477,9	95,6	4,4	4,2
3/4 "	19	1/2 "	12,7	676	645,4	95,5	4,5	4,3
1/2 "	12,7	3/8 "	9,51	329,3	299,9	91,1	8,9	8,1
3/8 "	9,51	N° 4	4,76	300,2	268,5	89,4	10,6	9,4
N° 4	4,76			-	-	-	-	-
% Desgaste Total a los Sulfatos - Agregado Grueso (%)								28,5
AGREGADO FINO								
		N° 4	4,76	-	-	-	-	-
N° 4	4,76	N° 8	2,38	100,2	84,2	84,0	16,0	13,4
N° 8	2,38	N° 16	1,19	100	84,2	84,2	15,8	13,3
N° 16	1,19	N° 30	0,595	100,1	86,6	86,5	13,5	11,7
N° 30	0,595	N° 50	0,297	100,2	86,5	86,3	13,7	11,8

⁴ Anexo A1.4: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayo

⁵ Anexo A1.5: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayo

N° 50	0,297			-	-	-	-	-
% Desgaste Total a los Sulfatos - Agregado Fino (%)								50,22

3.9. DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y DE PARTÍCULAS FRIABLES (DESMENUZABLES) EN LOS AGREGADOS (ASTM C 142-97).⁶

Tabla 3.19. Resultados Terrones de Arcilla - Mina "La China"

Identificación de Muestra				Base / Subbase				
Número del Tamiz				Masa de las fracciones antes del ensayo (B) (gr.)	Masa de las fracciones después del ensayo (A) (gr.)	% Retenido Parcial	% Desgaste Arcilla	% Parcial
Pasa		Retiene						
pulg.	mm.	pulg.	mm.					
AGREGADO GRUESO								
		2 1/2 "	64	-	-	-	-	-
2 1/2 "	64	2 "	50,8	-	-	-	-	-
2 "	50,8	1 1/2 "	38,1	-	-	-	-	-
1 1/2 "	38,1	1 "	25,4	2500	4985	99,7	0,6	0,6
1 "	25,4	3/4 "	19	2500				
3/4 "	19	1/2 "	12,7	1000	1995	99,8	0,5	0,5
1/2 "	12,7	3/8 "	9,51	1000				
3/8 "	9,51	N° 4	4,76	1000	996,6	99,7	0,3	0,3
N° 4	4,76			-	-	-	-	-
% Total Terrones - Agregado Grueso (%)								1,4
AGREGADO FINO								
		N° 4	4,76	-	-	-	-	-
N° 4	4,76	N° 8	2,38	200	197,5	98,8	1,3	1,2
N° 8	2,38	N° 16	1,19					
N° 16	1,19	N° 30	0,595	-	-	-	-	-
N° 30	0,595	N° 50	0,297	-	-	-	-	-
N° 50	0,297			-	-	-	-	-
% Total Terrones - Agregado Fino (%)								1,2

⁶ Anexo A1.6: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayo.

3.10. PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557)

- Proctor Modificado - Base Clase 1b

Tabla 3.20. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Base Clase 1b - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	110		220		330		440	
	%	2		4		6		8	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10955		10992		11068		11058	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4742		4779		4855		4845	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,230		2,248		2,284		2,279	
Identificación de Capsula		2222	L11	MS126	MS113	T1	T6	MS41	MS10v
Peso Capsula (gr.)		25,68	29,72	79,89	81,47	80,63	79,93	25,68	29,7
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		75,71	106,42	344,69	291,79	286,79	235,15	133,12	125,58
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		74,19	104,09	334,08	282,14	276,97	224,56	124,22	118,18
Contenido de Humedad (%)		3,13	3,13	4,17	4,81	5,00	7,32	9,03	8,36
Humedad Promedio (%)		3,13		4,49		6,16		8,70	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,163		2,151		2,151		2,097	

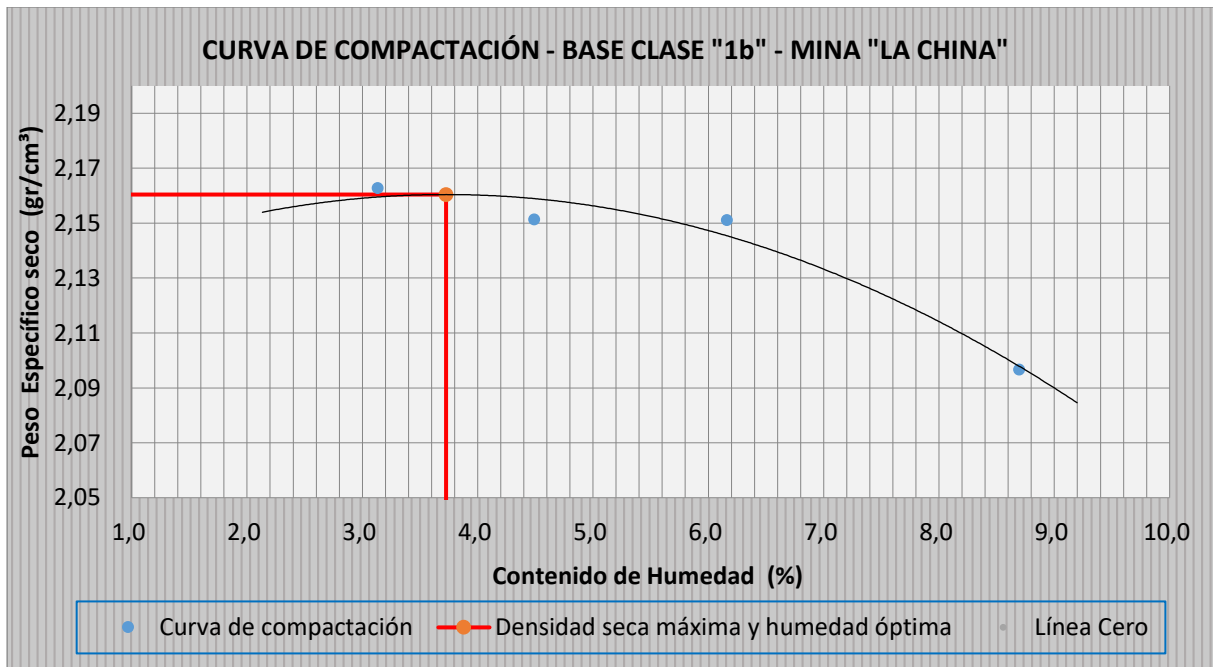


Figura 3.10. Curva de Compactación Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.21. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 1b. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0025x^2 + 0,0189x + 2,1253$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,160	Humedad Óptima (%)	3,73

• Proctor Modificado - Base Clase 2

Tabla 3.22. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Base Clase 2 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	0		110		220		330	
	%	0		2		4		6	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10716		10918		11009		11006	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4503		4705		4796		4793	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,118		2,213		2,256		2,254	
Identificación de Capsula		2222	L11	2B	MS41	MS113	MS126	35	H29
Peso Capsula (gr.)		48,77	32,15	79,95	80,63	79,91	81,36	23,07	32,64
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		213,24	227,07	375,64	322,45	309,45	284,31	182,01	160,77
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		211,81	225,81	367,69	316,86	299,98	276,85	172,5	153,84
Contenido de Humedad (%)		0,88	0,65	2,76	2,37	4,30	3,82	6,36	5,72
Humedad Promedio (%)		0,76		2,56		4,06		6,04	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,102		2,158		2,168		2,126	

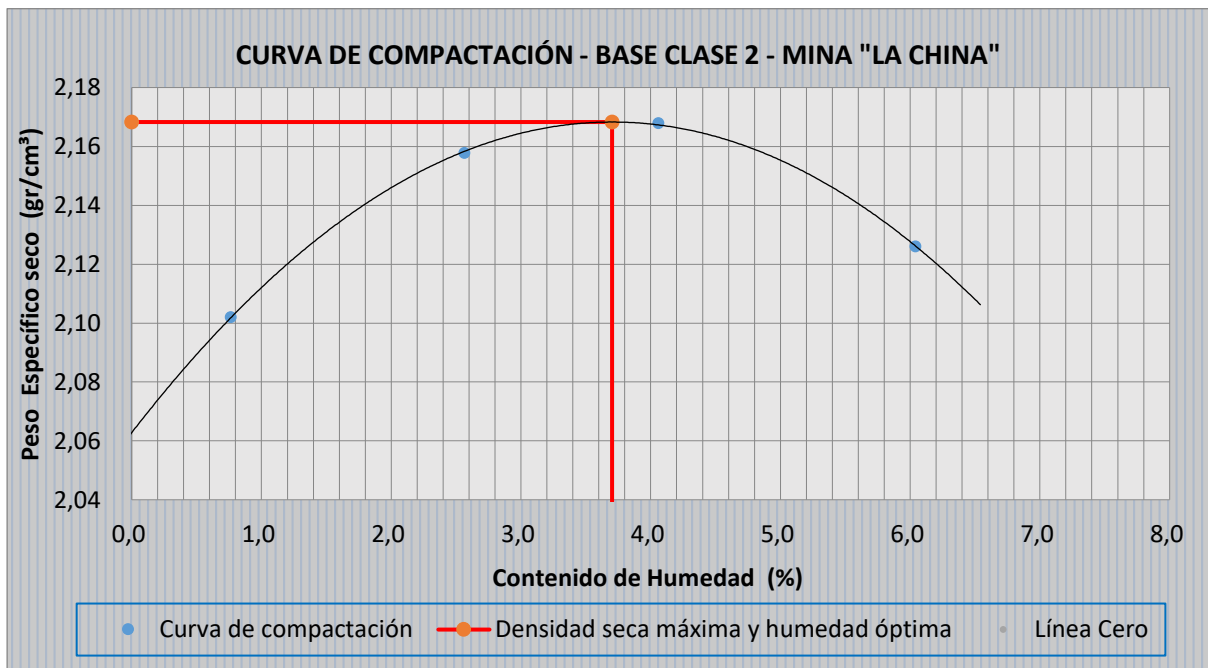


Figura 3.11. Curva de Compactación Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.23. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 2. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0077x^2 + 0,0570x + 2,0628$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,168	Humedad Óptima (%)	3,70

- Proctor Modificado - Base Clase 3

Tabla 3.24. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Base Clase 3 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	110		220		330		440	
	%	2		4		6		8	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10720		10820		10878		10868	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4507		4607		4665		4655	
Volumen Molde (cm ³)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm ³)		2,120		2,167		2,194		2,190	
Identificación de Capsula		T1	T6	MS16	C614	16	MS5	LP1	374
Peso Capsula (gr.)		46,58	22,41	25,68	29,71	34,33	50,43	22,33	65,95
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		192,3	171,49	101,59	119,55	155,5	150,57	173,54	268,78
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		189,59	168,26	98,94	116,22	148,24	144,93	163,76	254,63
Contenido de Humedad (%)		1,89	2,21	3,62	3,85	6,37	5,97	6,92	7,50
Humedad Promedio (%)		2,05		3,73		6,17		7,21	
Densidad Seca (gr. / cm ³)		2,077		2,089		2,067		2,042	

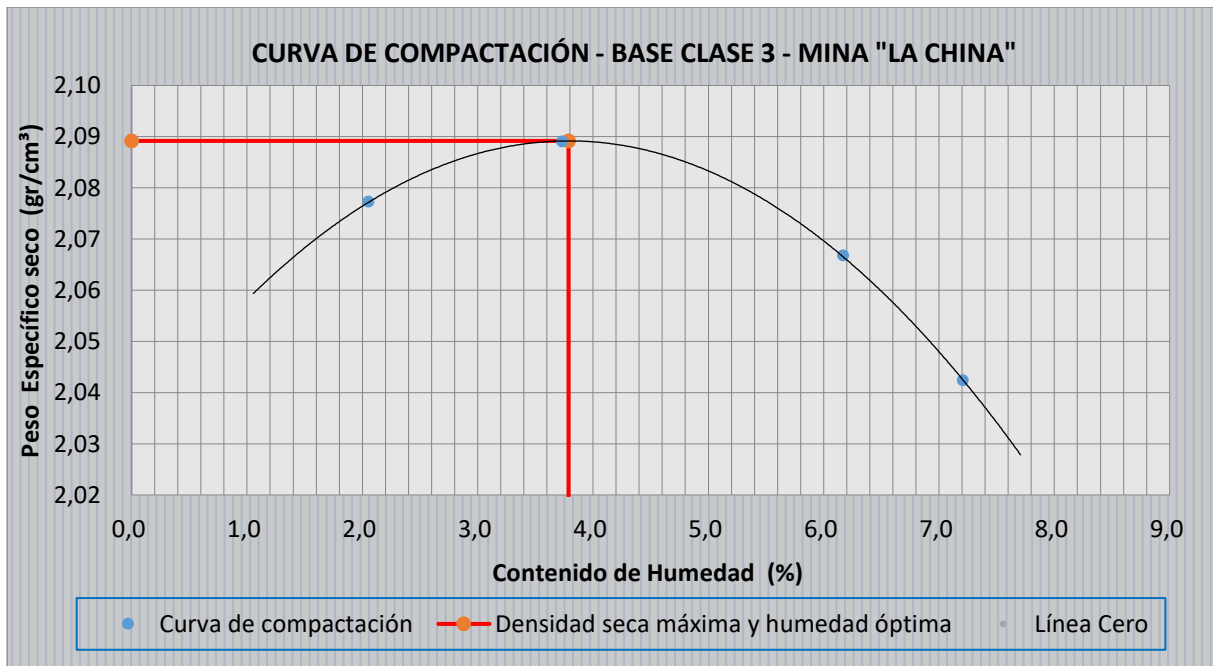


Figura 3.12. Curva de Compactación Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.25. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 3. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0040x^2 + 0,0302x + 2,0319$			
Densidad Seca Max. (gr/cm ³)	2,089	Humedad Óptima (%)	3,79

• Proctor Modificado - Base Clase 4

Tabla 3.26. Resultados Proctor Modificado - Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Base Clase 4 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	110		220		330		440	
	%	2		4		6		8	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10946		11024		11038		10953	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4733		4811		4825		4740	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,226		2,263		2,270		2,230	
Identificación de Capsula		MS10	MS41	S121	MS10c	35	X8	MS16	C614
Peso Capsula (gr.)		79,94	80,63	48,13	68,43	32,65	23,07	32,14	48,78
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		285,02	326,78	183,52	221,1	187,85	201,37	211,13	226,47
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		279,26	320,44	177,72	214,41	180,51	192,41	197,15	212,09
Contenido de Humedad (%)		2,89	2,64	4,48	4,58	4,96	5,29	8,47	8,81
Humedad Promedio (%)		2,77		4,53		5,13		8,64	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,166		2,165		2,159		2,052	

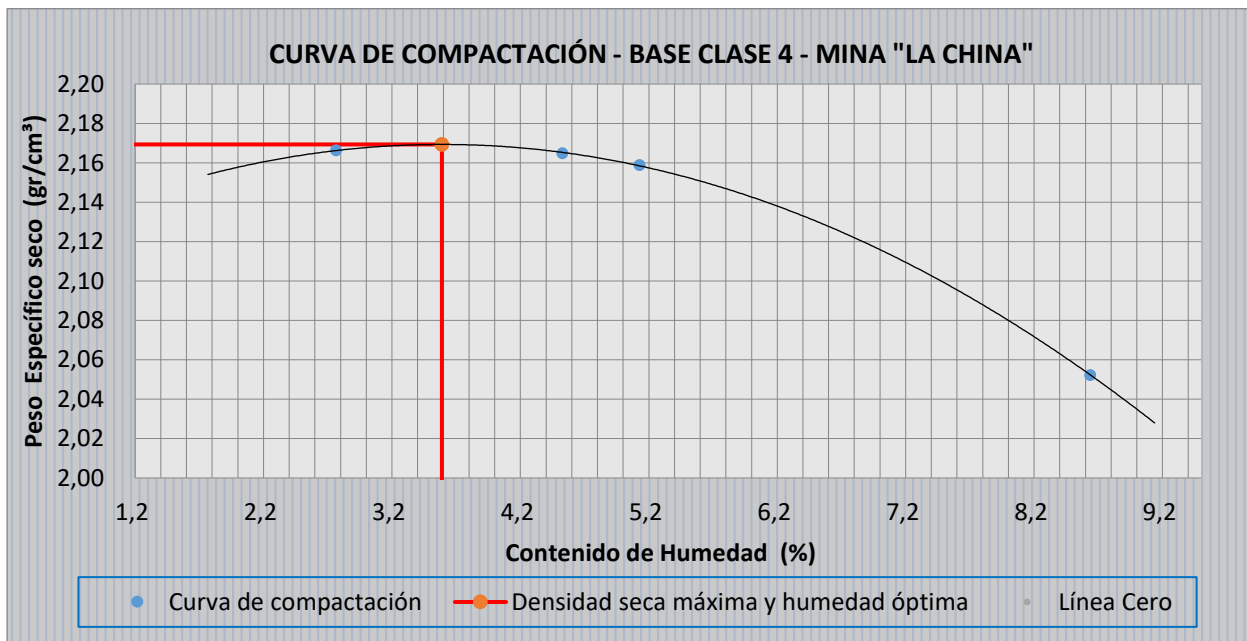


Figura 3.13. Curva de Compactación Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.27. Resultados Finales Proctor Modificado Base Clase 4. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0046x^2 + 0,0330x + 2,1102$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,089	Humedad Óptima (%)	3,59

• Proctor Modificado - Subbase Clase 1

Tabla 3.28. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Subbase Clase 1 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	110		220		330		440	
	%	2		4		6		8	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10910		11015		11091		11063	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4697		4802		4878		4850	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,209		2,259		2,294		2,281	
Identificación de Capsula		MS10	MS41	S121	MS10c	35	X8	MS16	C614
Peso Capsula (gr.)		34,33	50,43	65,79	32,63	48,28	33,29	48,79	48,34
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		209,91	186,47	228,1	190,15	164,32	202,47	217,2	231,77
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		206,06	183,39	221,7	183,88	157,93	192,42	204,81	219,22
Contenido de Humedad (%)		2,24	2,32	4,10	4,15	5,83	6,32	7,94	7,34
Humedad Promedio (%)		2,28		4,13		6,07		7,64	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,160		2,169		2,163		2,119	

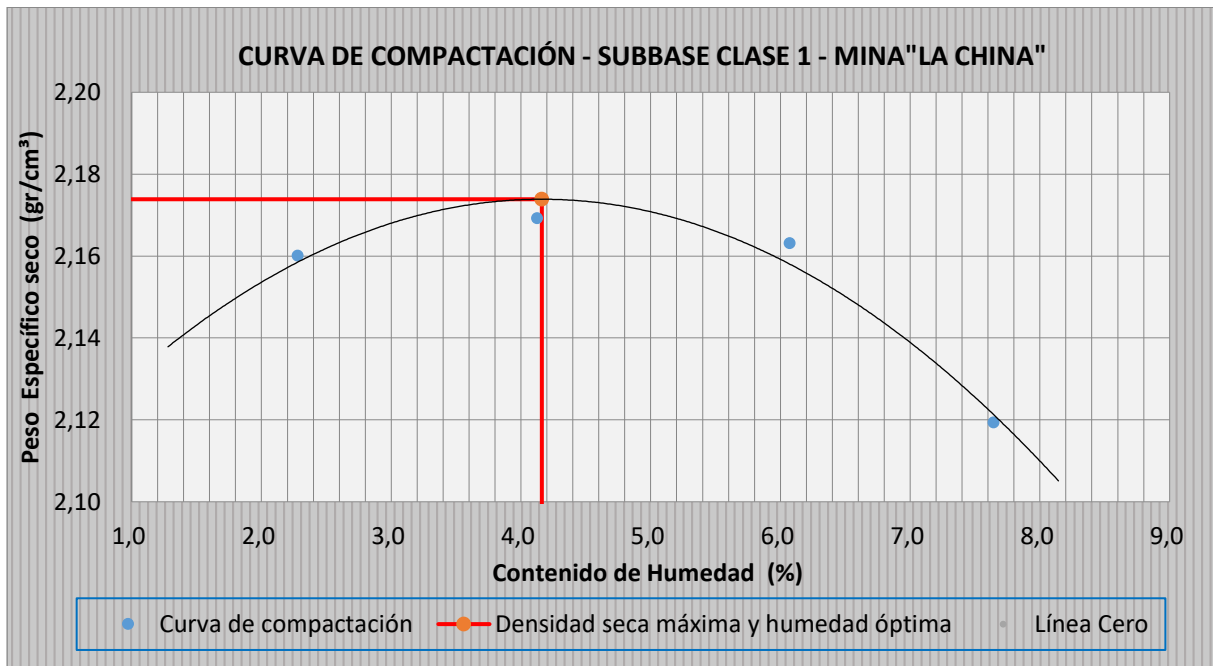


Figura 3.14. Curva de Compactación Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.29. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 1. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0043x^2 + 0,0361x + 2,0988$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,174	Humedad Óptima (%)	4,16

• Proctor Modificado - Subbase Clase 2

Tabla 3.30. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Subbase Clase 2 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	110		220		330		440	
	%	2		4		6		8	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		11074		11123		11122		10973	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4861		4910		4909		4760	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,286		2,310		2,309		2,239	
Identificación de Capsula		H29	MS14	374	2B	MS14	16	H1	MS5
Peso Capsula (gr.)		22,43	23,09	33,29	22,37	33,22	65,95	32,29	68,65
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		142,45	196,11	159,03	119,92	245,27	320,4	208,11	240
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		136,83	188,99	152,06	114,46	230,78	303,04	203,49	235,65
Contenido de Humedad (%)		4,91	4,29	5,87	5,93	7,33	7,32	2,70	2,60
Humedad Promedio (%)		4,60		5,90		7,33		2,65	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,186		2,181		2,151		2,181	

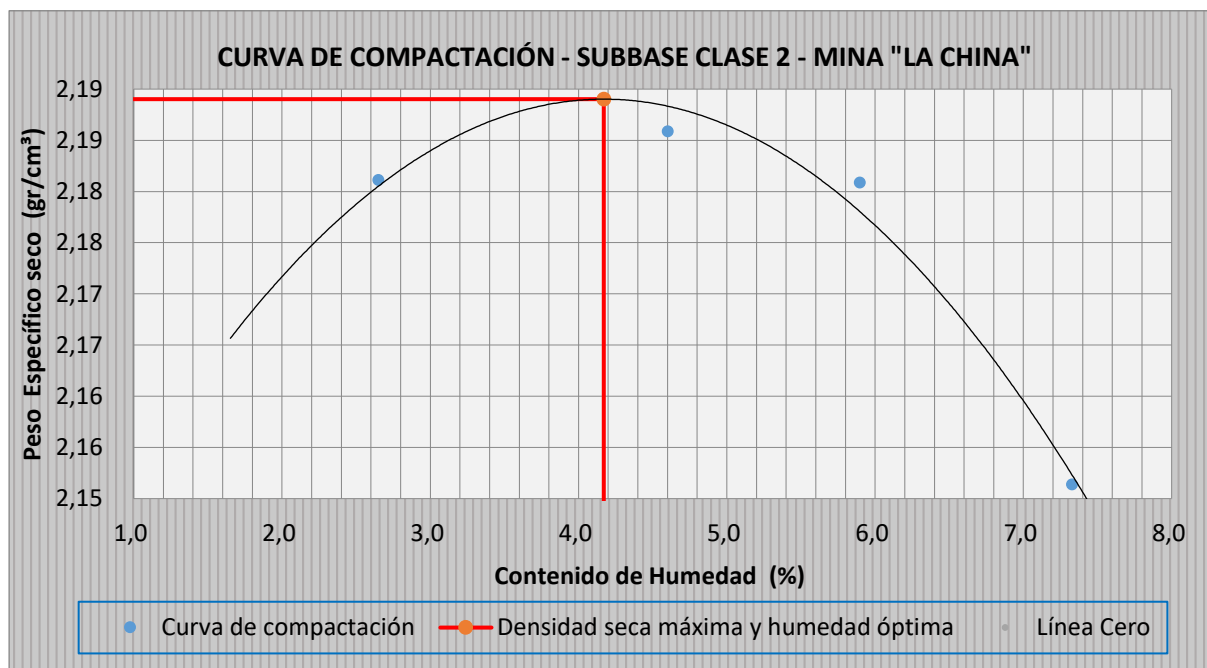


Figura 3.15. Curva de Compactación Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.31. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 2. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0010x^2 + 0,0087x + 2,1653$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,189	Humedad Óptima (%)	4,17

• Proctor Modificado - Subbase Clase 3

Tabla 3.32. Resultados Proctor Modificado - Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo.

Proctor Modificado - Subbase Clase 3 - Mina "La China"									
Tipo de Método	C	Peso Martillo (lb)	10	Altura de Caída (pulg.)	18	Peso Inicial Muestra (gr.)	5000	N° Golpes (Capa)	56
N° de Muestra		1		2		3		4	
Humedad	cc	0		110		220		330	
	%	0		2		4		6	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)		10580		10838		10928		10918	
Peso Molde (gr.)		6213		6213		6213		6213	
Peso Suelo Húmedo (gr.)		4367		4625		4715		4705	
Volumen Molde (cm3)		2126		2126		2126		2126	
Densidad Húmeda (gr./cm3)		2,054		2,175		2,218		2,213	
Identificación de Capsula		MS10	MS41	S121	MS10c	35	X8	MS16	C614
Peso Capsula (gr.)		65,95	22,49	25,68	29,71	34,33	50,45	22,37	46,58
Peso Cap. + Suelo Húmedo (gr.)		187,35	152,94	95,05	107,71	150,56	172,69	131,83	154,51
Peso Cap. + Suelo Seco (gr.)		186,5	152,04	93,08	105,59	145,96	167,03	125,28	147,54
Contenido de Humedad (%)		0,71	0,69	2,92	2,79	4,12	4,86	6,36	6,90
Humedad Promedio (%)		0,70		2,86		4,49		6,63	
Densidad Seca (gr. / cm3)		2,040		2,115		2,123		2,075	

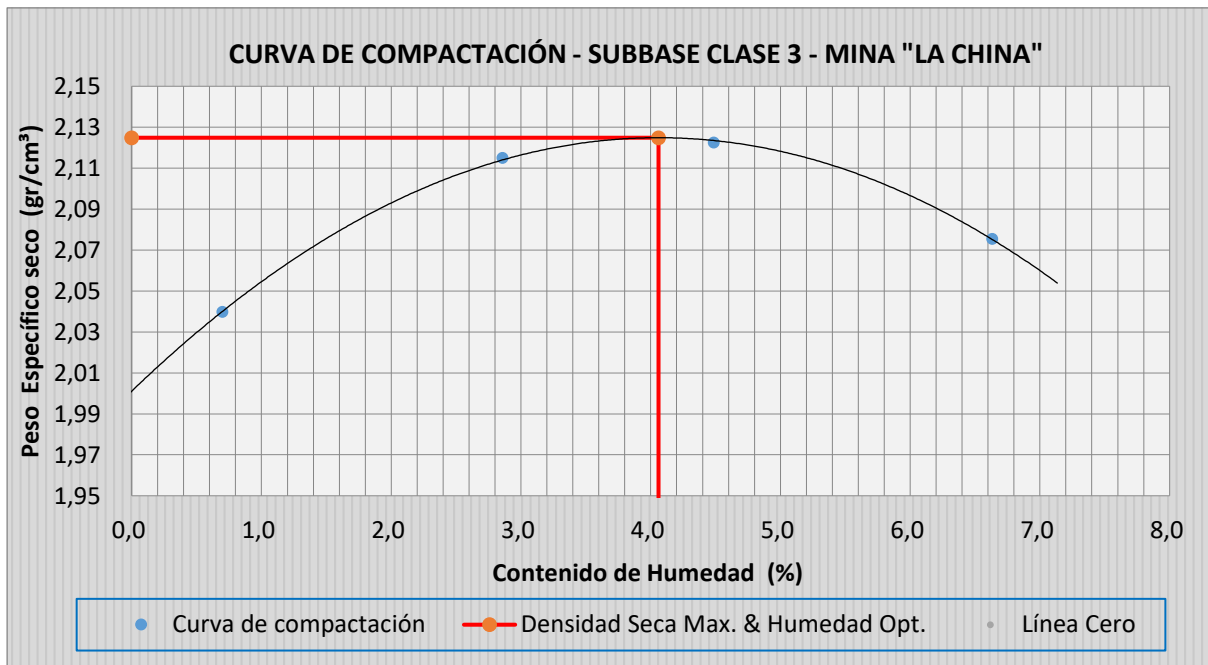


Figura 3.16. Curva de Compactación Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo

Tabla 3.33. Resultados Finales Proctor Modificado Subbase Clase 3. Mina "La China". Quevedo.

Ecuación de Grafica: $y = 0,0066x^2 + 0,0568x + 2,0041$			
Densidad Seca Max. (gr/cm3)	2,125	Humedad Óptima (%)	4,06

3.11. ÍNDICE DE CALIFORNIA “CBR” DE LABORATORIO (ASTM D 1883) ⁷

- Índice de California - Base Clase 1b

Tabla 3.34. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 1b - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	M9		M6		M4	
Volumen de Molde (cm ³)	2.125		2.125		2.125	
N° de Golpes	56		26		12	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.861		12.544		12.490	
Peso Molde (gr.)	7.070		8.054		8.072	
Peso Suelo (gr.)	4.791		4.490		4.418	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.255		2.113		2.079	
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	MS01	CG23	MS12	MS2	H28	H13
Peso Capsula (gr.)	33,06	30,99	70,00	65,79	31,49	32,94
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	125,65	134,90	231,30	192,90	169,83	234,24
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	122,02	131,09	224,50	188,64	164,65	226,64
Contenido de Humedad W (%)	4,08	3,81	4,40	3,47	3,89	3,92
Contenido de Humedad Promedio W (%)	3,94		3,93		3,91	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.169		2.033		2.001	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	MS01	CG23	MS09	MS33	MS211	12XX
Peso Capsula (gr.)	33,28	31,79	33,73	34,03	22,57	49,41
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	192,06	235,08	177,08	194,47	221,26	232,28
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	180,47	221,01	164,25	180,17	199,93	211,37
Contenido de Humedad W (%)	7,87	7,44	9,83	9,79	12,03	12,91
Contenido de Humedad Promedio W (%)	7,65		9,81		12,47	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	12.115		12.824		12.782	
Peso Molde (gr.)	7.070		8.054		8.072	
Agua Absorbida (gr.)	254		280		292	
Agua Absorbida (%)	5,30		6,24		6,61	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.160					
Humedad Óptima (%)	3,73					

Tabla 3.35. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 1b - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		M9			M6			M4		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066
27/2/19	2	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
28/2/19	3	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
1/3/19	4	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
2/3/19	5	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109

⁷ Anexo A1.7: Ecuaciones de Cálculo necesarias para Ensayo.

Tabla 3.36. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 1b - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		M9			M6			M4		
Tiempo (min)	Penetración (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	104	31,58		95	28,85		38	11,54	
1,00	0,050	208	63,17		195	59,22		75	22,78	
1,50	0,075	339	102,95		329	99,92		128	38,87	
2,00	0,100	475	144,26	205,00	464	140,92	195,00	173	52,54	105,00
4,00	0,200	1.130	343,18	405,00	1.095	332,55	372,50	397	120,57	200,00
6,00	0,300	1.834	556,99		1.577	478,93		712	216,23	
8,00	0,400	2.500	759,25		2.071	628,96		1.023	310,69	
10,00	0,500	3.166	961,51		2.500	759,25		1.364	414,25	

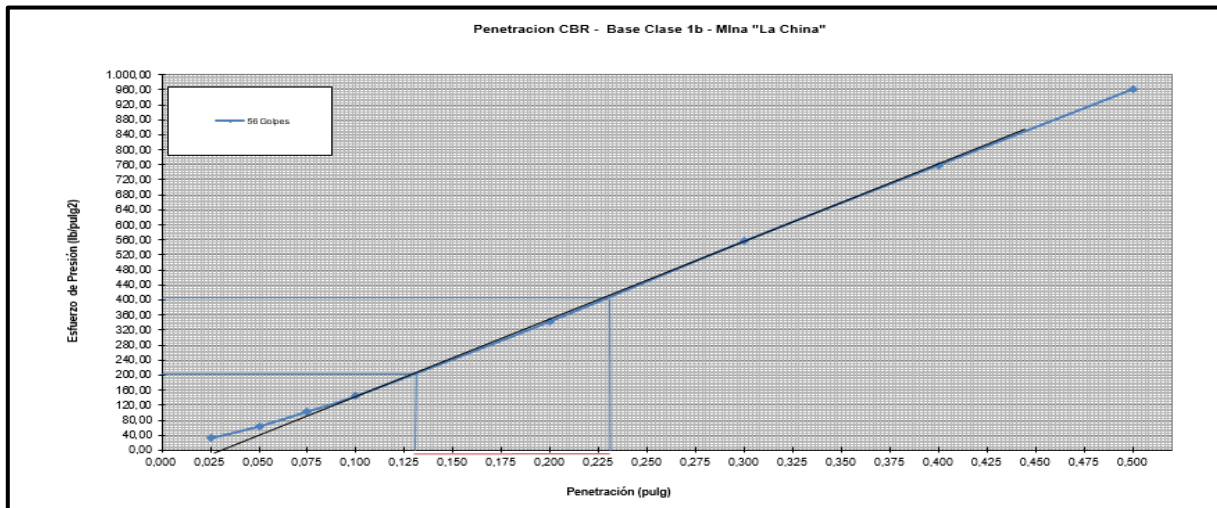


Figura 3.17. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"

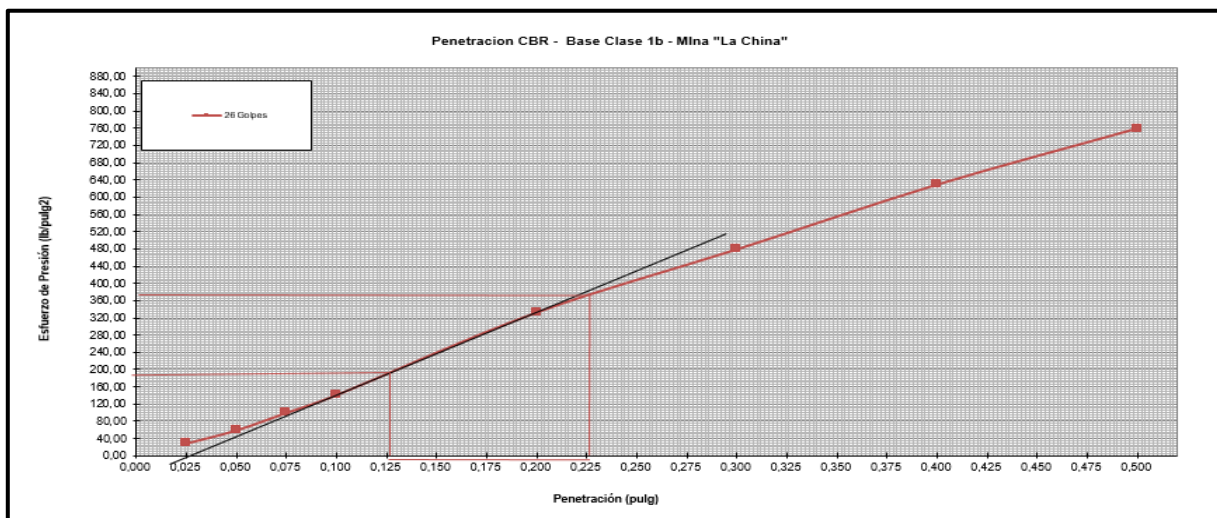


Figura 3.18. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"

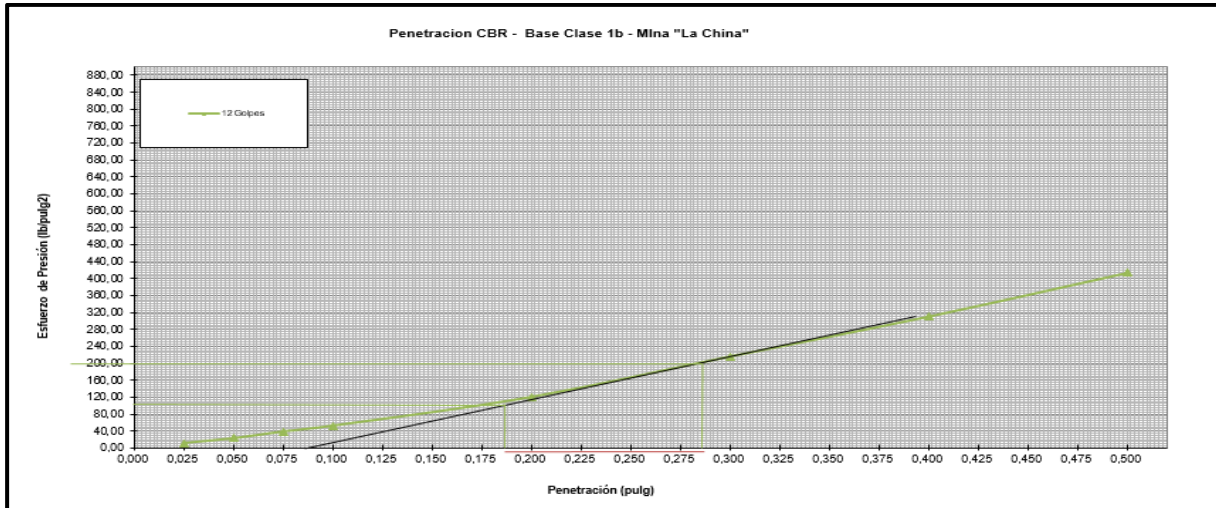


Figura 3.19. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 1b - Mina "La China"

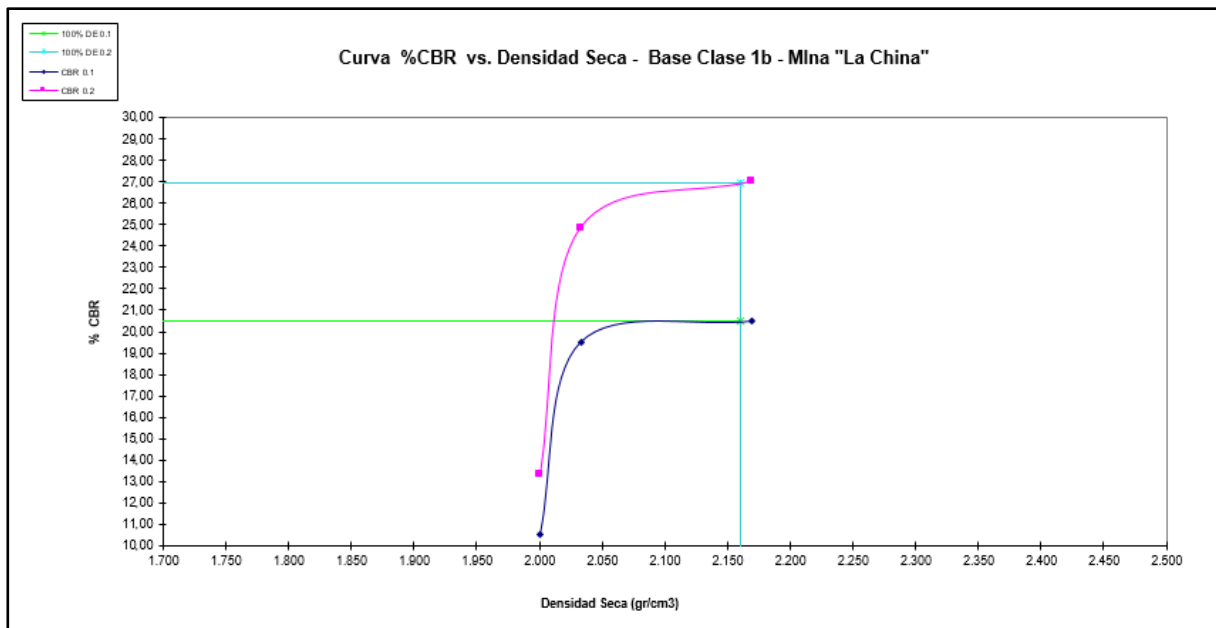


Figura 3.20. Grafica %CBR vs Densidad Seca - Base Clase 1b - Mina "La China"

Tabla 3.37. Resultados Finales CBR Base Clase 1 - Mina "La China"

Valores CBR				
Nº Golpes	Presión (lb/in2)	% CBR 0.1"	Presión (lb/in2)	% CBR 0.2"
56	205,00	20,50	405,00	27,00
25	195,00	19,50	372,50	24,83
12	105,00	10,50	200,00	13,33
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		20,50		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		26,95		

• Índice de California - Base Clase 2

Tabla 3.38. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 2 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	30	29	10			
Volumen de Molde (cm ³)	2.125	2.125	2.125			
N° de Golpes	56	26	12			
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.725	10.930	10.747			
Peso Molde (gr.)	6.942	6.286	6.245			
Peso Suelo (gr.)	4.783	4.644	4.502			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.251	2.185	2.119			
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	H7	H9	H12	H27	MS14	PU2
Peso Capsula (gr.)	28,98	29,97	31,28	32,05	68,44	22,66
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	136,46	147,61	160,22	160,67	199,09	152,91
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	133,16	142,91	155,80	156,03	194,72	148,13
Contenido de Humedad W (%)	3,17	4,16	3,55	3,74	3,46	3,81
Contenido de Humedad Promedio W (%)	3,66		3,65		3,64	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.171		2.109		2.044	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	H29	H22	H21	H13	H7	H9
Peso Capsula (gr.)	32,17	30,97	33,06	32,94	28,97	29,95
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	271,56	257,53	208,56	260,57	257,03	256,73
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	257,89	244,56	192,78	240,12	236,63	236,84
Contenido de Humedad W (%)	6,06	6,07	9,88	9,87	9,82	9,61
Contenido de Humedad Promedio W (%)	6,06		9,88		9,72	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.952	11.202	11.053			
Peso Molde (gr.)	6.942	6.286	6.245			
Agua Absorbida (gr.)	227	272	306			
Agua Absorbida (%)	4,75	5,86	6,80			
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.168					
Humedad Óptima (%)	3,70					

Tabla 3.39. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 2 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		30			29			10		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109	-7	-0,007	-0,153
27/2/19	2	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109	-7	-0,007	-0,153
28/2/19	3	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109	-7	-0,007	-0,153
1/3/19	4	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109	-7	-0,007	-0,153
2/3/19	5	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109	-7	-0,007	-0,153

Tabla 3.40. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 2 - Mina "La China"

Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		30			29			10		
Tiempo (min)	Penetrac. (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	135	41,00		94	28,55		63	19,13	
1,00	0,050	255	77,44		190	57,70		123	37,36	
1,50	0,075	408	123,91		297	90,20		192	58,31	
2,00	0,100	587	178,27	285,00	410	124,52	220,00	266	80,78	115,00
4,00	0,200	1.268	385,09	570,00	1.057	321,01	440,00	583	177,06	235,00
6,00	0,300	2.200	668,14		1.702	516,90		930	282,44	
8,00	0,400	3.088	937,83		2.428	737,38		1.315	399,37	
10,00	0,500	3.676	1.116,4		3.094	939,65		1.709	519,02	

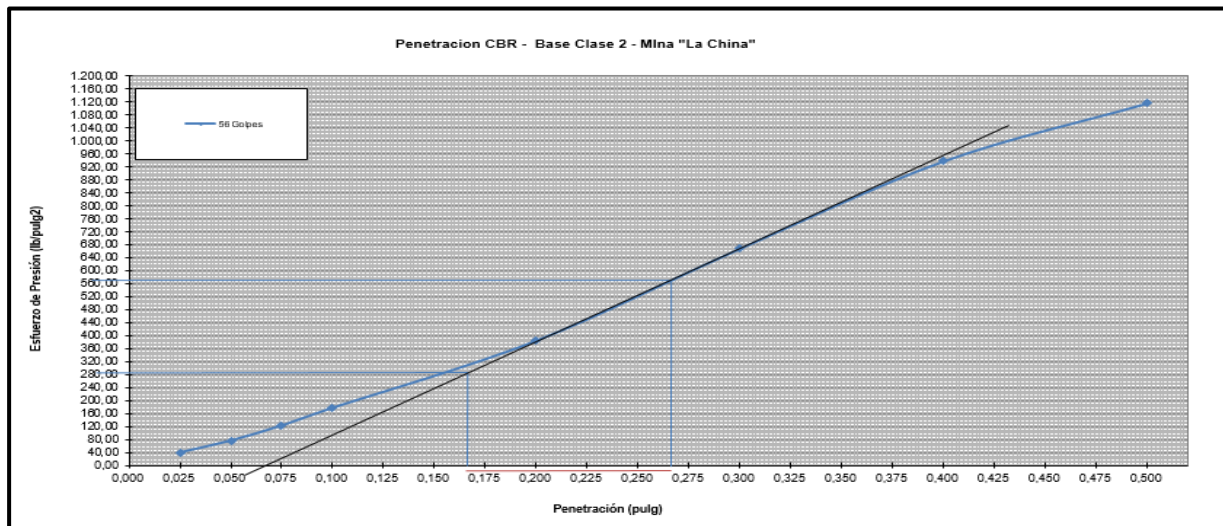


Figura 3.21. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"

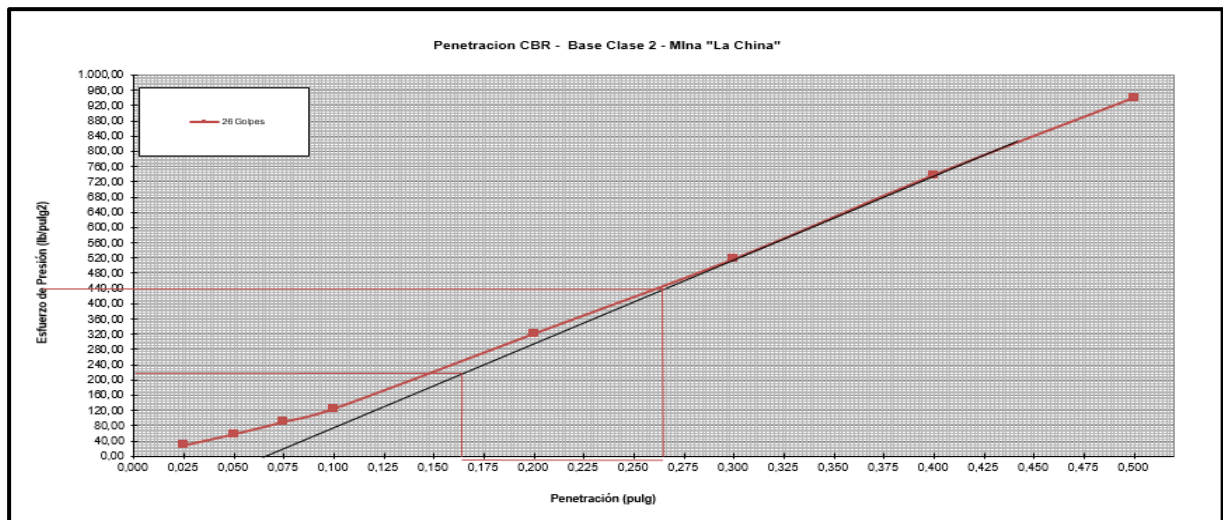


Figura 3.22. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"

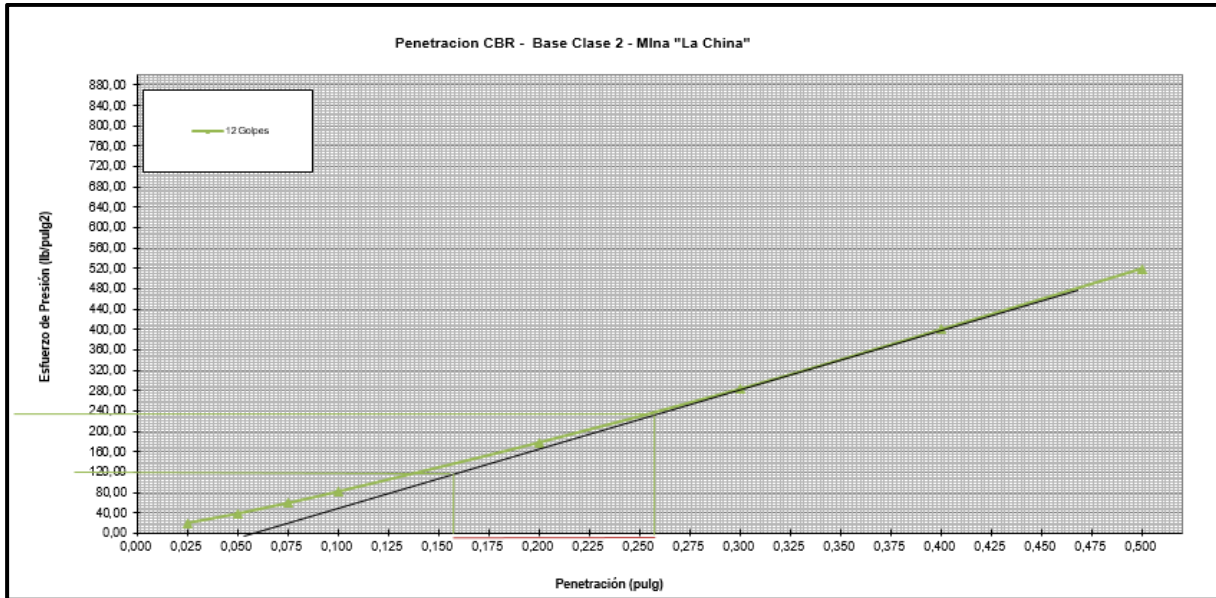


Figura 3.23. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 2 - Mina "La China"

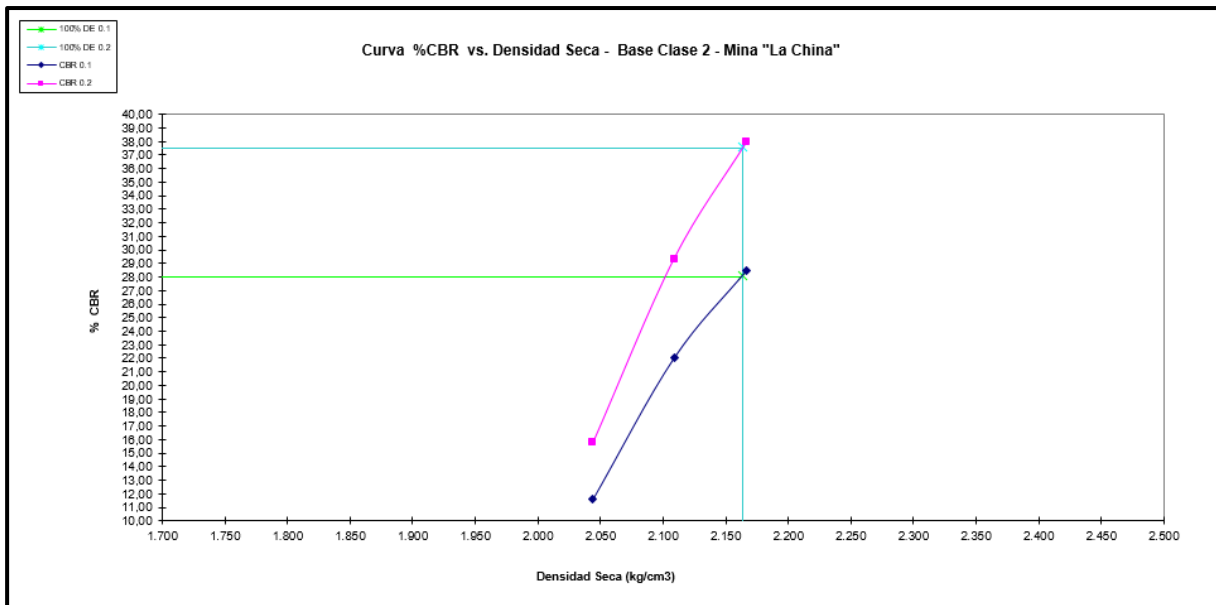


Figura 3.24. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Base Clase 2 - Mina "La China"

Tabla 3.41. Resultados Finales CBR Base Clase 2 - Mina "La China"

Valores CBR				
Nº Golpes	Presión (lb/in ²)	% CBR 0.1"	Presión (lb/in ²)	% CBR 0.2"
56	285,00	28,50	570,00	38,00
25	220,00	22,00	440,00	29,33
12	115,00	11,50	235,00	15,67
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		28,00		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		37,50		

• Índice de California - Base Clase 3

Tabla 3.42. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 3 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	22		Z5		9	
Volumen de Molde (cm ³)	2.125		2.125		2.125	
N° de Golpes	56		26		12	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	10.810		11.165		10.516	
Peso Molde (gr.)	6.207		6.654		6.061	
Peso Suelo (gr.)	4.603		4.511		4.455	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.166		2.123		2.096	
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	MS09	CG23	MS214	MS01	MS33	18
Peso Capsula (gr.)	33,73	31,81	22,59	33,32	34,04	22,82
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	195,30	181,57	148,61	194,32	192,22	158,37
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	189,91	176,63	144,07	188,51	186,48	153,44
Contenido de Humedad W (%)	3,45	3,41	3,74	3,74	3,77	3,77
Contenido de Humedad Promedio W (%)	3,43		3,74		3,77	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.094		2.046		2.020	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	13	MS34	MS26	PU2	MS16	CG5
Peso Capsula (gr.)	23,10	33,44	33,00	22,64	34,37	49,64
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	191,07	219,43	247,73	183,00	202,13	220,30
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	177,71	204,25	229,73	169,56	186,14	203,58
Contenido de Humedad W (%)	8,64	8,89	9,15	9,15	10,54	10,86
Contenido de Humedad Promedio W (%)	8,76		9,15		10,70	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.031		11.444		10.833	
Peso Molde (gr.)	6.207		6.654		6.061	
Agua Absorbida (gr.)	221		279		317	
Agua Absorbida (%)	4,80		6,18		7,12	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.089					
Humedad Óptima (%)	3,79					

Tabla 3.43. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 3 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		22			Z5			9		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-7	-0,007	-0,153
27/2/19	2	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-7	-0,007	-0,153
28/2/19	3	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-7	-0,007	-0,153
1/3/19	4	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-7	-0,007	-0,153
2/3/19	5	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-7	-0,007	-0,153

Tabla 3.44. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 3 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		22			25			9		
Tiempo (min)	Penetr ac. (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	140	42,52		126	38,27		99	30,07	
1,00	0,050	270	82,00		258	78,35		193	58,61	
1,50	0,075	440	133,63		413	125,43		295	89,59	
2,00	0,100	580	176,15	197,50	560	170,07	195,00	400	121,48	165,00
4,00	0,200	1.230	373,55	397,50	1.226	372,34	397,50	843	256,02	335,00
6,00	0,300	1.870	567,92		1.863	565,79		1.398	424,57	
8,00	0,400	2.460	747,10		2.430	737,99		1.804	547,87	
10,00	0,500	2.802	850,97		2.766	840,03		2.136	648,70	

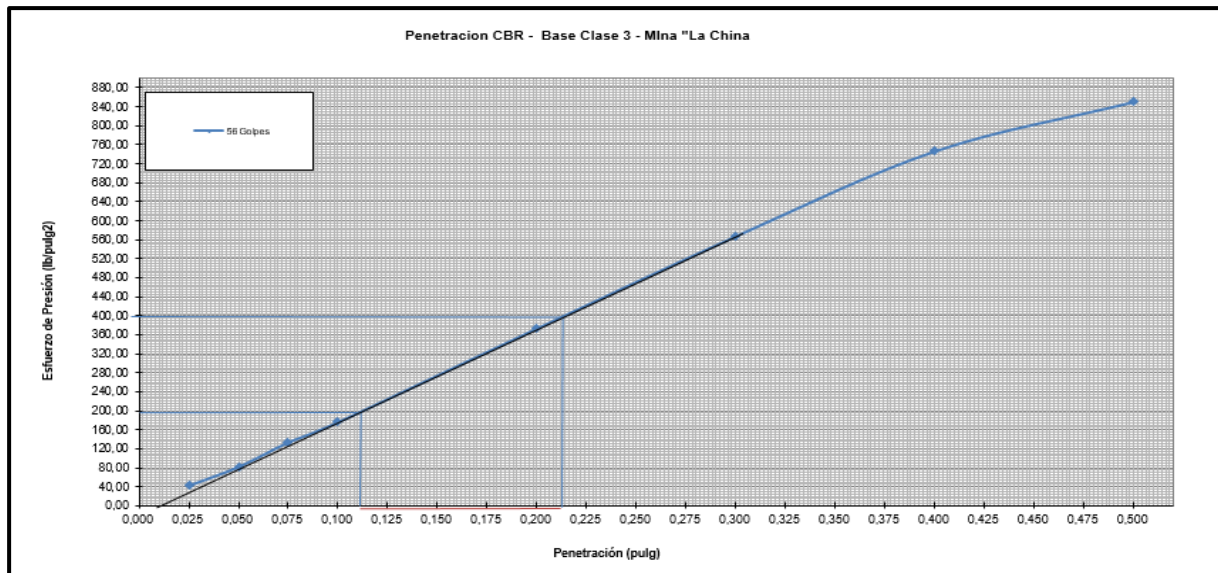


Figura 3.25. Grafica Penetración 56 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"

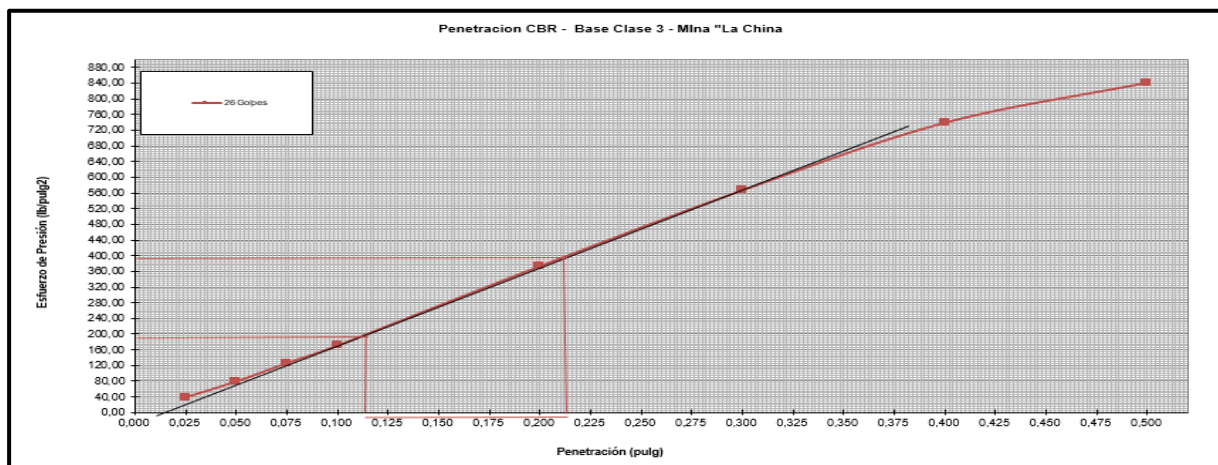


Figura 3.26. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"

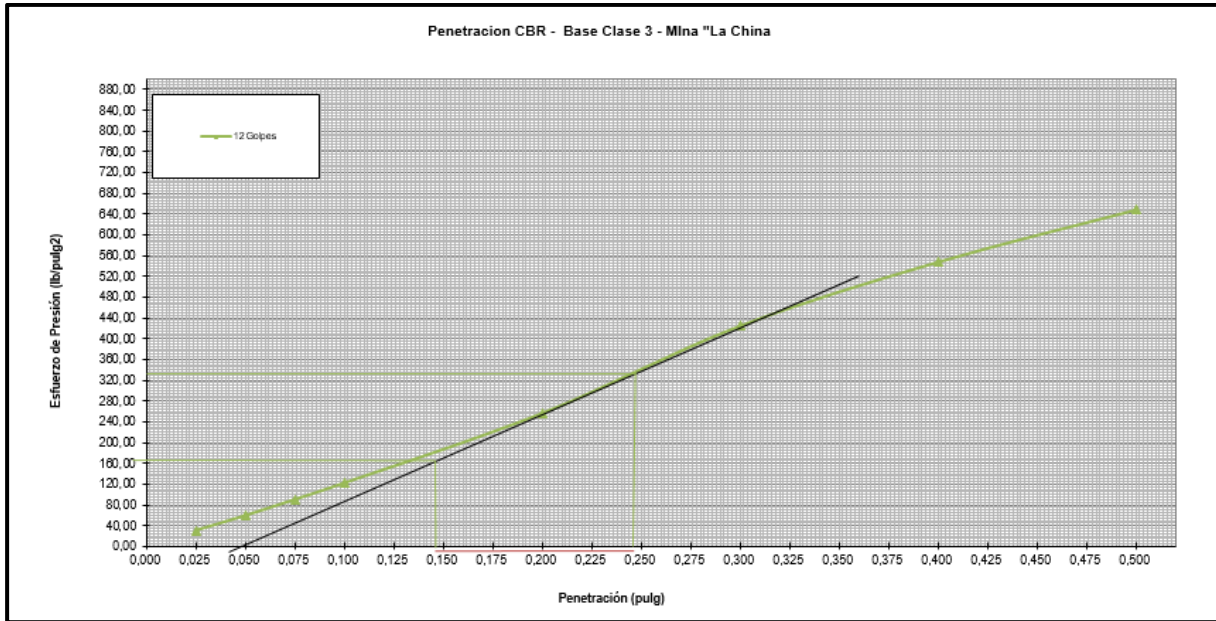


Figura 3.27. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 3 - Mina "La China"

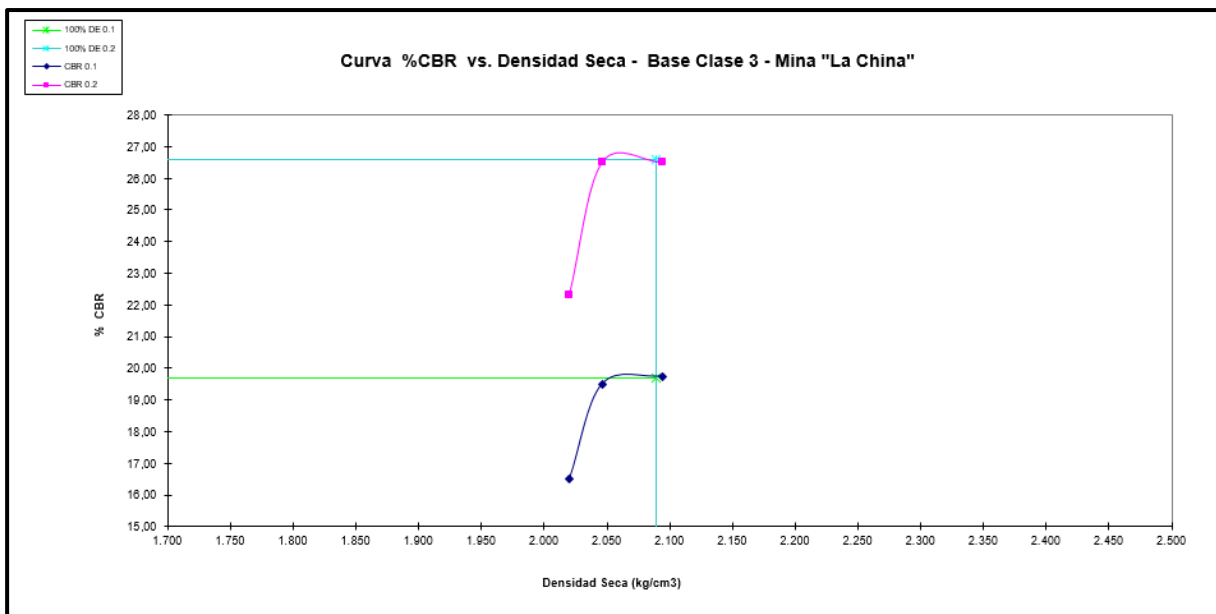


Figura 3.28. Grafica %CBR vs Densidad Seca - Base Clase 3- Mina "La China"

Tabla 3.45. Resultados Finales CBR Base Clase 3 - Mina "La China"

Valores CBR				
N° Golpes	Presión (lb/in ²)	% CBR 0.1"	Presión (lb/in ²)	% CBR 0.2"
56	197,50	19,75	397,50	26,50
25	195,00	19,50	397,50	26,50
12	165,00	16,50	335,00	22,33
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		19,70		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		26,60		

• Índice de California - Base Clase 4

Tabla 3.46. Ensayo de Saturación - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 4 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	18		Z4		2	
Volumen de Molde (cm ³)	2.125		2.125		2.125	
N° de Golpes	56		26		12	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	10.817		11.335		10.898	
Peso Molde (gr.)	5.970		6.679		6.349	
Peso Suelo (gr.)	4.847		4.656		4.549	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.281		2.191		2.141	
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	CG14	MS06	4	MS23	MS26	28ZA
Peso Capsula (gr.)	32,44	33,20	32,68	34,08	32,99	49,79
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	187,45	167,45	157,73	175,93	137,66	180,75
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	182,16	163,01	153,63	171,32	134,58	176,82
Contenido de Humedad W (%)	3,53	3,42	3,39	3,36	3,03	3,09
Contenido de Humedad Promedio W (%)	3,48		3,37		3,06	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.204		2.120		2.077	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	1Q	MS05	PU1	C614	374	MS24
Peso Capsula (gr.)	49,36	33,00	22,92	50,41	22,41	32,64
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	285,06	280,69	234,68	256,09	255,92	193,37
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	269,08	264,64	217,01	238,91	235,79	179,24
Contenido de Humedad W (%)	7,27	6,93	9,10	9,11	9,43	9,64
Contenido de Humedad Promedio W (%)	7,10		9,11		9,54	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.047		11.559		11.171	
Peso Molde (gr.)	5.970		6.679		6.349	
Agua Absorbida (gr.)	230		224		273	
Agua Absorbida (%)	4,75		4,81		6,00	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.169					
Humedad Óptima (%)	3,59					

Tabla 3.47. Ensayo de Esponjamiento - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 4 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		18			Z4			2		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-2	-0,002	-0,044	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
27/2/19	2	-2	-0,002	-0,044	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
28/2/19	3	-2	-0,002	-0,044	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
1/3/19	4	-2	-0,002	-0,044	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
2/3/19	5	-2	-0,002	-0,044	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109

Tabla 3.48. Ensayo de Penetración - CBR Base Clase 4 - Mina "La China"

CBR- Base Clase 4 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		18			Z4			2		
Tiempo (min)	Penetración ac. (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	95	28,85		92	27,94		77	23,38	
1,00	0,050	204	61,95		202	61,35		137	41,61	
1,50	0,075	366	111,15		340	103,26		230	69,85	
2,00	0,100	581	176,45	260,00	477	144,86	235,00	307	93,24	150,00
4,00	0,200	1.360	413,03	520,00	1.116	338,93	470,00	726	220,49	295,00
6,00	0,300	2.205	669,66		1.873	568,83		1.207	366,57	
8,00	0,400	3.090	938,43		2.324	705,80		1.703	517,20	
10,00	0,500	3.975	1.207,2		2.775	842,77		2.270	689,40	

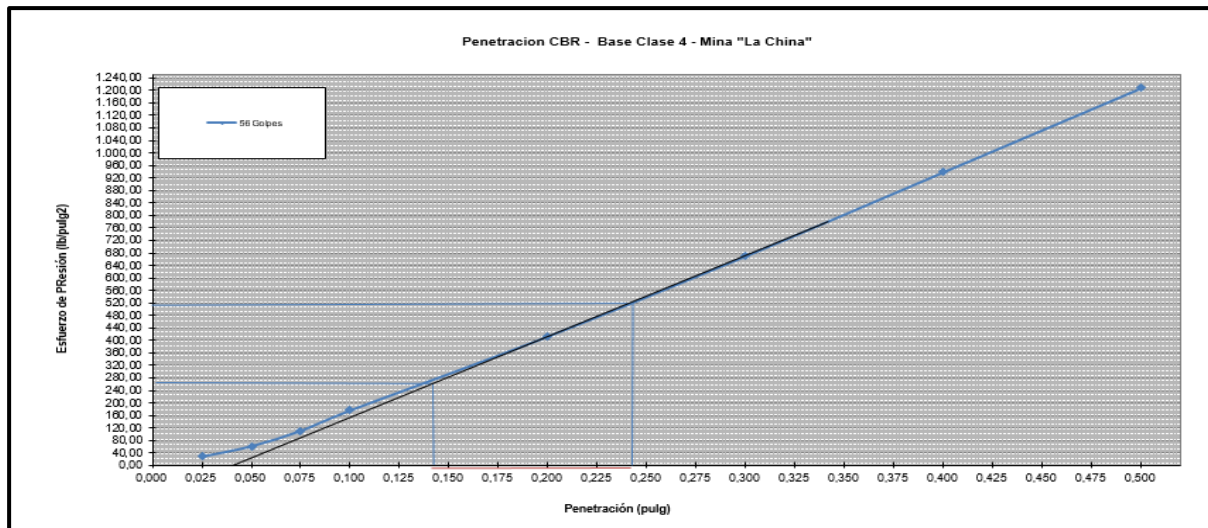


Figura 3.29. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"

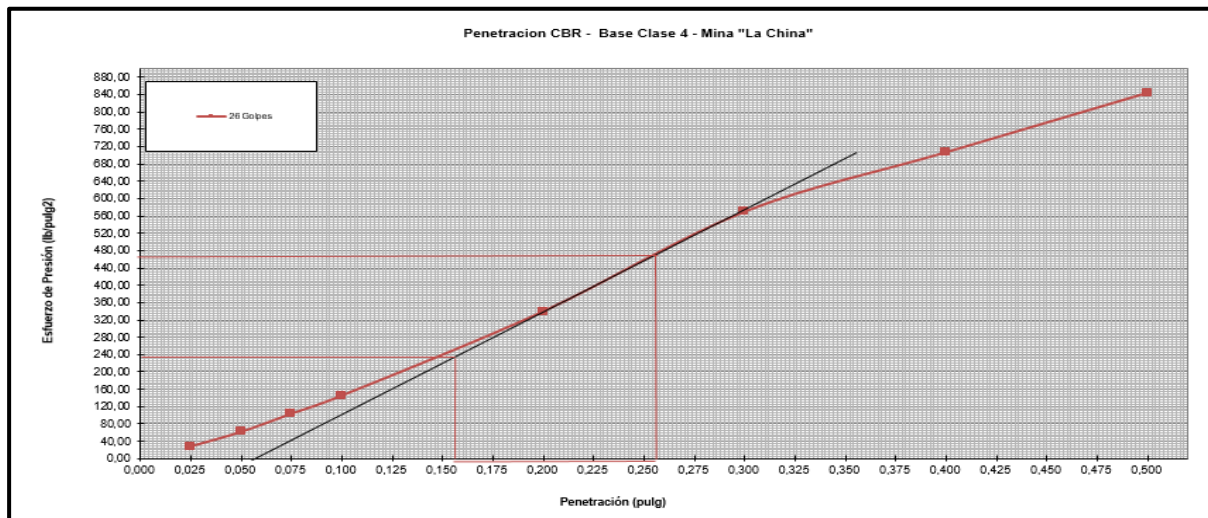


Figura 3.30. Grafica Penetración 25 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"

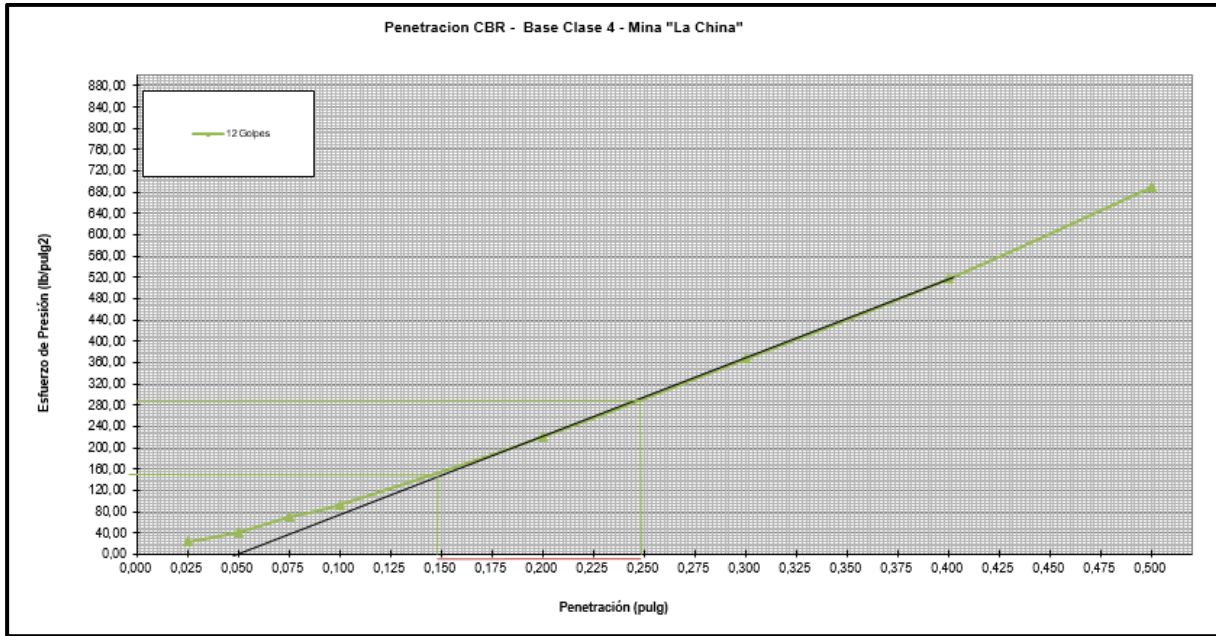


Figura 3.31. Grafica Penetración 12 Golpes - Base Clase 4 - Mina "La China"

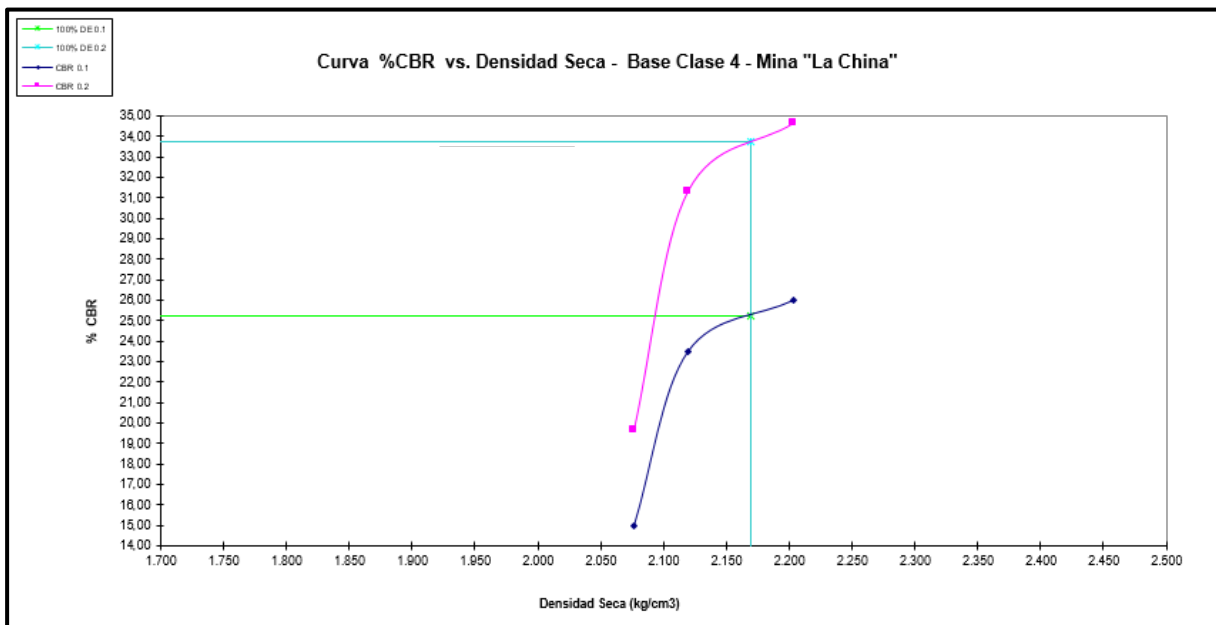


Figura 3.32. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Base Clase 4 - Mina "La China"

Tabla 3.49. Resultados Finales CBR Base Clase 4 - Mina "La China"

Valores CBR				
N° Golpes	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,1"	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,2"
56	260,00	26,00	520,00	34,67
25	235,00	23,50	470,00	31,33
12	150,00	15,00	295,00	19,67
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		25,25		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		33,75		

• Índice de California - Subbase Clase 1

Tabla 3.50. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 1 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	M9	M6	29			
Volumen de Molde (cm ³)	2.125	2.125	2.125			
N° de Golpes	56	25	12			
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.951	12.721	10.863			
Peso Molde (gr.)	7.071	8.055	6.287			
Peso Suelo (gr.)	4.880	4.666	4.576			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.296	2.196	2.153			
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	M210	H1	H27	MS5	S121	35
Peso Capsula (gr.)	65,77	33,21	63,33	65,93	48,31	48,77
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	244,83	247,24	194,37	240,96	160,26	193,61
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	237,85	238,55	188,97	233,59	155,73	187,13
Contenido de Humedad W (%)	4,06	4,23	4,30	4,40	4,22	4,68
Contenido de Humedad Promedio W (%)	4,14		4,35		4,45	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.205		2.104		2.062	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	S64	4	CG5	CG23	MS01	P11
Peso Capsula (gr.)	48,66	32,63	49,65	31,84	33,30	48,12
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	204,30	165,44	180,33	166,46	169,77	215,44
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	193,02	155,71	170,24	155,92	156,54	200,08
Contenido de Humedad W (%)	7,81	7,91	8,37	8,49	10,74	10,11
Contenido de Humedad Promedio W (%)	7,86		8,43		10,42	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	12.178		12.961		11.128	
Peso Molde (gr.)	7.071		8.055		6.287	
Agua Absorbida (gr.)	227		240		265	
Agua Absorbida (%)	4,65		5,14		5,79	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.174					
Humedad Óptima (%)	4,16					

Tabla 3.51. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 1 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		M9			M6			29,00		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-2	-0,002	-0,044	-4	-0,004	-0,087	-5	-0,005	-0,109
27/2/19	2	-2	-0,002	-0,044	-4	-0,004	-0,087	-5	-0,005	-0,109
28/2/19	3	-2	-0,002	-0,044	-4	-0,004	-0,087	-5	-0,005	-0,109
1/3/19	4	-2	-0,002	-0,044	-4	-0,004	-0,087	-5	-0,005	-0,109
2/3/19	5	-2	-0,002	-0,044	-4	-0,004	-0,087	-5	-0,005	-0,109

Tabla 3.52. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 1 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		M9			M6			29		
Tiempo (min)	Penetr ac. (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in2)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in2)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in2)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	200	60,74		180	54,67		124	37,66	
1,00	0,050	280	85,04		250	75,93		238	72,28	
1,50	0,075	340	103,26		320	97,18		323	98,10	
2,00	0,100	485	147,29	227,50	450	136,67	220,00	445	135,15	155,00
4,00	0,200	1.015	308,26	457,50	1.005	305,22	445,00	950	288,52	305,00
6,00	0,300	1.718	521,76		1.430	434,29		1.425	432,77	
8,00	0,400	2.437	740,12		2.132	647,49		1.913	580,98	
10,00	0,500	2.941	893,18		2.772	841,86		2.455	745,58	

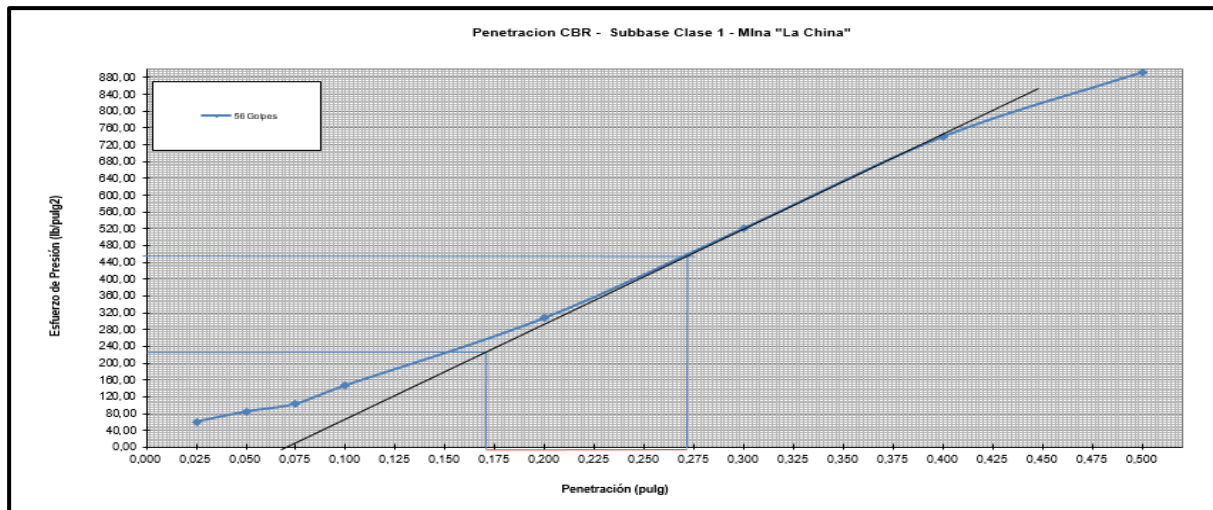


Figura 3.33. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"

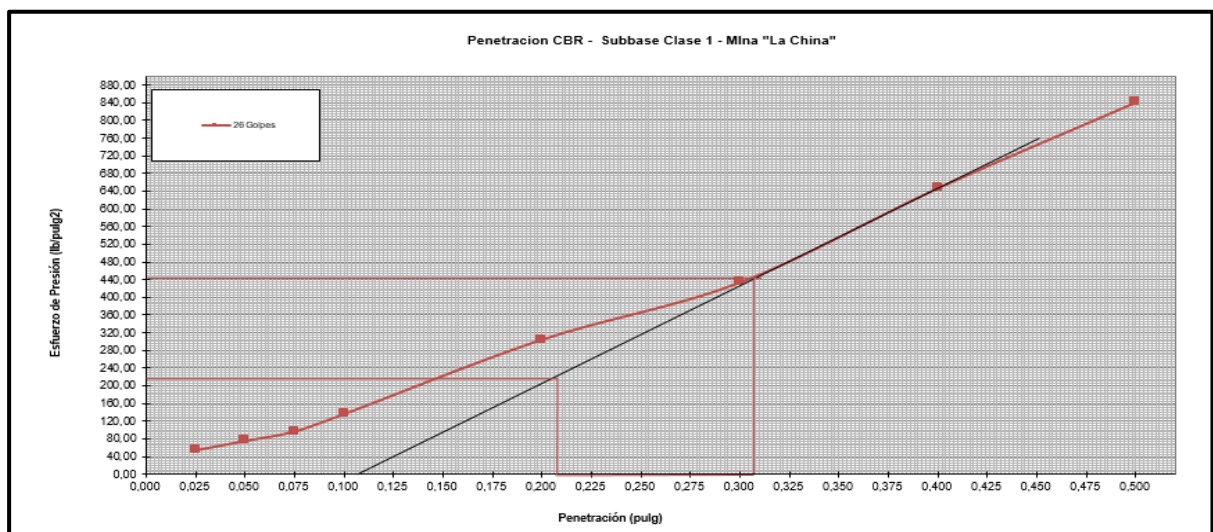


Figura 3.34. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"

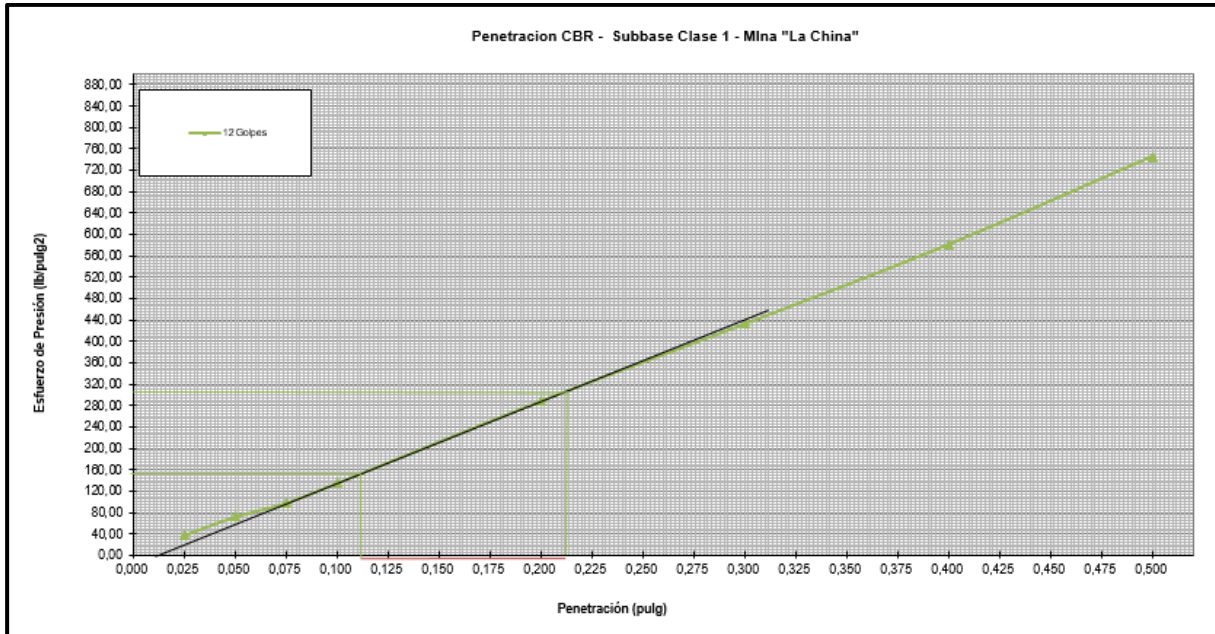


Figura 3.35. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 1 - Mina "La China"

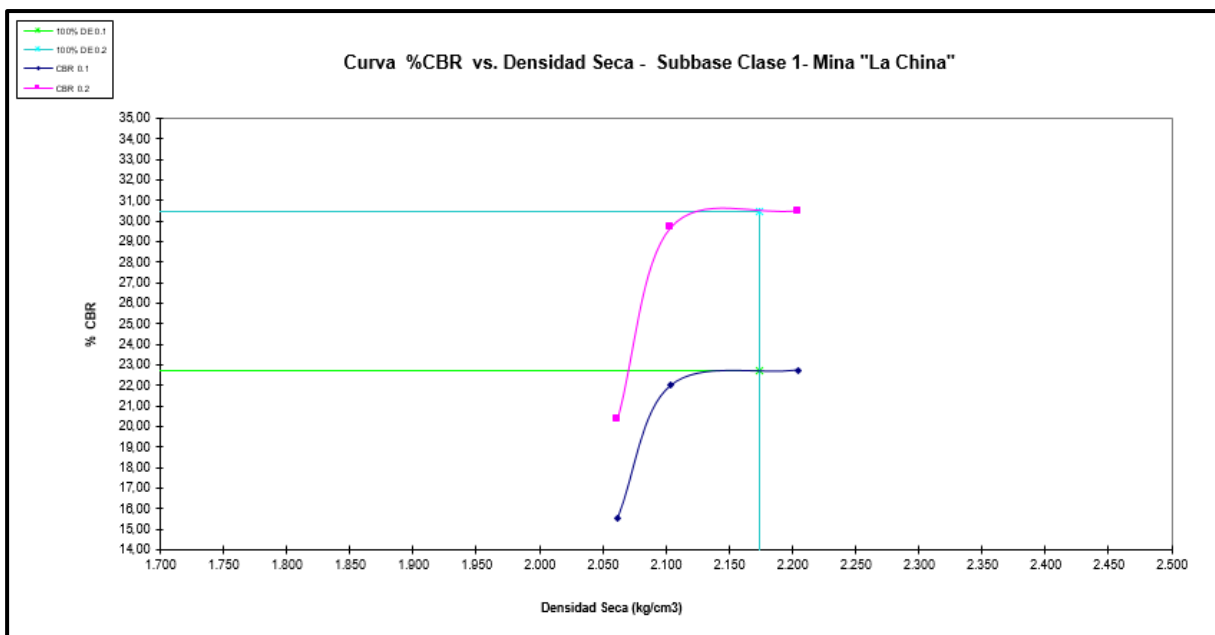


Figura 3.36. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 1 - Mina "La China"

Tabla 3.53. Resultados Finales CBR Subbase Clase 1 - Mina "La China"

Valores CBR				
Nº Golpes	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,1"	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,2"
56	227,50	22,75	457,50	30,50
25	220,00	22,00	445,00	29,67
12	155,00	15,50	305,00	20,33
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		22,75		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		30,50		

• Índice de California - Subbase Clase 2

Tabla 3.54. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"

CBR - Subbase Clase 2 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	M4	28	Z5			
Volumen de Molde (cm ³)	2.125	2.125	2.125			
N° de Golpes	56	26	12			
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	13.004	10.417	11.082			
Peso Molde (gr.)	8.073	5.843	6.654			
Peso Suelo (gr.)	4.931	4.574	4.428			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.320	2.152	2.084			
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	28ZA	18	MS23	MS33	CG14	MS26
Peso Capsula (gr.)	49,77	22,91	34,16	34,08	32,42	33,03
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	181,59	152,72	147,79	165,12	183,74	176,90
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	176,81	146,21	142,89	159,27	176,44	170,45
Contenido de Humedad W (%)	3,76	5,28	4,51	4,67	5,07	4,69
Contenido de Humedad Promedio W (%)	4,52		4,59		4,88	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.220		2.058		1.987	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	MS33	28ZA	H3	H19	H8	35
Peso Capsula (gr.)	34,04	49,77	29,87	30,04	32,15	48,80
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	232,08	213,09	292,82	281,99	215,12	210,15
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	215,29	202,60	270,36	261,15	198,01	195,11
Contenido de Humedad W (%)	9,26	6,86	9,34	9,02	10,32	10,28
Contenido de Humedad Promedio W (%)	8,06		9,18		10,30	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	13.243		10.671		11.348	
Peso Molde (gr.)	8.073		5.843		6.654	
Agua Absorbida (gr.)	239		254		266	
Agua Absorbida (%)	4,85		5,55		6,01	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.189					
Humedad Óptima (%)	4,17					

Tabla 3.55. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"

CBR - Subbase Clase 2 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		M4			28			Z5		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-2	-0,002	-0,044
27/2/19	2	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-3	-0,003	-0,066
28/2/19	3	-3	-0,003	-0,066	-4	-0,004	-0,087	-6	-0,006	-0,131
1/3/19	4	-3	-0,003	-0,066	-4	-0,004	-0,087	-6	-0,006	-0,131
2/3/19	5	-3	-0,003	-0,066	-4	-0,004	-0,087	-6	-0,006	-0,131

Tabla 3.56. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"

CBR - Subbase Clase 2 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		M4			28			Z5		
Tiempo (min)	Penetración (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	129	39,18		117	35,53		101	30,67	
1,00	0,050	220	66,81		201	61,04		162	49,20	
1,50	0,075	370	112,37		328	99,61		279	84,73	
2,00	0,100	517	157,01	280,00	464	140,92	265,00	410	124,52	160,00
4,00	0,200	1.387	421,23	490,00	1.303	395,72	465,00	941	285,78	320,00
6,00	0,300	1.814	550,91		1.748	530,87		1.420	431,25	
8,00	0,400	2.199	667,84		2.190	665,10		1.819	552,43	
10,00	0,500	2.500	759,25		2.500	759,25		2.200	668,14	

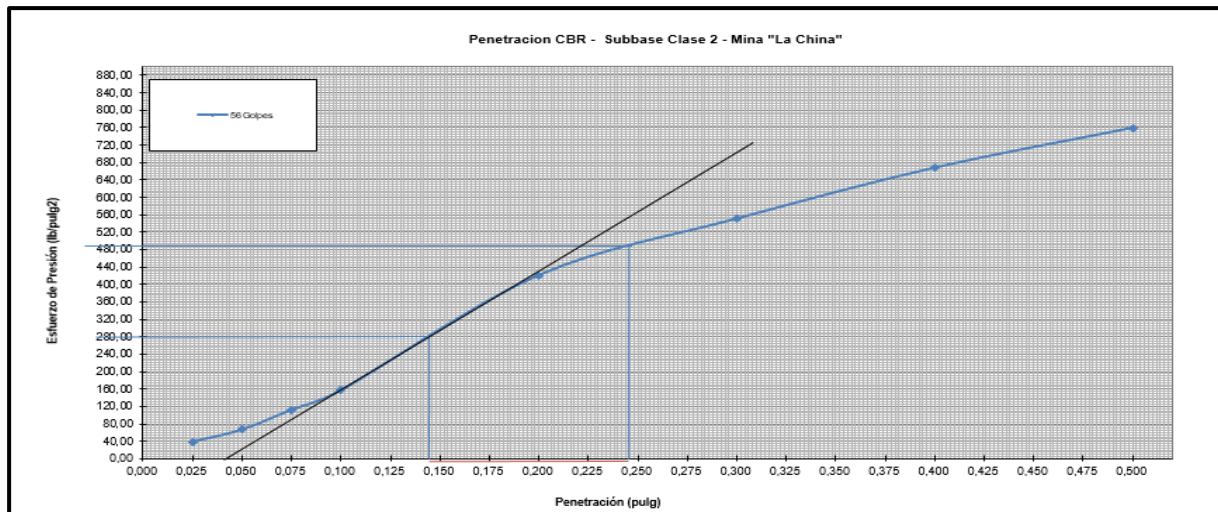


Figura 3.37. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"

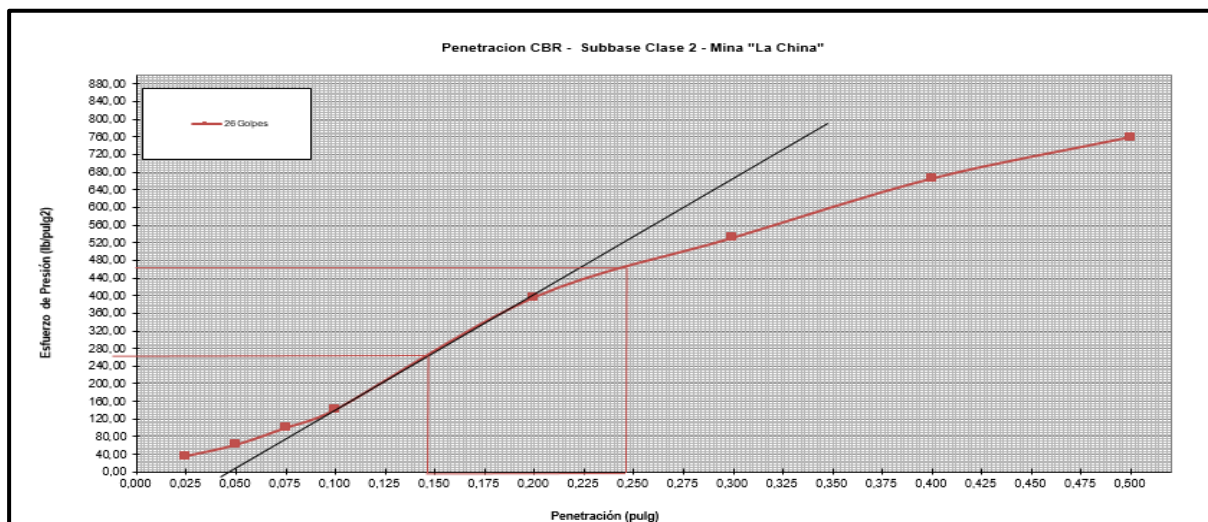


Figura 3.38. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"

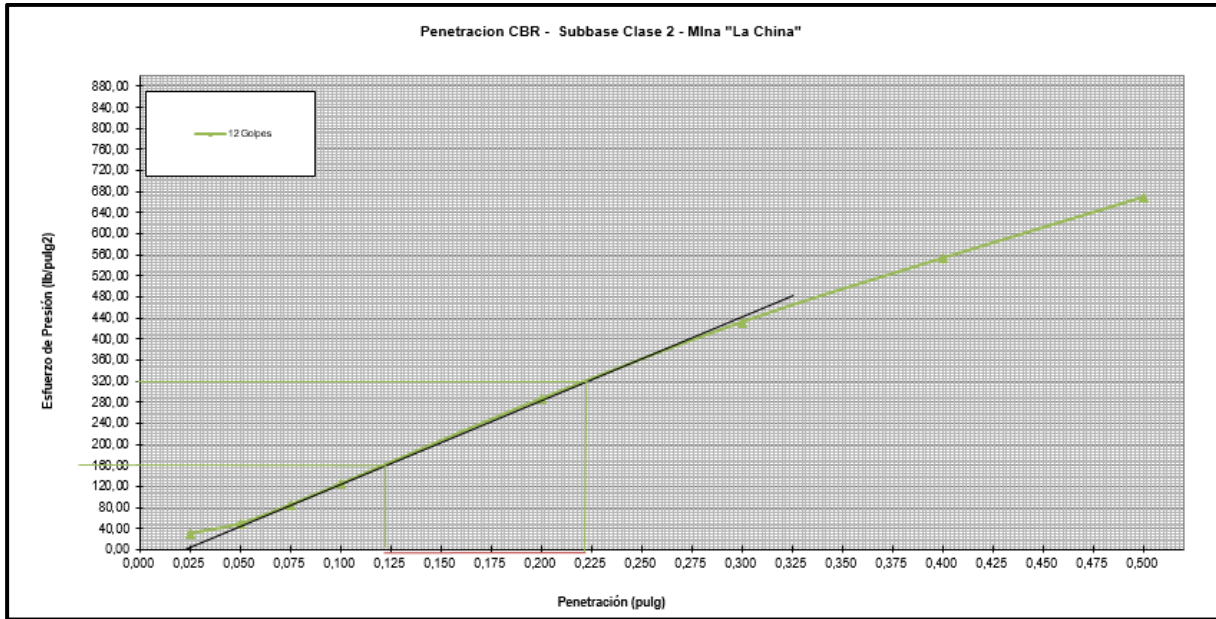


Figura 3.39. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 2 - Mina "La China"

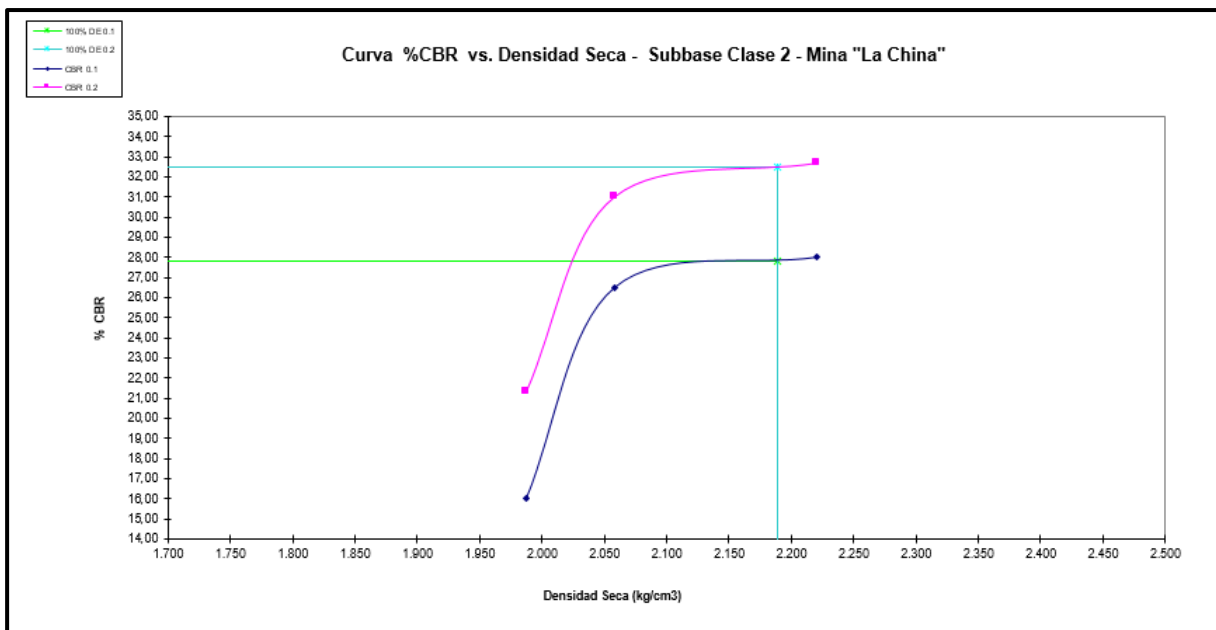


Figura 3.40. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 2 - Mina "La China"

Tabla 3.57. Resultados Finales CBR Subbase Clase 2 - Mina "La China"

Valores CBR				
N° Golpes	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,1"	Presión (lb/in ²)	% CBR 0,2"
56	280,00	28,00	490,00	32,67
25	265,00	26,50	465,00	31,00
12	160,00	16,00	320,00	21,33
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=			27,80	
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=			32,50	

- Índice de California - Subbase Clase 3

Tabla 3.58. Ensayo de Saturación - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 3 - Mina "La China"						
Datos previos a la Saturación						
Identificación de Molde	81		021		5	
Volumen de Molde (cm ³)	2.125		2.125		2.125	
N° de Golpes	56		26		12	
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	11.883		10.776		10.646	
Peso Molde (gr.)	7.165		6.238		6.165	
Peso Suelo (gr.)	4.718		4.538		4.481	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.220		2.136		2.109	
Contenidos de Humedad previos a la Saturación						
Identificación Capsula	H20	MS126	MS14	MS113	H6	H7
Peso Capsula (gr.)	32,14	80,64	68,45	79,95	29,63	29,01
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	214,40	269,48	218,01	286,56	174,53	163,80
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	207,19	262,00	212,37	278,04	168,44	157,97
Contenido de Humedad W (%)	4,12	4,12	3,92	4,30	4,39	4,52
Contenido de Humedad Promedio W (%)	4,12		4,11		4,45	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.132		2.051		2.019	
Contenidos de Humedad posteriores a la Saturación						
Identificación Capsula	H1	H6	MS126	MS5	H29	MS113
Peso Capsula (gr.)	33,24	29,69	80,64	65,96	32,14	79,96
Peso Capsula + suelo húmedo (gr.)	220,05	187,16	319,34	286,02	254,40	290,68
Peso Capsula + suelo seco (gr.)	204,55	175,16	298,67	266,20	234,73	269,72
Contenido de Humedad W (%)	9,05	8,25	9,48	9,90	9,71	11,05
Contenido de Humedad Promedio W (%)	8,65		9,69		10,38	
Datos posteriores a la Saturación						
Peso Molde + Suelo Húmedo (gr.)	12.121		11.030		10.914	
Peso Molde (gr.)	7.165		6.238		6.165	
Agua Absorbida (gr.)	238		254		268	
Agua Absorbida (%)	5,04		5,60		5,98	
Porcentaje de Compactación (Proctor Modificado)						
Densidad Seca Máxima (kg/cm ³)	2.125					
Humedad Óptima (%)	4,06					

Tabla 3.59. Ensayo de Esponjamiento - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 3 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Esponjamiento										
Identificación de Molde		81			021			5		
Fecha	Tiempo (días)	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%	Lect. Dial	Pulg. (in)	%
-	0	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
26/2/19	1	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066
27/2/19	2	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-5	-0,005	-0,109
28/2/19	3	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
1/3/19	4	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109
2/3/19	5	-1	-0,001	-0,022	-3	-0,003	-0,066	-5	-0,005	-0,109

Tabla 3.60. Ensayo de Penetración - CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"

CBR- Subbase Clase 3 - Mina "La China"										
Datos obtenidos por Penetración										
Identificación de Molde		81			021			5		
Tiempo (min)	Penetr. ac. (in.)	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.	Lect. Dial	Presión (lb/in ²)	Presión Correg.
0,00	0,00	0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,50	0,025	125	37,96		65	19,74		49	14,88	
1,00	0,050	244	74,10		160	48,59		138	41,91	
1,50	0,075	378	114,80		283	85,95		250	75,93	
2,00	0,100	515	156,41	220,00	425	129,07	215,00	414	125,73	170,00
4,00	0,200	1.173	356,24	440,00	1.036	314,63	437,50	955	290,03	340,00
6,00	0,300	1.780	540,59		1.707	518,42		1.509	458,28	
8,00	0,400	2.485	754,69		2.397	727,97		1.943	590,09	
10,00	0,500	2.845	864,03		2.809	853,09		2.397	727,97	

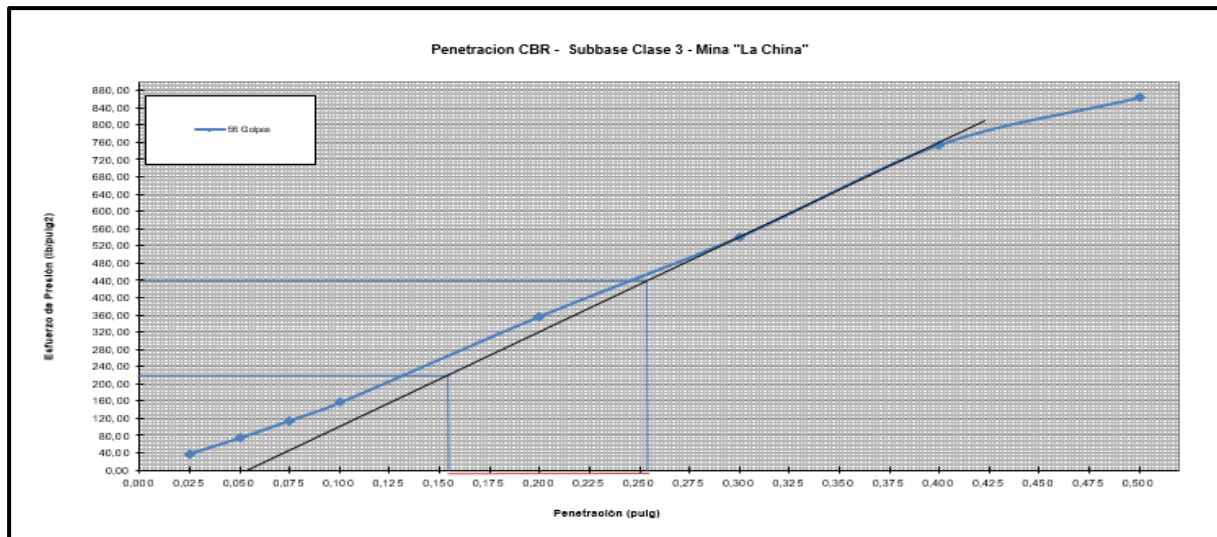


Figura 3.41. Grafica Penetración 56 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"

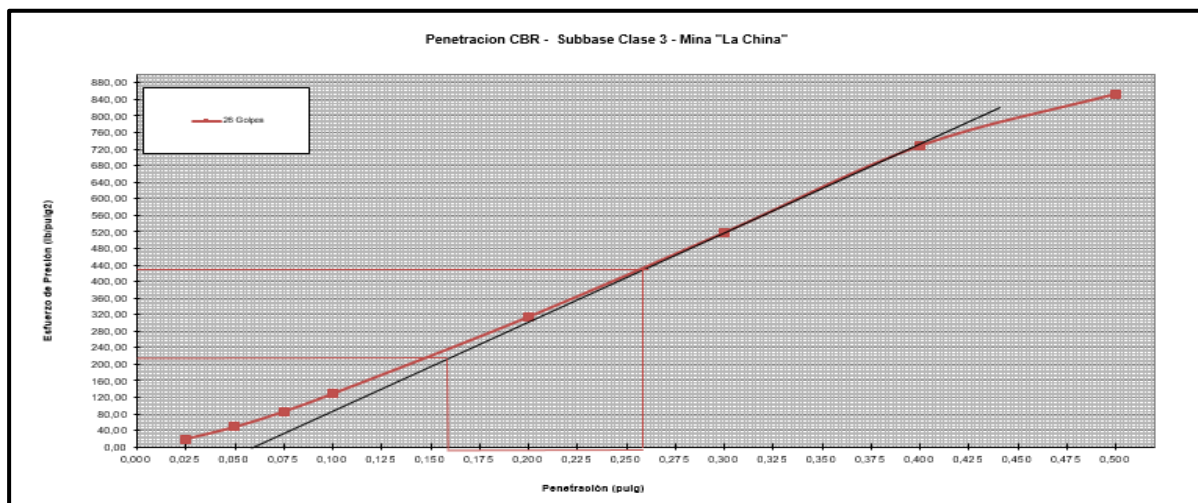


Figura 3.42. Grafica Penetración 25 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"

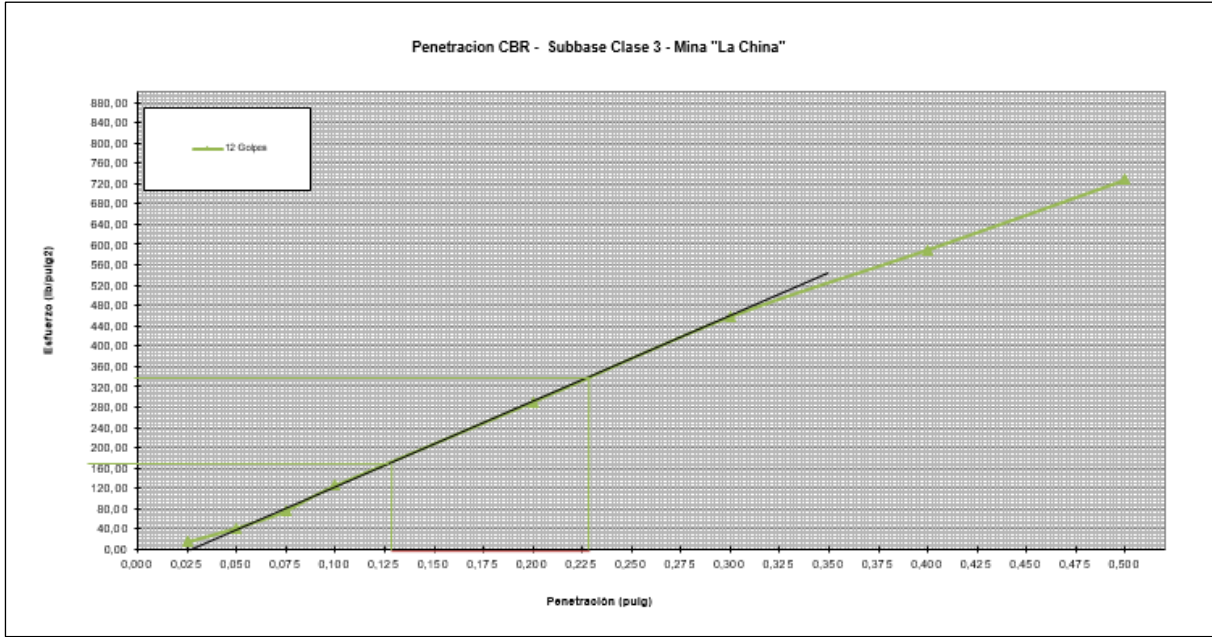


Figura 3.43. Grafica Penetración 12 Golpes - Subbase Clase 3 - Mina "La China"

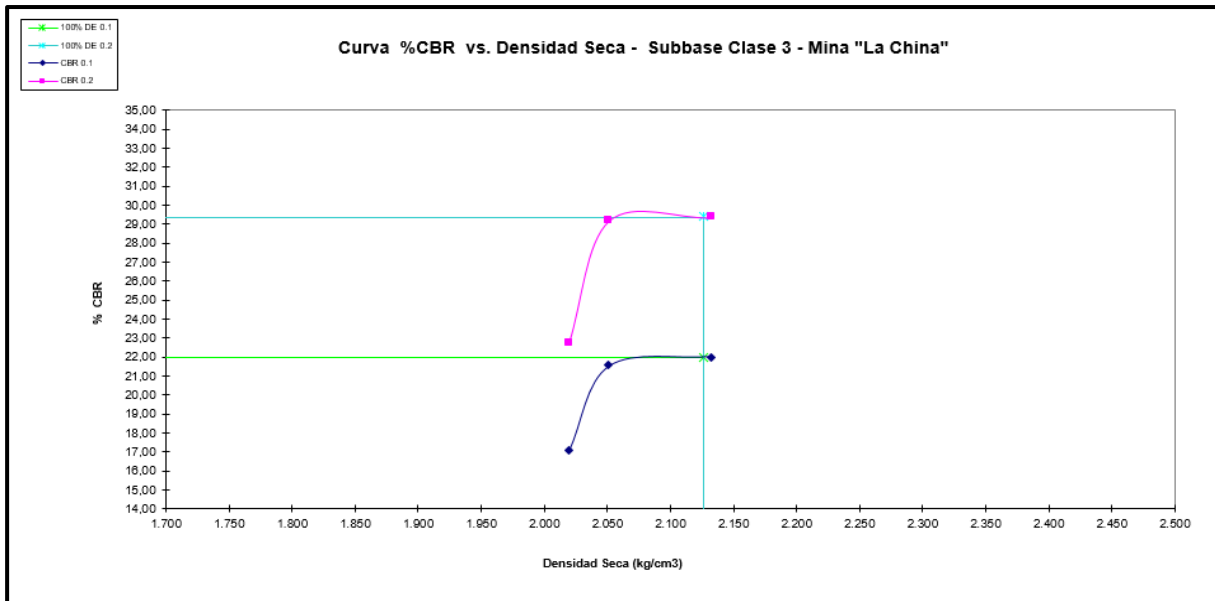


Figura 3.44. Grafica %CBR vs. Densidad Seca - Subbase Clase 3 - Mina "La China"

Tabla 3.61. Resultados Finales CBR Subbase Clase 3 - Mina "La China"

Valores CBR				
N° Golpes	Presión (lb/in²)	% CBR 0.1"	Presión (lb/in²)	% CBR 0.2"
56	220,00	22,00	440,00	29,33
25	215,00	21,50	437,50	29,17
12	170,00	17,00	340,00	22,67
% CBR (100% gd máx.) 0,1"=		22,00		
% CBR (100% gd máx.) 0,2"=		29,35		

3.12. MODULO DE YOUNG EN SUELOS (ASTM D6758)

De acuerdo a lo realizado en el campo, se reportaron los siguientes resultados:

Tabla 3.62. Resultados Módulo de Young con Geogauge H4140. Mina "La China"

Ensayo mediante Equipo Geogauge H4140									
Material	DS Máx. (Campo) (Densímetro Nuclear) (Kg/m ³)		Densidad Seca (Campo) Promedio (Kg/m ³)	Densidad Seca Máx. (Laboratorio)(Proctor Modificado) (Kg/m ³)	Porcentaje de Compactación (%)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young Promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
Base Clase 1b	2022	2089	2055,5	2160	95%	63,98	65,11	64,55	9361,48
	2088	2122	2105		97%	79,11	77,15	78,13	11331,8189
	2162	2160	2161		100%	89,24	89,32	89,28	12948,9926
Base Clase 2	2073	2052	2062,5	2168	95%	89,64	88,23	88,94	12898,9545
	2124	2127	2125,5		98%	98,31	96,54	97,43	14130,3272
	2167	2165	2166		100%	100,11	100,76	100,44	14566,8915
Base Clase 3	1935	1945	1940	2089	93%	63,71	67,52	65,62	9516,66837
	1997	1998	1997,5		96%	76,54	74,11	75,33	10924,9874
	2080	2089	2084,5		100%	83,33	84,18	83,76	12147,6577
Base Clase 4	1999	2007	2003	2169	92%	85,34	87,24	86,29	12515,329
	2088	2078	2083		96%	95,75	95,66	95,71	13880,8618
	2165	2169	2167		100%	99,26	99,34	99,30	14402,2734
Sub Base Clase 1	2023	2021	2022	2174	93%	42,24	42,17	42,21	6121,32879
	2101	2097	2099		97%	57,34	57,24	57,29	8309,22702
	2174	2173	2173,5		100%	71,34	71,67	71,51	10370,9422
Sub Base Clase 2	2035	2045	2040	2189	93%	40,22	40,33	40,28	5841,40545
	2135	2120	2127,5		97%	57,23	57,55	57,39	8323,73082
	2188	2189	2188,5		100%	71,68	71,77	71,73	10402,8506
Sub Base Clase 3	1993	1992	1992,5	2125	94%	38,91	37,41	38,16	5534,65008
	2077	2075	2076		98%	57,27	57,10	57,19	8293,99803
	2120	2125	2122,5		100%	71,46	71,18	71,32	10344,1102

Se generaron graficas con la finalidad de encontrar el Modulo Resiliente correspondiente a la densidad seca máxima en aquellas clases de agregado en las cuales no se llegó o se pasó del 100% de su compactación.

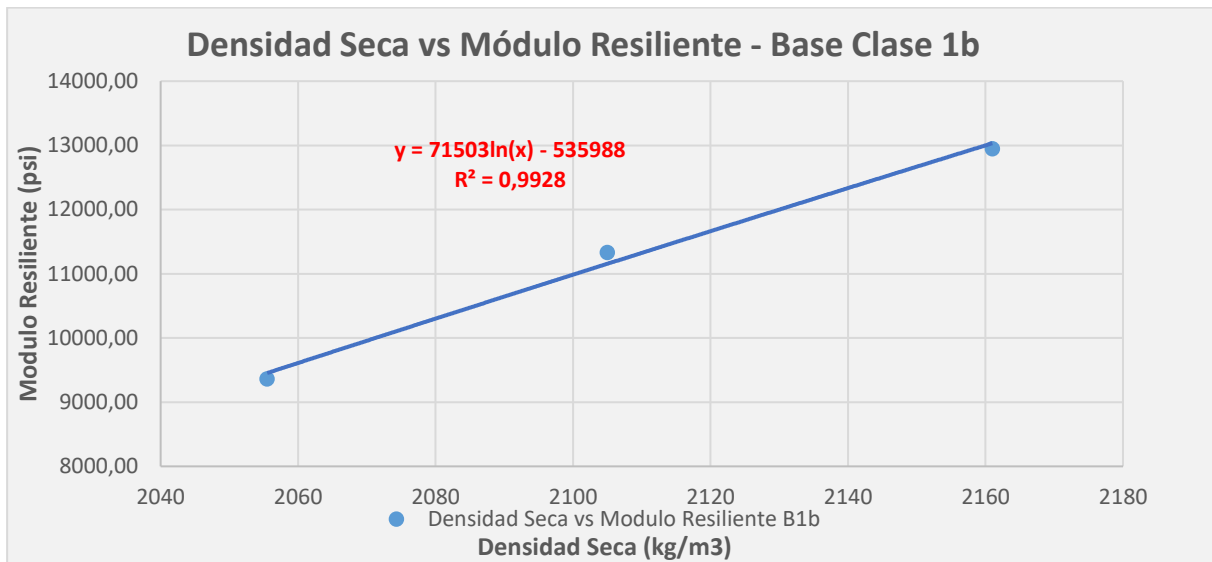


Figura 3.45. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 1b- Mina "La China"

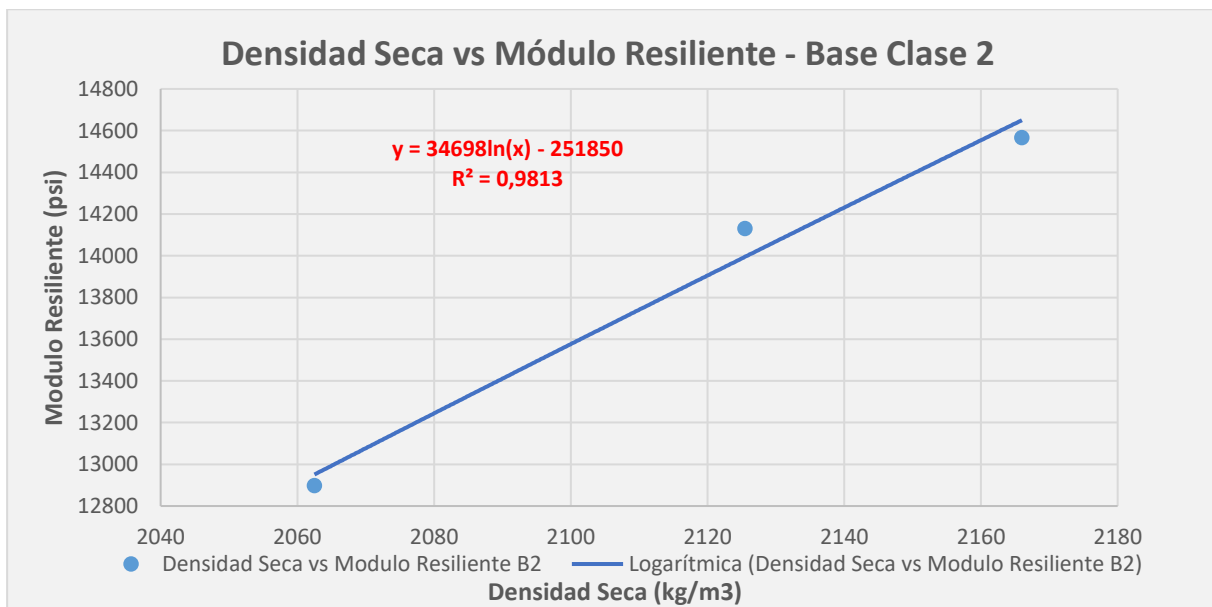


Figura 3.46. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 2- Mina "La China"

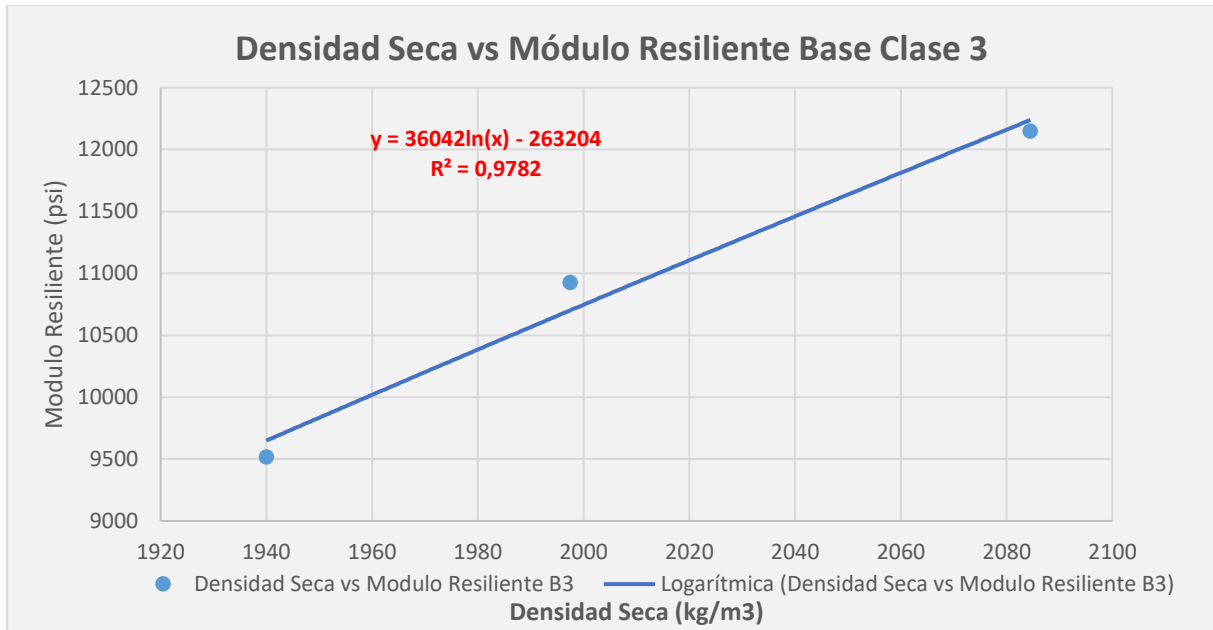


Figura 3.47. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 3 - Mina "La China"

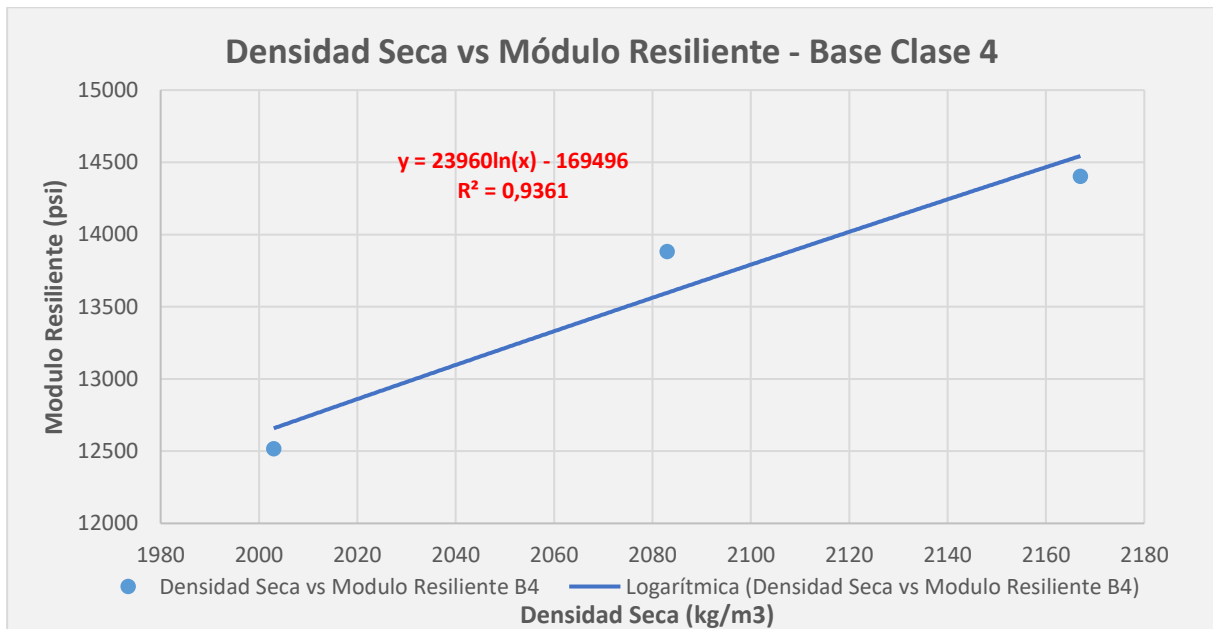


Figura 3.48. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Base Clase 4- Mina "La China"

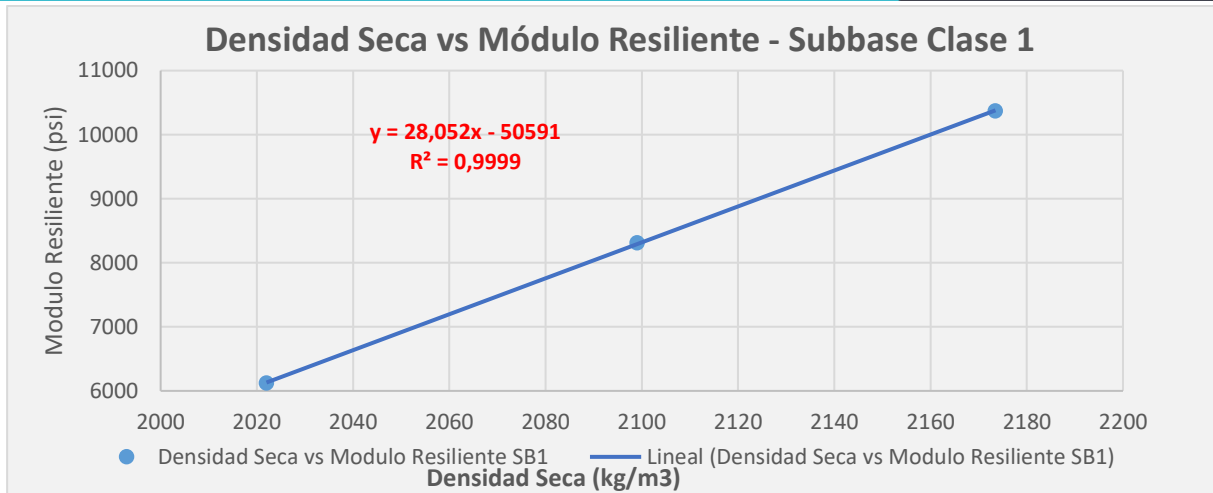


Figura 3.49. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente – Subbase Clase 1 - Mina "La China"

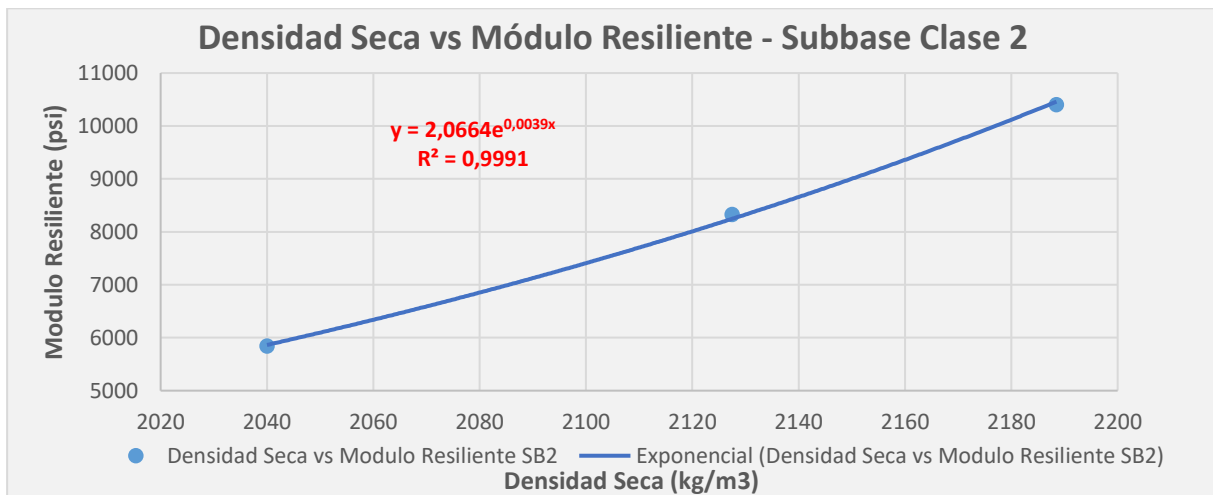


Figura 3.50. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Subbase Clase 2- Mina "La China"

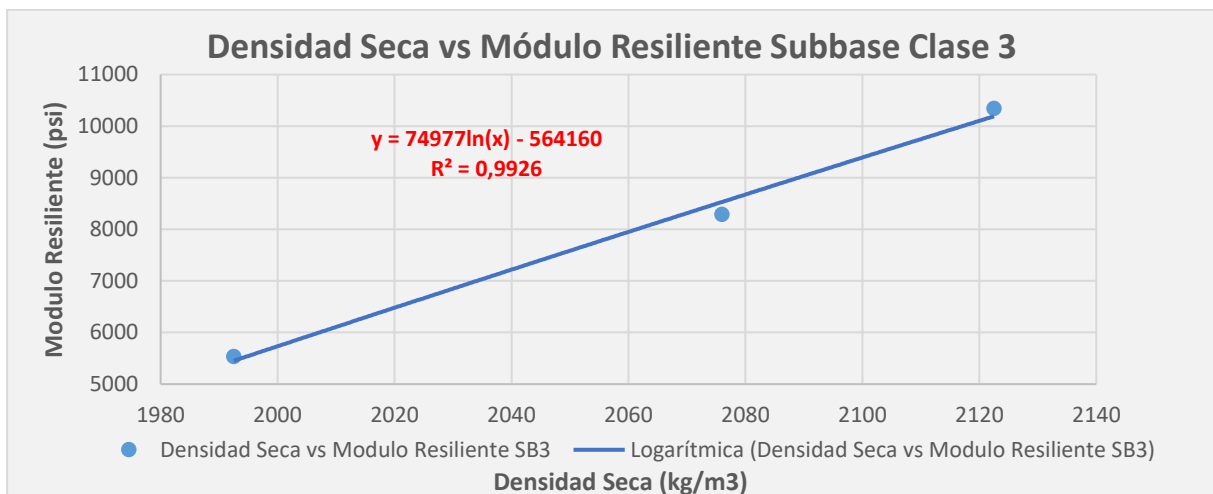


Figura 3.51. Densidad Seca vs. Módulo Resiliente - Subbase Clase 3- Mina "La China"

CAPÍTULO 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber obtenido los resultados previos, se procederá a realizar la debida interpretación de resultados de acuerdo a lo establecido al Manual NEVI-12 Volumen N°3 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

De acuerdo a lo reportado, las granulometrías no cumplen con los rangos establecidos en el manual, por lo que se ha tenido que realizar una nueva conformación de material acorde a cada una de las bases y Subbases para la realización de los ensayos de laboratorio correspondientes a Proctor Modificado e Índice de California.⁸ La granulometría no encaja a ninguna de las clases revisadas, debido a que posee una gran cantidad de material granular y de igual manera posee una baja proporción de agregado fino en su conformación.

A continuación se presenta el resumen de los ensayos de CBR y Modulo de Young dependiendo del tipo de muestra, además de un contraste entre los ensayos de caracterización y la especificación del manual NEVI-12.

Tabla 4.1. Comparación Material Base con Manual NEVI-12. Mina "La China"

Tipo de Muestra	Base		
	Resultado Obtenido	Especificación NEVI-12	Descripción
Limite Liquido	0 (NP)	< 25	Cumple
Índice de Plasticidad	0(NP)	< 6	Cumple
Desgaste por Abrasión	11,47%	< 40%	Cumple
Durabilidad a los Sulfatos	28,50%	< 12%	No Cumple
% CBR.	19% - 28%	≥ 80%	No Cumple

Al analizar los resultados obtenidos en laboratorio y los establecidos en el Manual NEVI-12, podemos observar que los ensayos de caracterización en el caso de la base cumplen con la misma, pero el porcentaje de CBR no lo hace; siendo este el parámetro de comparación más importante para la construcción de una estructura vial con un determinado tipo de agregado. (Ver Tabla 4.2) La subbase por su parte, cumple con todas las especificaciones establecidas en la Especificación MTOP. (Ver Tabla 4.3)

⁸ Anexo B.1.2: Conformación de Fundas para Ensayos.

Tabla 4.2. Comparación Material Subbase con Manual NEVI-12. Mina "La China"

Tipo de Muestra	Subbase		
	Resultado Obtenido	Especificación NEVI-12	Descripción
Limite Liquido	0 (NP)	< 25	Cumple
Índice de Plasticidad	0 (NP)	< 6	Cumple
Desgaste por Abrasión	11,47%	< 50%	Cumple
% CBR.	28% - 32%	≥ 30%	Cumple

Los resultados mostrados para CBR, muestran que el material únicamente es apto para el uso de Subbase, esto siempre y cuando quede totalmente en el criterio del diseñador el uso del porcentaje de CBR a 0,2 pulgadas.

Tabla 4.3. Resumen de Resultados CBR. Mina "La China"

Muestra	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	% Humedad Óptima	% CBR 0,1"	% CBR 0,2"
Base Clase 1b	2160	3,73	20,50	26,95
Base Clase 2	2168	3,70	28,00	37,50
Base Clase 3	2089	3,79	19,70	26,60
Base Clase 4	2169	3,59	25,25	33,75
Subbase Clase 1	2174	4,16	22,75	30,50
Subbase Clase 2	2189	4,17	27,80	32,50
Subbase Clase 3	2125	4,06	22,00	29,35

Por otra parte, los resultados obtenidos mediante el equipo electrónico Geogauge y las gráficas elaboradas para cada una de las clases de agregado fueron los siguientes:

Tabla 4.4. Resumen de Resultados Módulo de Young y Módulo Resiliente. Mina "La China"

Muestra	Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	Módulo de Young (Mpa)	Ecuación Generada	Módulo Resiliente (psi)
Base Clase 1b	2160	102,99	$y = 71503\ln(x) - 535988$	13002,2739
Base Clase 2	2168	100,46	$y = 34698\ln(x) - 251850$	14684,7815
Base Clase 3	2089	103,89	$y = 36042\ln(x) - 263204$	13396,8055
Base Clase 4	2169	104,45	$y = 23960\ln(x) - 169496$	14565,2345
Subbase Clase 1	2174	71,15	$y = 28,052x - 50591$	10394,0480
Subbase Clase 2	2189	72,49	$y = 2,0664e^{0,0039x}$	10539,7379
Subbase Clase 3	2125	70,82	$y = 74977\ln(x) - 564160$	10278,3160

4.1. Correlación obtenida entre el %C.B.R de laboratorio y el Modulo Resiliente

Mediante estos resultados podemos obtener finalmente una correlación entre el %CBR en laboratorio y el Modulo Resiliente. Se utilizara el porcentaje para CBR de 0,2%, que se utilizara de igual manera para los diseños del modelo práctico.

Tabla 4.5. Datos necesarios para la obtención de la correlación entre Módulo Resiliente vs %CBR. Mina "La China"

Muestra	Módulo Resiliente (psi)	% CBR
Base Clase 1b	13002,2739	26,95
Base Clase 2	14684,7815	37,5
Base Clase 3	13396,8055	26,6
Base Clase 4	14565,2345	33,75
Subbase Clase 1	10394,0480	30,5
Subbase Clase 2	10539,7379	32,5
Subbase Clase 3	10278,3160	29,35

Teniendo las siguientes graficas con sus correspondientes ecuaciones:

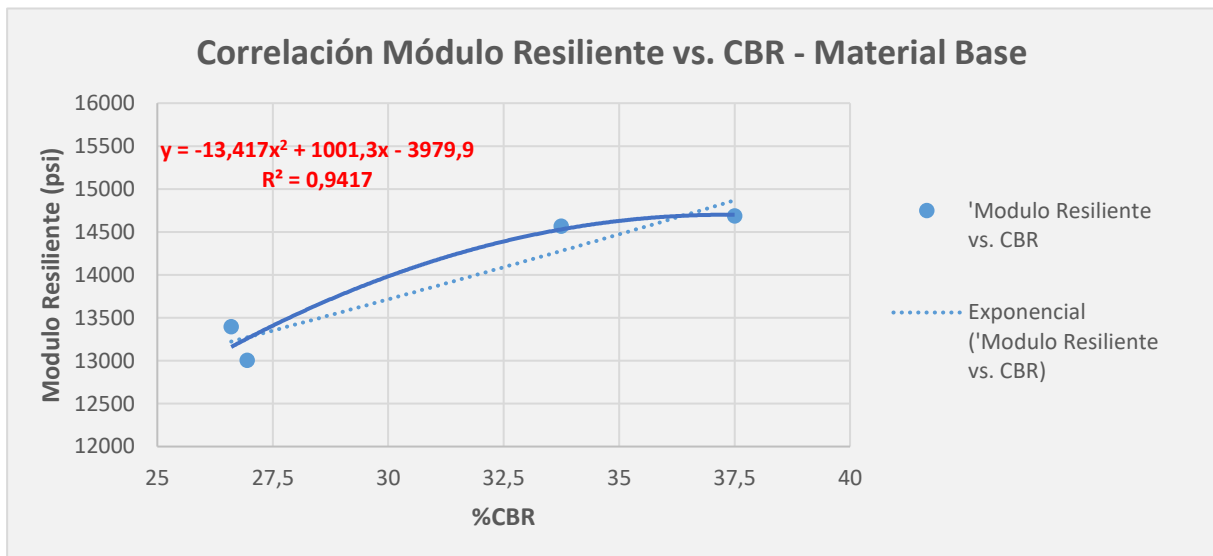


Figura 4.1. Correlación entre Módulo Resiliente vs. %CBR - Material Tipo Base - Mina "La China"

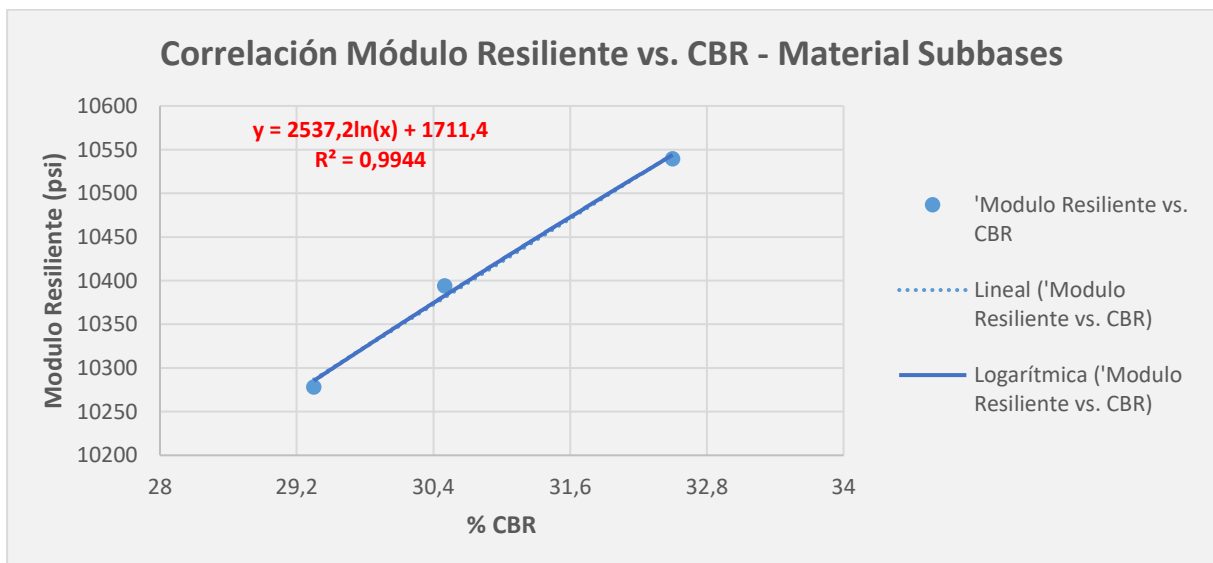


Figura 4.2. Correlación entre Módulo Resiliente vs. %CBR - Material Tipo Subbase - Mina "La China"

CAPÍTULO 5. MODELO PRÁCTICO: DISEÑO DE BASE Y SUBBASE

Tomando como punto de partida los datos obtenidos de “Villafuerte Bermúdez L.E., & Ortega Calle, K.G. (2015). Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos tipo arenoso. Quito, Ecuador”, se realizara el diseño vial de una estructura vial. De tal manera, se tiene:

1. Mediante un conteo vehicular se tiene calculado el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA):

Tabla 5.1. Trafico Promedio Anual (TPDA)

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

Fuente: Villafuerte Bermúdez, L.E., & Ortega Calle, K.G. (2015). Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos tipo limo arenoso. Quito, Ecuador.

2. La vía a diseñarse será una arteria principal que se encontrará en el sector rural, por lo tanto su nivel de confianza (R) que se utilizara será **R=85%**.

Tabla 5.2. Niveles 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). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos. Villafuerte Bermúdez, L..E., & Ortega Calle, K.G. (2015). Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos tipo limo arenoso. Quito, Ecuador.

3. Se escoge el valor de desviación estándar que tendrá la vía, para este caso se utilizara **So=0,44**.

Tabla 5.3. Valores de Desviación Estándar (So) 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 – 0,50 (0,45 valor recomendado)

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

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

- Se determinó la distribución de tráfico de la vía, que está en función del número de contadores por carril, en la tesis de referencia se toma en consideración un solo contador para ambos sentidos teniendo un valor de $Dt = 50\% = 0,5$.
- Se seleccionó un periodo de diseño de $n = 10$ años.
- Se seleccionó una tasa de crecimiento de $i = 3\%$.
- Se asignó al diseño un tipo de vehículo de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 5.4. Tipos de Motorizados, Remolques y Semirremolques.

CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)				
				Largo	Ancho	Alto		
2 D			7	5,00	2,60	3,00		
2DA			10	7,50	2,60	3,50		
2DB			18	12,20	2,60	4,10		
3-A			27	12,20	2,60	4,10		
4-C			31	12,20	2,60	4,10		
4-0			32	12,20	2,60	4,10		

Fuente: Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO). (2013). *Tabla 2A. 106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: "Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques. Vol N°2 – Libro A. Norma de Estudios Diseños Viales*. Quito, Ecuador.

8. Se determinó el TPDA final mediante la siguiente expresión:

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

(Ecuación 5.22.)

Tabla 5.5. Tabla de TPDA final.

Tipo de Vehículo	TPDA _o	%	TPDA _f
2D	171	52%	230
2DB	15	5%	20
3A	142	43%	191
Total	328	100%	441

9. Se obtuvo el factor de carga equivalente mediante las siguientes expresiones⁹:

Eje Simple: $F_{ss} = \left(\frac{L_{ss}}{6,6}\right)^4$ (Ecuación 5.13)

Eje Doble: $F_{sd} = \left(\frac{L_{sd}}{8,2}\right)^4$ (Ecuación 5.24)

Eje Tandem: $F_t = \left(\frac{L_t}{15}\right)^4$ (Ecuación 5.25)

Teniendo como resultados:

Tabla 5.6. Tabla de Factor de Carga Equivalente.

Tipo de Vehículo	Carga Total (Ton)	Carga por eje (Ton)	%	Factor Carga Equiv. Por Eje
2D	7	3	52	0,022
		4		0,070
2DB	18	7	5	0,063
		11		0,162
3A	27	7	43	0,544
		20		1,360

10. Calculo de número de ejes de 8.2 Ton.¹⁰

$$N(8,2 T) = \left(\frac{TPDA_o + TPDA_f}{2}\right) \times 365 \times Dt \times n \times FCE$$
 (Ecuación 5.26)

$$N(8,2 T) = 1,56 \times 10^6$$

⁹ AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

¹⁰ AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

11. Calculo de Modulo Resiliente para Sub-rasante. Asumiendo un valor de C.B.R= 11%

Para C.B.R>10%: $Mr = 2555 \times C. B. R.^{0,64}$ (Ecuación 5.27)

$$Mr = 2555 \times (11)^{0,64}$$

$$Mr = 11854.47 \text{ psi}$$

Se selecciona un valor entero múltiplo de 1000, como valor de Modulo Resiliente final.

$$Mr = 11000 \text{ psi}$$

12. Se evalúa la perdida por serviciabilidad, en base a los siguientes valores de la siguiente tabla:

Tabla 5.7. Perdidas por Serviciabilidad.

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

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

Entonces escogemos **Po=4.2** y **Pt=2.2**

$$PSI = P_o - PT$$

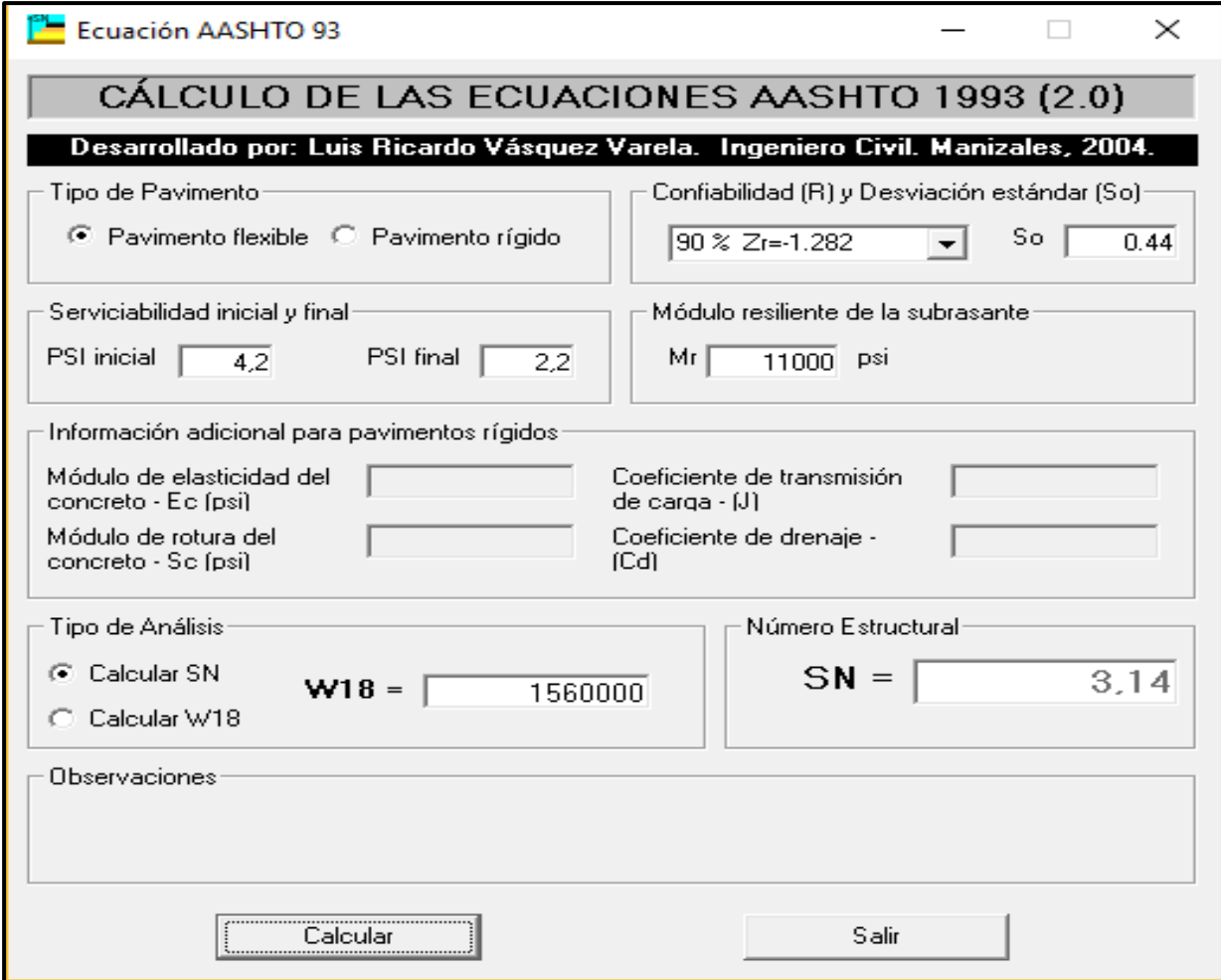
$$PSI = 4.2 - 2.2$$

$$PSI = 2,0$$

13. Se halla el Número Estructural por capa

5.1. DISEÑO VIAL A PARTIR DE VALORES DE CBR DE LABORATORIO

➤ Subrasante



Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So):
 90 % Zr=-1.282 So = 0.44

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial = 4,2 PSI final = 2,2

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr = 11000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:
 Calcular SN **W18 = 1560000**
 Calcular W18

Número Estructural:
SN = 3,14

Observaciones:

Calcular **Salir**

*Ilustración 5.1. Número Estructural de Subrasante. Programa AASHTO 1993.
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.*

SN= 3,14

A continuación se elegirán valores de CBR a una penetración de 0,2 pulg., debido a que el material arrojó resultados positivos en los ensayos de caracterización dando lugar a la posibilidad de que en mejores condiciones pueda alcanzar dicho valor de CBR.

➤ Base Clase 2

C.B.R	37,5	m (Coeficiente de Drenaje)	1,00
-------	------	----------------------------	------

Ilustración 5.2. Condiciones Iniciales Base Clase 2. Mina "La China"

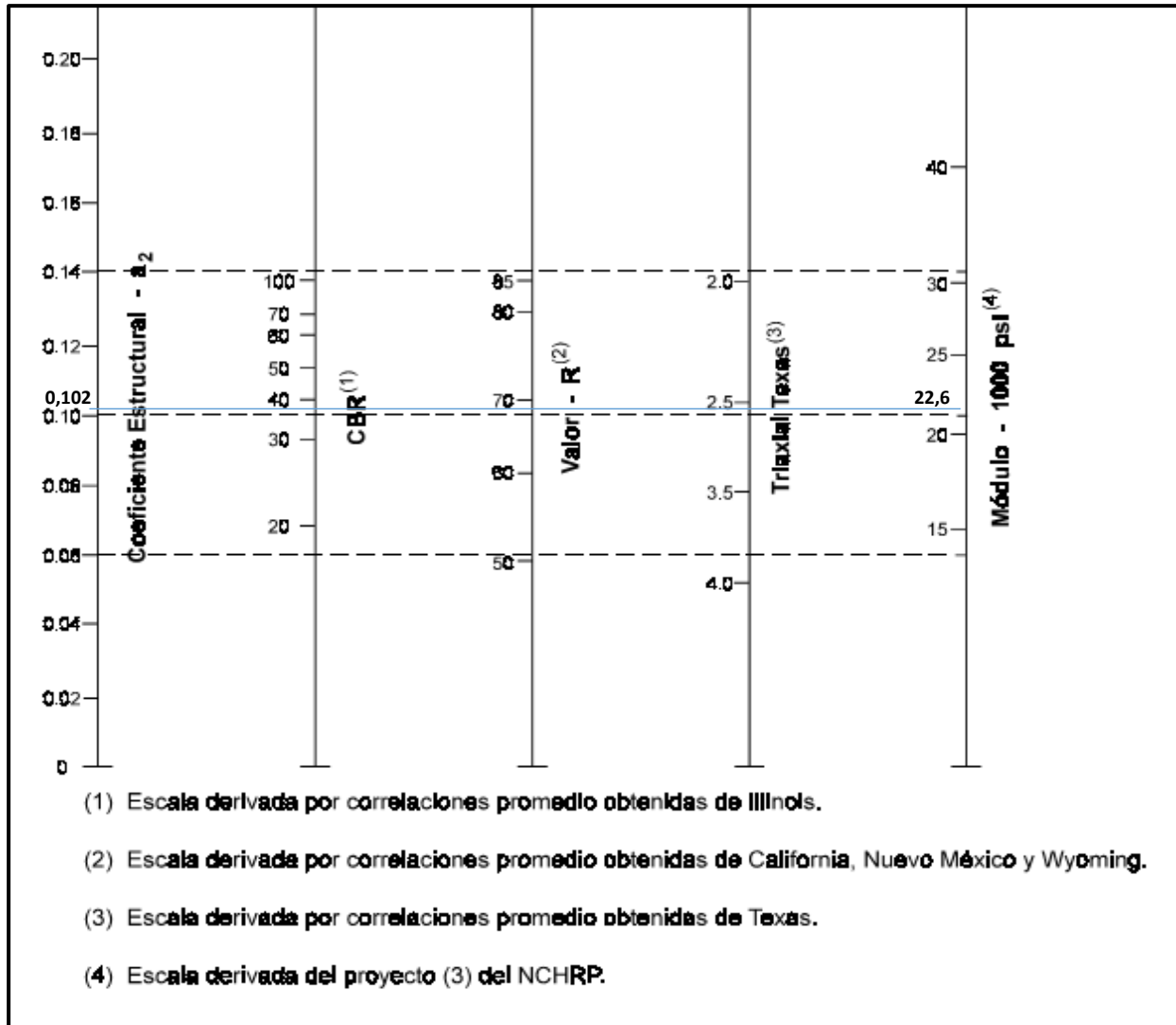


Ilustración 5.3. Coeficientes Capa "a2". Bases Granulares
 Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

$$a_2 = \frac{0,102 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,0402 \text{ cm} ; Mr = 22600 \text{ psi}$$

Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiability (R) and Standard Deviation (So)
 90 % Zr=-1.282 So 0.44

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 22600 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 = 1560000**
 Calcular W18

Número Estructural
SN = 2.41

Observaciones

Calcular Salir

*Ilustración 5.4. Número Estructural de Base Clase 2. Programa AASHTO 1993.
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos*

SN= 2,41

➤ Subbase Clase 2

C.B.R	32,5	m (Coeficiente de Drenaje)	1,00
-------	------	----------------------------	------

Ilustración 5.5. Condiciones Iniciales Subbase Clase 2. Mina "La China"

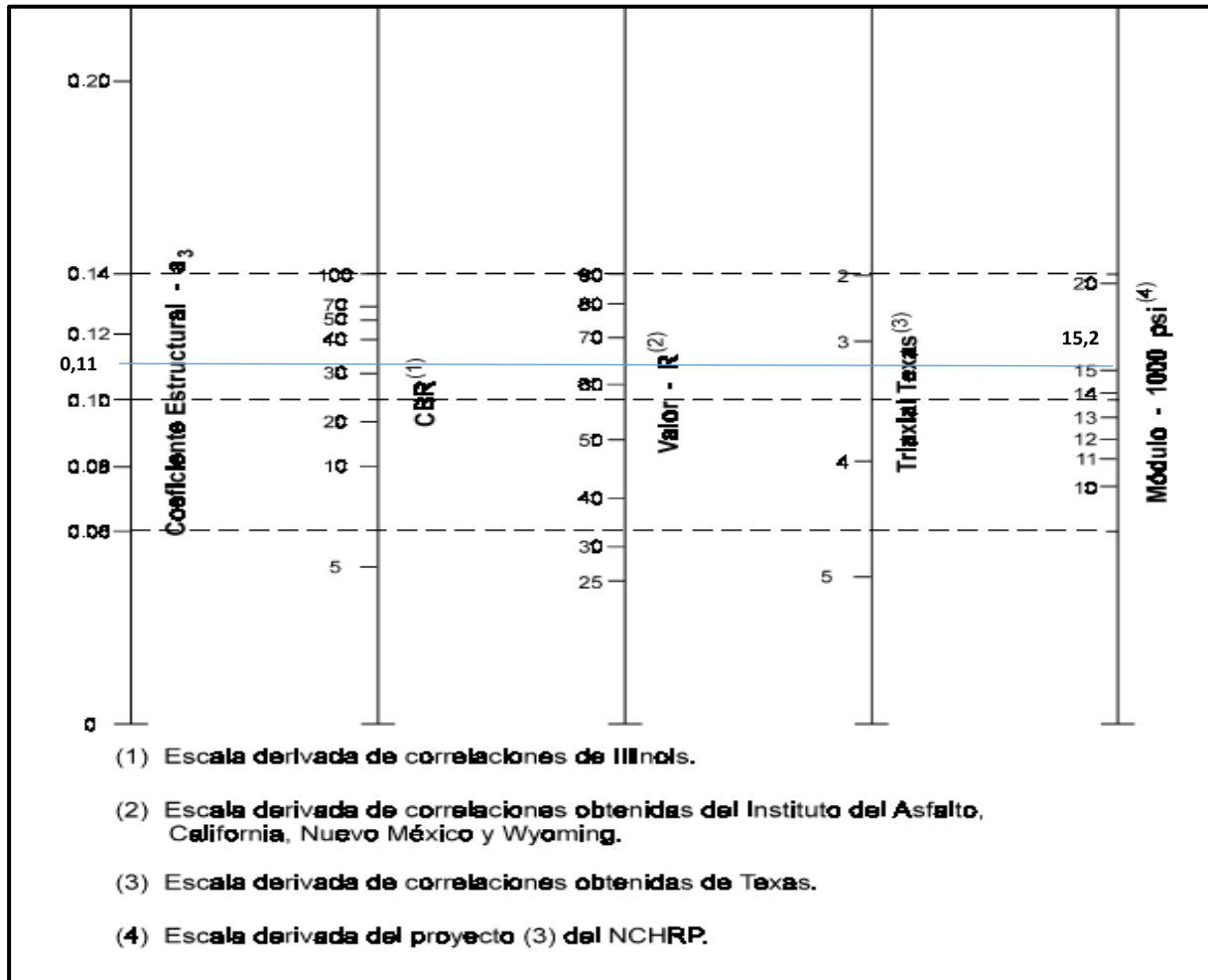
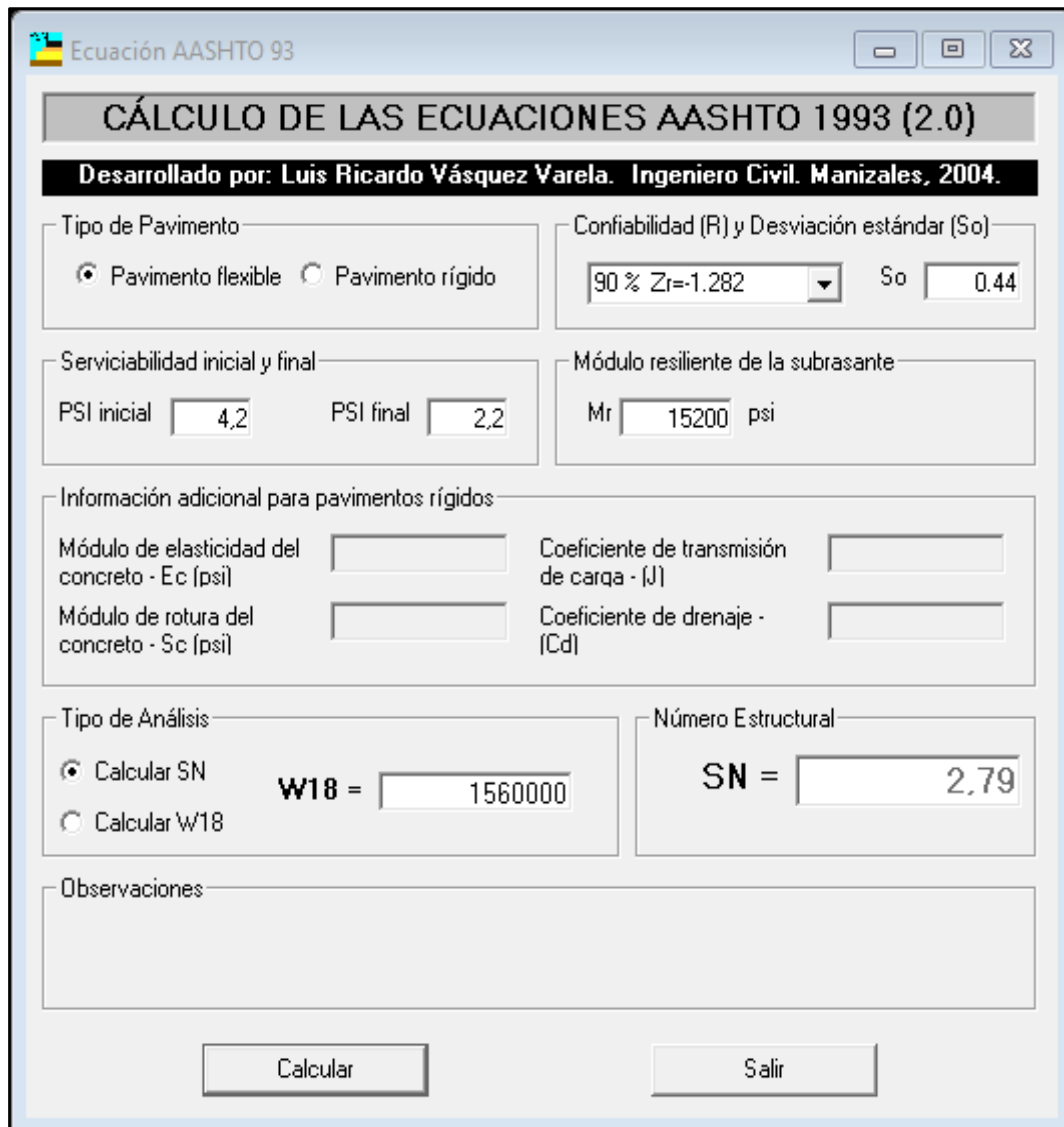


Ilustración 5.6. Coeficientes Capa "a3". Subbases Granulares

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

$$a_3 = \frac{0,11 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,0433 \text{ cm} ; Mr = 15200 \text{ psi}$$



Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento

Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)

90 % $Z_r = -1.282$ So 0.44

Serviciabilidad inicial y final

PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante

Mr 15200 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)

Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)

Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis

Calcular SN **W18 =** 1560000

Calcular W18

Número Estructural

SN = 2.79

Observaciones

Calcular Salir

*Ilustración 5.7. Número Estructural de Subbase Clase 2. Programa AASHTO 1993.
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos*

SN= 2,79

➤ Carpeta Asfáltica

El MR de una carpeta asfáltica debe ser de 400000 psi, para que sea aceptable en nuestro país.

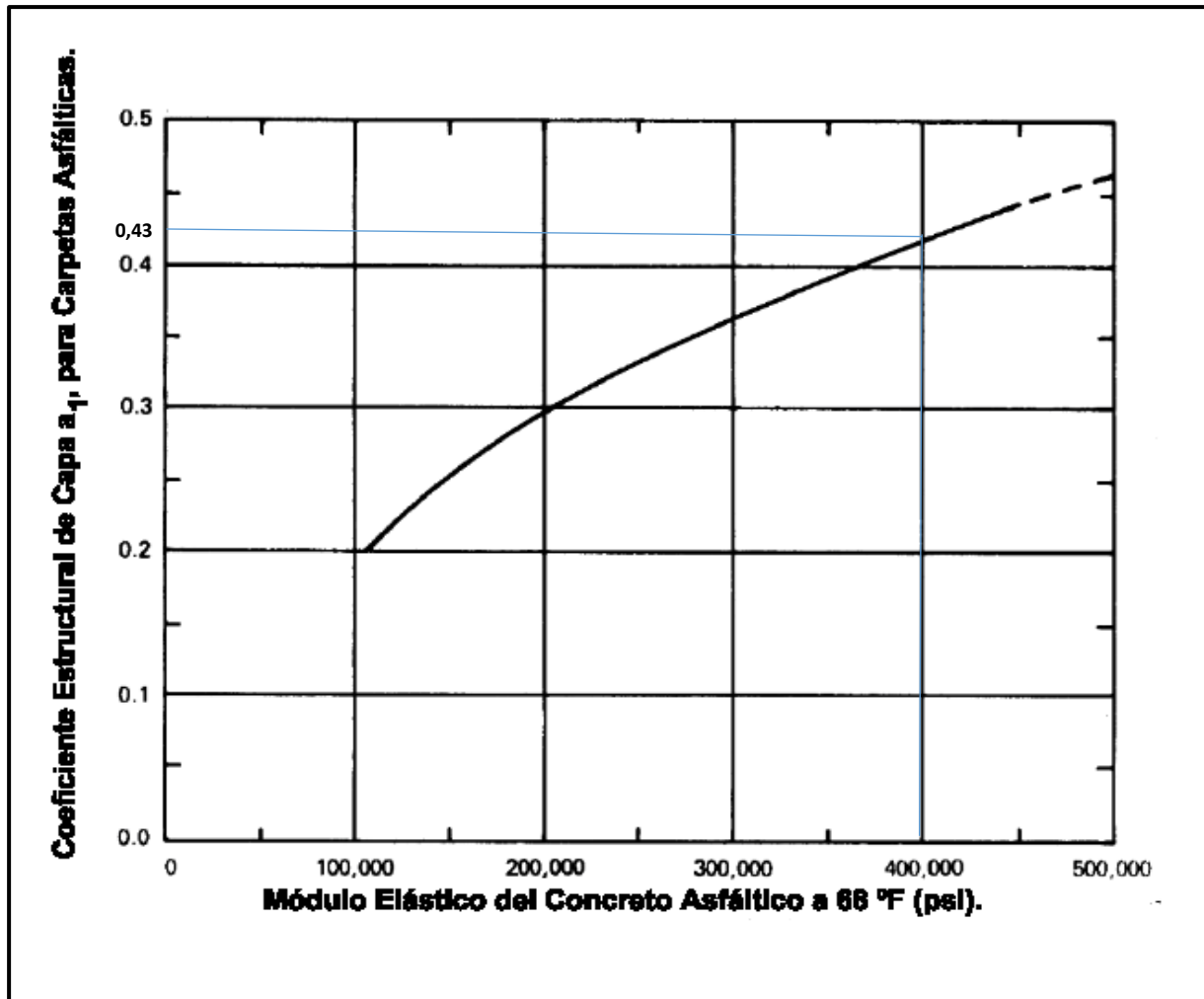


Ilustración 5.8. Coeficientes Capa "ac". Carpeta asfáltica.

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

$$a_c = \frac{0,4 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,169 \text{ cm} ; m = 1$$

Se calcula los espesores de cada una de las capas de la estructura del pavimento

➤ **Carpeta Asfáltica**

$$D1 = \frac{2.41}{0,169 \times 1} = 14,26 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 10 \times 0,169 \times 1 = 1,69$$

➤ **Base**

$$D2 = \frac{2.79 - 1,69}{0,0402 \times 1} = 27,36 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 15 \times 0,0402 \times 1 = 0,603$$

➤ **Subbase**

$$D3 = \frac{3,14 - 0,603 - 1,69}{0,0433 \times 1} = 19,56 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 20 \times 0,0433 \times 1 = 0,87$$

Comprobando:

$$1,69 + 0,603 + 0,87 > 3,14$$

$$3,16 > 3,14 \text{ **OK "CUMPLE"**}$$

Resultados Finales de Espesores:

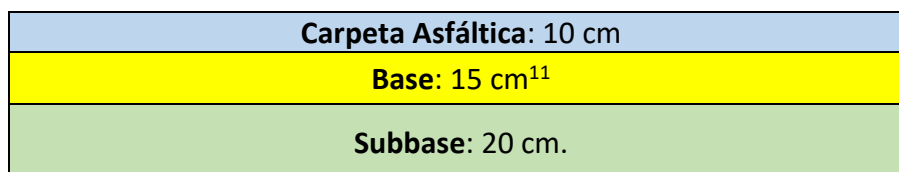


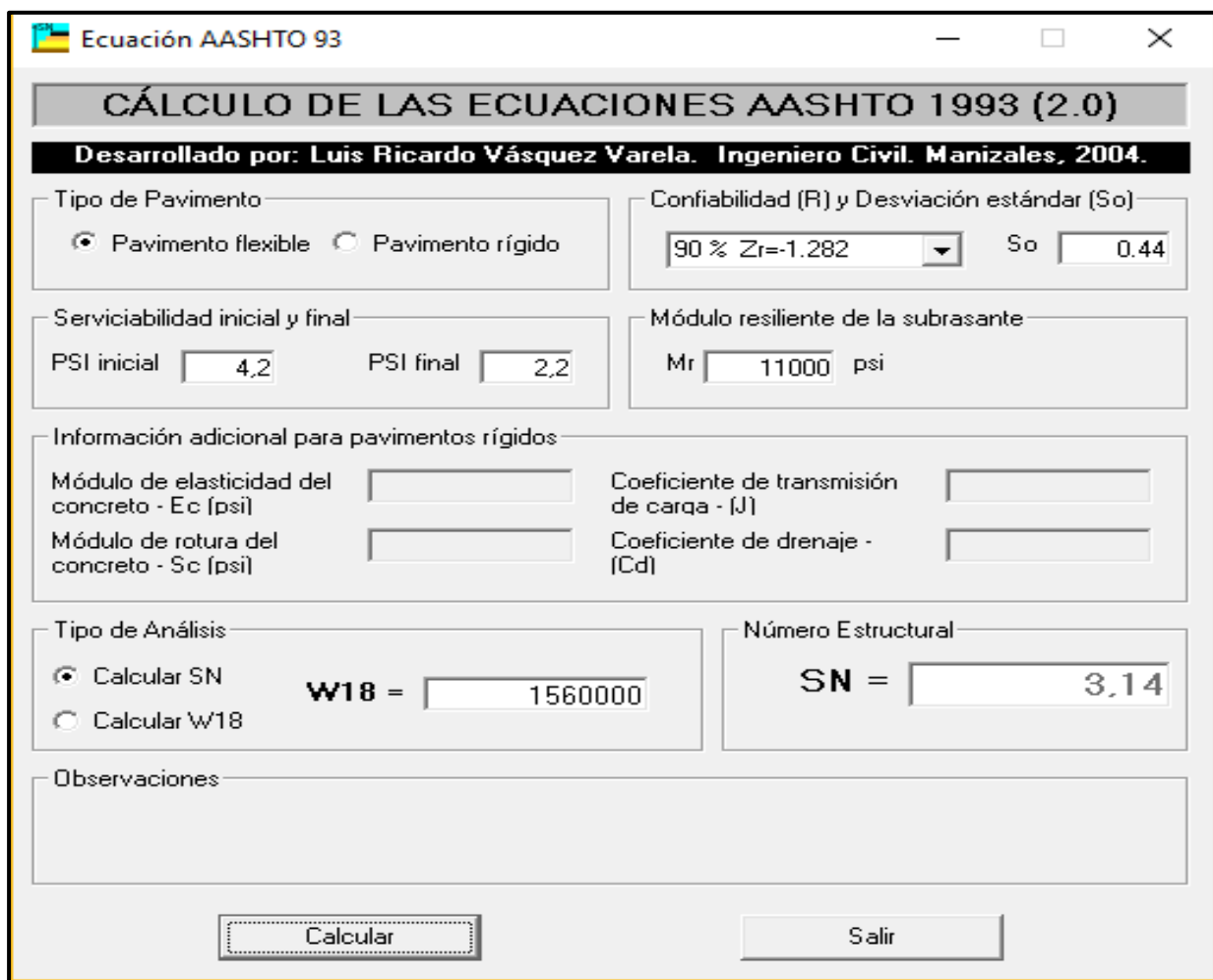
Ilustración 5.9. Espesores de Estructura Vial mediante AASHTO 1993.

¹¹ Ver Anexo B.1.2: Espesores Mínimos por Capa para un diseño vial.

5.2. DISEÑO VIAL A PARTIR DE VALORES DEL MÓDULO RESILIENTE OBTENIDOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE GEOGAUGE H4140.

Partiendo de los mismos datos iniciales, se tiene como números estructurales:

➤ Subrasante



Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % $Z_r = -1.282$ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural
SN =

Observaciones

*Ilustración 5.10. Número Estructural de Subrasante. Programa AASHTO 1993.
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.*

SN= 3,14

➤ Base Class 2

Teniendo para la Base Class 2 un MR=14000 psi

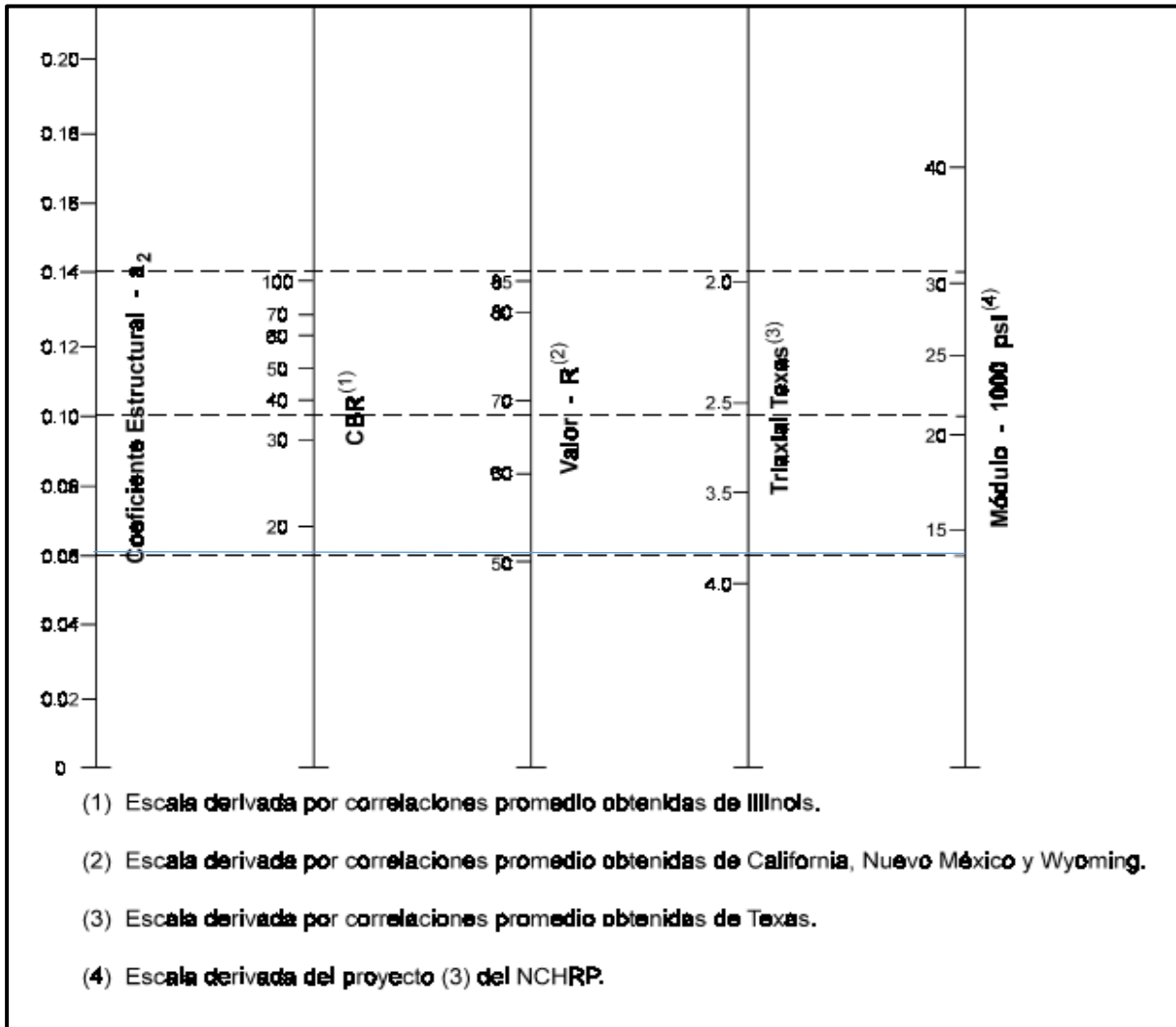


Ilustración 5.11. Coeficientes Capa "a2". Bases Granulares

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

$$a_2 = \frac{0,05 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,0196 \text{ cm}$$

Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % $Z_r = -1.282$ So

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial PSI final

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr psi

Información adicional para pavimentos rígidos

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

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

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

Número Estructural
SN =

Observaciones

Ilustración 5.12. Número Estructural de Base. Programa AASHTO 1993.

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

SN= 2,88

➤ Subbase Clase 2

Teniendo para la Subbase Clase 2 un MR=10000 psi

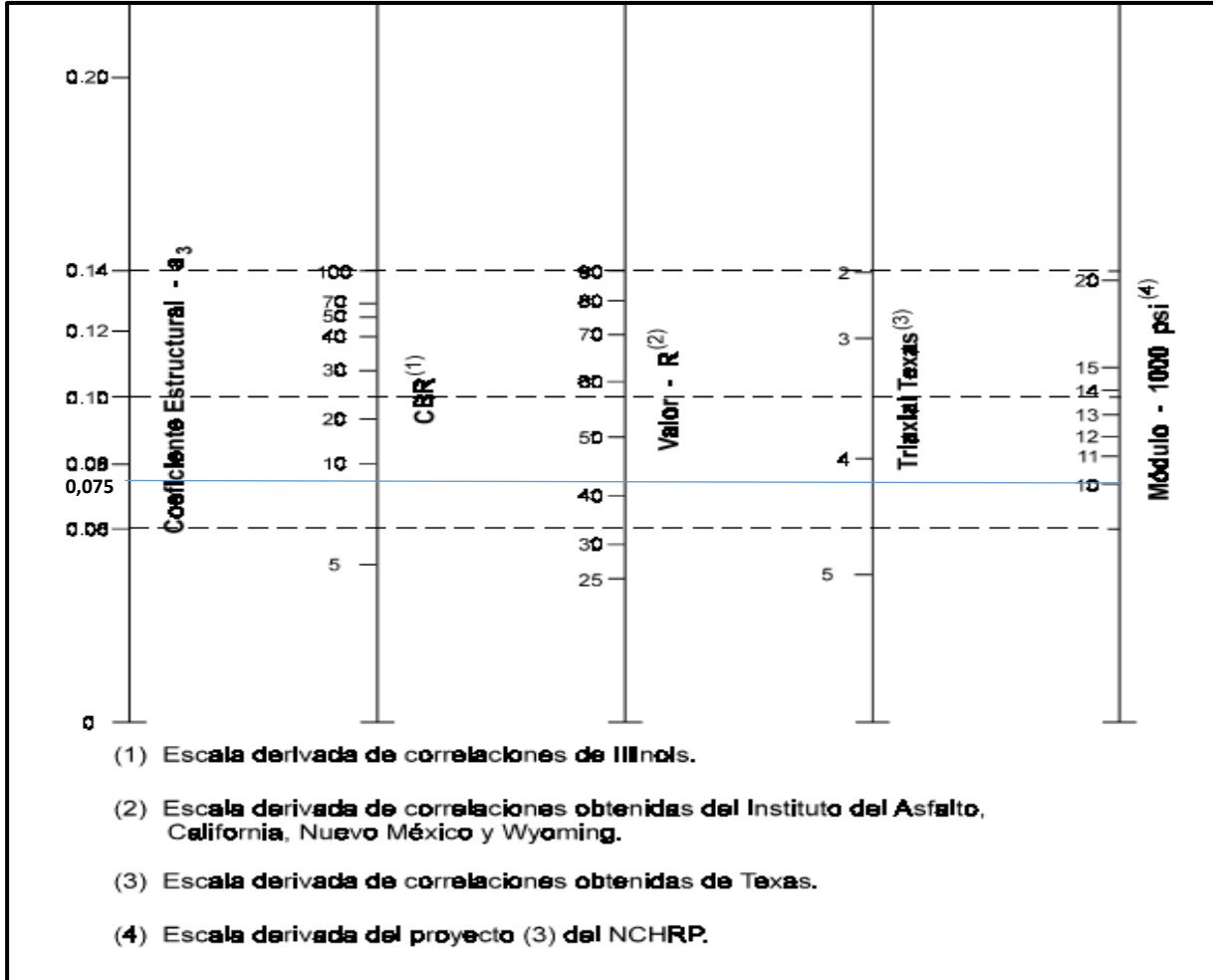


Ilustración 5.13. Coeficientes Capa "a3". Subbases Granulares
 Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

$$a_3 = \frac{0,075 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,0295 \text{ cm}$$

Ecuación AASHTO 93

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

<p>Tipo de Pavimento</p> <p><input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido</p>	<p>Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)</p> <p>90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value="0.44"/></p>				
<p>Serviciabilidad inicial y final</p> <p>PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.2"/></p>	<p>Módulo resiliente de la subrasante</p> <p>Mr <input type="text" value="10000"/> psi</p>				
<p>Información adicional para pavimentos rígidos</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) <input type="text"/></td> <td>Coefficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) <input type="text"/></td> <td>Coefficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/></td> </tr> </table>		Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/>	Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/>
Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/>				
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/>				
<p>Tipo de Análisis</p> <p><input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = <input type="text" value="1560000"/></p> <p><input type="radio"/> Calcular W18</p>	<p>Número Estructural</p> <p>SN = <input type="text" value="3.25"/></p>				
<p>Observaciones</p> <div style="border: 1px solid gray; height: 40px;"></div>					
<p><input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Salir"/></p>					

Ilustración 5.14. Número Estructural de Subbase Clase 2. Programa AASHTO 1993.
Fuente: AASHTO. (1993). *AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition)*. Estados Unidos

SN= 3,25

➤ Carpeta Asfáltica

Teniendo MR= 400000 psi:

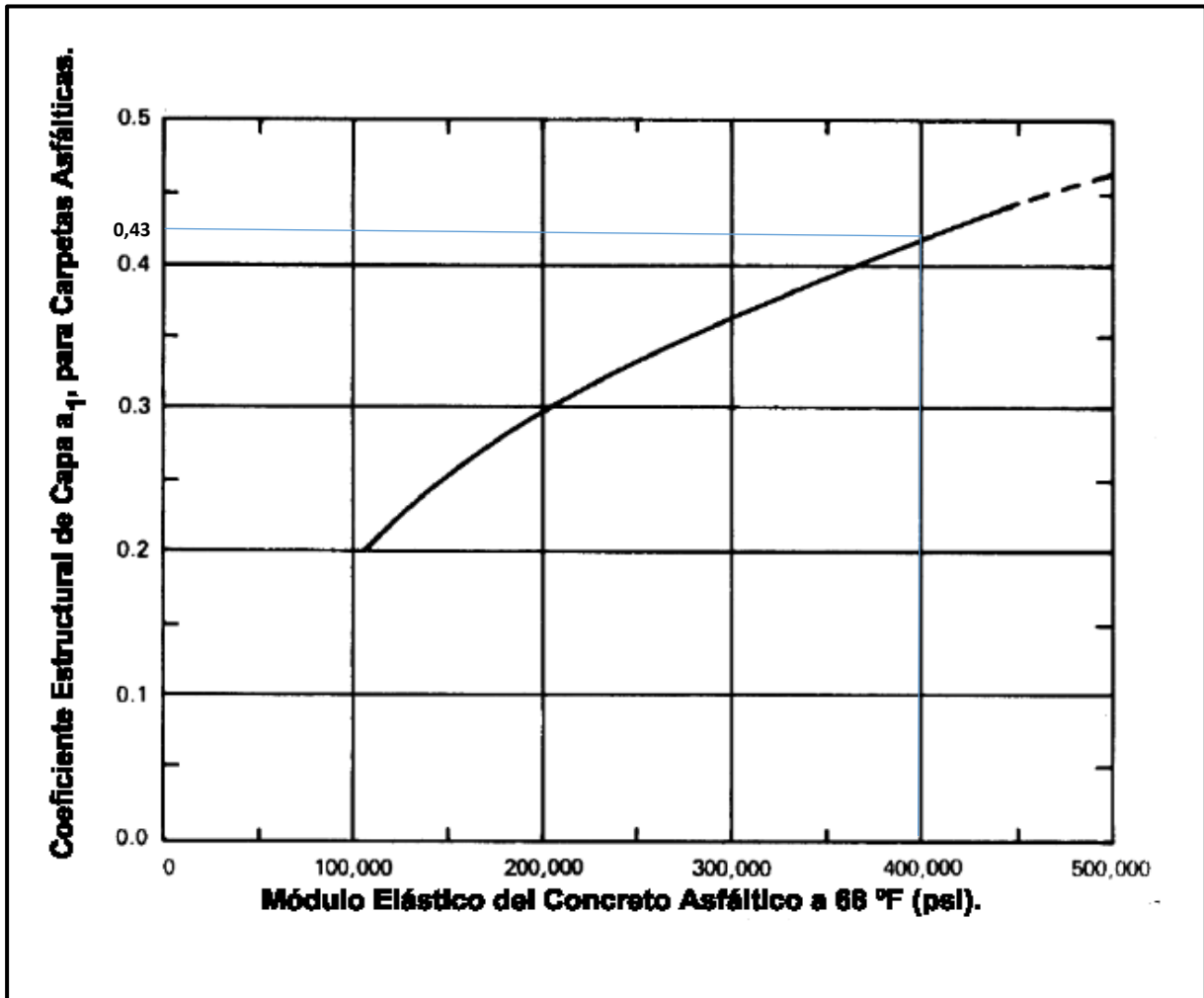


Ilustración 5.15. Coeficientes Capa "ac". Carpeta Asfáltica
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

$$a_c = \frac{0,43 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} = 0,169 \text{ cm} ; m = 1$$

Se calcula los espesores de cada una de las capas de la estructura del pavimento

➤ **Carpeta Asfáltica**

$$D1 = \frac{2,88}{0,169 \times 1} = 17,04 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 10 \times 0,169 \times 1 = 1,69$$

➤ **Base**

$$D2 = \frac{2,79 - 1,69}{0,0196 \times 1} = 56,12 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 25 \times 0,0196 \times 1 = 0,49$$

➤ **Subbase**

$$D3 = \frac{3,14 - 0,49 - 1,69}{0,0295 \times 1} = 32,54 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 35 \times 0,0295 \times 1 = 1,03$$

Comprobando:

$$1,69 + 0,49 + 1,03 > 3,14$$

$$3,21 > 3,14 \text{ **OK "CUMPLE"**}$$

Resultados Finales de Espesores:

Carpeta Asfáltica: 10 cm
Base: 25 cm¹²
Subbase: 35 cm.

Ilustración 5.16. Espesores de Estructura Vial mediante AASHTO 1993.

¹² Ver Anexo B.1.2: Espesores Mínimos por Capa para un diseño vial.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las granulometrías de los agregados correspondientes a la Mina “La China” no entran dentro de los parámetros establecidos para cada una de las clases de estructuras de base y subbase establecidas en la Especificación MTOP en la sección 403-1.02 y 404-1.02, por lo tanto se debería tecnificar el proceso de formación de agregados.
- Analizando los diferentes resultados obtenidos mediante los ensayos de laboratorio, y comparándolos mediante la especificación de diseño vial previamente establecida, podemos concluir que el material de la Mina “La China” posiblemente no sea apta para la construcción de bases pertenecientes a estructuras viales.
- El incumplimiento con una o varias de las condiciones de caracterización que presenta la especificación MTOP, determinará una deficiencia en la resistencia que presentará el agregado en estudio, por lo tanto, se producirá un porcentaje de CBR bajo.
- La durabilidad a los sulfatos en los agregados presentada para el caso de bases con un valor de 28,5% no cumple de acuerdo a lo establecido en la sección 814-2.02, sin embargo este valor es considerado como irrelevante en nuestro caso debido a que al finalizar la construcción de este tipo de estructura el material no estará expuesto a condiciones frías extremas.
- La poca capacidad del Índice de California “CBR” en nuestro material de ensayo se debe a que posiblemente sus agregados son provenientes de los ríos, es decir no han sido sometido a un proceso de trituración o cribado que no exista trabazón entre las partículas al momento de compactar el suelo.

- Al analizar los resultados obtenidos por cada uno de los diseños viales, podemos ver que el resultado de espesores obtenidos por medio del equipo Geogauge H4140 es mayor con respecto al diseño por CBR de laboratorio en un 0.65% en el caso de bases y de 0.57% en el caso de subbases con relación al obtenido con el CBR de laboratorio, esto se debe a que posiblemente no se realizó una debida compactación.
- A pesar de existir un incremento en los espesores, la confiabilidad de la medición con el equipo Geogauge H4140, está sujeta a que el valor utilizado fue una estimación del Módulo Resiliente, por lo tanto no se puede dar una certeza en que este es realmente el espesor adecuado y el más óptimo para su diseño. Además, se debería realizar una correlación directa contrastando resultados obtenidos en laboratorio y otra analizando los resultados obtenidos en sitio.

6.2 RECOMENDACIONES

- Al no presentar una adecuada granulometría gruesa, se recomienda tamizar el material y ubicarlo en diferentes acopios dependiendo del tamaño de sus partículas, con el fin de poder elaborar cualquier clase de agregado que sea necesario para la realización de diferentes proyectos de ingeniería. De igual forma se debería realizar un proceso de triturado en el material para poder mejorar el proceso de compactación entre las partículas
- En caso de que se quiera ajustar la granulometría fina del material para poder tener una mejoría en los resultados de caracterización, se recomienda utilizar un material de tipo ligante de propiedades similares y/o misma ubicación del agregado en estudio.
- Para poder realizar el diseño de estructura de base vial con este tipo de agregado, se debería realizar un mejoramiento de material teniendo en cuenta el cumplimiento de los resultados de la mezcla de agregados elaborada con la especificación vial antes mencionada.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D6758. (2008). *Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil Aggregate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C127. (2004). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C128. (2004). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C131. (2014). *Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C142. (1997). *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C33. (2008). *Especificación Normalizada para Agregados para Concreto*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C40. (1999). *Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C702. (2003). American Society of Testing Materials. *Práctica normativa para Reducir las muestras de agregados a tamaño de prueba*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM C88. (2014). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM D 1557. (2012). *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. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- ASTM D 4318. (1984). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. American Society of Testing Materials.
- ASTM D2418. (2014). *Metodo para determinar el Equivalente de Arena de Agregados y Suelos Finos*. EEUU.: American Society of Testing Materials.

- ASTM D2487. (2011). *Método de Ensayo Estándar para la Clasificación de Suelos con Propósitos de Ingeniería*. American Society of Testing Materials.
- ASTM D3282. (2015). *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. EEUU.: American Society of Testing Materials.
- Cardenas, L. (2018). Comprobación del Módulo de Young y la Rigidez de la capa estructural de varias muestras de suelo mediante ensayos del Geogauge y correlacionarlos con el Densímetro Nuclear y el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP). Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Cárdenas, R., & Ortega, M. (2007). Uso del GeoGauge H-4140 en caracterización de vías con materiales de diferentes minas de la provincia de Pichincha. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Giordani, C., & Leone, D. (10 de Febrero de 2019). *Universidad Tecnológica Nacional de Rosario*. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf
- Jimenez, J., & De Justo, J. (1975). *Geotecnia y Cimientos I : Rpropiedades de los suelos y de las rocas*. Madrid: Editorial Rueda.
- Laboratorio Vial del Imae. (2012). *Laboratorio Vial del Imae*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/laboratoriovial/Ensayos/suelo.php>
- Martínez, P., & Azuaga, M. (1997). *Medición del Módulo de Elasticidad de Young*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Ministerio de Obras Publicas y Comunicación del Ecuador. (2002). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: MTOP.
- Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador. (2013). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: MTOP.
- Montoya, M. I. (2005). Métodos No Destructivos para Evaluar los Módulos en Campo. En M. I. Montoya, *Evaluación en Campo del Módulo de Young Equivalente y el Grado de Compactación para Geomateriales* (págs. 44-45). Guayaquil: Escuela Politecnica del Litoral.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1982). Prueba de compactación dinámica. Método de California. En A. Rico, & H. Del Castillo, *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* (pág. 222). Mexico: Limusa.
- Riva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: Aci Perú.
- Rivera, G. (2013). Agregados para Mortero o Concreto. En G. Rivera, *Concreto Simple*. Cauca.

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física*. Madrid: Pearson.

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

CAPÍTULO 8. ANEXOS

7.1. ANEXO A: ECUACIONES UTILIZADAS EN CALCULOS

A.1.1. Desgaste a la Abrasión mediante la Maquina de los Ángeles

$$C = A - B$$

(Ecuación 7.1)

$$\% \text{ Desgaste} = C/A \times 100$$

(Ecuación 7.2) ¹³

C: Es el material que pasa el Tamiz N°12 (gr.)

A: Masa inicial de la muestra (gr.)

B: Masa sostenida en el tamiz N° 12 (gr.)

A.1.2. Gravedad Especifica (Agregado Fino)

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

(Ecuación 7.3.)

$$G_{es} = \frac{B}{500 - Ma}$$

(Ecuación 7.5.)

$$G_e = \frac{A}{500 - Ma}$$

(Ecuación 7.4.)

$$G_{ea} = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw}$$

(Ecuación 7.6.)

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

(Ecuación 7.7.) ¹⁴

Ma: Masa del agua añadida al matraz (gr.)

Mm: Masa del matraz (gr.)

¹³ ASTM. (2006). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. EEUU.

Norma Técnica Guatemalteca. (2014). Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles. Guatemala.

¹⁴ ASTM. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. EEUU.

Norma Técnica Guatemalteca. (2016). Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Guatemala.

Mmw: Masa del conjunto (matraz, agua y muestra) (gr.)

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca. (gr.)

G_e : Gravedad específica Bulk.

A: Masa de la muestra seca (gr.)

G_{es} : Gravedad específica del material saturado en superficie seca.

G_{ea} : Gravedad específica aparente

Ab: Porcentaje de Absorción

A.1.3. Gravedad Específica (Agregado Grueso)

$$G_e = \frac{A}{B - C}$$

(Ecuación 7.8.)

$$G_{es} = \frac{B}{B - C}$$

(Ecuación 7.9.)

$$G_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

(Ecuación 7.10.)

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

(Ecuación 7.11.)¹⁵

G_e : Gravedad específica Bulk

A: Masa de la muestra seca (gr.)

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr.)

C: Masa de la muestra sumergida en agua (gr.)

G_{es} : Gravedad específica del material saturado con superficie seca.

G_{ea} : Gravedad específica aparente

Ab: Porcentaje de Absorción

A.1.4. Equivalente de Arena.

$$\% \text{Equiv. Arena} = \frac{B}{A} \times 100$$

(Ecuación 7.12.)¹⁶

A: Lectura inicial o de arcilla.

B: Lectura final o de arena.

¹⁵ ASTM. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. EEUU.

Norma Técnica Guatemalteca. (2014). Método de ensayo. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Guatemala.

¹⁶ ASTM. (2014). EEUU. Standard Test Method for Sand Equivalent value of soils and fine aggregate. EEUU.

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (2018). Método estándar para determinar el valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino. Querétaro, México.

A.1.5. Durabilidad en los agregados por acción de sulfatos.

$$\% \text{Retenido Parcial} = \frac{R}{T} \times 100$$

(Ecuación 7.13.)

$$\% \text{ que Pasa} = \frac{R - T}{T} \times 100$$

(Ecuación 7.14.)

$$\% \text{ Desgaste Parcial} = \frac{\% \text{ Retenido Parcial} \times \% \text{ que Pasa}}{100}$$

(Ecuación 7.15.)

R: Masa Retenida Parcial
T: Masa total de muestra

A.1.6. Determinación de Terrones de Arcilla

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100$$

(Ecuación 7.16.)¹⁷

$$Pp = \frac{\% \text{ Retenido Parcial}^* \times P}{100}$$

(Ecuación 7.17.)

P: Porcentaje de arcilla en terrones para cada fracción.
M: Masa inicial de la muestra (gr.)
R: Masa seca de la muestra retenida en el tamiz de lavado, después del ensayo (gr.)
*% Retenido Parcial obtenido de granulometría.
Pp: Porcentaje parcial de arcilla en terrones

A.1.7. Índice de California “CBR”

$$\text{Esfuerzo de Ensayo} = C/A$$

(Ecuación 7.18.)

$$C = 0,9111 \times \delta$$

(Ecuación 7.20.)

$$\% \text{Expansion} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

(Ecuación 7.19.)¹⁸

$$\% \text{CBR} = \frac{(\text{Esf. de Ensayo} \times 100)}{\text{Esfuerzo Tipo}}$$

(Ecuación 7.21.)

¹⁷ ASTM. (2010). Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates. EEUU.
NORMA TECNICA GUATEMALTECA (2012). Método de ensayo. Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados. Guatemala.
¹⁸ ASTM. (2000). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. EEUU.
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (2006). CBR de Laboratorio, Primer Taller de Mecánica de Suelos. Lima, Peru.

L1= Lectura inicial (mm.)
 L2=Lectura final (mm.)
 A= Área de contacto (pistón) (pulg.²)
 C= Carga (Ecuación de Calibración) (lb)
 δ= Deformación (pulg.)

A.1.8. Ensayo GEOGAUGE H4140

$$\text{Índice de Compactacion} = \frac{\text{Densidad Seca Max. Lab}}{\text{Densidad Seca Max. in situ}}$$

(Ecuación 7.22.)

$$\text{Mod. Resiliente (psi)} = \text{Mod. de Young (MPa)} * 145,038$$

(Ecuación 7.23.)

7.2. ANEXO B: TABLAS COMPLEMENTARIAS

B.1.1. Granulometrías Recomendadas para ensayos

Tabla 8.1. Porcentaje en Peso que pasa por tamices. (Agregado Grueso)

Tamiz		% Pasa				
		Base Clase 1		Base Clase 2	Base Clase 3	Base Clase 4
Pulg.	mm.	Tipo A	Tipo B			
2"	50	100	100	100	100	100
1 1/2"	37,5	70-100	70-100	70-100		
1"	25	55-85	60-90	55-85	70-100	60-90
3/4"	19	50-80	45-75	47-75	60-90	
3/8"	9,5	35-60	30-60	35-65	40-75	
N°4	4,75	25-50	20-50	25-55	30-60	20-50
N°10	2	20-40	10-25	15-45	15-45	
N°40	0,425	10-25	2-12	5-25	10-30	
N°200	0,075	2-12		0-10	0-15	0-15

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen N°3. (MTO)Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013)

Tabla 8.2. Porcentaje en Peso que pasa por tamices. (Agregado Fino)

Tamiz		% Pasa		
		Subbase Clase 1	Subbase Clase 2	Subbase Clase 3
Pulg.	mm.			
3"	76,2			100
2"	50		100	
1 1/2"	37,5	100	70-100	
N°4	4,75	30-70	30-70	30-70
N°40	0,425	10-35	15-40	
N°200	0,075	0-15	0-20	0-20

Fuente: Manual NEVI-12 Volumen N°3. (MTO)Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013)

B.1.2. Conformación de Fundas para Ensayos

Tabla 8.3. Conformación Fundas - Proctor Modificado - Mina "La China"

Material	Tipo de Estructura						
	Subbase Clase 1	Subbase Clase 2	Subbase Clase 3	Base Clase 1B	Base Clase 2	Base Clase 3	Base Clase 4
1/2 (gr.)	710,8	786,4	924,0	889,0	926,0	552,8	1250,1
3/8 (gr.)	473,8	524,3	616,0	592,6	617,3	368,5	833,4
Ret.Tam. #4 (gr.)	1015,4	889,4	660,0	800,9	656,7	825,0	886,6
Pasa.Tam. #4 (gr.)	3300,0	3300,0	3300,0	3217,5	3300,0	3753,8	2530,0
Totales (gr.)	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500

Tabla 8.4. Conformación Fundas - Índice de California - Mina "La China"

Material	Tipo de Estructura						
	Subbase Clase 1	Subbase Clase 2	Subbase Clase 3	Base Clase 1B	Base Clase 2	Base Clase 3	Base Clase 4
1/2 (gr.)	2003,1	2216,2	2604,0	2505,3	2609,6	1557,8	3522,9
3/8 (gr.)	1335,4	1477,4	1736,0	1670,2	1739,7	1038,5	2348,6
Ret.Tam. #4 (gr.)	2861,5	2506,4	1860,0	2257,0	1850,7	2325,0	2498,5
Pasa.Tam. #4 (gr.)	9300,0	9300,0	9300,0	9067,5	9300,0	10578,8	7130,0
Totales (gr.)	15500	15500	15500	15500	15500	15500	15500

B.1.2. Espesores Mínimos por Capa para un diseño vial.

*Tabla 8.5. Espesores mínimos según el número de ejes de 8,2 Ton.
Uso para concreto asfáltico y capa de base.*

Eje W 8.2	Concreto Asfáltico (mm)	Capa Base (mm)
Menos de 50,000	30	100
50,001 – 150,000	60	100
150,001 – 500,000	75	100
500,001 – 2'000.000	90	150
2'000.001 – 7'000,000	100	150
Mayor que 7'000,000	120	150

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

B.1.2. Tablas Utilizadas para realizar Clasificación de Suelos

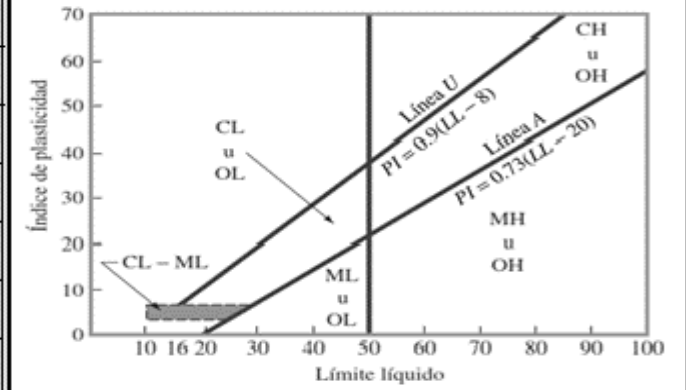
Tabla 8.6. Clasificación AASHTO. Tomado de: Norma ASTM D-3282

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES							MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS			
	(35% o menos que pasa por el tamiz N°200)							Más del 35% que pasa por el tamiz N°200			
Clasificación en grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis granulométrico, % que pasa											
Tamiz N°10	50 máx.										
Tamiz N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Tamiz N°200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40:											
Límite líquido			NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.			10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiales que constituyen fundamentalmente estos grupos	Fragmentos de piedra, grava y arena.		Arena fina	Grava y arena limosas o arenosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	

Fuente: ASTM. (2009). *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. EEUU.
DAS, Braja (2013). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica. Sistemas de Clasificación AASHTO*. México.

Tabla 8.7. Clasificación S.U.C.S. Tomado de: Norma ASTM D-2487

Divisiones principales		Símbolo del	Nombre clásico	Clasificación de Laboratorio	
Suelos de grano grueso. Mas de la mitad del material es mayor que el Tamiz N°200.	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5 mm. (Tamiz N°4)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6 \quad 1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ Los límites de Atterberg bajo la línea A ó IP < 4 Los límites de Atterberg sobre la línea A ó IP > 7 $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad 1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ Los límites de Atterberg bajo la línea A ó IP < 4 Los límites de Atterberg sobre la línea A ó IP > 7	
		FP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.		
	ARENAS Mas de la mitad de los gruesos es < 5 mm. (Tamiz N°4)	Arenas limpias (poco ó ningun fino)	SW		Arenas bien graduadas, arenas con grava poco ó ningún fino.
			SP		Arenas pobrementes graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
		Arenas con finos (apreciable cantidad)	SM		Arenas limosas, mezcla de arena y limo.
			SC		Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
Suelos de grano fino. Mas de la mitad del material es menor que el Tamiz N°200.	Limos y Arcillas. Limite Liquido de 50% o menor.	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad		
		CL	Arcillas inórganicas de baja a medida compresibilidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
		OL	Limos inorgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad.		
	Limos y Arcillas. Limite Liquido > 50%.	MH	Limos inórganicos de alta compresibilidad.		
		CH	Arcillas inórganicas de alta compresibilidad.		
		OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.		
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba y otros suelos altamente inorgánicos.			



Fuente: ASTM. (2011). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). EEUU.

DAS, Braja (2013). Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica. Sistemas de Clasificación AASHTO. México.

7.3. ANEXO C: FOTOGRAFIAS

C.1.1. Fotografías correspondientes a Ensayos



Ilustración 8.1. Material Utilizado para Ensayos de Caracterización.



Ilustración 8.2. Muestra para Ensayo de Terrones de Arcilla.



Ilustración 8.3. Ensayo de Granulometría Gruesa.



Ilustración 8.4. Muestra para Ensayo de Granulometría Fina.



Ilustración 8.5. Resultado obtenido para Contenido Orgánico.



Ilustración 8.6. Preparación de muestra Desgaste a Sulfatos.



Ilustración 8.7. Compactación de Proctor Modificado.



Ilustración 8.8. Ecuación de Calibración en ensayo de penetración CBR.



Ilustración 8.9. Excavación de Zanja para Ensayo Geogauge.



Ilustración 8.10. Compactación de Zanja para Ensayo Geogauge.



Ilustración 8.11. Tamices para elaboración de granulometría.



Ilustración 8.12. Colocación de capas de zanja.



Ilustración 8.13. Medición de Densidades y Compactación con el uso del Densímetro Nuclear.



Ilustración 8.14. Medición de Módulos mediante equipo Geogauge.

Identificación de Muestra	Base	Subbase
Clasificación SUCS	GW	GW
Descripción	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
Clasificación AASHTO	A-1-a	A-1-a
Descripción	Fragmentos de piedra, grava y arena.	Fragmentos de piedra, grava y arena.

Identificación de Muestra	Base / Subbase
N° en Escala de Gardner	3
Descripción	Se considera aceptable para

Identificación de Muestra	Base / Subbase
N° de Revoluciones	500
Masa Inicial (A)	5015
Masa Retenida (Tam. N° 12) (B)	4440
Pasante Tamiz N° 12 (C)	575
% de Desgaste	11,47

		Identificación de Muestra	Base / Subbase
Datos Iniciales	Masa del Matraz (Mm) (gr.)		158,6
	Muestra) (Mmw) (gr.)		971,6
	Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca (B) (gr.)		500
	Masa de la Muestra Seca (gr.) (A)		486,2
Datos Calculados	Masa del agua en matraz (Ma)		313
	Gravedad Especifica Seca (Ge)		2,6
	Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca (Ges)		2,67
	Gravedad Especifica Aparente (Gea)		2,81
	Porcentaje de Absorción (%)		4,41

		Identificación de Muestra	Base / Subbase
Datos Iniciales	Masa de la Muestra Seca (A) (gr.)		4975
	Masa de Muestra Saturada con Superficie Seca (B) (gr.)		5020
	Masa de la muestra sumergida en agua (C) (gr.)		3175
Datos Calculados	Gravedad Especifica Seca (Ge)		2,70
	Gravedad Especifica Saturada con Superficie Seca (Ges)		2,72
	Gravedad Especifica Aparente (Gea)		2,76
	Porcentaje de Absorción (%)		0,90

Identificación de Muestra	Base / Subbase		
Muestra N°	1	2	3
Lectura Inicial (A)	5	4,8	5,2
Lectura Final (B)	4	3,9	4,2
Porcent. Equiv. De Arena (%)	80,0	81,3	80,8

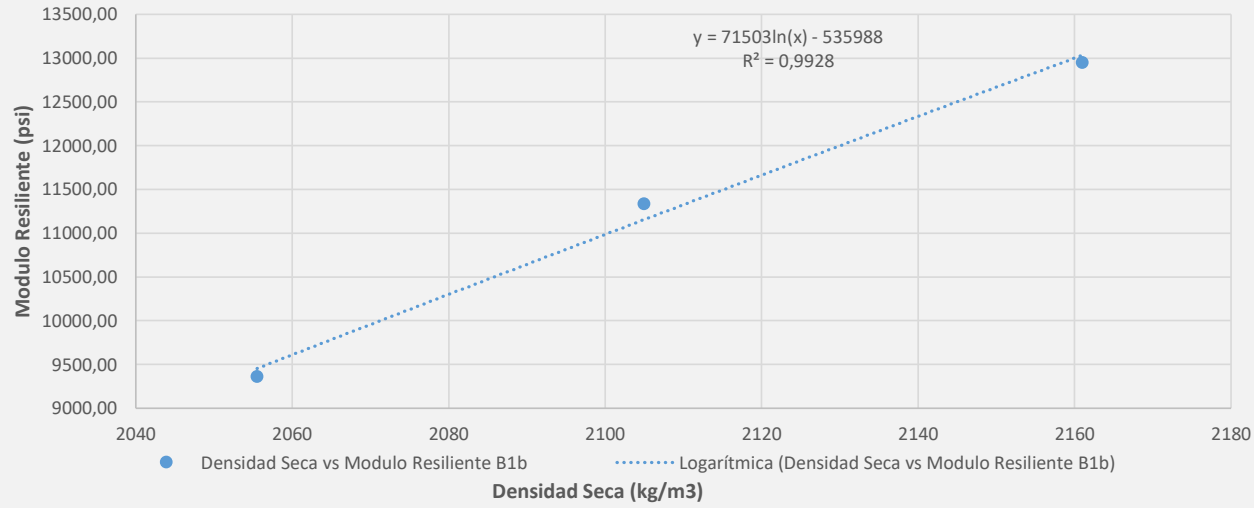
Equiv. De Arena Promedio (%)	80,7
------------------------------	------

<div style="text-align: center;">% Desgaste a los Sulfatos</div>								
Identificación de Muestra				Base / Subbase				
Número del Tamiz				Masa de las fracciones antes del ensayo (B) (gr.)	Masa de las fracciones despues del ensayo (A) (gr.)	% Retenido Parcial	% Desgaste Arcilla	% Desgaste Parcial
Pasa		Retiene						
pulg.	mm.	pulg.	mm.					
AGREGADO GRUESO								
		2 1/2 "	64	-	-	-	-	-
2 1/2 "	64	2 "	50,8	-	-	-	-	-
2 "	50,8	1 1/2 "	38,1	-	-	-	-	-
1 1/2 "	38,1	1 "	25,4	1000,3	974,5	97,4	2,6	2,5
1 "	25,4	3/4 "	19	500,1	477,9	95,6	4,4	4,2
3/4 "	19	1/2 "	12,7	676	645,4	95,5	4,5	4,3
1/2 "	12,7	3/8 "	9,51	329,3	299,9	91,1	8,9	8,1
3/8 "	9,51	N° 4	4,76	300,2	268,5	89,4	10,6	9,4
N° 4	4,76			-	-	-	-	-
% Desgaste Total Agregado Grueso (%)								28,7
AGREGADO FINO								
		N° 4	4,76	-	-	-	-	-
N° 4	4,76	N° 8	2,38	100,2	84,2	84,0	16,0	13,4
N° 8	2,38	N° 16	1,19	100	84,2	84,2	15,8	13,3
N° 16	1,19	N° 30	0,595	100,1	86,6	86,5	13,5	11,7
N° 30	0,595	N° 50	0,297	100,2	86,5	86,3	13,7	11,8
N° 50	0,297			-	-	-	-	-
% Desgaste Total Agregado Fino (%)								50,19

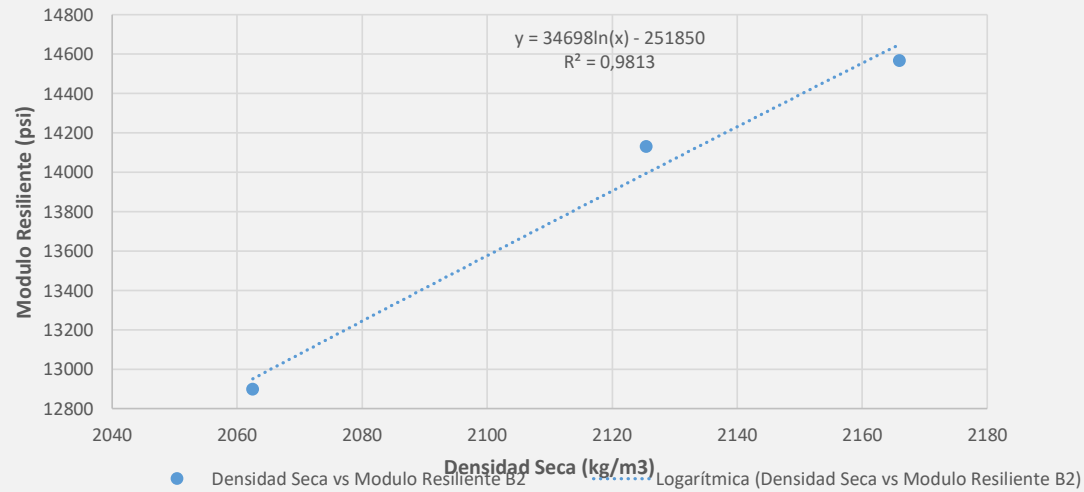
Terrones de Arcilla								
Identificación de Muestra				Base / Subbase				
Número del Tamiz				Masa de las fracciones antes del ensayo (B)	Masa de las fracciones después del	% Retenido Parcial	% Desgaste Arcilla	% Desgaste Parcial
Pasa		Retiene						
pulg.	mm.	pulg.	mm.					
AGREGADO GRUESO								
		2 1/2 "	64	-	-	-	-	-
2 1/2 "	64	2 "	50,8	-	-	-	-	-
2 "	50,8	1 1/2 "	38,1	-	-	-	-	-
1 1/2 "	38,1	1 "	25,4	2500	4985	99,7	0,6	0,6
1 "	25,4	3/4 "	19	2500				
3/4 "	19	1/2 "	12,7	1000	1995	99,8	0,5	0,5
1/2 "	12,7	3/8 "	9,51	1000				
3/8 "	9,51	N° 4	4,76	1000	996,6	99,7	0,3	0,3
N° 4	4,76			-	-	-	-	-
% Desgaste Total Agregado Grueso (%)								1,4
AGREGADO FINO								
		N° 4	4,76	-	-	-	-	-
N° 4	4,76	N° 8	2,38	200	197,5	98,8	1,3	1,2
N° 8	2,38	N° 16	1,19					
N° 16	1,19	N° 30	0,595	-	-	-	-	-
N° 30	0,595	N° 50	0,297	-	-	-	-	-
N° 50	0,297			-	-	-	-	-
% Desgaste Total Agregado Fino (%)								1,2

Ensayo mediante Equipo Geogauge H4140									
Material	Densidad Seca Máxima (Campo) (Densímetro Nuclear) (Kg/m3)		Densidad Seca (Campo) Promedio (Kg/m3)	Densidad Seca Máxima (Laboratorio)(Proctor Modificado) (Kg/m3)	Porcentaje de Compactación (%)	Modulo de Young (Mpa)		Modulo de Young Promedio - Mpa	Modulo Resiliente (psi)
Base Clase 1b	2022	2089	2055,5	2160	95%	63,98	65,11	64,55	9361,48
	2088	2122	2105		97%	79,11	77,15	78,13	11331,8189
	2162	2160	2161		100%	89,24	89,32	89,28	12948,9926
Base Clase 2	2073	2052	2062,5	2168	95%	89,64	88,23	88,94	12898,9545
	2124	2127	2125,5		98%	98,31	96,54	97,43	14130,3272
	2167	2165	2166		100%	100,11	100,76	100,44	14566,8915
Base Clase 3	1935	1945	1940	2089	93%	63,71	67,52	65,62	9516,66837
	1997	1998	1997,5		96%	76,54	74,11	75,33	10924,9874
	2080	2089	2084,5		100%	83,33	84,18	83,76	12147,6577
Base Clase 4	1999	2007	2003	2169	92%	85,34	87,24	86,29	12515,329
	2088	2078	2083		96%	95,75	95,66	95,71	13880,8618
	2165	2169	2167		100%	99,26	99,34	99,30	14402,2734
Sub Base Clase 1	2023	2021	2022	2174	93%	42,24	42,17	42,21	6121,32879
	2101	2097	2099		97%	57,34	57,24	57,29	8309,22702
	2174	2173	2173,5		100%	71,34	71,67	71,51	10370,9422
Sub Base Clase 2	2035	2045	2040	2189	93%	40,22	40,33	40,28	5841,40545
	2135	2120	2127,5		97%	57,23	57,55	57,39	8323,73082
	2188	2189	2188,5		100%	71,68	71,77	71,73	10402,8506
Sub Base Clase 3	1993	1992	1992,5	2125	94%	38,91	37,41	38,16	5534,65008
	2077	2075	2076		98%	57,27	57,10	57,19	8293,99803
	2120	2125	2122,5		100%	71,46	71,18	71,32	10344,1102

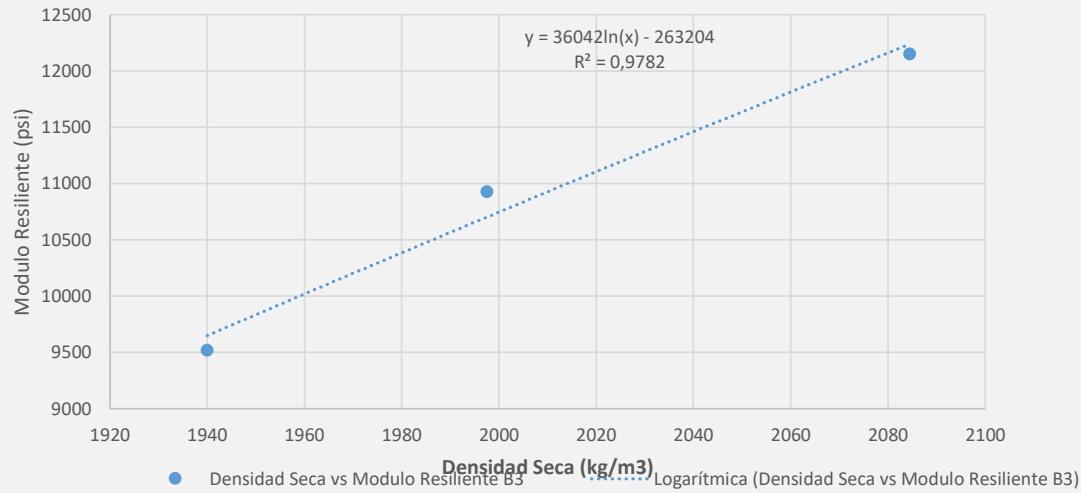
Densidad Seca vs Módulo Resiliente - Base Clase 1b



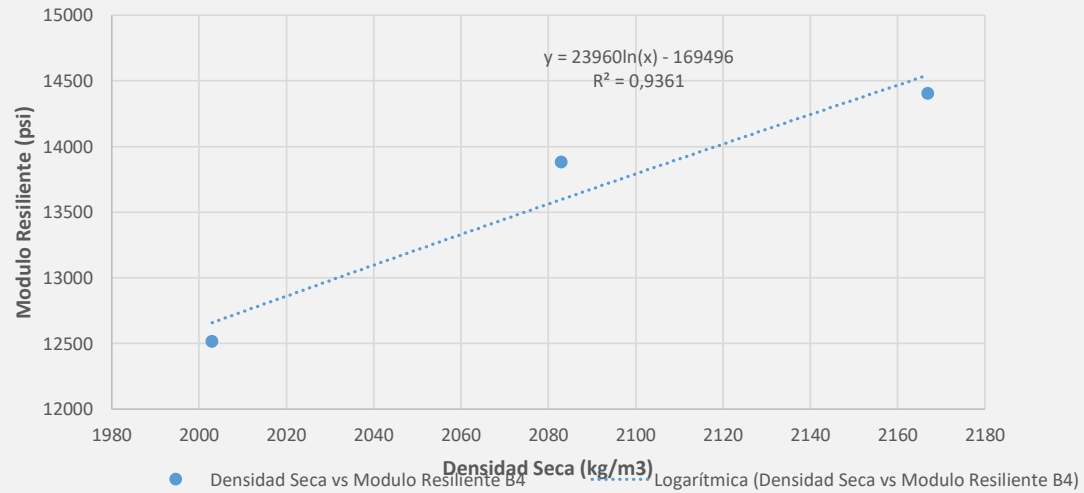
Densidad Seca vs Módulo Resiliente - Base Clase 2 - Mina "La China"

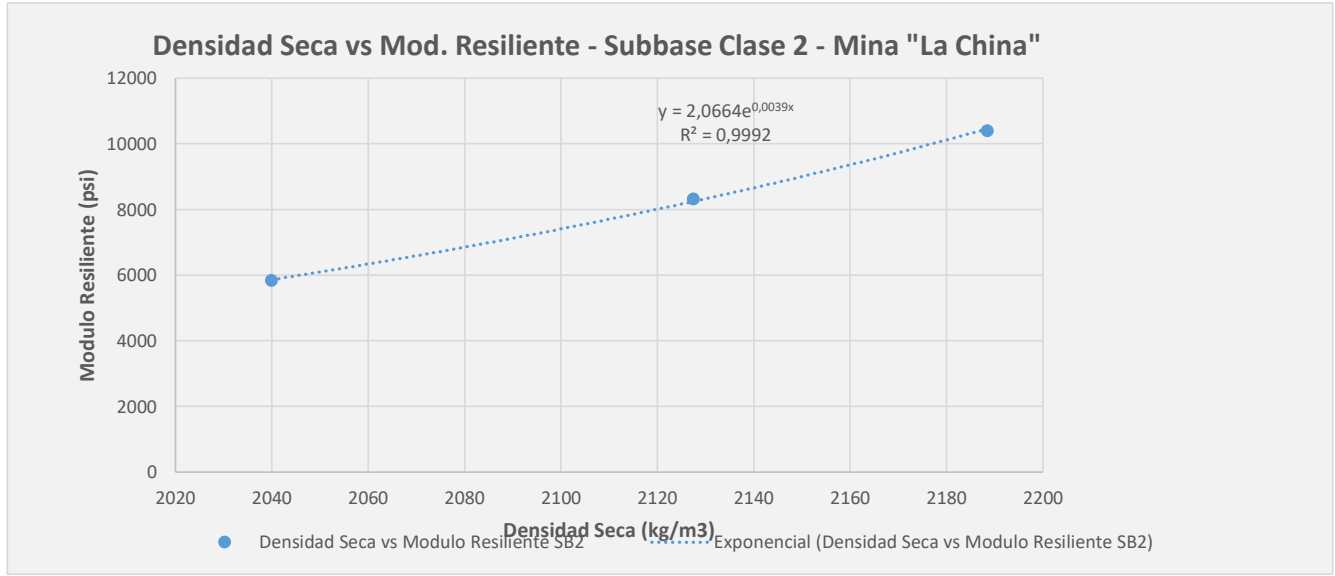
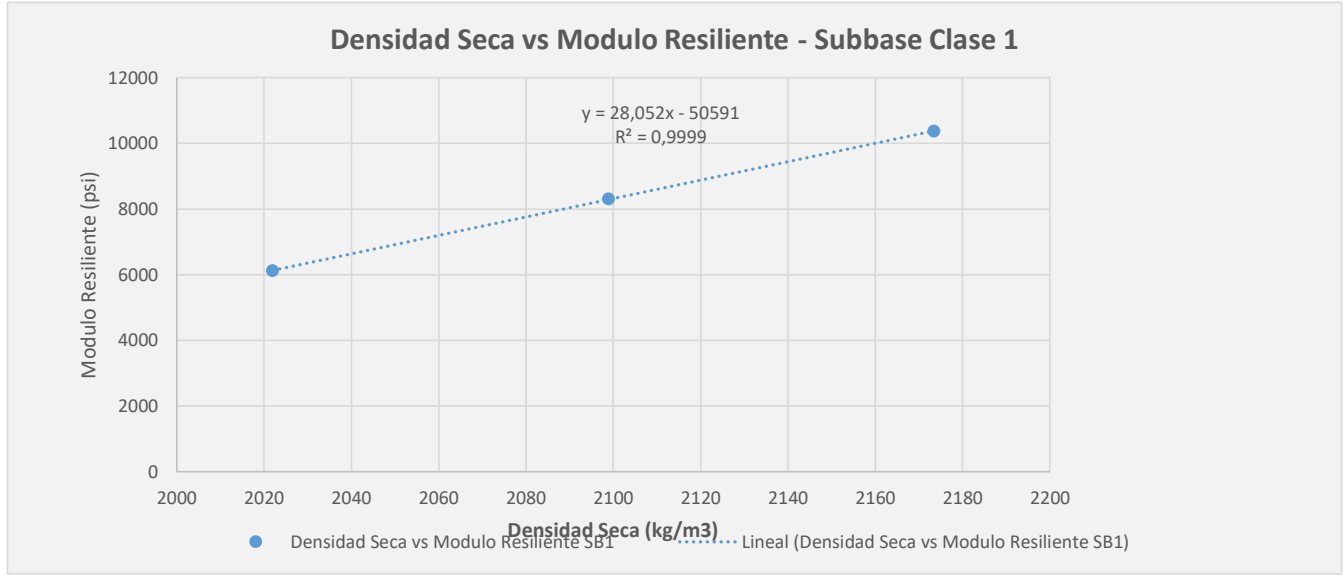


Densidad Seca vs Módulo Resiliente Base Clase 3

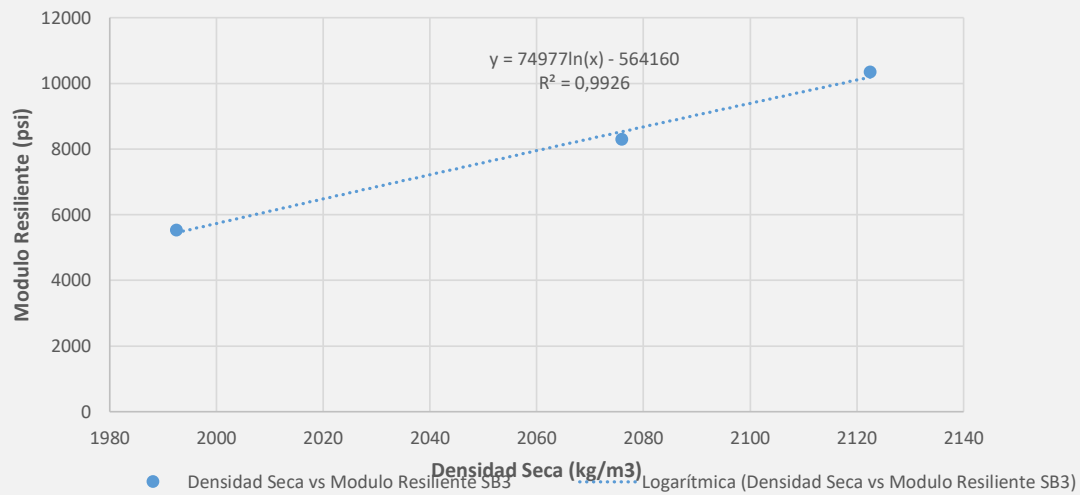


Densidad Seca vs Módulo Resiliente - Base Clase 4 - Mina "La China"

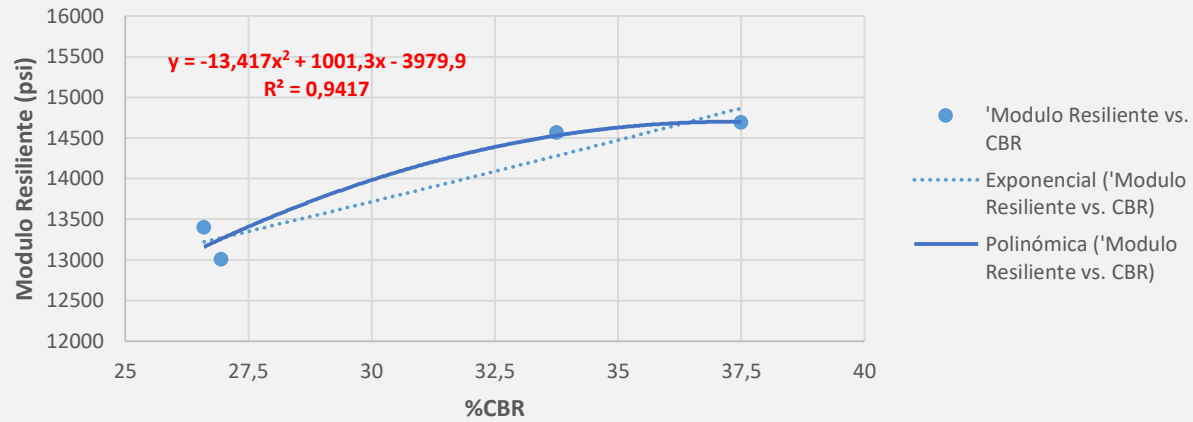




Densidad Seca vs Mod Resiliente Subbase Clase 3 - Mina "La China"



Correlación Modulo Resiliente vs. CBR - Material Base



Correlación Modulo Resiliente vs. CBR - Material Subbases

