PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

“COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASOS DE ESTUDIO MINA COMPAÑÍA JHV (TENA) “

GEOVANNY ALEXANDER PAZMIÑO LOVATO

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2019

Contenido

AGRADECIMIENTOS 1
DEDICATORIA 2
RESUMEN 3
CAPÍTULO 1 1
1. Generalidades 1
1.1. Justificación 1
1.2. Planteamiento del problema 1
1.3. Objetivos 2
1.3.1. Objetivo general 2
1.3.2. Objetivos específicos 2
CAPÍTULO 2 3
2. Descripción de los materiales 3
2.1. Sub-base 3
2.2. Base 4
2.3. Procedencia de los agregados 6
CAPÍTULO 3 7
3. Ensayos de laboratorio y resultados 7
3.1. Muestreo de agregados 7
3.2. Cuarteo de los agregados 8
3.3. Granulometría 8
3.3.1. Procedimiento 10
3.3.2. Resultados 10
3.4. Gravedad específica y absorción de los agregados 18
3.4.1. Procedimiento 20
3.4.2. Resultados 20
3.5. Contenido orgánico 21
3.5.1. Procedimiento 21
3.5.2. Resultados 21
3.6. Terrones de arcilla y partículas friables en los agregados 22
3.6.1. Procedimientos 22
3.6.2. Resultados 22
3.7. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos 23
3.7.1. Procedimiento 25
3.7.2. Resultados 25

3.8. Equivalente de arena 27
3.8.1. Procedimiento 27
3.9. Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles 28
3.9.1. Procedimiento 29
3.9.2. Resultados 29
3.10. Límites de Atterberg 29
3.10.1. Límite líquido 29
3.10.2. Límite plástico 29
3.10.3. Límite de contracción 30
3.10.4. Resultados 30
3.11. Sistemas de clasificación de suelos 30
3.11.1. Sistema AASHTO 30
3.11.2. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) 30
3.11.3. Procedimiento 30
3.11.4. Resultados 33
3.12. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio 34
CAPÍTULO 4 35
4. California Bearing Ratio C.B.R. 35
4.1. Proctor modificado 35
4.1.1. Procedimiento 35
4.1.2. Resultados Proctor modificado 36
4.1.3. Resultados C.B.R 43
4.1.4. Resumen de resultados del C.B.R. 63
CAPÍTULO 5 64
5. Módulo de Young con el uso del Geogauge 64
5.1. Generalidades y uso del Geogauge 64
5.2. Procedimiento 65
5.3. Resultados 65
CAPÍTULO 6 75
6. Correlaciones 75
6.1. Correlación C.B.R Y Módulo Resiliente para subbases 75
6.2. Correlación C.B.R Y Módulo Resiliente para bases 76
6.3. Diseño de la capa de base y subbase con método AASSHTO 1993 77
6.4. Diseño de la base y subbase con la correlación obtenida 85
6.5. Comparación de los espesores obtenidos por el método AASHTO y las correlaciones obtenidas 88

CAPÍTULO 7 89
7. Conclusiones y recomendaciones 89
7.1. Conclusiones 89
7.2. Recomendaciones 90
7.3. Bibliografía 91
7.4. Anexos 93

Índice de tablas

Tabla 2.1 Granulometrías de las diferentes clases de subbases 4
Tabla 2.2 Granulometrías de las diferentes clases de bases 6
Tabla 3.1 Cantidad de material para realizar la granulometría. 8
Tabla 3.2 Tamices necesarios para la granulometría 9
Tabla 3.3 Masa mínima del agregado grueso 9
Tabla 3.4 Masa mínima del agregado grueso 9
Tabla 3.5 Granulometría de la base clase 1-A 11
Tabla 3.6 Granulometría de la base clase 2 12
Tabla 3.7 Granulometría de la base clase 3 13
Tabla 3.8 Granulometría de la clase 4 14
Tabla 3.9 Granulometría de la subbase clase 1 15
Tabla 3.10 Granulometría de la subbase clase 2 16
Tabla 3.11 Granulometría de la subbase clase 3 17
Tabla 3.12 Gravedad específica y absorción del agregado fino 20
Tabla 3.13 Gravedad específica y absorción del agregado grueso 20
Tabla 3.14 Contenido orgánico del material 22
Tabla 3.15 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas friables 23
Tabla 3.16 Cantidad necesarias del material grueso 23
Tabla 3.17 Cantidad necesaria del material fino 24
Tabla 3.18 Porcentaje de desgaste del agregado grueso 26
Tabla 3.19 Porcentaje de desgaste del agregado fino 26
Tabla 3.20 Equivalente de arena 27
Tabla 3.21 Cantidades de material necesario para el ensayo 28
Tabla 3.22 Cantidades de material necesarios para el ensayo 28
Tabla 3.23 Numero de esferas según el método utilizado 28
Tabla 3.24 Desgaste a la abrasión 29
Tabla 3.25 Limites de Atterberg 30
Tabla 3.26 Clasificación de suelos AASHTO 31
Tabla 3.27 Clasificación de suelos SUCS 32
Tabla 3.28 Clasificación de la base clase 1-A 33
Tabla 3.29 Clasificación de la base clase 2 33
Tabla 3.30 Clasificación de la base clase 3 33
Tabla 3.31 Clasificación de la base clase 4 33
Tabla 3.32 Clasificación de la subbase clase 1 34

Tabla 3.33 Clasificación de la subbase clase 2 34
Tabla 3.34 Clasificación de la subbase clase 3 34
Tabla 3.35 Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio 34
Tabla 4.1 Proctor modificado para base clase 1-A 36
Tabla 4.2 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 1-A 36
Tabla 4.3 Proctor modificado para base clase 2 37
Tabla 4.4 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 2 37
Tabla 4.5 Proctor modificado para base clase 3 38
Tabla 4.6 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 3 38
Tabla 4.7 Proctor modificado para base clase 4 39
Tabla 4.8 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 4 39
Tabla 4.9 Proctor modificado para subbase clase 1 40
Tabla 4.10 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 1 40
Tabla 4.11 Proctor modificado para subbase clase 2 41
Tabla 4.12 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 2 41
Tabla 4.13 Proctor modificado para subbase clase 3 42
Tabla 4.14 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 3 42
Tabla 4.15 C.B.R de la base clase 1-A 43
Tabla 4.16 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 1-A 45
Tabla 4.17 C.B.R de la base clase 2 46
Tabla 4.18 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 2 48
Tabla 4.19 C.B.R de la base clase 3 49
Tabla 4.20 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 3 51
Tabla 4.21 C.B.R de la base clase 4 52
Tabla 4.22 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 4 54
Tabla 4.23 C.B.R de la subbase clase 1 55
Tabla 4.24 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 1 57
Tabla 4.25 C.B.R de la subbase clase 2 58
Tabla 4.26 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 2 60
Tabla 4.27 C.B.R de la subbase clase 3 61
Tabla 4.28 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 3 63
Tabla 4.29 Resumen de resultados C.B.R 63
Tabla 5.1 Geogauge base clase 1-A 66
Tabla 5.2 Geogauge base clase 2 67
Tabla 5.3 Geogauge base clase 3 68
Tabla 5.4 Geogauge base clase 4 69
Tabla 5.5 Geogauge subbase clase 1 70

Tabla 5.6 Geogauge subbase clase 2 71
Tabla 5.7 Geogauge subbase clase 3 72
Tabla 6.1 Valores de C.B.R. y Modulo resiliente para subbases 75
Tabla 6.2 Valores de C.B.R. y Modulo resiliente para bases 76
Tabla 6.3 Tráfico promedio diario anual (TPDA) 77
Tabla 6.4 Nivel de confianza 77
Tabla 6.5 Valores recomendados para desviación estándar 78
Tabla 6.6 Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques 79
Tabla 6.7 TPDA final 79
Tabla 6.8 Factor de carga equivalente 80

Índice de figuras

Figura 2.1 ubicación mina compañía JHV (Tena) 7
Figura 3.1 Curva granulométrica de la base clase 1-A 11
Figura 3.2 Curva granulométrica de la base clase 2 12
Figura 3.3 Curva granulométrica de la base clase 3 13
Figura 3.4 Curva Granulométrica de la base clase 4 14
Figura 3.5 Curva granulométrica de la subbase clase 1 15
Figura 3.6 Curva granulométrica de la subbase clase 2 16
Figura 3.7 Curva granulométrica de la subbase clase 3 17
Figura 4.1 Curva de compactación de la base clase 1-A 36
Figura 4.2 Curva de compactación de la base clase 2 37
Figura 4.3 Curva de compactación de la base clase 3 38
Figura 4.4 Curva de compactación de la base clase 4 39
Figura 4.5 Curva de compactación de la subbase clase 1 40
Figura 4.6 Curva de compactación de la subbase clase 2 41
Figura 4.7 Curva de compactación de la subbase clase 3 42
Figura 4.8 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (56 golpes) 43
Figura 4.9 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (26 golpes) 44
Figura 4.10 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (12 golpes) 44
Figura 4.11 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 1-A 45
Figura 4.12 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (56 golpes) 46
Figura 4.13 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (26 golpes) 47
Figura 4.14 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (12 golpes) 47
Figura 4.15 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 2 48
Figura 4.16 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (56 golpes) 49
Figura 4.17 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (26 golpes) 50
Figura 4.18 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (12 golpes) 50
Figura 4.19 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 3 51
Figura 4.20 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (56 golpes) 52
Figura 4.21 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (26 golpes) 53
Figura 4.22 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (12 golpes) 53
Figura 4.23 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 4 54
Figura 4.24 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (56 golpes) 55
Figura 4.25 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (26 golpes) 56
Figura 4.26 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (12 golpes) 56
Figura 4.27 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 1 57

Figura 4.28 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (56 golpes) 58
Figura 4.29 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (26 golpes) 59
Figura 4.30 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (12 golpes) 59
Figura 4.31 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 2 60
Figura 4.32 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (56 golpes) 61
Figura 4.33 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (26 golpes) 62
Figura 4.34 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (12 golpes) 62
Figura 4.35 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 3 63
Figura 5.1 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 1-A 66
Figura 5.2 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 2 67
Figura 5.3 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 3 68
Figura 5.4 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 4 69
Figura 5.5 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase 1 70
Figura 5.6 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase2 71
Figura 5.7 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase 3 72
Figura 5.8 Relación densidad seca vs módulo resiliente para bases 73
Figura 5.9 Relación densidad seca vs módulo resiliente para subbases 74
Figura 6.1 Ecuación de módulo resiliente para subbases 75
Figura 6.2 Ecuación de módulo resiliente para bases 76
Figura 6.3 Numero estructural de la subrasante obtenido con el programa AASHTO 1993 81
Figura 6.4 Abaco para obtener coeficiente estructural de la subbase 81
Figura 6.5 Numero estructural de la subbase obtenido con el programa AASHTO 1993 82
Figura 6.6 Abaco para obtener coeficiente estructural de la base 82
Figura 6.7 Numero estructural de la base obtenido con el programa AASHTO 1993 83
Figura 6.8 Abaco para obtener coeficiente estructural de la carpeta asfáltica 83
Figura 6.9 Espesores de la estructura vial por el método AASHTO 1993 84
Figura 6.10 Abaco para obtener coeficiente estructural de la subbase 85
Figura 6.11 Número estructural de la subbase obtenido con el programa AASHTO 1993 85
Figura 6.12 Abaco para obtener coeficiente estructural de la base 86
Figura 6.13 Número estructural de la base obtenido con el programa AASHTO 1993 86
Figura 6.14 Espesores de la estructura vial obtenida por la correlación 87
Figura 6.15 Comparación de los espesores obtenidos por el método AASHTO y la correlación obtenida 88

Índice de fotografías

Fotografía 3.1 Contenido orgánico 21
Fotografía 7.1 Agregados de la mina 93
Fotografía 7.2 Agregado de la mina 93
Fotografía 7.3 Granulometría del material 94
Fotografía 7.4 Gravedad especifica agregado grueso 94
Fotografía 7.5 Gravedad especifica agregado fino 94
Fotografía 7.6 Muestra para el ensayo de abrasión (máquina de los ángeles) 95
Fotografía 7.7 Fundas para Proctor 95
Fotografía 7.8 Fundas para C.B.R. 95
Fotografía 7.9 Molde para C.B.R. 96
Fotografía 7.10 Ensayo C.B.R. 96
Fotografía 7.11 Ensayo C.B.R. 96
Fotografía 7.12 Colocación del material 97
Fotografía 7.13 Compactación del material 97
Fotografía 7.14 Densidad máxima 97
Fotografía 7.15 Ensayo Geogauge 97

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a dios por llenar mi camino de bendiciones, por darme la oportunidad de tener una familia maravillosa y por darme la fortaleza para continuar adelante en los momentos difíciles que se me han presentado en mi vida hasta el día de hoy.

A mis padres quienes siempre guiaron mi camino brindándome sus consejos, sus valores y principios los cuales me permitieron obtener y cumplir muchos objetivos que me e trazado en mi vida.

A mi hermano por brindarme su cariño en todo momento.

A mi familia por ser una parte especial en mi vida, por brindarme su apoyo y su ayuda en todos los momentos difíciles que se me han presentado.

A mi novia la cual ha estado a mi lado en todo momento, brindándome todo su amor y paciencia.

A mis amigos los cuales me brindaron su amistad sincera, con los cuales compartimos varios momentos de alegría y de tristeza.

A mi director de tesis el cual me brindo sus conocimientos y su apoyo en la elaboración del presente plan de investigación para culminarlo con éxito.

A mis correctores de tesis por brindarme su ayuda y confianza en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A dios por permitirme tener unos padres maravillosos y una familia muy peculiar, y por brindarme sus bendiciones en todo momento.

A mis padres Geovanny Pazmiño y Mónica Lovato, quienes en todo momento me han brindado sus consejos y su ayuda, quienes me han apoyado y respaldado en todas las decisiones que he tomado y siempre me han inculcado los valores de solidaridad y respeto hacia las personas.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene un propósito definido el cual es el de encontrar el valor de C.B.R. y de módulo de Young para los diferentes tipos de bases y subbases de la mina Compañía JHV (Tena).

Inicialmente se procede a calificar la mina en estudio con la ayuda de ensayos de laboratorio específicos, los cuales se encuentra presentes en este trabajo, y de esta manera determinar si la mina cumple con las especificaciones previstas.

Se pretende determinar una correlación entre el valor de C.B.R. y el módulo de Young, el cual a su vez mediante una transformación se obtienen el módulo resiliente, obteniendo como resultado una correlación entre los valores de C.B.R. y modulo resiliente.

Para analizar los resultados se utiliza regresiones lineales para los valores de los diferentes tipos de bases y subbases de la mina en estudio, esto con el fin de obtener ecuaciones las cuales representa de mejor forma las correlaciones obtenidas.

Al final se realizan dos diseños viales, utilizando del método AASHTO (1993) y otro utilizando las correlaciones presentes en el trabajo, para comparar los espesores obtenidos con los diferentes métodos y de esta manera determinar el óptimo.

CAPÍTULO 1

1. Generalidades

1.1. Justificación

Por motivos de investigación, se procederá a realizar la comparación entre CBR de laboratorio y Módulo de Young, de esta manera realizar un análisis técnico del material existente utilizado en la conformación de las bases y subbases de la mina en estudio basándose en la norma AASHTO, lo cual facilitará la elección del método apropiado para la obtención de los espesores de las capas de base y de subbase y a su vez optimizarlos.

1.2. Planteamiento del problema

En el diseño y construcción de carreteras es importante la determinación de los espesores de esta, teniendo en cuenta la resistencia a las diferentes solicitaciones que estarán presentes en su vida útil, para lograrlo estos espesores son determinados mediante el módulo resiliente, el cual a su vez utiliza fórmulas empíricas en las cuales interviene el valor de C.B.R. obtenido luego de a ver realizado el respectivo ensayo, lo cual genera que se tenga diseños de carreteras no óptimos.

De acuerdo con la nueva normativa AASHTO el valor del módulo resiliente se lo obtiene directamente luego de a ver realizado el respectivo ensayo, el cual nos permite tener espesores optimizados, y al realizar los ensayos en la mina en estudio se obtendrá valores y correlaciones reales que facilitará en los diseños de carreteras futuros construidos con los materiales de esta mina.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Realizar una comparación técnica entre los ensayos de módulo de Young y CBR de laboratorio para los materiales de base y subbase de la Mina Compañía JHV (TENA).

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar CBR (California Bearing Ratio) en laboratorio del material de base y subbase de la Mina Compañía JHV (TENA) según él MTOP.
- Determinar el módulo de Young real de bases y subbases de los materiales de la Mina Compañía JHV (TENA).
- Encontrar correlaciones en base a los resultados obtenidos para los materiales de la mina en estudio.
- Verificar si se optimiza o no el diseño de los espesores de base y subbase.

CAPÍTULO 2

2. Descripción de los materiales

2.1. Sub-base

Definición

La subbase es una capa que forma parte de la estructura del pavimento, esta capa se encuentra debajo la base y sobre la subrasante, está a la vez se compone material granular, el cual puede ser tratado o no. El espesor de esta capa se encuentra definido por las características del material y a su vez por las características que conserva el material.

Esta capa al encontrarse alejada de la superficie será sometida a esfuerzo menores comparados con la base, razón por la cual la calidad de esta capa es baja.

La capa de subbase debe cumplir los requerimientos que a continuación se describen:

El material usado en la capa antes mencionada tendrá un C.B.R. superior o igual al 30 %, en el ensayo de abrasión realizado con la máquina de los ángeles, el desgaste no debe superar el 50 % y el material pasante del tamiz 40 no deberá superar un índice de plasticidad y un límite liquido de 6 y 25 respectivamente. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002)

Según la normativa NEVI-12-MTOP, existen 3 clases de subbase, las cuales a continuación son descritas:

- Subbase clase1: estará constituido por material proveniente de la trituración de rocas o gravas, al menos el 30% de material usado tiene que ser proveniente de la

trituración, y a su vez debe estar de acuerdo con los límites de granulometría que se indican en la tabla 1.1.

- Subbase clase 2: estará constituido por material producto de la trituración o gravas o cribado en cuyos yacimientos de piedra con fragmentación natural, el 25% del material será producto de la trituración y el resto por cribado, además deberán estar graduados uniformemente dentro de los límites indicados en la tabla 2.1.
- Subbase clase 3: el material utilizado debe contener material procesado y a su vez material natural, y a su vez debe estar de acuerdo con los límites de granulometría que se indican en la tabla 2.1.

La tabla a continuación mostrada indica la granulometría que deberá tener las diferentes clases de subbase:

Tabla 2.1 Granulometrías de las diferentes clases de subbases

PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES			
Tamiz	**Clase 1**	**Clase 2**	**Clase 3**
3"			100
2"		100	
1 1/2"	100	70-100	
Nº 4	30-70	30-70	30-70
Nº 40	10-35	15-40	
Nº 200	0-15	0-20	0-20

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

2.2. Base

Definición

La base es una capa que forma parte de la estructura del pavimento, esta capa se encuentra sobre la subbase y debajo la capa de rodadura (pavimento), la cual se encuentra

conformada por material granular el cual puede ser tratado o no. El espesor de esta capa se encuentra definido por las características del material y a su vez por las diferentes solicitaciones de carga que se estima tendrá durante su vida útil.

Esta capa al estar próxima a la superficie debe contar con una buena resistencia a la deformación y de esta manera lograr resistir las presiones a las que se la someta, lo que se traduce a tener a que esta capa de tener una buena calidad.

Esta capa deberá contar con un material el cual cumpla los siguientes requerimientos:

El limite liquido de la fracción que pase el tamiz Nº 4 y el índice de plasticidad no debe superar los valores de 25 y 6 respectivamente, el desgaste por abrasión en la máquina de los agregados no debe superar el 40% y el valor de C.B.R. debe superior o igual al 80%. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002)

Según la normativa NEVI-12-MTOP, existen 4 clases de base, las cuales a continuación son descritas:

- Base clase 1: estará constituido con material grueso y fino, el cual deberá ser en un 100% producto de la trituración, la mezcla deberá ser necesariamente realizada en la planta, además deberán estar graduados uniformemente dentro de los límites para tipo A y B indicados en la tabla 1.2.
- Base clase 2: estará constituida de grava triturada, la cual deberá tener en su fracción de material grueso un 50% en peso de material triturado o de fragmentos de roca, la mezcla deberá ser necesariamente realizada en la planta, además deberán estar graduados uniformemente dentro de los límites indicados en la tabla 1.2.

- Base clase 3: estará constituida de grava triturada, la cual deberá tener en su fracción de material grueso un 25% en peso de material triturado o de fragmentos de roca, la mezcla se podrá realizar en la planta o en el camino, y a si vez debe estar dentro de los límites de granulometría que se muestra en la tabla 1.2.
- Base clase 4: estará constituido por material producto del cribado de piedras con fragmentación natural o trituración o de gravas, además deberán estar graduados uniformemente dentro de los límites indicados en la tabla 1.2.

La tabla a continuación mostrada indica la granulometría que deberá tener las diferentes clases de base:

Tabla 2.2 Granulometrías de las diferentes clases de bases

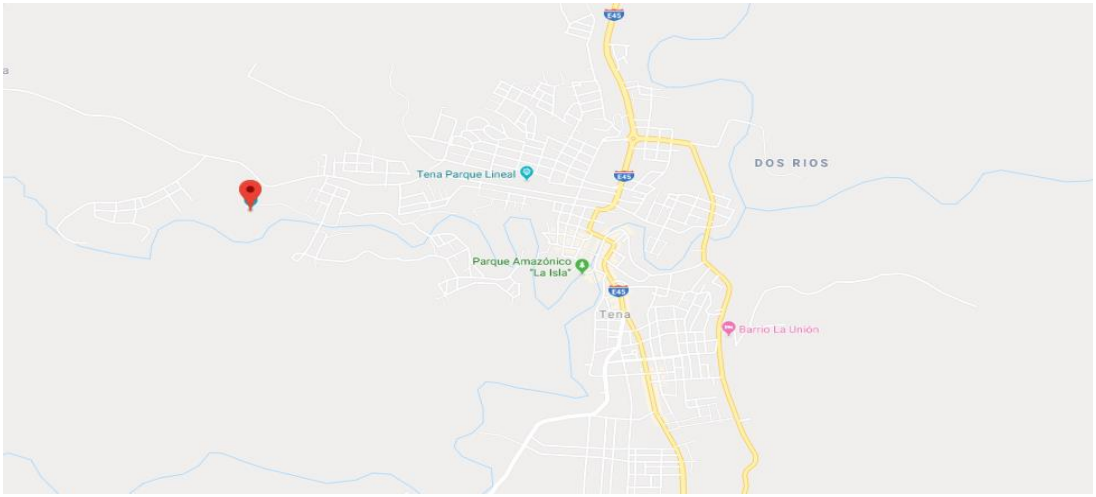
PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES					
Tamiz	Clase 1		Clase 2	Clase 3	Clase 4
	Tipo A	Tipo B			
2"	100				100
1 1/2"	70-100	100			
1"	55-85	70-100	100		60-90
3/4"	50-80	60-90	70-100	100	
3/8"	35-60	45-75	50-80		
Nº 4	25-50	30-60	35-65	45-80	20-50
Nº 10	20-40	20-50	25-50	30-60	
Nº 40	10-25	10-25	15-30	20-35	
Nº 200	2-12	2-12	3-15	3-15	0-15

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

2.3. Procedencia de los agregados

Los agregados que constituyen tanto los diferentes tipos de base como de subbase provienen de la mina “Compañía JHV” localizada en el Tena.

Figura 2.1 ubicación mina compañía JHV (Tena)



Fuente: (Google Maps, 2019).

CAPÍTULO 3

3. Ensayos de laboratorio y resultados

La norma en la cual se guiarán los ensayos de laboratorio es la ASTM, la cual a su vez es la base de las normas INEN Y NEVI-12-MTOP.

A continuación, se procede a dar una breve explicación de los diferentes ensayos realizados en laboratorio:

3.1. Muestreo de agregados

El muestreo de agregados nos sirve para tener una investigación preliminar y controlar los productos de la fuente de cual son suministrados, también nos permite aceptar o rechazar los materiales. A continuación, se presenta la tabla 3.1, en la cual se encuentra especificada la cantidad de material necesaria para realizar una granulometría según su tamaño. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM D-75

Tabla 3.1 Cantidad de material para realizar la granulometría.

	Áridos finos		Áridos gruesos								
Tamaño del árido (mm) (*)	2,36	4,75	9,50	12,50	19	25	37,50	50	63	75	90
Masa mínima de la muestra in situ (Kg) (**)	10	10	10	15	25	50	75	100	125	150	175
*.- Para áridos procesados, utilizar el tamaño máximo nominal que se indica en la norma respectiva o en la descripción. Si la norma o descripción no indican un tamaño máximo nominal (por ejemplo, una abertura de tamiz que contemple un pasante del 90% al 100%), utilizar el tamaño máximo (la abertura del tamiz que pase el 100%)											
**.- Para áridos gruesos y finos combinados (por ejemplo, áridos para bases y sub-bases) la masa mínima debe ser la masa mínima del árido grueso más 10kg											

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D75 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo. West Conshohocken, Estados Unidos.

3.2. Cuarteo de los agregados

El cuarteo de los agregados permite reducir las variaciones en características entre el material usado para el ensayo y el material de la mina. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C-702.

3.3. Granulometría

La granulometría de los agregados permite conocer los tamaños de partículas con los que cuenta el material, el cual se procederá a ensayar. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C-33.

A continuación, se presentan la tabla 3.2, en la cual se indica los tamices necesarios para el ensayo:

Tabla 3.2 Tamices necesarios para la granulometría

TAMICES PARA GRANULOMETRÍA			
Agregado fino		**Agregado grueso**	
Pulgadas ('')	**Milímetros (mm)**	**Pulgadas ('')**	**Milímetros (mm)**
2	50,8	Nº.4	4,76
1 1/2	32,1	Nº.8	2,36
1	25,4	Nº.16	1,19
3/4	19	Nº.30	0,595
1/2	12,7	Nº.50	0,297
3/8	9,51	Nº.100	0,152
Nº. 4	4,76		

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33 Granulometría de agragados. West Conshohcken, Estados Unidos.

A continuación, se presentan las tablas 3.3 y 3.4, en la cual se indica las cantidades tanto para material fino como para grueso necesarios para el ensayo:

Tabla 3.3 Masa mínima del agregado grueso

MASA MÍNIMA DE MUESTRA PARA AGREGADO FINO	
Tamaño	**Masa mínima**
Material con un 95% más fino que el tamiz Nº. 8	100 g
Material con un 90% más fino que el tamiz Nº. 4 y con el 5% más grueso que el tamiz Nº.8	500 g

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33 Granulometría de agragados. West Conshohcken, Estados Unidos.

Tabla 3.4 Masa mínima del agregado grueso

MASA MÍNIMA DE MUESTRA PARA EL AGREGADO GRUESO							
Tamaño máximo	**Pulgadas ('')**	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2
	Milímetros (mm)	9,51	12,7	19	25,4	38,1	50,8
Masa mínima	**Kg**	1	2,5	5	10	15	20

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33 Granulometría de agragados. West Conshohcken, Estados Unidos.

3.3.1. Procedimiento

Para realizar la granulometría del agregado grueso primero se preparó el material de base y subbase, realizando el respectivo cuarteo y secado en el horno, luego se procedió a colocar el material en la tamizadora y por último se procedió a pesar los materiales retenidos en los tamices, una vez obtenido el material pasante del tamiz Nº 4 del procedimiento anterior se lo utilizo este material para realizar la granulometría del agregado fino, en la cual se lavó el material y se lo dejo en el horno, para luego colocarlo en los tamices y pesar el material retenido en ellos.

3.3.2. Resultados

Tabla 3.5 Granulometría de la base clase 1-A

GRANULOMETRÍA BASE CLASE 1					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	100
1 ½	1104	1104	5,5	94,5	70 - 100
1	2140	3244	16,2	83,8	55 - 85
3/4	1700	4944	24,7	75,3	50 - 80
1/2	2285	7229	36,1	63,9	
3/8	2810	10039	50,1	49,9	35 - 60
Nº.4	3355	13394	66,9	33,1	25 - 50
Nº.10	1190	14584	72,9	27,1	
Nº.40	2873	17456	87,2	12,8	10 - 25
Nº.200	1713	19170	95,8	4,2	2 - 12
Pasa Nº.200	849	849			
Sumatoria	20019	20019			

Figura 3.1 Curva granulométrica de la base clase 1-A

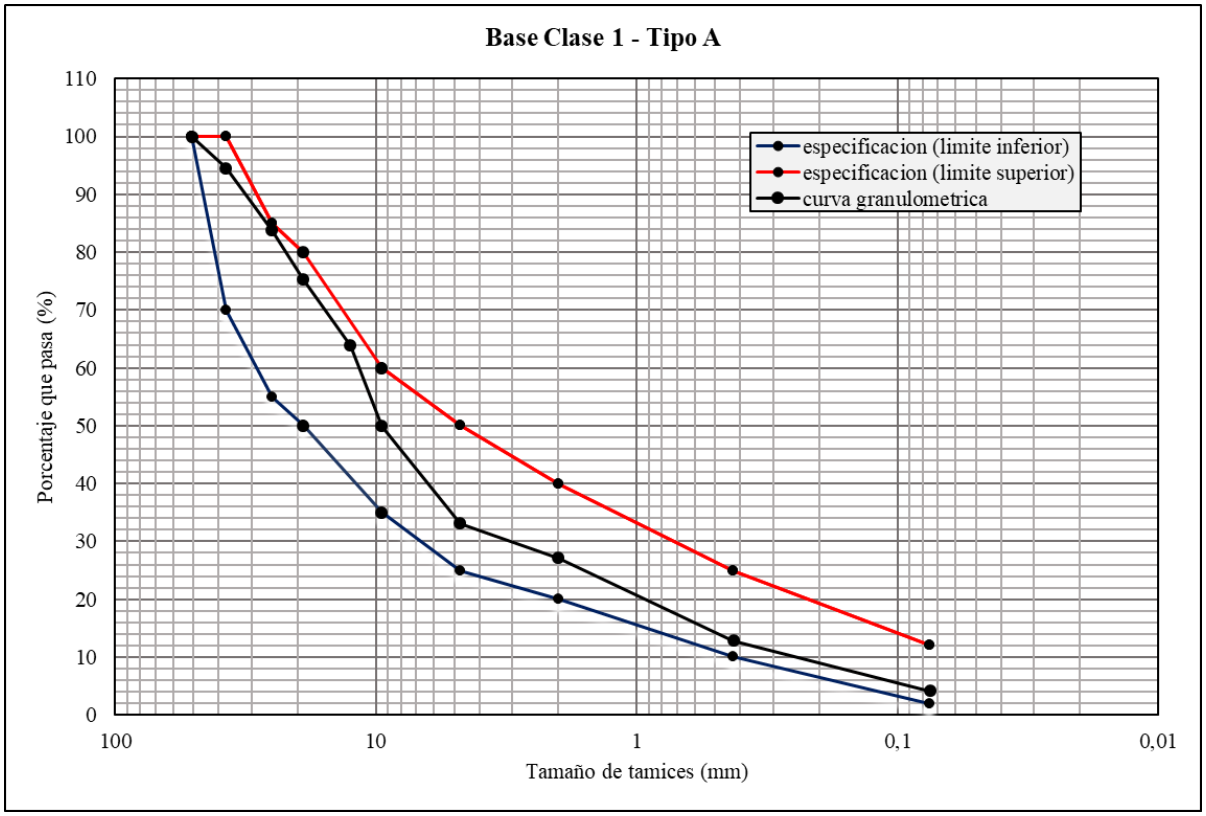


Tabla 3.6 Granulometría de la base clase 2

GRANULOMETRÍA BASE CLASE 2					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	100
1 ½	0	0	0,0	100,0	70 - 100
1	540	540	2,8	97,2	
3/4	350	890	4,5	95,5	
1/2	3485	4375	22,4	77,6	
3/8	2210	6585	33,7	66,3	
Nº.4	3455	10040	51,3	48,7	30 - 70
Nº.10	1711	11751	60,1	39,9	
Nº.40	4130	15881	81,2	18,8	15 - 40
Nº.200	2463	18344	93,8	6,2	0 - 20
Pasa Nº.200	1221	1221			
Sumatoria	19565	19565			

Figura 3.2 Curva granulométrica de la base clase 2

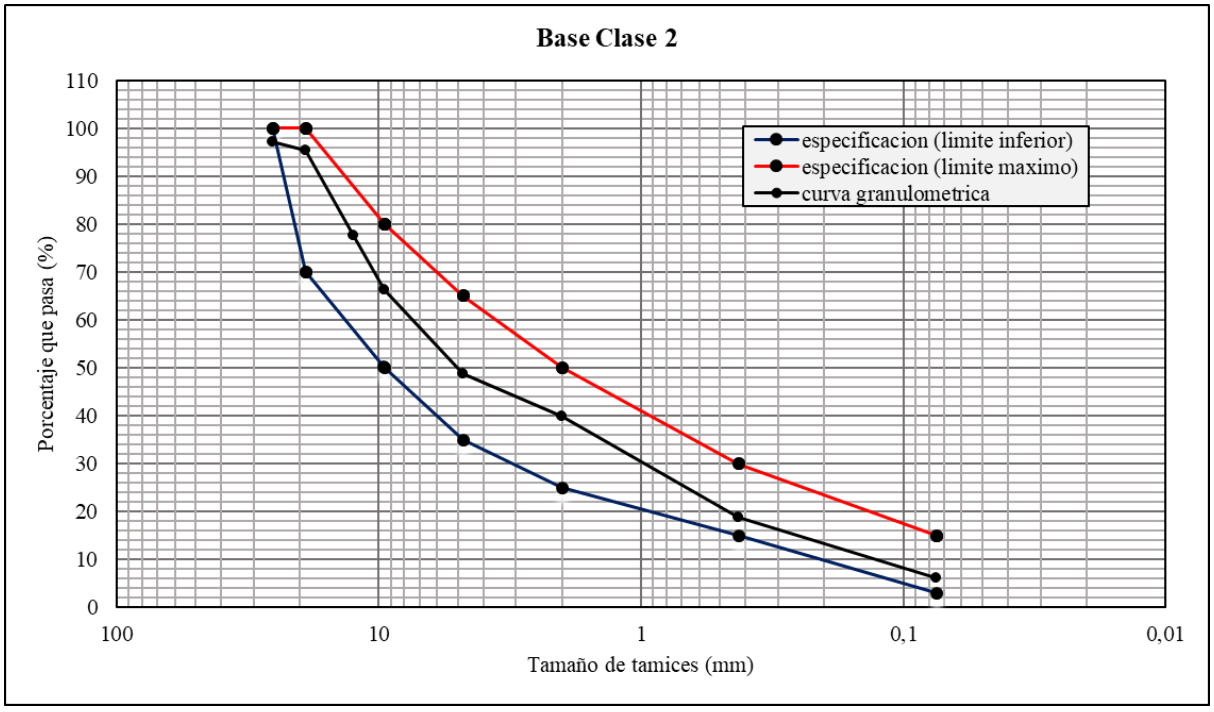


Tabla 3.7 Granulometría de la base clase 3

GRANULOMETRÍA BASE CLASE 3					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0	100	
2 ½	0	0	0	100	
2	0	0	0	100	
1 ½	0	0	0	100	
1	0	0	0	100	
3/4	0	0	0	100	100
1/2	2285	2285	11,4	88,6	
3/8	1810	4095	20,4	79,6	
Nº.4	3355	7450	37,1	62,9	45 - 80
Nº.10	2267	9717	48,4	51,6	30 - 60
Nº.40	5474	15192	75,7	24,3	20 - 35
Nº.200	3265	18456	91,9	8,1	3-15
Pasa Nº.200	1619	1619			
Sumatoria	20075	20075			

Figura 3.3 Curva granulométrica de la base clase 3

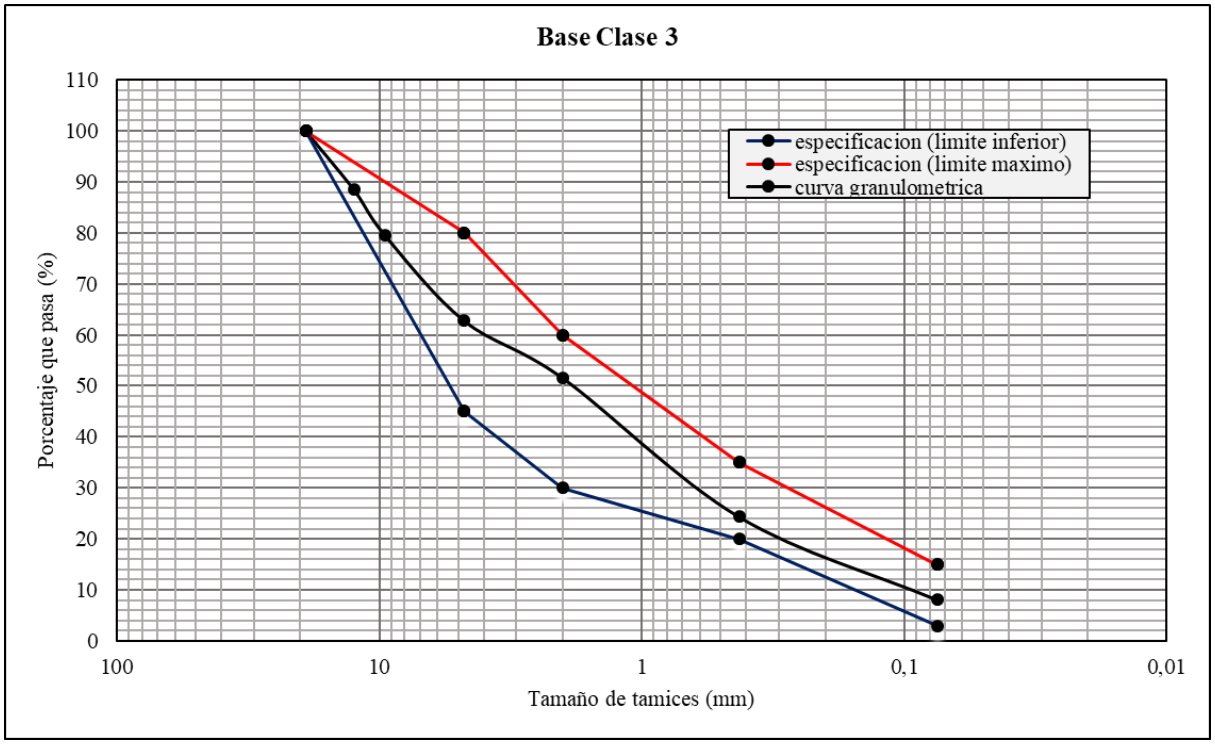


Tabla 3.8 Granulometría de la clase 4

GRANULOMETRÍA BASE CLASE 4					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	100
1 ½	1860	1860	9,3	90,7	
1	3510	5370	26,8	73,2	60 - 90
3/4	2712	8082	40,4	59,6	
1/2	1448	9530	47,6	52,4	
3/8	1699	11229	56,1	43,9	
Nº.4	2157	13386	66,9	33,1	20 - 50
Nº.10	1777	15163	75,8	24,2	
Nº.40	2903	18066	90,3	9,7	
Nº.200	1277	19343	96,7	3,3	0 - 15
Pasa Nº.200	665	665			
Sumatoria	20008	20008			

Figura 3.4 Curva Granulométrica de la base clase 4

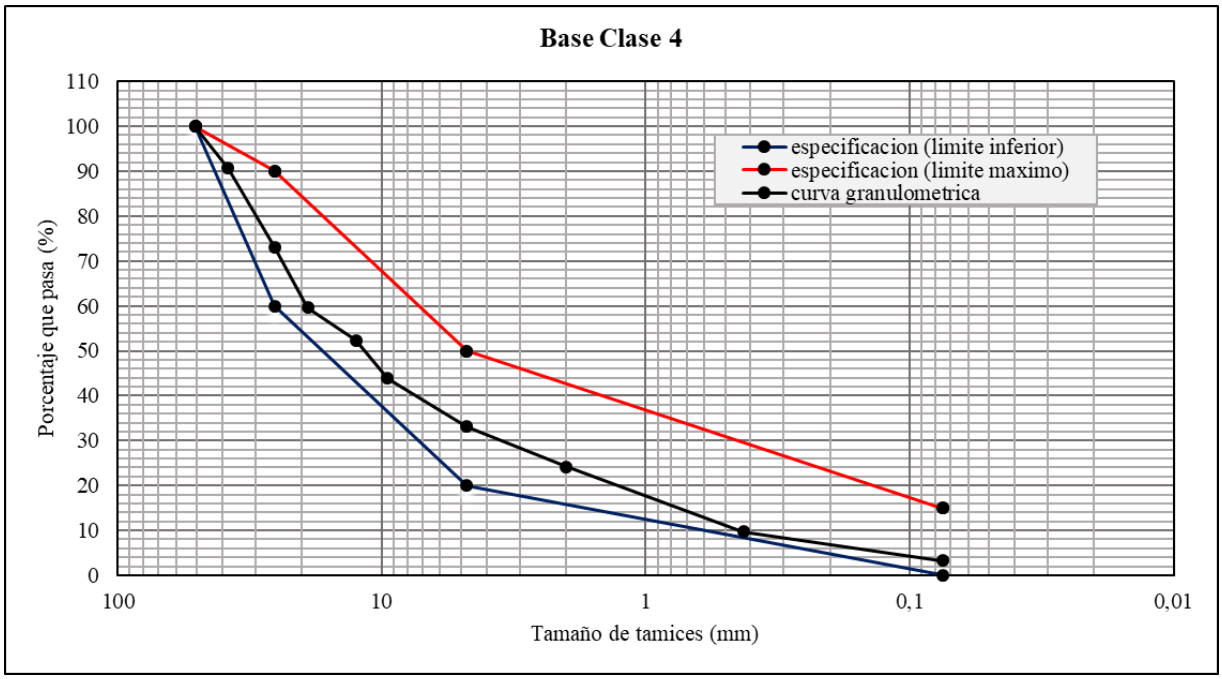


Tabla 3.9 Granulometría de la subbase clase 1

GRANULOMETRÍA SUBBASE CLASE 1					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	
1 ½	0	0	0,0	100,0	100
1	989	989	4,9	95,1	
3/4	1658	2647	13,2	86,8	
1/2	2586	5233	26,1	73,9	
3/8	1986	7219	36,0	64,0	
Nº.4	2360	9579	47,7	52,3	30 - 70
Nº.10	2815	12394	61,8	38,2	
Nº.40	4598	16993	84,7	15,3	10 - 35
Nº.200	2022	19015	94,8	5,2	0 - 15
Pasa Nº.200	1053	1053			
Sumatoria	20068	20068			

Figura 3.5 Curva granulométrica de la subbase clase 1

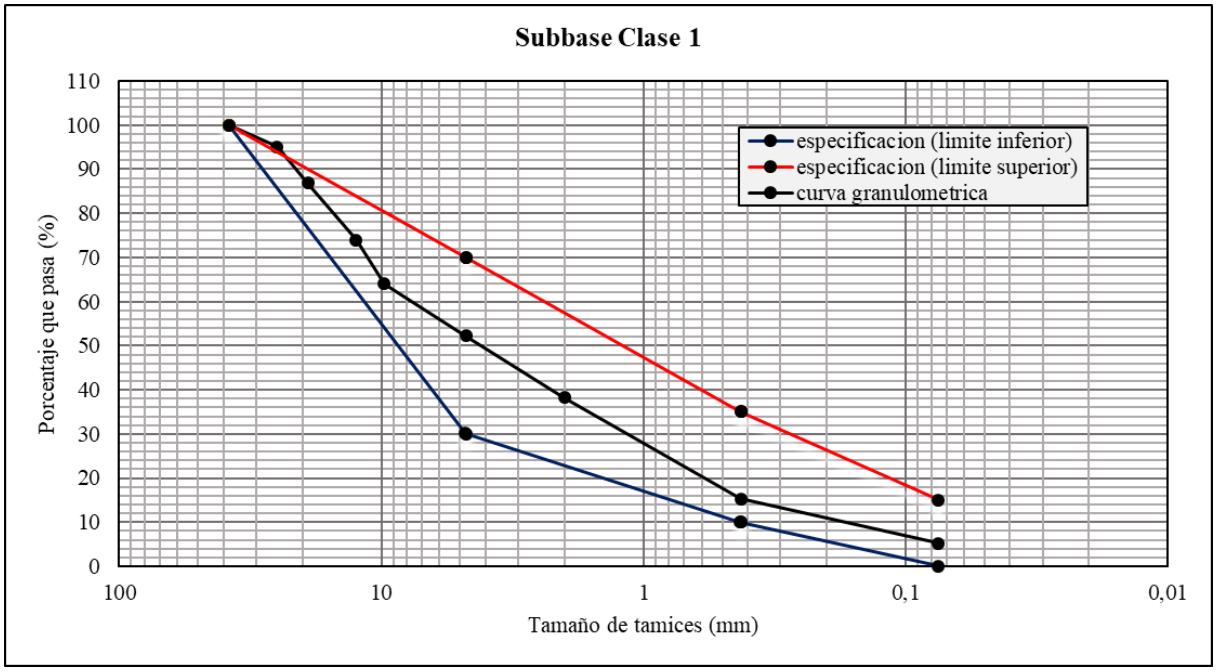


Tabla 3.10 Granulometría de la subbase clase 2

GRANULOMETRÍA SUBBASE CLASE 2					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	100
1 ½	959	959	4,8	95,2	70 - 100
1	1242	2201	11,0	89,0	
3/4	698	2899	14,5	85,5	
1/2	1451	4350	21,7	78,3	
3/8	1098	5448	27,2	72,8	
Nº.4	2999	8447	42,2	57,8	30 - 70
Nº.10	3107	11554	57,7	42,3	
Nº.40	5075	16629	83,0	17,0	15 - 40
Nº.200	2232	18861	94,2	5,8	0 - 20
Pasa Nº.200	1162	1162			
Sumatoria	20023	20023			

Figura 3.6 Curva granulométrica de la subbase clase 2

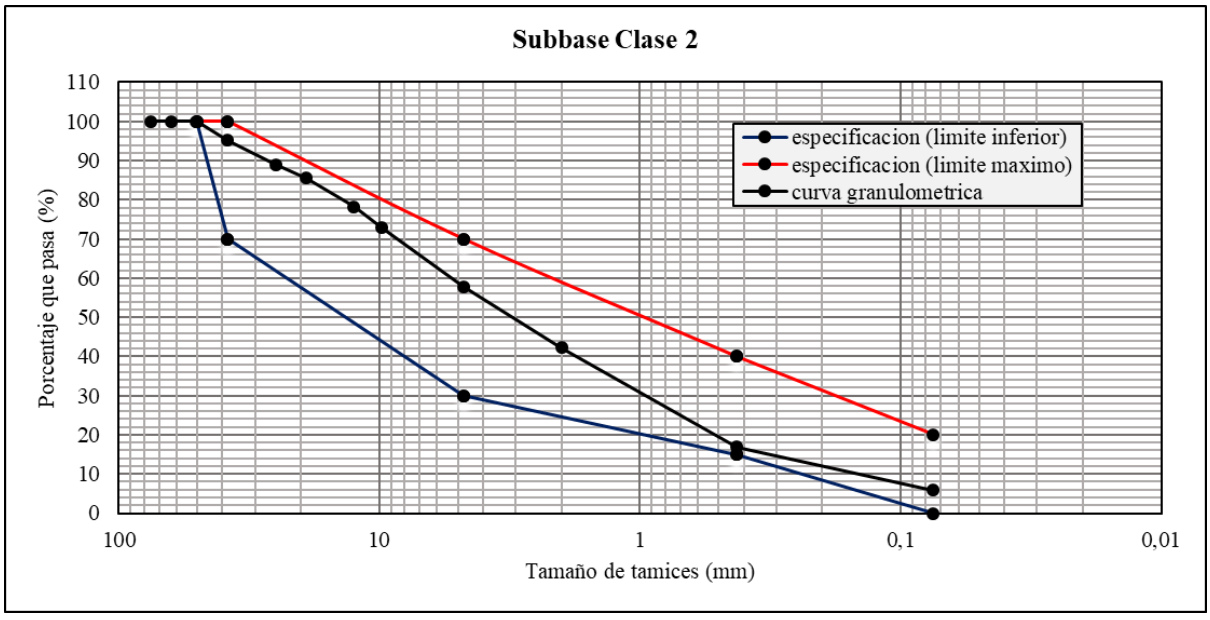
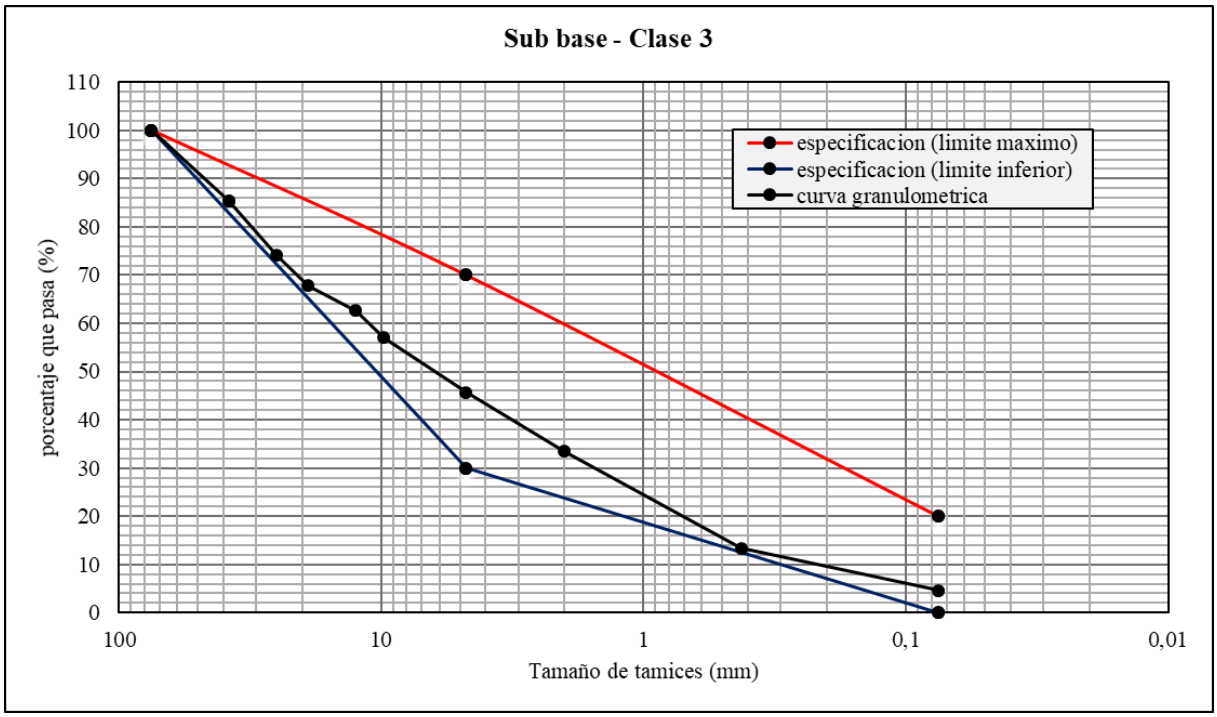


Tabla 3.11 Granulometría de la subbase clase 3

GRANULOMETRÍA SUBBASE CLASE 3					
Tamiz (pulgadas)	**Masa retenida parcial (gr)**	**Masa retenida acumulada (gr)**	**Porcentaje retenido**	**Porcentaje que pasa**	**Especificación**
3	0	0	0,0	100,0	100
2 ½	0	0	0,0	100,0	
2	0	0	0,0	100,0	
1 ½	2915	2915	14,6	85,4	
1	2260	5175	25,9	74,1	
3/4	1270	6445	32,2	67,8	
1/2	1025	7470	37,4	62,7	
3/8	1120	8590	43,0	57,1	
Nº.4	2270	10860	54,3	45,7	30 - 70
Nº.10	2453	13313	66,6	33,4	
Nº.40	4007	17320	86,6	13,4	
Nº.200	1762	19082	95,4	4,6	0 - 20
Pasa Nº.200	918	918			
Sumatoria	20000	20000			

Figura 3.7 Curva granulométrica de la subbase clase 3



3.4. Gravedad específica y absorción de los agregados

Las normas en las que se basan los ensayos son ASTM- C127 y ASTM- C128 las cuales son para agregado grueso y agregados finos respectivamente.

Estos ensayos permiten determinar básicamente la gravedad específica Bulk, la gravedad especifica aparente, la gravedad especifica saturada con superficie seca y a su vez la absorción de los agregados.

A continuación, se muestran las fórmulas que se encuentra establecida en la norma para agregados gruesos, las cuales son necesarias y útiles para la determinación de los diferentes parámetros antes mencionados:

Gravedad específica Bulk

$$Gravedad\ específica\ bulk\ (Ge) = \frac{A}{B-C} \qquad (Ecuación\ 3.1)$$

Donde:

A= Masa del material seco

B= Masa del material saturado con superficie seca

C= Masa del material sumergido en agua

Gravedad específica saturada con superficie seca

$$Gravedad\ específica\ saturada\ con\ superficie\ seca\ (Ges) = \frac{B}{B-C}$$

(Ecuación 3.2)

Gravedad específica aparente

$$Gravedad\ específica\ aparente\ (Gea) = \frac{A}{A-C} \qquad (Ecuación\ 3.3)$$

Porcentaje de absorción

$$\%\ absorción\ (Ab) = \frac{B-A}{A} * 100 \qquad \textit{(Ecuación 3.4)}$$

A continuación, se presentan las fórmulas que se encuentran especificadas en la norma para agregados finos, las cuales son necesarias para la determinación de los diferentes parámetros que fueron mencionados:

Masa de agua añadida al matraz

$$Masa\ de\ agua\ añadida\ al\ matraz\ (Ma)\ = Mmw - (Mm + B)$$

(Ecuación 3.5)

Donde:

Mm= Masa del matraz

Mmw = Masa del conjunto matraz, muestra y agua

B= Masa del material saturado con superficie seca

Gravedad especifica bulk

$$Gravedad\ especifica\ bulk\ (Ge) = \frac{A}{500-Ma} \qquad \textit{(Ecuación 3.6)}$$

Gravedad especifica saturada con superficie seca

$$Gravedad\ especifica\ saturada\ con\ superficie\ seca\ (Ges) = \frac{B}{500-Ma}$$

(Ecuación 3.7)

Gravedad especifica aparente

$$Gravedad\ especifica\ aparente\ (Gea) = \frac{A}{500+A+Mm-Mmw} \qquad \textit{(Ecuación 3.8)}$$

Porcentaje de absorción

$$\%\ absorcion\ (Ab) = \frac{B-A}{A} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.9)$$

3.4.1. Procedimiento

Para el agregado grueso se lavó la muestra y se la dejo secar, después el material se lo sumergió en agua durante 24 horas con el fin de saturarlo, luego se procedió a quitar la película de agua del material y por último se pesó la muestra que estuvo inmersa en agua.

Para el agregado fino se lo dejo saturar en agua durante 24 horas, luego se procedió a quitar la película de agua superficial, luego se colocó el agregado dentro del matraz y se lo lleno de agua de acuerdo con lo especificado en las normas, por último, se pesó el conjunto matraz, agua y material.

3.4.2. Resultados

Tabla 3.12 Gravedad específica y absorción del agregado fino

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO		
Masa del matraz	Mm (gr)	158
Masa del conjunto matraz, agua y muestra	Mmw (gr)	961,6
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B (gr)	500
Masa de agua añadida al matraz	Ma (gr)	303,6
Masa de la muestra seca	A (gr)	490,5
Gravedad específica bulk	Ge	2,497
Gravedad específica del material saturado con superficie seca	Ges	2,546
Gravedad específica aparante	Gea	2,624
Porcentaje de absorción	Ab	1,937

Tabla 3.13 Gravedad específica y absorción del agregado grueso

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO		
Masa de la muestra seca	A (gr)	4905
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B (gr)	5000
Masa de la muestra sumergida en el agua	C (gr)	3628
Masa de la cesta sumergida	D(gr)	499
Graveda específica bulk	Ge	2,62
Graveda específica saturada	Ges	2,67
Gravedad específica aparente	Gea	2,76
Porcentaje de absorción	Ab	1,94

3.5. Contenido orgánico

Este ensayo nos ayuda a encontrar la presencia de impurezas orgánicas dañinas en los agregados finos que son parte del material. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C40-99.

3.5.1. Procedimiento

Lo primero que se realizó se preparó la solución en la cual se colocó el material y se lo dejo durante 24 horas en reposo, por último, observo el color de acuerdo con la tabla de colores estándar.

3.5.2. Resultados

Fotografía 3.1 Contenido orgánico



Tabla 3.14 Contenido orgánico del material

Color de la muestra	Nº.3	
Contenido orgánico aceptable	Si	X
	No	

3.6. Terrones de arcilla y partículas friables en los agregados

Este ensayo permite de una manera aproximada determinar la presencia de terrones de arcilla y partículas desmenuzables. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C142-97.

A continuación, se presentan la fórmula que se encuentran especificadas en la norma, la cual permitirá determinar el porcentaje existente de terrones de arcilla en los agregados:

$$\%\ de\ terrones\ de\ arcilla\ (P) = \frac{M-R}{M} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.10)$$

Donde:

M= Masa inicial de la muestra

R= Masa seca de la muestra retenida en el tamiz determinado.

3.6.1. Procedimientos

Primero se pesó el agregado grueso, se lo dejo sumergido en agua durante 24 horas, para luego lavarlo con el objetivo de eliminar los terrones de arcillas presentes en el agregado, y por último se lo deja secar y se lo pesa.

3.6.2. Resultados

Tabla 3.15 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas friables

PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES		
Porcentaje de grumos de arcilla y particulas desmenuzables en el agregado	P (%)	0,547
Peso de la muestra de ensayo (para agragado fino, el peso de la porcion mas gruesa que la malla Nº16)	W (gr)	3000
Peso de las particulas retenidas en la malla designada	R (gr)	2983,6

3.7. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos

Este ensayo nos permite tener una idea de la resistencia al someterse a la intemperie, lo cual en el laboratorio se lo realiza con la inmersión repetitiva en solución de sodio o magnesio. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C88.

A continuación, se presentan las tablas 3.5 y 3.6, en las cuales se indican las cantidades de material fino necesarios para el ensayo:

Tabla 3.16 Cantidad necesarias del material grueso

FRACCIONES DE MUESTRA PARA EL AGREGADO GRUESO					
Fracción	Número del tamiz				Masa mínima de la muestra (g)
	Pasa		Retiene		
	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	
1	3/8	9,51	Nº.4	4,76	300
	3/4	19	3/8	9,5	1000
2	1 1/2	38,1	3/4	19	1500
	3/8	19	1/2	12,7	670
	1/2	12,7	3/8	9,51	330
3	2 1/2	64	1 1/2	38,1	5000
	1 1/2	38,1	1	25,4	1000
	1	25,4	3/4	19	500
4	3	75	2 1/2	64	7000
	2 1/2	64	2	50,8	3000
	2	50,8	1 1/2	38,1	2000

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

Tabla 3.17 Cantidad necesaria del material fino

FRACCIONES DE MUESTRA PARA EL AGREGADO FINO					
Fracción	Número del tamiz				Masa mínima de la muestra (g)
	Pasa		Retiene		
	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	
1	3/8	9,51	Nº.4	4,76	100
2	Nº.4	38,1	Nº.8	19	
3	Nº.8	64	Nº.16	38,1	
4	Nº.16	75	Nº.30	64	
5	Nº.30	64	Nº.50	50,8	

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

A continuación, se presentan las fórmulas que se encuentran especificadas en la norma para agregados tanto finos como gruesos:

Porcentaje retenido parcial

$$\%\ retenido\ parcial = \frac{Masa\ retenida\ parcial}{Masa\ total\ de\ muestra} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.11)$$

Porcentaje que pasa el tamiz más fino luego del ensayo

A continuación, se presentan las fórmulas que se encuentran especificadas en la norma para agregados finos, las cuales son necesarias para la determinación de los diferentes parámetros antes mencionados:

$$\%\ que\ pasa = \frac{Masa\ inicial - Masa\ retenida\ luego\ del\ ensayo}{Masa\ inicial} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.12)$$

Porcentaje de desgaste parcial

$$\%\ desgaste\ parcial = \frac{\%\ retenido\ parcial * \%\ que\ pasa}{100} \qquad (Ecuación\ 3.13)$$

Porcentaje total del agregado

$$\%\ de\ desgaste\ total = \sum \%\ de\ desgaste\ parcial \qquad (Ecuación\ 3.14)$$

3.7.1. Procedimiento

Tanto para el agregado fino como grueso se procedió a tomar varias muestras de diferentes tamaño de partícula de acuerdo a las especificaciones de la norma, luego las muestras fueron sumergidas en la solución, pero esto se lo realizo a las 4 de la tarde y se quitaba la solución entre las 8 y 9 de la mañana , y luego se lo dejaba secar hasta las 2 de la tarde, para luego comenzar con el mismo procedimiento antes mencionado, esto se lo realizó durante cinco días.

3.7.2. Resultados

Tabla 3.18 Porcentaje de desgaste del agregado grueso

PORCENTAJE DE DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO							
Fracción	**Masa retenida parcial (g)**	**Masa total de muestra (g)**	**Masa retenida despues del ensayo (g)**	**Masa inicial (g)**	**Porcentaje retenido parcial**	**Porcentaje que pasa**	**Porcentaje de desgast parcial**
1	262,94	300	262,94	300	87,6	12,4	10,8
2	653	670	653	670	97,5	2,5	2,5
3	984,4	1000	984,4	1000	98,44	1,56	1,5
4	1997,8	2000	1997,8	2000	99,89	0,11	0,1
	Porcentaje de desgaste total del agregado grueso						14,9

Tabla 3.19 Porcentaje de desgaste del agregado fino

PORCENTAJE DE DESGASTE DEL AGREGADO FINO							
Fracción	**Masa retenida parcial (g)**	**Masa total de muestra (g)**	**Masa retenida despues del ensayo (g)**	**Masa inicial (g)**	**Porcentaje retenido parcial**	**Porcentaje que pasa**	**Porcentaje de desgast parcial**
1	96,61	100	96,61	100	96,61	3,39	3,3
2	96,75	100	96,75	100	96,8	3,3	3,1
3	97,71	100	97,71	100	97,71	2,29	2,2
4	95,9	100	95,9	100	95,9	4,1	3,9
5	94,56	100	94,56	100	94,56	5,44	5,1
	Porcentaje de desgaste total del agregado grueso						17,7

3.8. Equivalente de arena

Este ensayo permite encontrar la cantidad de arcillas o polvos perjudiciales que contienen los agregados, y a su vez se evitara la excesiva cantidad de estas partículas en los agregados que se utilizara para los diversos usos constructivos. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM D2419.

A continuación, se presentan la fórmula que se encuentran especificadas en la norma para encontrar el porcentaje de equivalente de arena:

$$\%\ Equivalente\ de\ arena = \frac{lectura\ B}{lectura\ A} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.15)$$

Donde:

Lectura A: lectura de arcilla

Lectura B: lectura de arena

3.8.1. Procedimiento

Se tomo una muestra de agregado fino y se la coloco dentro de una probeta, luego se la lleno de la solución hasta la marca establecida, se la agito en el tiempo ya establecido, se llenó la probeta y se la dejo reposar entres unos 15 a 20 minutos y se tomó la primera lectura, luego se introdujo una barra y se tomó la segunda medida.

3.8.2. Resultados

Tabla 3.20 Equivalente de arena

Probeta	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Porcentaje equivalente de arena
1	4,3	3,6	83,72
2	4,7	3,9	82,98
Equivalente de arena			83,35

3.9. Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles

Este ensayo permite tener una idea de la resistencia al desgaste que sufre el agregado grueso. La norma en la cual se basa este ensayo es la ASTM C131.

A continuación, se presentan la tabla 3.21, en la cual se indica las cantidades de materiales necesarios para el ensayo:

Tabla 3.21 Cantidades de material necesario para el ensayo

MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)					
Tamaño del tamiz		Método			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº.4			2500±10	
Nº.4	Nº.8				5000±10
Masa total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131 Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño hasta 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la máquina de loas ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos.

Tabla 3.22 Cantidades de material necesarios para el ensayo

MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)				
Tamaño del tamiz		Método		
Pasa	Retiene	A	B	C
3"	2 1/2"	2500±50		
2 1/2"	2"	2500±50		
2"	1 1/2"	5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"		5000±25	5000±25
1"	3/4"			5000±25
Masa total		10000±100	10000±75	10000±50

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131 Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño hasta 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la máquina de loas ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos

Tabla 3.23 Numero de esferas según el método utilizado

MASA DE LA CARGA DE ABRASIÓN		
Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	1320±25
D	6	2500±25

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131 Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño hasta 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la máquina de loas ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos

A continuación, se presentan la fórmula que se encuentran especificadas en la norma para encontrar el porcentaje de desgaste del material:

$$\%\, desgaste = \frac{masa\ inicial - masa\ final}{masa\ inicial} * 100 \qquad (Ecuación\ 3.16)$$

3.9.1. Procedimiento

Ya con la granulometría que fue conseguida se determinó el método y con ellos el número de esferas necesarias para el ensayo, luego se haber realiza el ensayo se sacó la muestra y se la tamizo y se pesa el material que se quedó en el tamiz.

3.9.2. Resultados

Tabla 3.24 Desgaste a la abrasión

PORCENTAJE DE DESGASTE	
Masa inicial (g)	5000
Masa retiene el tamiz Nº12 (g)	3890
Masa pasa el tamiz Nº12 (g)	1110
Porcentaje de desgaste	22,2

3.10. Límites de Atterberg

3.10.1. Límite líquido

El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande y se lo define como el contendido de agua con el cual se cierra una ranura de ½ pulgadas (12.7 mm) mediante 25 golpes.

3.10.2. Límite plástico

Al lograr formar un rollito de aproximadamente de diámetro de 3.18mm el contenido de agua que fue necesario para formarlo se lo define como límite plástico.

3.10.3. Límite de contracción

Se define como contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con pérdida de agua.

3.10.4. Resultados

Tabla 3.25 Limites de Atterberg

LÍMITES DE ATTERBERG		
Límite líquido	**Límite plástico**	**Índice de plasticidad**
NP	NP	NP

Observación: el material cuenta con una gran cantidad de arena, motivo por el cual no cuenta con plasticidad.

3.11. Sistemas de clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación nos ayudan a dividir los suelos en subgrupo y grupos de acuerdo con propiedades ingenieriles (granulometría, limite líquido y limite plástico), los principales sistemas son los siguientes:

3.11.1. Sistema AASHTO

El principal uso de este sistema es para la clasificación de los materiales de las capas que son parte de la estructura de una carretera.

3.11.2. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Este sistema básicamente es utilizado para cualquier tipo de trabajo referente a la geotecnia.

3.11.3. Procedimiento

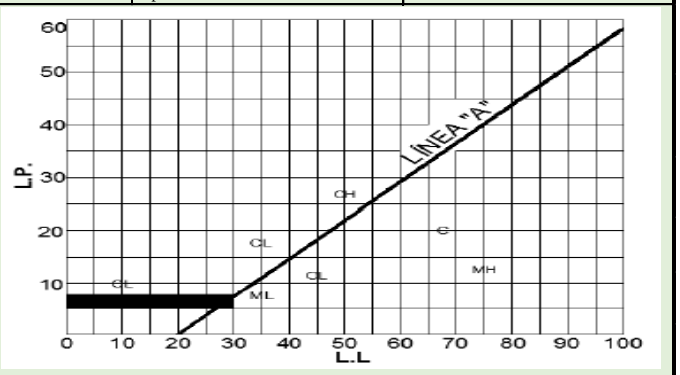
Con la granulometría y los límites de Atterberg ya obtenidos se procedió a la clasificación de los diferentes tipos de bases y subbases, esto se lo realizo basándose en las tablas a continuación presentadas:

Tabla 3.26 Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz Nº 200)							Materiales de lodo y arcilla (mas de 35 % de la muestra total pasa por la mallas Nº 200)			
Grupo de clasificación	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 ; A-7-5 (a) ; A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis de tamices (porcentaje que pasa)											
Nº 10	50 max.										
Nº 40	30 max.	50 max.	51 min.								
Nº 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 max.	36 max.	36 max.	36 max.
Caracteristicas de la fracción que pasa Nº 40											
Limite liquido				40 max.	41 max.	40 max.	41 max.	40 max.	41 max.	40 max.	41 max.
Índice de plasticidad	6 max.	6 max.	No plastico	10 max.	10 max.	11 max.	11 max.	10 max.	10 max.	11 max.	11 max.
Materiales constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Principalmente suelos limosos		principalmente suelos arcillosos	
Valoración general del subgrupo	Exelente a buena							Regular a pobre			
(a)	Para A-7-5, el indice de plasticidad debe ser igual o menor que el limite liquido menos 30										
(b)	Para A-7-5, el indice de plasticidad debe ser mayor que el limite liquido menos 30										

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

Tabla 3.27 Clasificación de suelos SUCS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)							
División Principal			Símbolo	Nombres típicos	Criterios de clasificación		
Suelos de particulas gruesas 50% o mas es retenido en el tamiz Nº. 200	Gravas 50% o mas de la fraccion gruesa es retenido en el tamiz Nº.4	Gravas limpias	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con poco finos o sin finos	Clasificacion basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por el tamiz Nº.200 GW,GP,SW,SP Mas del 12% pasa por el tamiz Nº.200 GM,GC,SM,SC 15% A 12% pasa por el tamiz Nº.200 Para clasificacion de fronteras se necesitan simbolos dobles	Cu= D60 / D10 Cu=(D30)^2/(D10*D60)	Mayor que 4 Entre 1y 3
			GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradada con poco finoc o sin finos		si los criterios para GW no se cumplen	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		Limites de atterberg localizados bajo la lineas "A" o indice de plasticidad inferior a 4	Si los límites de Atterberg se localizan en el area sombreada se debe clasificar utilizando simbolos dobles
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcillas		Límites de Atterberg sobre la linea "A" e indice de plasticidad superior a 7	
	Arenas Mas del 50% de la fraccion gruesa pasa por el tamiz Nº.4	Arenas limpias	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos		Cu= D60 / D10 Cu=(D30)^2/(D10*D60)	Mayor que 6 Entre 1y 3
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si no se cumple los criterios para SW	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo		Límites de atterberg localizados bajo la lineas "A" o indice de plasticidad inferior a 4	Para los límites de Atterberg localizados en el area sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Límites de Atterberg sobre la línea "A" e indice de plasticidad superior a 7	
Suelos de particulas finas 50% o mas pasa por el tamiz Nº. 200	Limos y Arcillas limite liquido de 50 % o inferior		ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, areanas finas limosas o arcillosas			
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media plasticidad, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla			
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas organicas de baja plasticidad			
	Limos y Arcillas limite liquido mayor a 50 %		MH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad			
			CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad			
			OH	Arcilla orgánicas de plasticidad alta o media			
	Suelos altamente orgánicos		P	Turba y otros suelos altamente orgánicos			

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D2487-17 Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System. West Conshohocken, Estados Unidos.

3.11.4. Resultados

Tabla 3.28 Clasificación de la base clase 1-A

BASE CLASE 1	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Tabla 3.29 Clasificación de la base clase 2

BASE CLASE 2	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Tabla 3.30 Clasificación de la base clase 3

BASE CLASE 3	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Tabla 3.31 Clasificación de la base clase 4

BASE CLASE 4	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Sub bases

Tabla 3.32 Clasificación de la subbase clase 1

SUB BASE CLASE 1	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Tabla 3.33 Clasificación de la subbase clase 2

SUB BASE CLASE 2	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

Tabla 3.34 Clasificación de la subbase clase 3

SUB BASE CLASE 3	
Clasificación	
SUCS	**AASHTO**
GW	A-1-a
Observaciones: Gravas bien gradadas con mezlca de arena y grava con poco o casi nada de fino.	

3.12. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Tabla 3.35 Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio						
Ensayo	**Tipo**	**Valor**	**Unidad**	**Especificacion**	**Obsevación**	**Norma**
Gravedad específica y absrción	(Ge) agregado fino	2,49	---			ASTM C128 ASTM C127 NEVI-12-MTOP
	(Ab) agregado fino	1,93	%			
	(Ge) agregado grueso	2,62	---			
	(Ab) agregado grueso	1,94	%			
Contenido orgánico	Agregado fino	Color 3	---	Max. Color 3	Cumple	ASTM C40-99 NEVI-12-MTOP
Terrones de arcilla y partículas friables	Agregado fino	0,55	%	Max. 1%	Cumple	ASTM C142-97 NEVI-12-MTOP
Durabilidad de los agregados a los sulfatos	Agregado fino	17,7	%	Max. 12%	No cumple	ASTM C88 NEVI-12-MTOP
	Agregado grueso	14,9	%			
Equivalente de arena	Agregado fino	83,35	%	> 50	Cumple	ASTM D2419 NEVI-12-MTOP
Durabilidad del agregado a la abrasión		22,2	%	< 40	Cumple	ASTM C131 NEVI-12-MTOP
Límites de atterberg	Agregado fino	NP				ASTM D4318-84 NEVI-12-MTOP

CAPÍTULO 4

4. California Bearing Ratio C.B.R.

El ensayo de C.B.R. sirve para obtener las características de los suelos, que nos permiten determinar el comportamiento de un material con parámetros de humedad y densidad conocidos con el propósito de establecer su capacidad.

Procedimiento

Se realizo fundas de aproximadamente 15,5 kg, luego se con la densidad máxima y humedad óptima determinadas anteriormente se procedió a compactar tres muestras, las cuales se las compacto en 5 capas de 56 golpes, 25 golpes y 12 golpes.

Luego se procedió a sumergir las muestras durante mínimo 4 días, con el fin de saturarles, además se iba tomando lecturas de expansión de las muestras durante los días que estuvo sumergida en agua, una vez saturadas las muestras se las saco del agua y se las dejo escurrir durante unos 15 minutos aproximadamente y se procedió a realizar el ensayo.

Una vez elaboradas las curvas se las debe corregir al 100% de su densidad máxima.

4.1. Proctor modificado

Este ensayo nos permite encontrar tanto la humedad optima como la densidad máxima, para poder realizar la compactación de los moldes de C.B.R. La norma en la que se basa este ensayo es ASTM D1557.

4.1.1. Procedimiento

Se procedió a realizar fundas de aproximadamente 5.5 kg, luego se procedió a compactar en 5 capas de 56 golpes cada molde, utilizando diferentes humedades para cada funda, hasta lograr obtener los puntos necesarios obtener una curva densidad vs humedad y de esta manera extraer la densidad máxima y la humedad optima.

4.1.2. Resultados Proctor modificado

Tabla 4.1 Proctor modificado para base clase 1-A

PROCTOR MODIFICADO -- BASE CLASE 1								
Numero de capas	5			**Altura caida del martillo**	457,2 (mm)			
Numero de golpes por capa	56			**Peso del martillo**	44,88 (N)			
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo húmedo (gr)	10810		10941		11027		10941	
Peso suelo húmedo (gr)	4602		4733		4819		4733	
Densidad humeda	2,18		2,24		2,28		2,24	
Peso de la cápsula (gr)	50,7	33	32,66	34,11	32,44	32,65	33,31	33,35
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	232,52	243,99	169,37	237,07	169,33	223,02	243,83	263,39
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	224,81	234,13	162,8	226,78	160,81	211,12	229,75	247,71
Contenido de agua (%)	4,43	4,90	5,05	5,34	6,64	6,67	7,17	7,31
Promedio contenido de agua (%)	4,67		5,19		6,65		7,24	
Densidad seca (g/cm3)	2,08		2,13		2,14		2,09	

Figura 4.1 Curva de compactación de la base clase 1-A

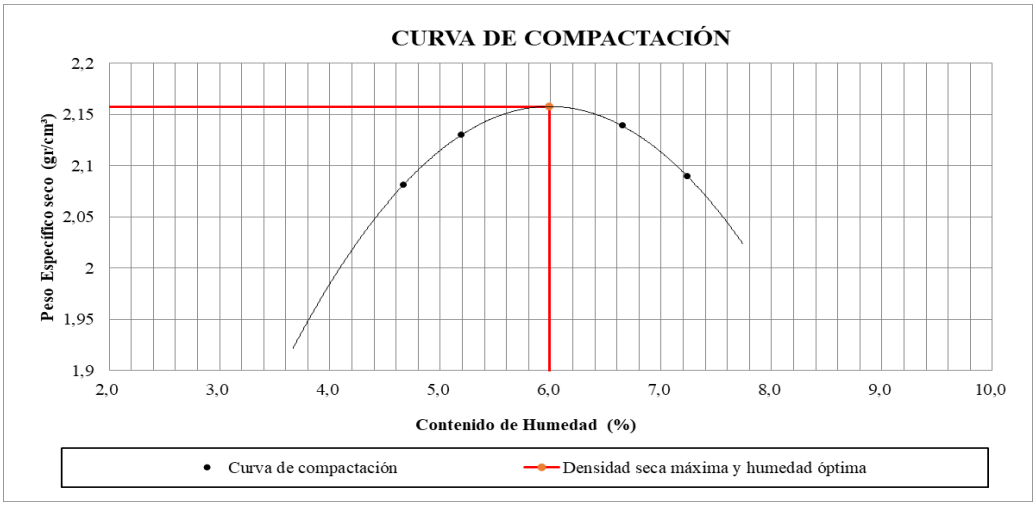


Tabla 4.2 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 1-A

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,158	5,99

Tabla 4.3 Proctor modificado para base clase 2

PROCTOR MODIFICADO -- BASE CLASE 2								
Numero de capas	5				**Altura caida del martillo**		457,2 (mm)	
Numero de golpes por capa	56				**Peso del martillo**		44,88 (N)	
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10855		10999		11041		11029	
Peso suelo humedo (gr)	4647		4791		4833		4821	
Densidad húmeda	2,20		2,27		2,29		2,30	
Peso de la cápsula (gr)	50,7	33,48	34,11	32,44	23,02	33,31	33,35	33,75
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	168,94	222,1	247,78	244,35	247,93	244,67	253,77	233,76
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	163,84	214,1	236,33	232,68	234,61	231,63	238,64	219,79
Contenido de agua (%)	4,51	4,43	5,66	5,83	6,30	6,58	7,37	7,51
Promedio contenido de agua (%)	4,47		5,75		6,44		7,44	
Densidad seca (g/cm3)	2,11		2,14		2,15		2,14	

Figura 4.2 Curva de compactación de la base clase 2

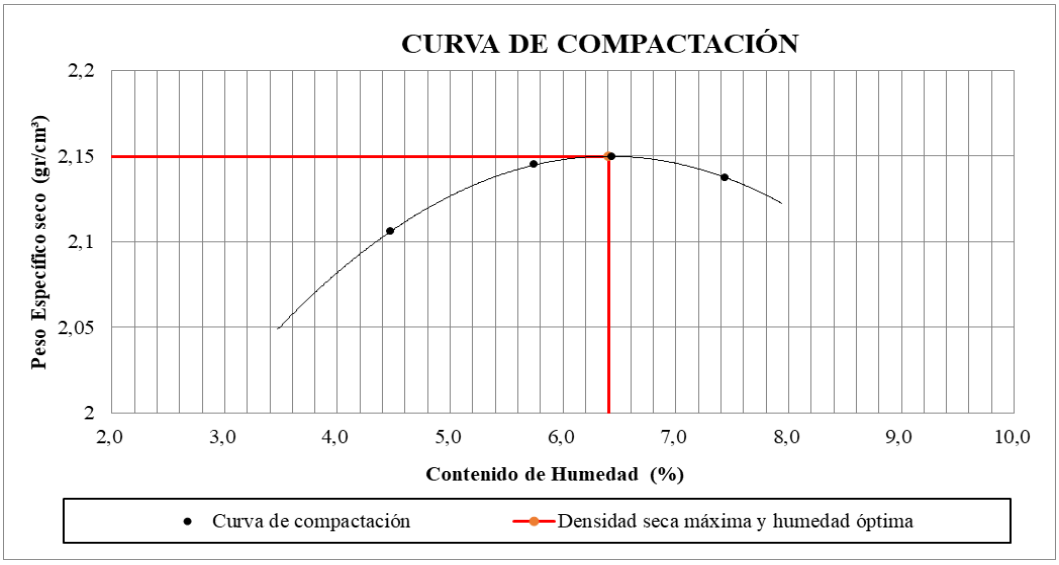


Tabla 4.4 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 2

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,150	6,41

Tabla 4.5 Proctor modificado para base clase 3

PROCTOR MODIFICADO -- BASE CLASE 3								
Numero de capas	5				**Altura caida del martillo**		457,2 (mm)	
Numero de golpes por capa	56				**Peso del martillo**		44,88 (N)	
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10758		10954		10993		10971	
Peso suelo humedo (gr)	4550		4746		4785		4763	
Densidad húmeda	2,15		2,25		2,27		2,26	
Peso de la cápsula (gr)	31,8	49,98	49,58	34,36	33	32,66	32,65	50,52
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	187	194,11	165,94	191,88	190,72	222,62	241,85	199,72
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	181,11	189,02	159,89	183,84	181,46	211,73	227,47	189,12
Contenido de agua (%)	3,94	3,66	5,48	5,38	6,24	6,08	7,38	7,65
Promedio contenido de agua (%)	3,80		5,43		6,16		7,51	
Densidad seca (g/cm3)	2,08		2,13		2,13		2,11	

Figura 4.3 Curva de compactación de la base clase 3

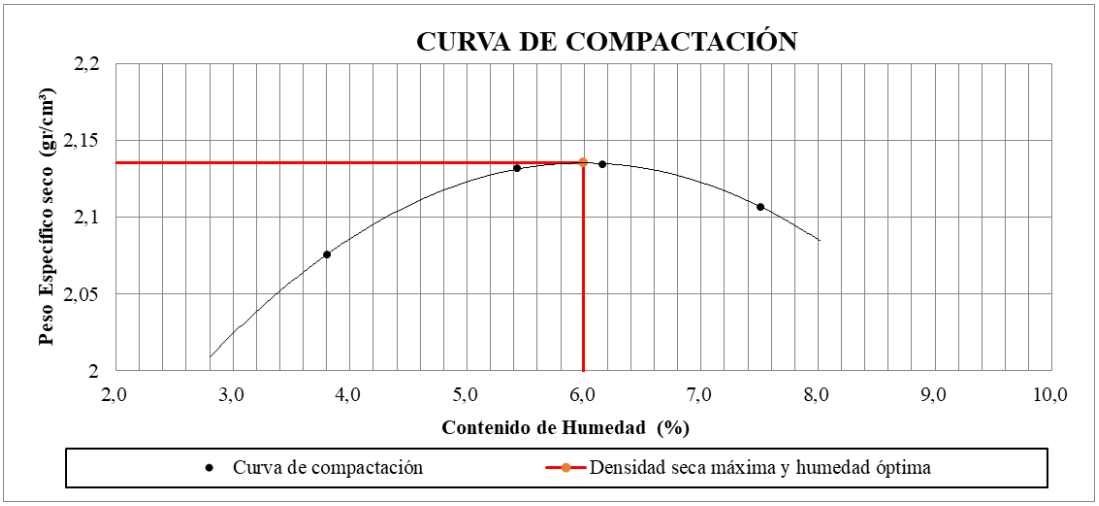


Tabla 4.6 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 3

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,135	5,99

Tabla 4.7 Proctor modificado para base clase 4

PROCTOR MODIFICADO -- BASE CLASE 4								
Numero de capas	5			**Altura caida del martillo**	457,2 (mm)			
Numero de golpes por capa	56			**Peso del martillo**	44,88 (N)			
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10724		10910		10944		10929	
Peso suelo húmedo (gr)	4516		4702		4736		4721	
Densidad humeda	2,14		2,23		2,24		2,24	
Peso de la capsula (gr)	33,48	34,36	31,8	49,98	23,02	49,58	50,52	33,75
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	246,43	269,93	191,98	255,51	179,91	211,69	256,53	265,93
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	238,96	259,93	183,78	244,12	170,82	201,55	242,82	250,79
Contenido de agua (%)	3,64	4,43	5,40	5,87	6,15	6,67	7,13	6,98
Promedio contenido de agua (%)	4,03		5,63		6,41		7,05	
Densidad seca (g/cm3)	2,06		2,11		2,11		2,09	

Figura 4.4 Curva de compactación de la base clase 4

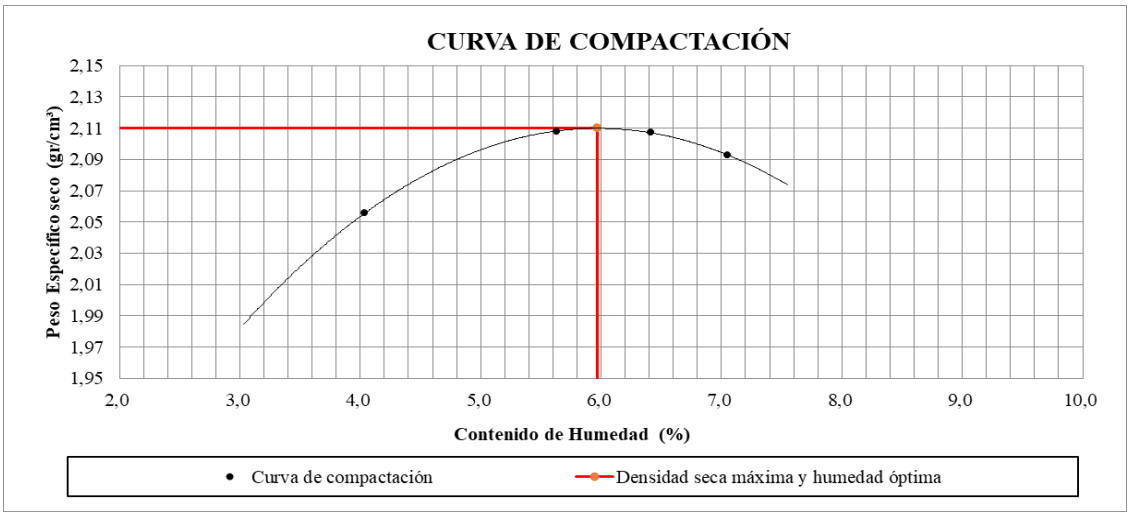


Tabla 4.8 Densidad seca máxima y humedad óptima de la base clase 4

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,110	5,97

Tabla 4.9 Proctor modificado para subbase clase 1

PROCTOR MODIFICADO -- SUBBASE CLASE 1								
Numero de capas	5				**Altura caída del martillo**		457,2 (mm)	
Numero de golpes por capa	56				**Peso del martillo**		44,88 (N)	
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10882		11032		11079		11066	
Peso suelo húmedo (gr)	4674		4824		4871		4858	
Densidad humeda	2,21		2,28		2,31		2,31	
Peso de la cápsula (gr)	33	32,65	33,35	32,66	34,11	23,01	33,31	49,98
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	229,91	183,75	224,95	191,41	225,62	175,93	198,8	202,27
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	222,56	177,82	215,28	183,23	214,23	167,02	187,1	191,67
Contenido de agua (%)	3,88	4,08	5,32	5,43	6,32	6,19	7,61	7,48
Promedio contenido de agua (%)	3,98		5,37		6,26		7,54	
Densidad seca (g/cm3)	2,13		2,17		2,17		2,15	

Figura 4.5 Curva de compactación de la subbase clase 1

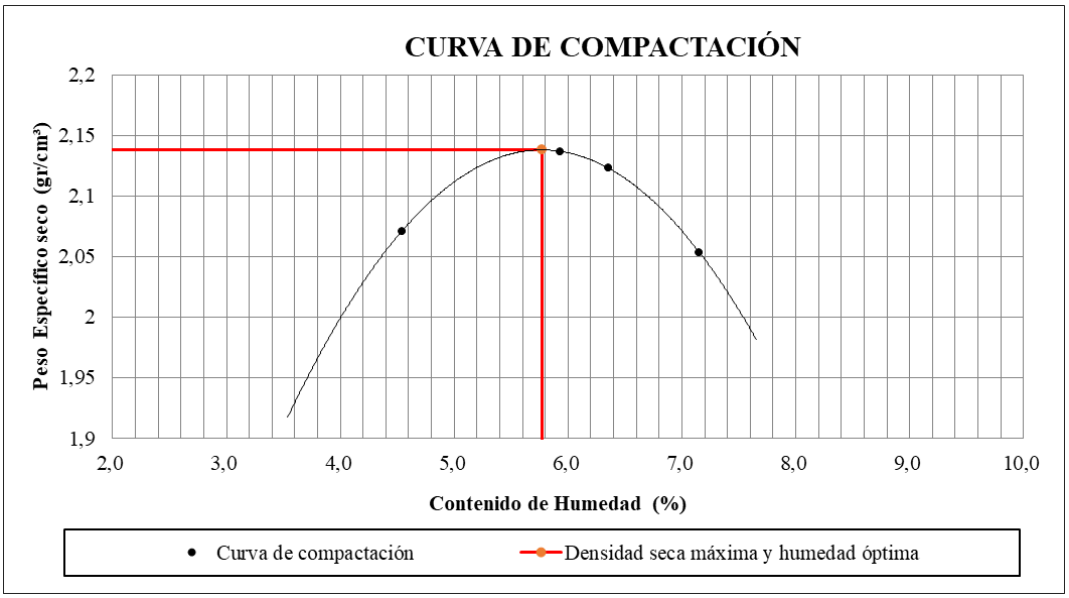


Tabla 4.10 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 1

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,172	6,02

Tabla 4.11 Proctor modificado para subbase clase 2

PROCTOR MODIFICADO -- SUBBASE CLASE 2								
Numero de capas	5			**Altura caida del martillo**	457,2 (mm)			
Numero de golpes por capa	56			**Peso del martillo**	44,88 (N)			
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactacion								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10827		11005		11032		10989	
Peso suelo humedo (gr)	4619		4797		4824		4781	
Densidad humeda	2,19		2,27		2,28		2,26	
Peso de la capsula (gr)	49,58	33,35	32,66	50,52	34,11	23,02	33,31	49,98
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	215,22	244,36	183,35	220,43	180,22	155,76	220,28	177,62
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	208,67	235,97	175,69	211,76	171,16	147,72	208,04	169,22
Contenido de agua (%)	4,12	4,14	5,36	5,38	6,61	6,45	7,01	7,04
Promedio contenido de agua (%)	4,13		5,37		6,53		7,02	
Densidad seca (g/cm3)	2,10		2,16		2,14		2,12	

Figura 4.6 Curva de compactación de la subbase clase 2

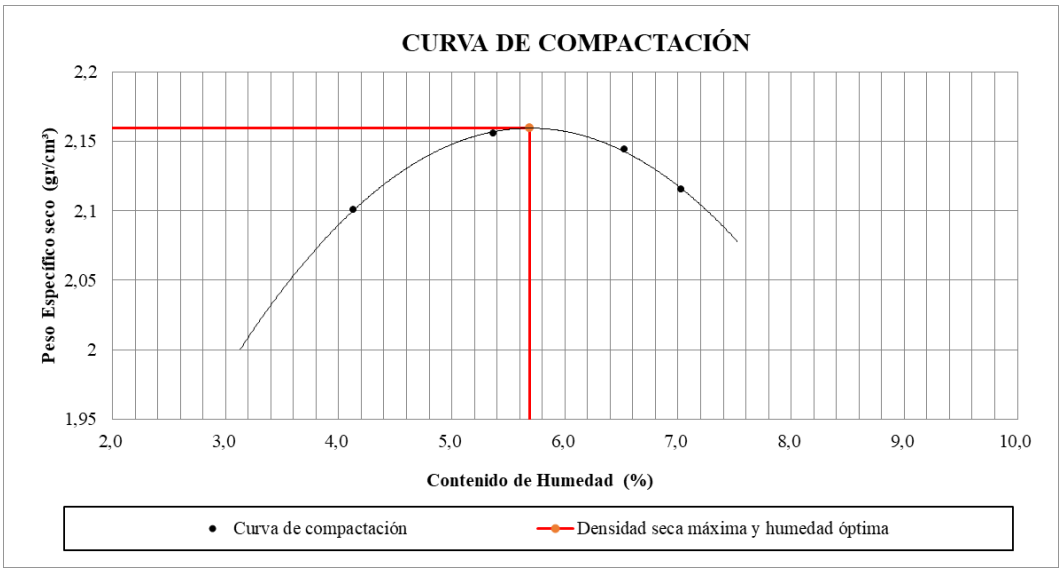


Tabla 4.12 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 2

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,159	5,69

Tabla 4.13 Proctor modificado para subbase clase 3

PROCTOR MODIFICADO -- SUBBASE CLASE 3								
Numero de capas	5				**Altura caída del martillo**		457,2 (mm)	
Numero de golpes por capa	56				**Peso del martillo**		44,88 (N)	
Peso inicial	5500 (gr)							
Ensayo de compactación								
Muestra	1		2		3		4	
Agua añadida (cc)	220		330		440		550	
Porcentaje de agua añadida	4		6		8		10	
Volumen del molde	2112		2112		2112		2112	
Peso del molde (gr)	6208		6208		6208		6208	
Peso del molde + suelo humedo (gr)	10780		10987		10978		10855	
Peso suelo húmedo (gr)	4572		4779		4770		4647	
Densidad húmeda	2,16		2,26		2,26		2,20	
Peso de la cápsula (gr)	49,58	50,52	33,75	50,7	34,36	31,8	33,48	32,44
Peso de la cap. + suelo humedo (gr)	215,1	212,18	202,08	190,53	214,43	175,96	205,37	231,79
Peso de la cap. + suelo seco (gr)	208,1	204,98	192,82	182,57	203,93	167,13	193,96	218,41
Contenido de agua (%)	4,42	4,66	5,82	6,04	6,19	6,52	7,11	7,19
Promedio contenido de agua (%)	4,54		5,93		6,36		7,15	
Densidad seca (g/cm3)	2,07		2,14		2,12		2,05	

Figura 4.7 Curva de compactación de la subbase clase 3

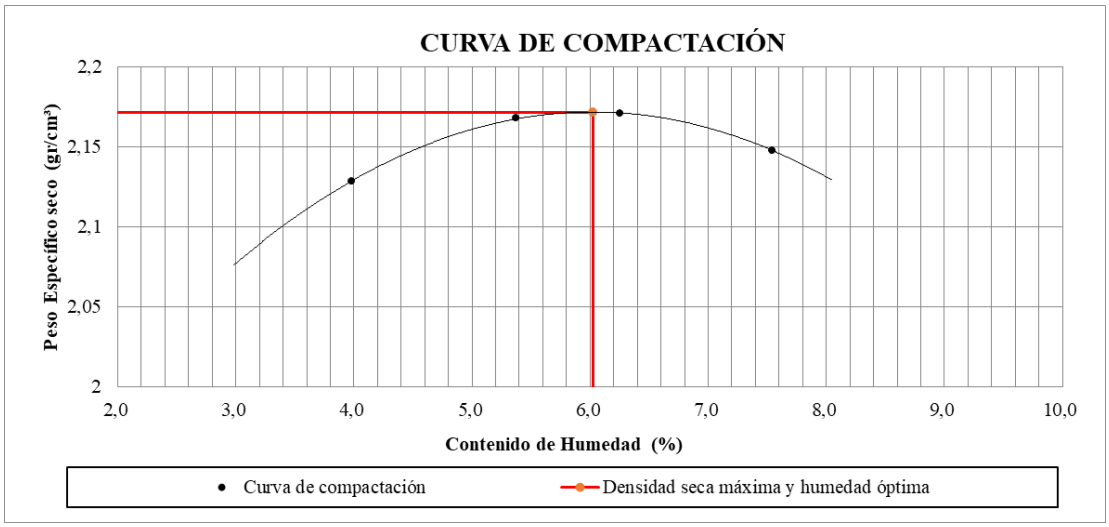


Tabla 4.14 Densidad seca máxima y humedad óptima de la subbase clase 3

Densidad seca máxima (g/cm3)	Humedad óptima (%)
2,138	5,77

4.1.3. Resultados C.B.R

Tabla 4.15 C.B.R de la base clase 1-A

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Base clase 1						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	6.265		6.273		6.239	
Peso molde + muestra húmeda	11.152		10.780		10.326	
Peso muestra húmeda	4.887		4.507		4.087	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.300		2.121		1.923	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	49,43	32,72	66,41	30,91	32,72	49,52
Peso cápsula + suelo húmedo	197,82	222,00	260,12	209,15	219,85	195,62
Peso de la cápsula + suelo seco	189,59	212,17	249,81	198,97	209,51	187,69
Porcentaje de humedad	5,87	5,48	5,62	6,06	5,85	5,74
Promedio del porcentaje de humedad	5,67		5,84		5,79	
Densidad seca	2.176		2.004		1.818	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	49,41	32,97	49,52	32,74	22,64	34,43
Peso cápsula + suelo húmedo	271,59	258,43	258,44	277,89	208,19	259,64
Peso de la cápsula + suelo seco	258,74	244,87	245,87	262,49	196,92	245,27
Porcentaje de humedad	6,14	6,40	6,40	6,70	6,47	6,82
Promedio del porcentaje de humedad	6,27		6,55		6,64	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	11.193		10.820		10.349	
Peso del molde	6.265		6.273		6.239	
Agua absorbida	41		40		23	
% de agua absorbida	0,84		0,89		0,56	

Expansión									
Tiempo (días)	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje
0	0	0	0	0	0	0	0		
2	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-2	-0,002	-0,044
3	-3	-0,003	-0,066	-3	-0,003	-0,066	-2	-0,002	-0,044
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	Cargas tipo (lb/pulg2)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (25 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido
		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2	
0,000		0	0		0	0,00		0	0,00	
0,025		79	23,99		63	19,13		63	19,13	
0,050		172	52,24		131	39,78		129	39,18	
0,075		226	68,64		206	62,56		193	58,61	
0,100	1	331	100,52	250,00	313	95,06	250,00	265	80,48	222,50
0,200	1,5	712	216,23	480,00	783	237,80	455,00	698	211,98	417,50
0,300	1,9	1490	452,51		1347	409,08		1317	399,97	
0,400	2,3	2191	665,41		2073	629,57		2008	609,83	
0,500	2,6	2400	728,88		2400	728,88		2400	728,88	

Figura 4.8 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (56 golpes)

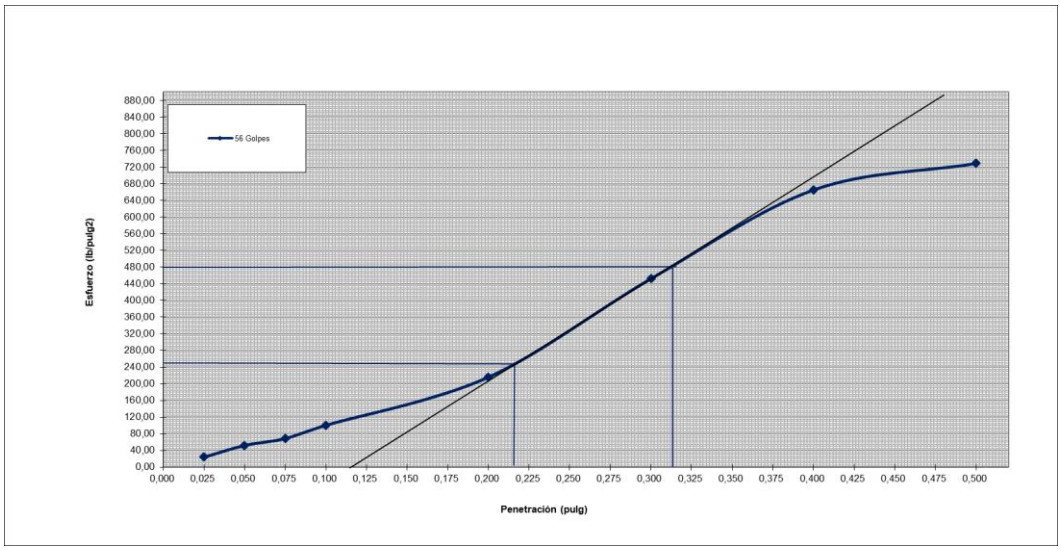


Figura 4.9 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (26 golpes)

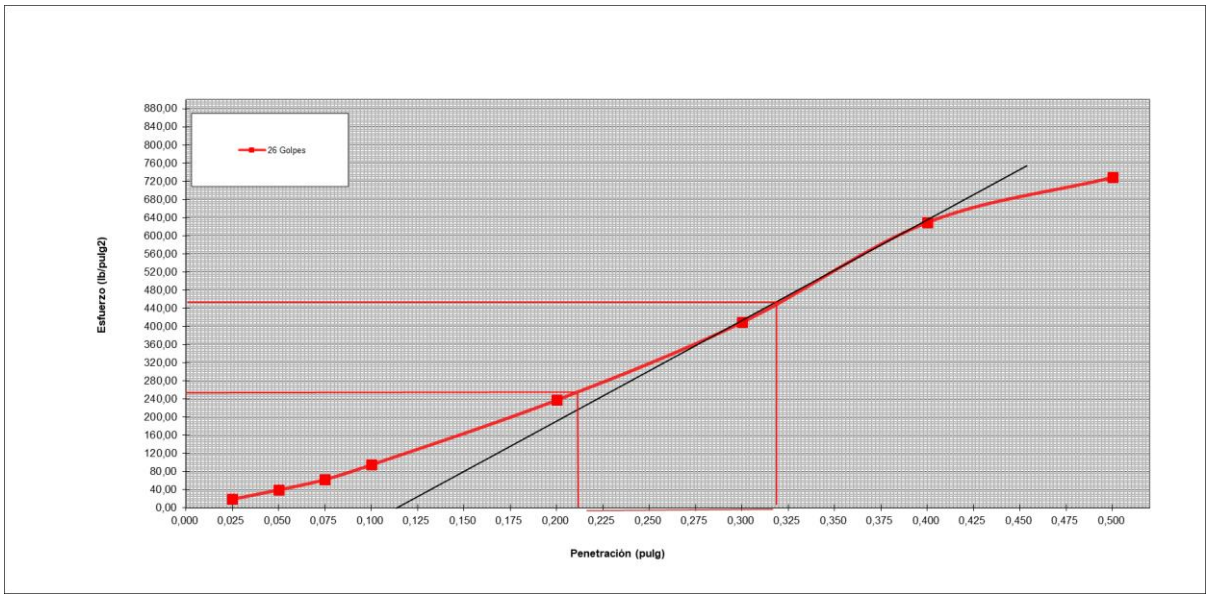


Figura 4.10 Esfuerzo vs penetración de la base clase 1-A (12 golpes)

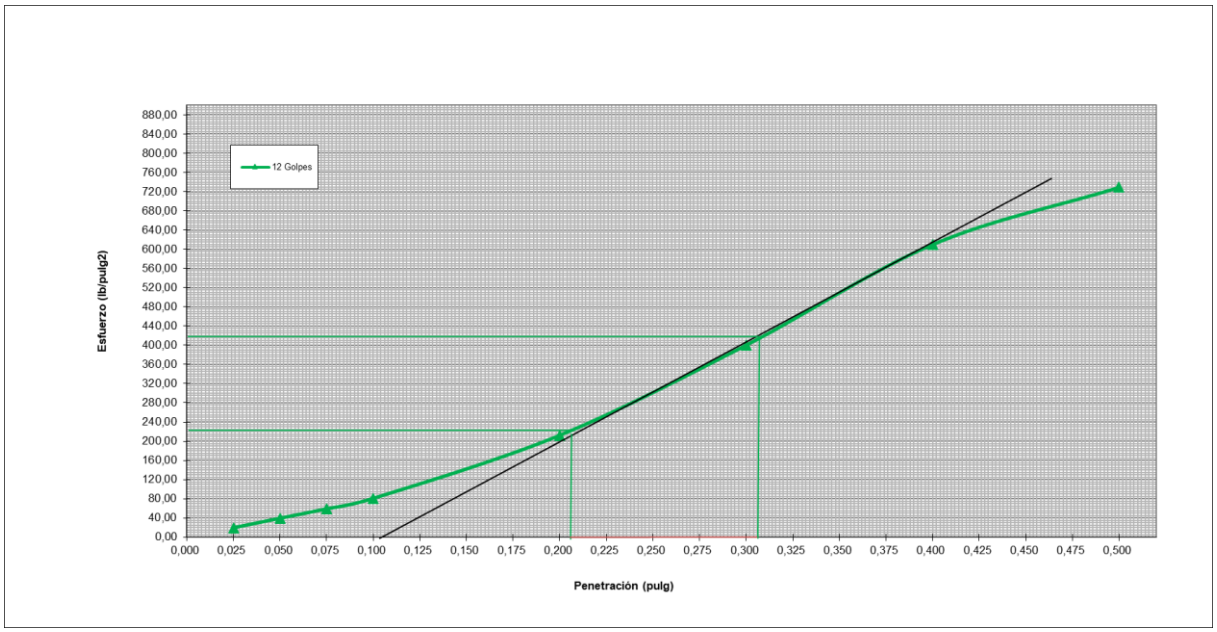


Tabla 4.16 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 1-A

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R.**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R.**
250,00	25,00	480,00	32,00
250,00	25,00	455,00	30,33
222,50	22,25	417,50	27,83
% CBR (100% gd max.) 0,1''	**25,00**	**% CBR (100% gd max.) 0,2''**	**32,00**

Figura 4.11 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 1-A

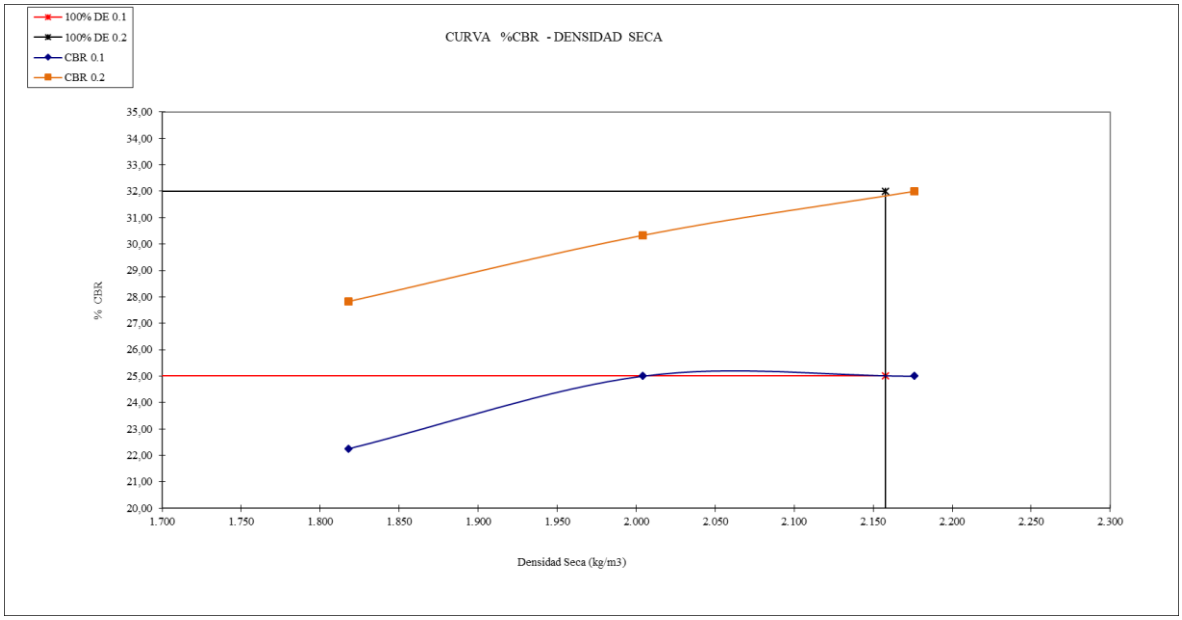


Tabla 4.17 C.B.R de la base clase 2

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Base clase 2						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	5.969		6.238		5.842	
Peso molde + muestra húmeda	10.885		10.902		10.488	
Peso muestra húmeda	4.916		4.664		4.646	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.313		2.195		2.186	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	35,77	34,10	50,86	50,62	32,56	34,52
Peso cápsula + suelo húmedo	155,00	134,94	186,87	149,15	149,81	132,58
Peso de la cápsula + suelo seco	147,49	128,49	178,40	143,18	142,59	126,41
Porcentaje de humedad	6,72	6,83	6,64	6,45	6,56	6,71
Promedio del porcentaje de humedad	6,78		6,55		6,64	
Densidad seca	2.167		2.060		2.050	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	49,38	49,64	23,07	6,99	22,82	33,55
Peso cápsula + suelo húmedo	243,15	234,11	249,66	270,77	208,53	274,69
Peso de la cápsula + suelo seco	231,06	222,66	235,93	256,39	196,36	258,40
Porcentaje de humedad	6,65	6,62	6,45	6,99	7,01	7,24
Promedio del porcentaje de humedad	6,64		6,72		7,13	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	10.968		10.989		10.578	
Peso del molde	5.969		6.238		5.842	
Agua absorbida	83		87		90	
% de agua absorbida	1,69		1,87		1,94	

Expansión									
Tiempo (días)	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje
0	0	0	0	0	0	0	0		
2	-5	-0,005	-0,109	-1	-0,001	0,022	-2	-0,002	-0,044
3	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022

Datos de la penetración										
Penetración (pulgadas)	Cargas tipo (lb/pulg2)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (25 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido
		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		100	30,37		53	16,10		43	13,06	
0,050		210	63,78		131	39,78		108	32,80	
0,075		362	109,94		242	73,50		165	50,11	
0,100	1	415	126,04	260,00	363	110,24	255,00	228	69,24	230,00
0,200	1,5	1201	364,74	497,50	877	266,34	495,00	650	197,41	430,00
0,300	1,9	1934	587,36		1696	515,08		1231	373,85	
0,400	2,3	2400	728,88		2284	693,65		1964	596,47	
0,500					2400	728,88		2400	728,88	

Figura 4.12 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (56 golpes)

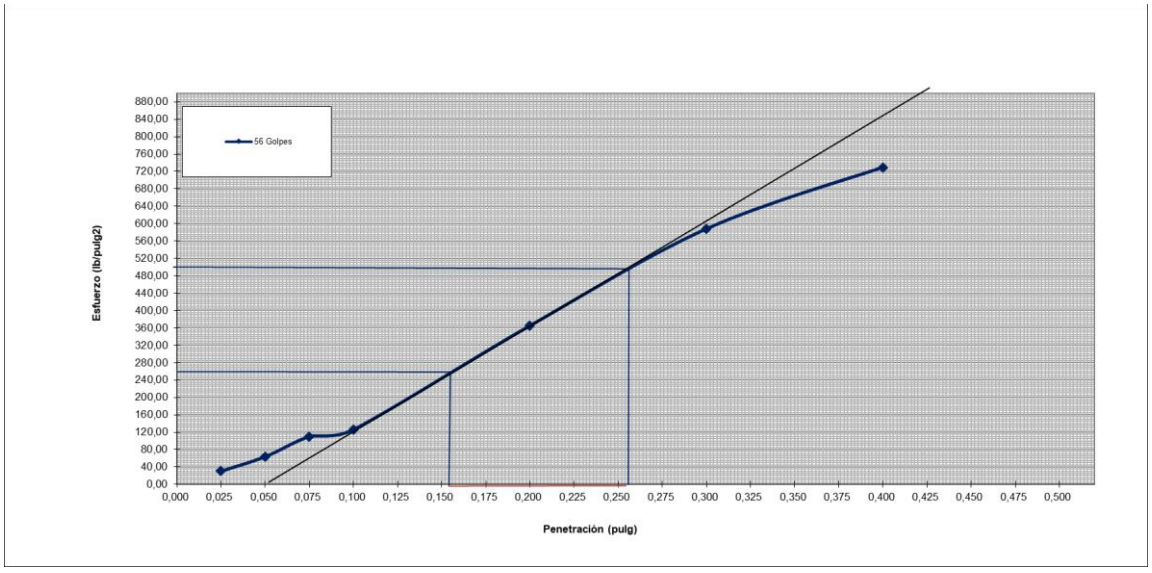


Figura 4.13 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (26 golpes)

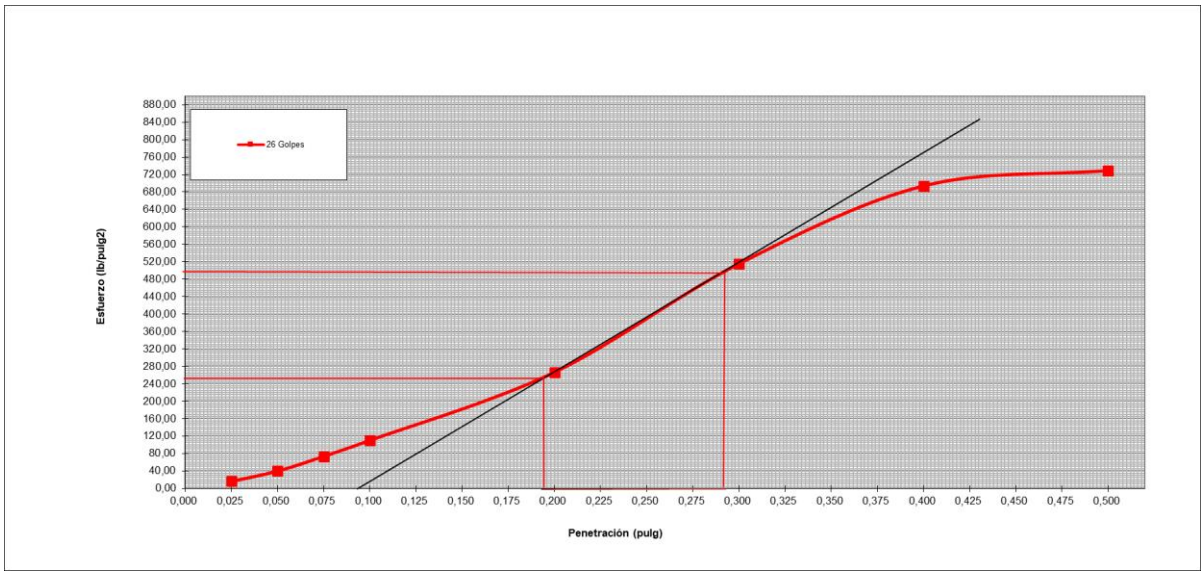


Figura 4.14 Esfuerzo vs penetración de la base clase 2 (12 golpes)

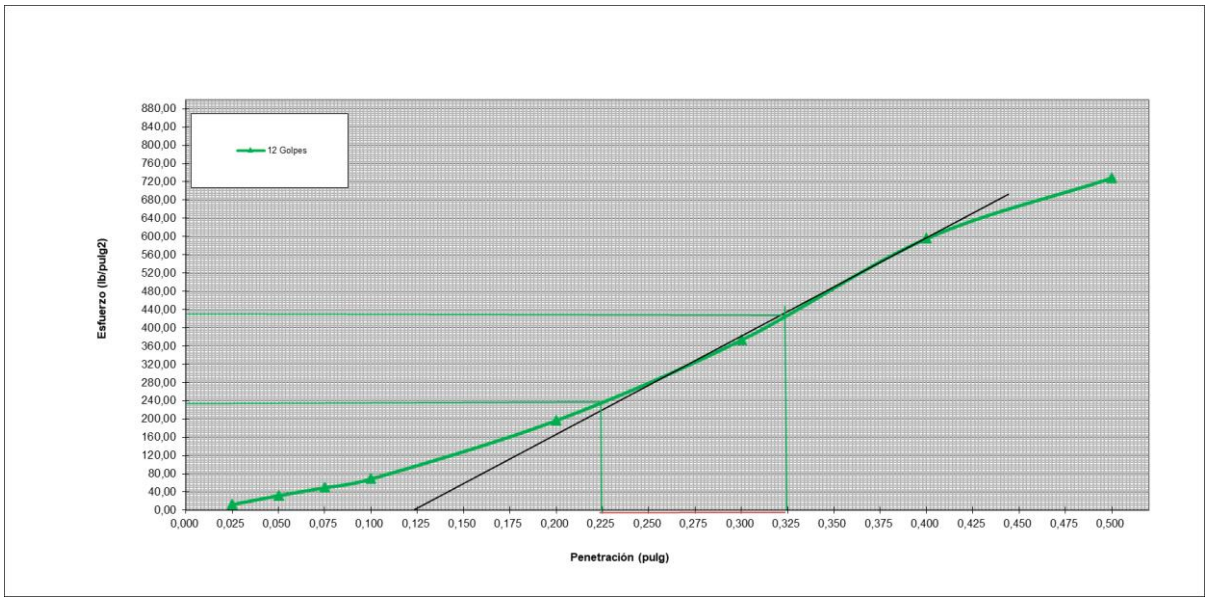


Tabla 4.18 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 2

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1"**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R. 0,2"**
260,00	26,00	497,50	33,17
255,00	25,50	495,00	33,00
230,00	23,00	430,00	28,67
% CBR (100% gd max.) 0,1"	**26,00**	**% CBR (100% gd max.) 0,2"**	**33,17**

Figura 4.15 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 2

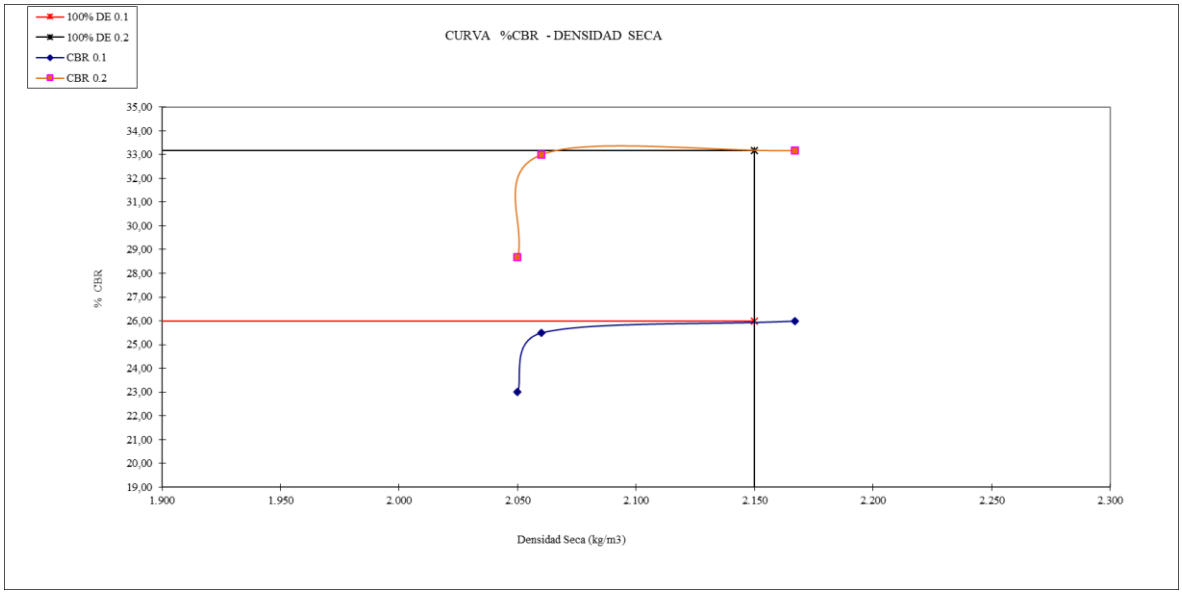


Tabla 4.19 C.B.R de la base clase 3

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Base clase 3						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	6.272		6.163		7.925	
Peso molde + muestra húmeda	11.171		10.896		12.505	
Peso muestra húmeda	4.899		4.733		4.580	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.305		2.227		2.155	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	22,64	49,52	32,97	49,41	34,43	32,74
Peso cápsula + suelo húmedo	213,14	256,01	229,33	271,46	269,63	240,46
Peso de la cápsula + suelo seco	202,15	244,24	217,95	258,70	255,87	228,52
Porcentaje de humedad	6,12	6,04	6,15	6,10	6,21	6,10
Promedio del porcentaje de humedad	6,08		6,12		6,16	
Densidad seca	2.173		2.099		2.030	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	32,46	32,74	22,90	23,12	33,19	33,81
Peso cápsula + suelo húmedo	261,53	299,21	284,80	258,18	271,42	304,83
Peso de la cápsula + suelo seco	245,89	281,31	265,78	240,96	252,06	283,30
Porcentaje de humedad	7,33	7,20	7,83	7,90	8,85	8,63
Promedio del porcentaje de humedad	7,26		7,87		8,74	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	11.225		10.971		1.260	
Peso del molde	6.272		6.163		7.925	
Agua absorbida	54		75		98	
% de agua absorbida	1,1		1,58		2,14	

Expansión									
Tiempo (días)	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	-0,001	-0,022	0	0	0	-5	-0,005	-0,109
3	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	Cargas tipo (lb/pulg2)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (25 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido
		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		82	24,90		33	10,02		68	20,65	
0,050		182	55,27		92	27,94		160	48,59	
0,075		272	82,61		180	54,67		253	76,84	
0,100	1	358	108,72	227,50	302	91,72	222,50	362	109,94	185,00
0,200	1,5	727	220,79	412,50	981	297,93	410,00	938	284,87	380,00
0,300	1,9	1352	410,60		1521	461,93		1687	512,34	
0,400	2,3	2066	627,44		2242	680,90		2400	728,88	
0,500	2,6	2400	728,88		2400	728,88				

Figura 4.16 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (56 golpes)

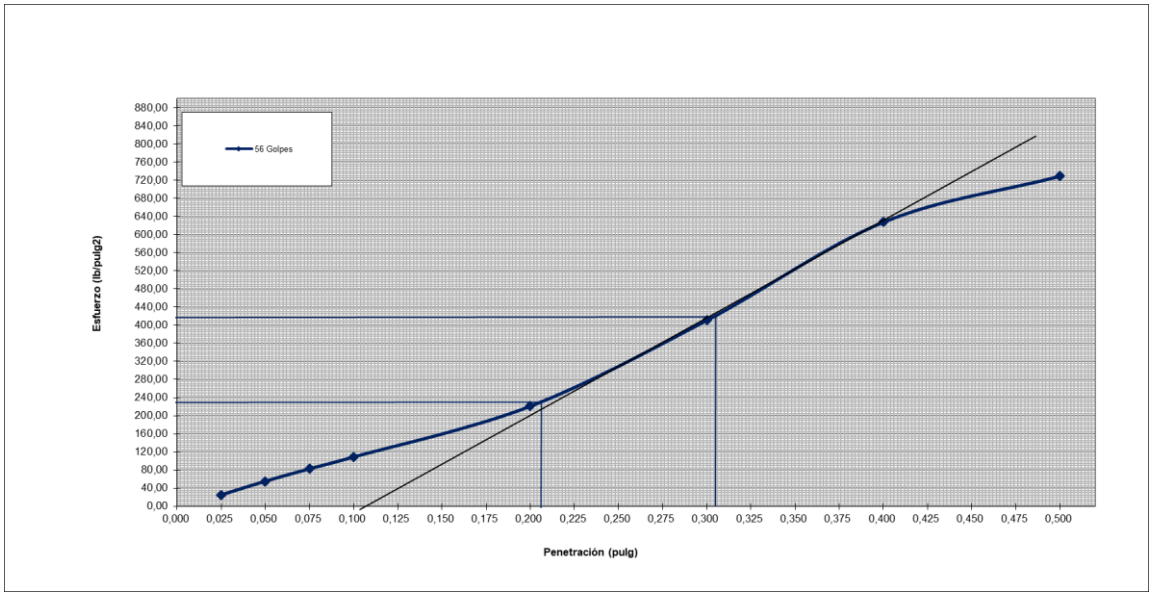


Figura 4.17 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (26 golpes)

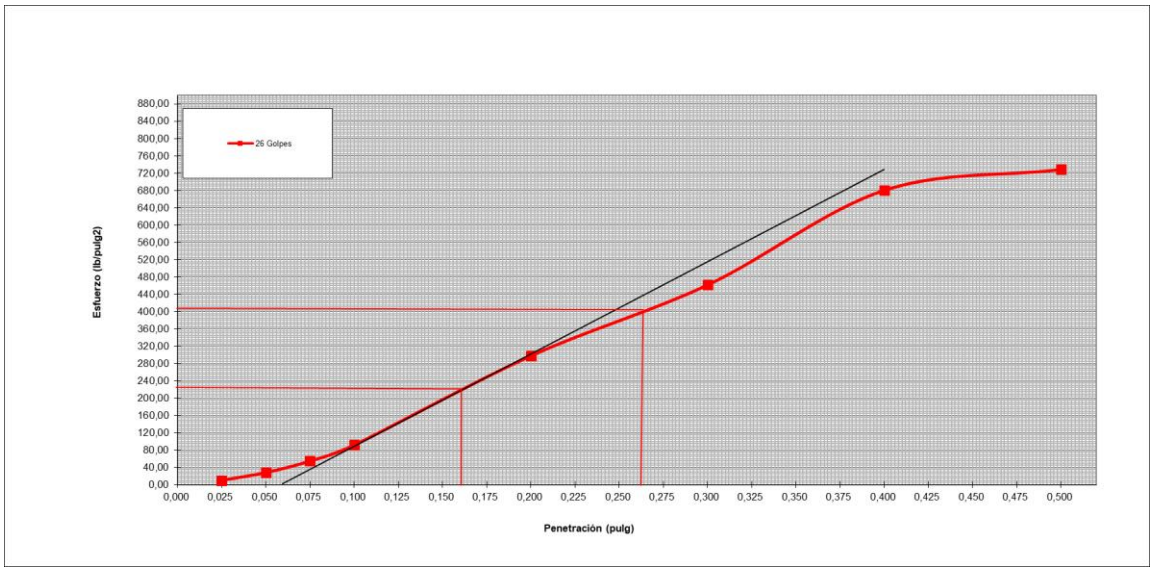


Figura 4.18 Esfuerzo vs penetración de la base clase 3 (12 golpes)

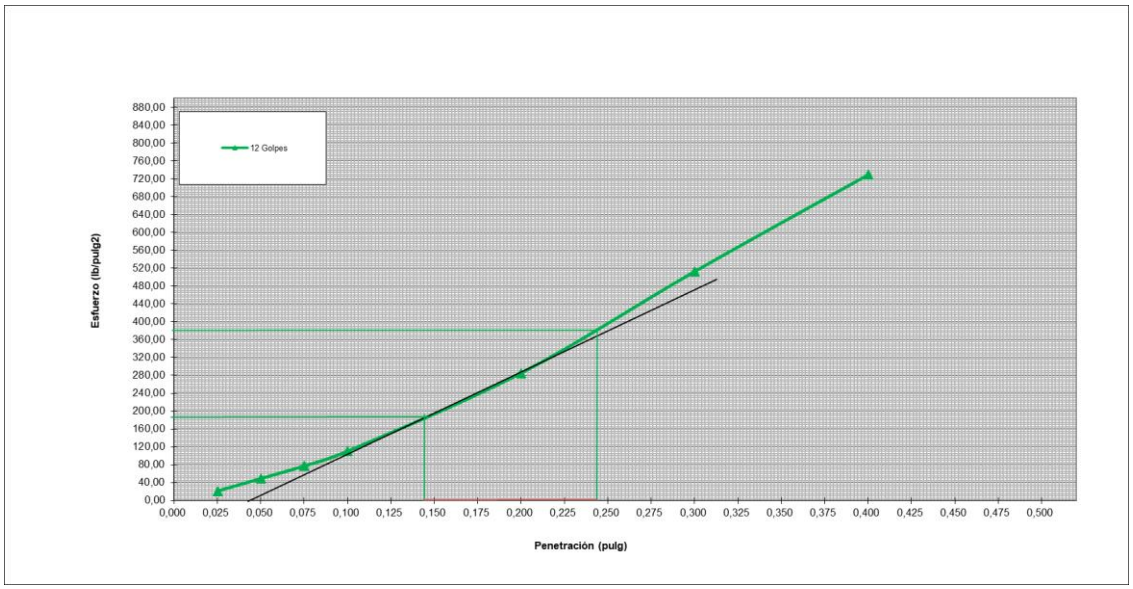


Tabla 4.20 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 3

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1''**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R. 0,2''**
227,50	22,75	412,50	27,50
222,50	22,25	410,00	27,33
185,00	18,50	380,00	25,33
% CBR (100% gd max.) 0,1''	**22,75**	**% CBR (100% gd max.) 0,2''**	**27,50**

Figura 4.19 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 3

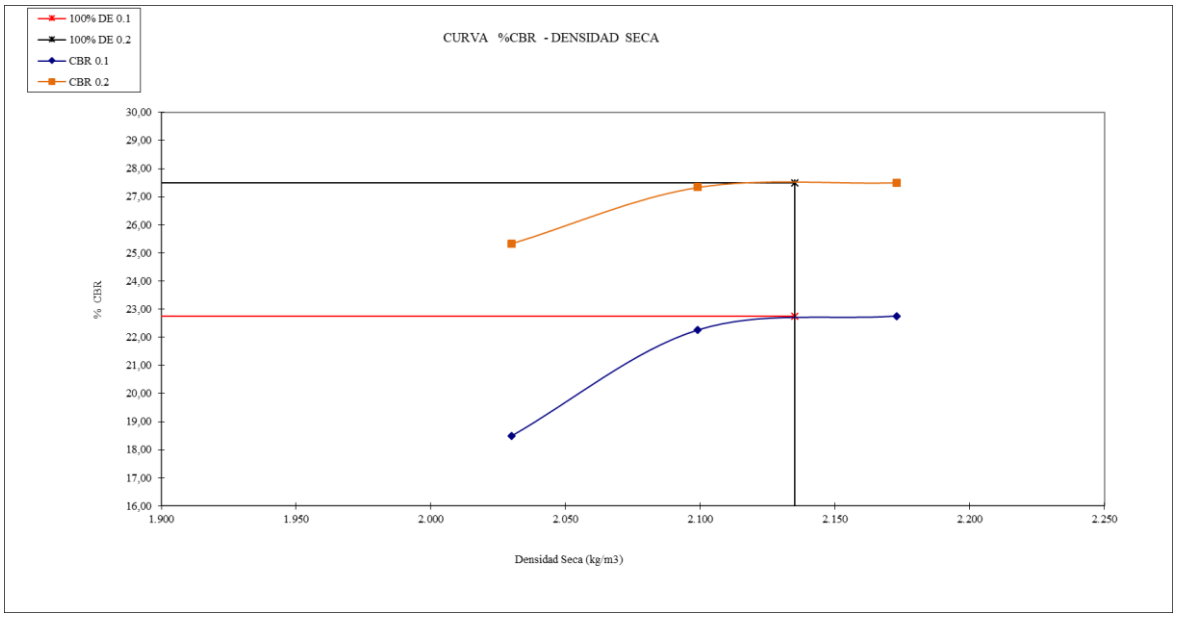


Tabla 4.21 C.B.R de la base clase 4

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Base clase 4						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	**8.057**		**8.065**		**7.163**	
Peso molde + muestra húmeda	12.855		12.660		11.690	
Peso muestra húmeda	4.828		4.595		4.527	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.272		2.162		2.130	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	69,50	67,37	22,37	48,36	65,83	29,94
Peso cápsula + suelo húmedo	260,65	224,57	228,65	244,36	235,17	270,37
Peso de la cápsula + suelo seco	150,21	215,73	217,18	234,15	226,36	257,84
Porcentaje de humedad	5,78	5,96	5,89	5,50	5,49	5,50
Promedio del porcentaje de humedad	5,87		5,69		5,49	
Densidad seca	2.146		2.046		2.019	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	23,09	33,58	33,32	33,33	50,44	22,68
Peso cápsula + suelo húmedo	281,58	248,28	251,27	277,89	314,47	258,01
Peso de la cápsula + suelo seco	265,56	235,08	237,79	262,48	297,28	243,07
Porcentaje de humedad	6,61	6,55	6,59	6,72	6,96	6,78
Promedio del porcentaje de humedad	6,58		6,66		6,87	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	12.933		12.708		11.763	
Peso del molde	8.057		8.065		7.163	
Agua absorbida	48		48		73	
% de agua absorbida	0,99		1,04		1,61	

Expansión									
Tiempo (días)	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-3	-0,003	-0,066	-2	-0,002	-0,044	-1	-0,001	-0,022
3	-1	-0,001	-0,022	-2	-0,002	-0,044	-1	-0,001	-0,022
4	-1	-0,001	-0,022	-2	-0,002	-0,044	-1	-0,001	-0,022

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	**Cargas tipo (lb/pulg2)**	**Molde 1 (56 golpes)**			**Molde 2 (25 golpes)**			**Molde 3 (12 golpes)**	
		Carga de ensayo		**C.B.R. corregido**	**Carga de ensayo**		**C.B.R. corregido**	**Carga de ensayo**	**C.B.R. corregido**
		Lectura	**lb/pulg2**		**Lectura**	**lb/pulg2**		**Lectura**	**lb/pulg2**	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		110	33,41		103	31,28		33	10,02	
0,050		289	87,77		233	70,76		164	49,81	
0,075		426	129,38		389	118,14		328	99,61	
0,100	1	626	190,12	270,00	589	178,88	267,50	504	153,06	245,00
0,200	1,5	1322	401,49	500,00	1300	394,81	495,00	1161	352,60	425,00
0,300	1,9	2085	633,21		2131	647,18		1923	584,02	
0,400	2,3	2400	728,88		2400	728,88		2400	728,88	
0,500										

Figura 4.20 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (56 golpes)

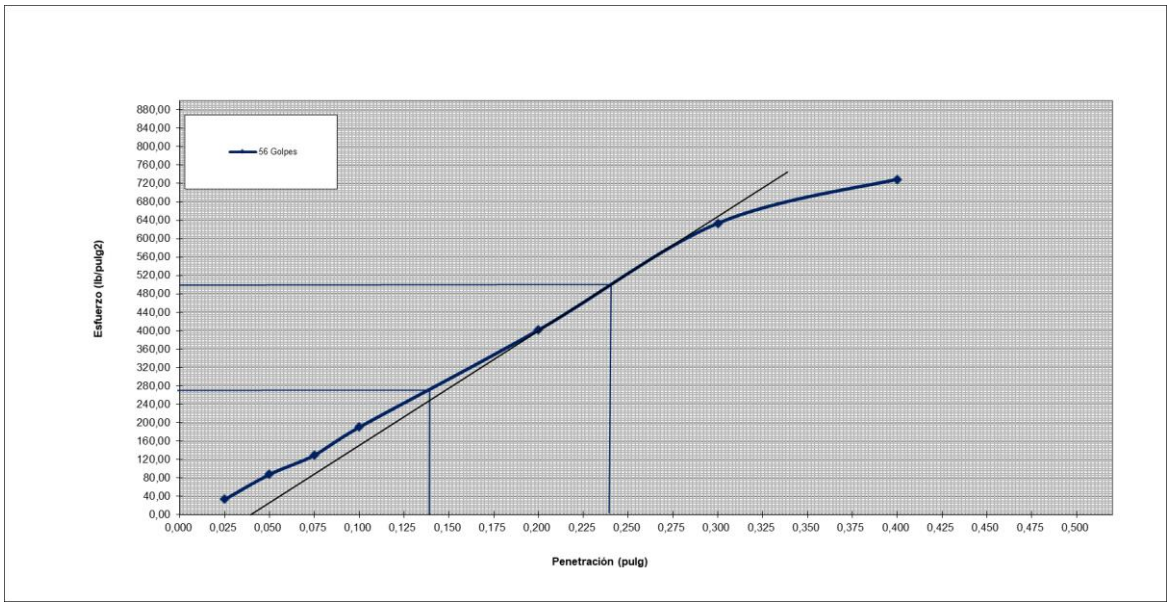


Figura 4.21 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (26 golpes)

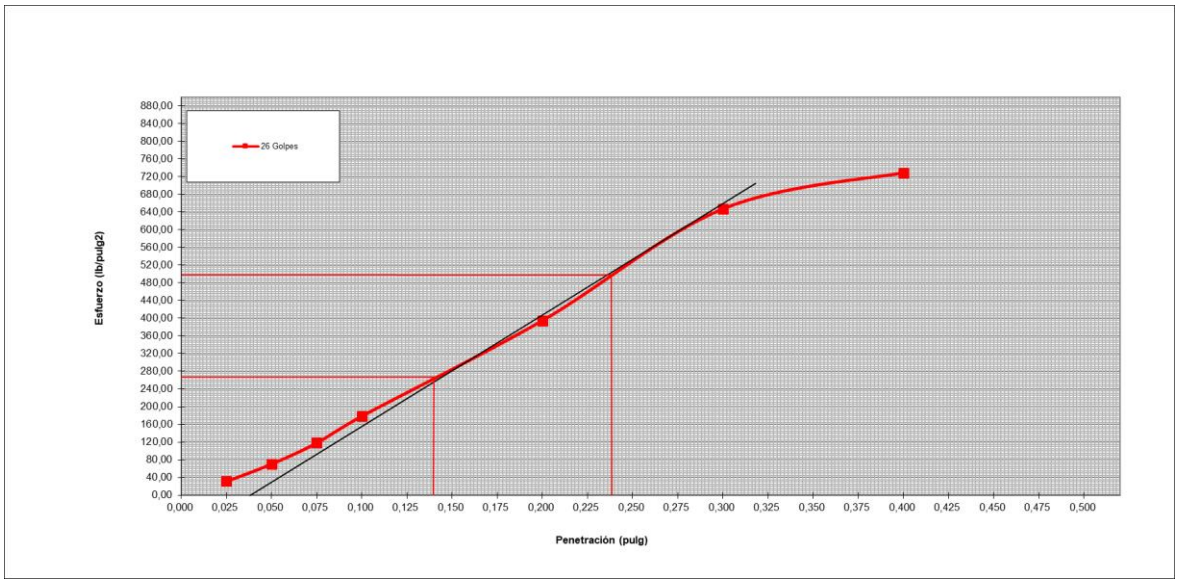


Figura 4.22 Esfuerzo vs penetración de la base clase 4 (12 golpes)

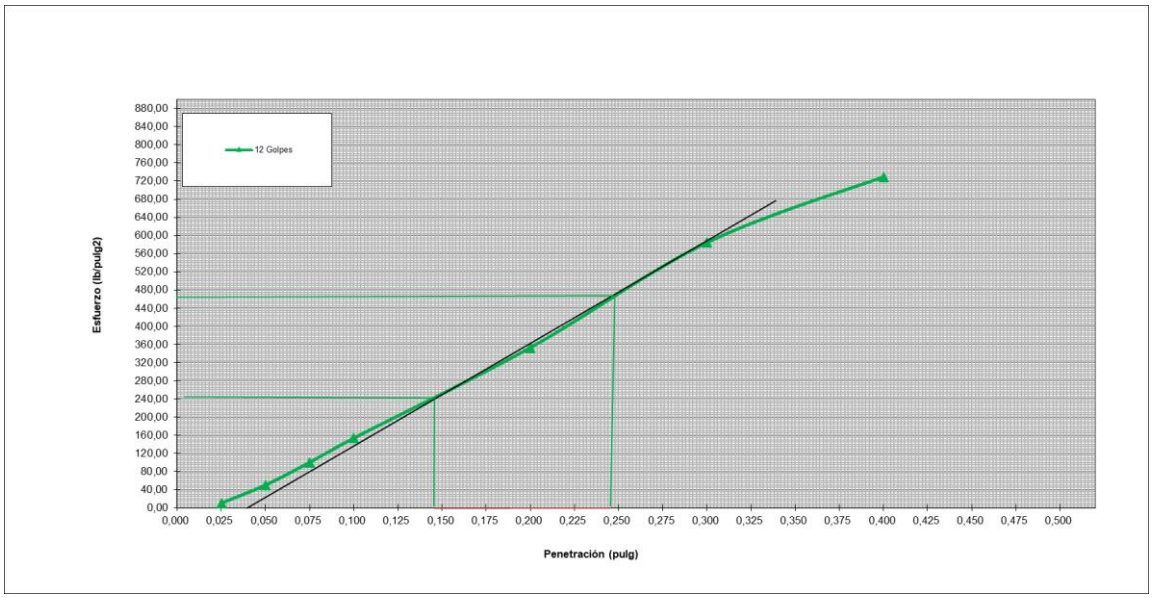


Tabla 4.22 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la base clase 4

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1"**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R.**
270,00	27,00	500,00	33,33
267,50	26,75	495,00	33,00
245,00	24,50	425,00	28,33
% CBR (100% gd max.) 0,1'	**27,00**	**% CBR (100% gd max.) 0,2'**	**33,33**

Figura 4.23 Densidad máxima vs C.B.R. de la base clase 4

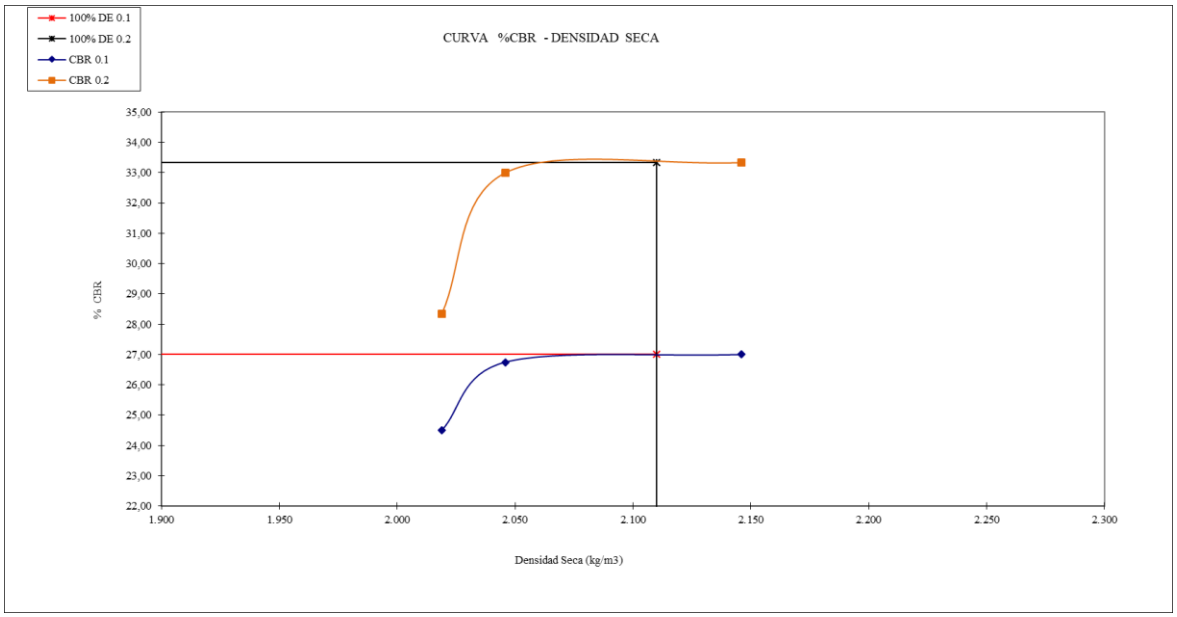


Tabla 4.23 C.B.R de la subbase clase 1

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Subbase clase 1						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	**6.238**		**6.265**		**6.348**	
Peso molde + muestra húmeda	11.173		11.130		10.863	
Peso muestra húmeda	4.935		4.865		4.515	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.322		2.289		2.125	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	33,00	49,00	34,00	33,00	32,00	50,00
Peso cápsula + suelo húmedo	264,00	242,00	276,00	201,00	209,00	254,00
Peso de la cápsula + suelo seco	250,30	231,04	260,43	191,46	199,20	240,65
Porcentaje de humedad	5,87	5,48	6,88	6,02	5,86	7,00
Promedio del porcentaje de humedad	6,16		6,45		6,43	
Densidad seca	2.188		2.151		1.996	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	33,19	22,90	32,46	32,74	23,12	22,41
Peso cápsula + suelo húmedo	261,83	244,08	246,28	268,77	244,07	225,86
Peso de la cápsula + suelo seco	247,50	231,16	233,62	254,92	230,34	214,08
Porcentaje de humedad	6,69	6,20	6,29	6,23	6,63	6,15
Promedio del porcentaje de humedad	6,45		6,26		6,39	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	11.222		11.176		10.898	
Peso del molde	6.238		6.265		6	
Agua absorbida	49		46		35	
% de agua absorbida	0,99		0,95		0,78	

Expansión									
Tiempo (días)	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**	**Lectura**	**Pulgadas**	**Porcentaje**
0	0	0	0	0	0	0	0		
2	-4	0,004	0,087	-3	-0,003	0,0066	-5	-0,005	-0,109
3	-2	-0,002	-0,044	-1	-0,001	0,022	-2	-0,002	-0,044
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-2	-0,002	-0,044

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	**Cargas tipo (lb/pulg2)**	**Molde 1 (56 golpes)**			**Molde 2 (25 golpes)**			**Molde 3 (12 golpes)**	
		Carga de ensayo		**C.B.R. corregido**	**Carga de ensayo**		**C.B.R. corregido**	**Carga de ensayo**	**C.B.R. corregido**
		Lectura	**lb/pulg2**		**Lectura**	**lb/pulg2**		**Lectura**	**lb/pulg2**	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		127	38,57		100	30,37		99	30,07	
0,050		307	93,24		256	77,75		212	64,38	
0,075		494	150,03		435	132,11		356	108,12	
0,100	1	676	205,30	412,50	627	190,42	402,50	487	147,90	252,50
0,200	1,5	1980	601,33	680,00	1436	436,11	670,00	1140	346,22	465,00
0,300	1,9	2400	728,88		2361	717,04		1863	565,79	
0,400					2400	728,88		2400	728,88	
0,500										

Figura 4.24 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (56 golpes)

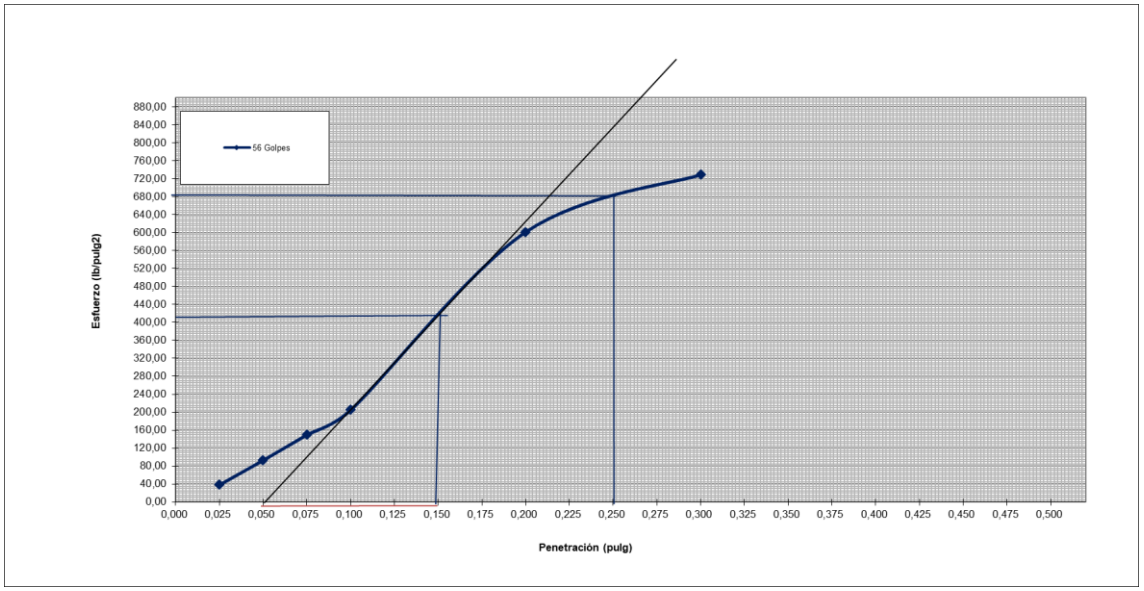


Figura 4.25 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (26 golpes)

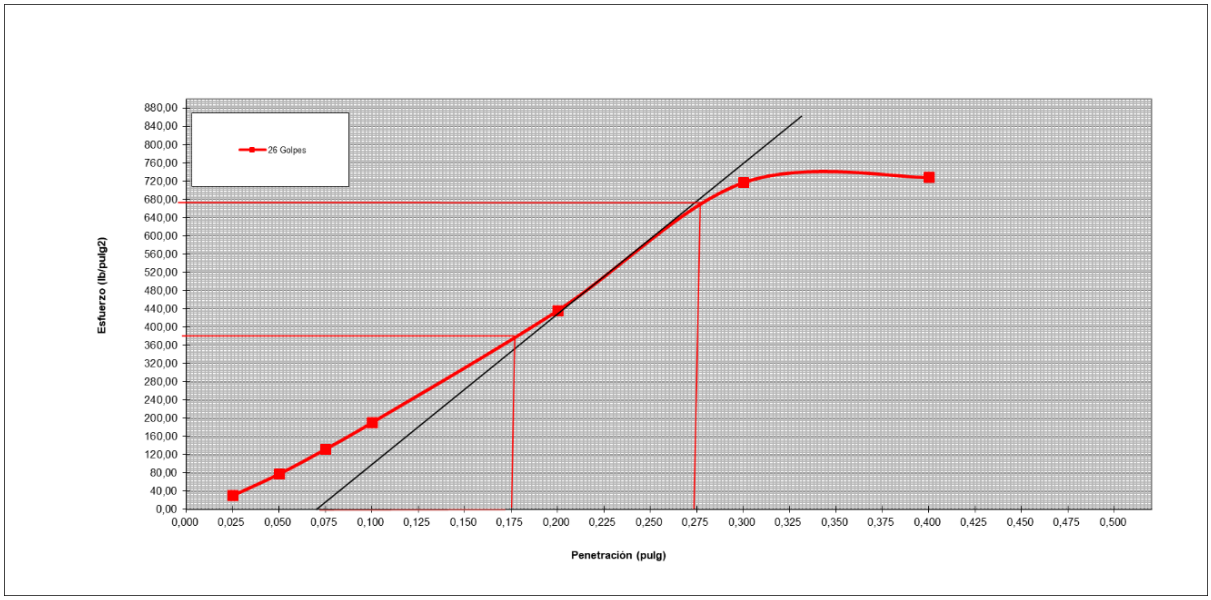


Figura 4.26 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 1 (12 golpes)

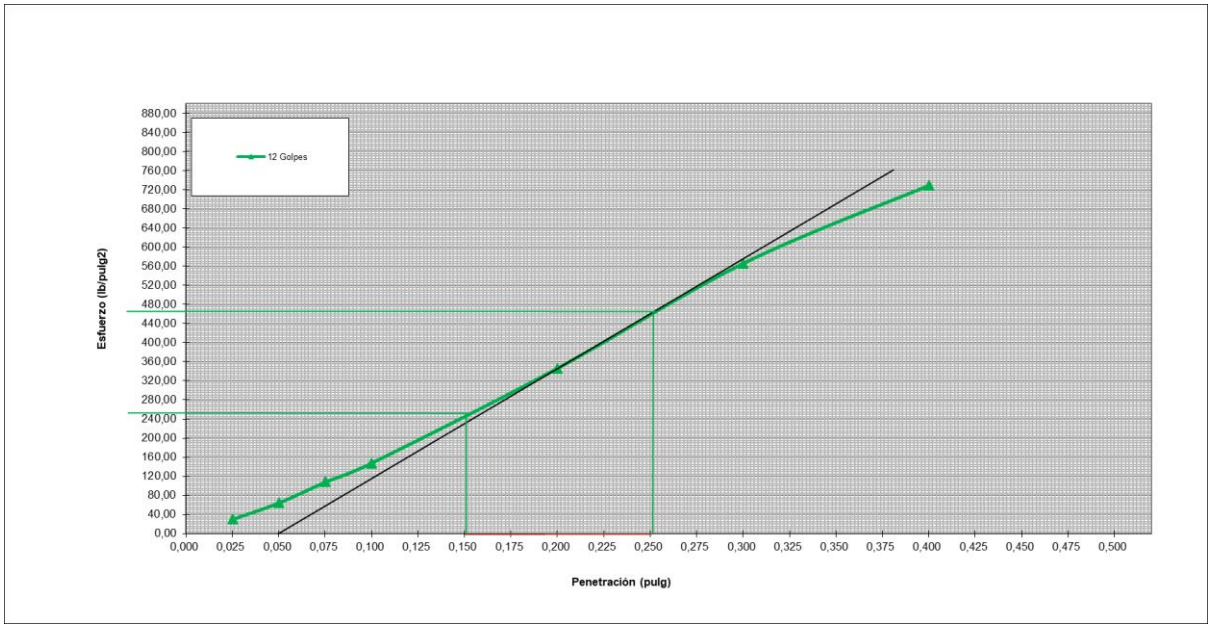


Tabla 4.24 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 1

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1"**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R. 0,2"**
412,50	41,25	680,00	45,33
402,50	40,25	670,00	44,67
252,50	25,25	465,00	31,00
% CBR (100% gd max.) 0,1"	**41,25**	**% CBR (100% gd max.) 0,2"**	**45,33**

Figura 4.27 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 1

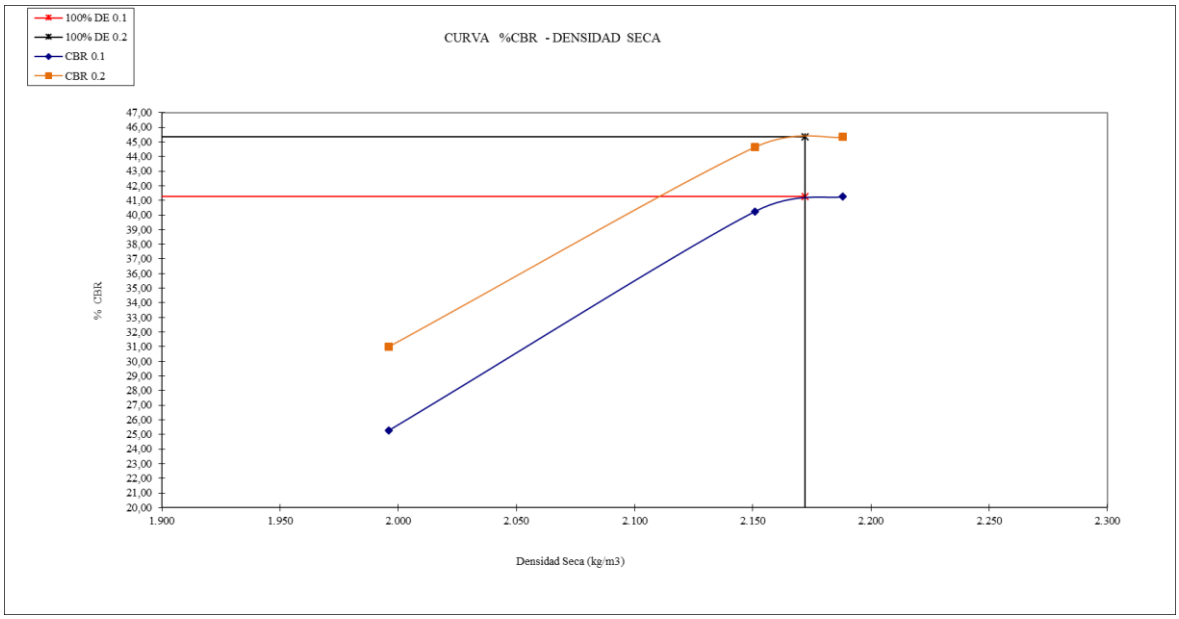


Tabla 4.25 C.B.R de la subbase clase 2

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Subbase clase 2						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	6.079		6.304		6.653	
Peso molde + muestra húmeda	10.992		10.956		11.200	
Peso muestra húmeda	4.913		4.652		4.547	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.312		2.189		2.140	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	49,38	33,95	22,82	50,65	49,64	23,07
Peso cápsula + suelo húmedo	241,78	254,65	255,72	243,68	228,60	244,65
Peso de la cápsula + suelo seco	230,42	242,72	241,94	233,86	218,52	231,89
Porcentaje de humedad	6,27	5,71	6,29	5,36	5,97	6,11
Promedio del porcentaje de humedad	5,99		5,82		6,04	
Densidad seca	2.181		2.069		2.018	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	49,86	50,67	33,45	48,68	49,67	49,45
Peso cápsula + suelo húmedo	263,06	270,49	251,08	237,50	239,17	257,41
Peso de la cápsula + suelo seco	247,99	254,96	238,06	226,71	225,32	242,36
Porcentaje de humedad	7,61	7,60	6,36	6,06	7,88	7,80
Promedio del porcentaje de humedad	7,6		6,21		7,84	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	11.125		11.079		11.329	
Peso del molde	6.079		6.304		6.653	
Agua absorbida	133		123		129	
% de agua absorbida	2,71		2,64		2,84	

Expansión									
Tiempo (días)	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje
0	0	0	0	0	0	0	0		
2	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-3	-0,003	-0,066
3	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	-0,022	-2	-0,002	-0,044
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,002	-0,022

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	Cargas tipo (lb/pulg2)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (25 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido
		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		97	29,46		87	26,42		57	17,31	
0,050		209	63,47		195	59,22		117	35,53	
0,075		333	101,13		314	95,36		226	68,64	
0,100	1	461	140,01	240,00	412	125,12	237,50	344	104,47	220,00
0,200	1,5	1128	342,57	470,00	1091	331,34	462,50	901	273,63	420,00
0,300	1,9	1906	578,85		1861	565,19		1538	467,09	
0,400	2,3	2400	728,88		2400	728,88		2233	678,16	
0,500								2400	728,88	

Figura 4.28 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (56 golpes)

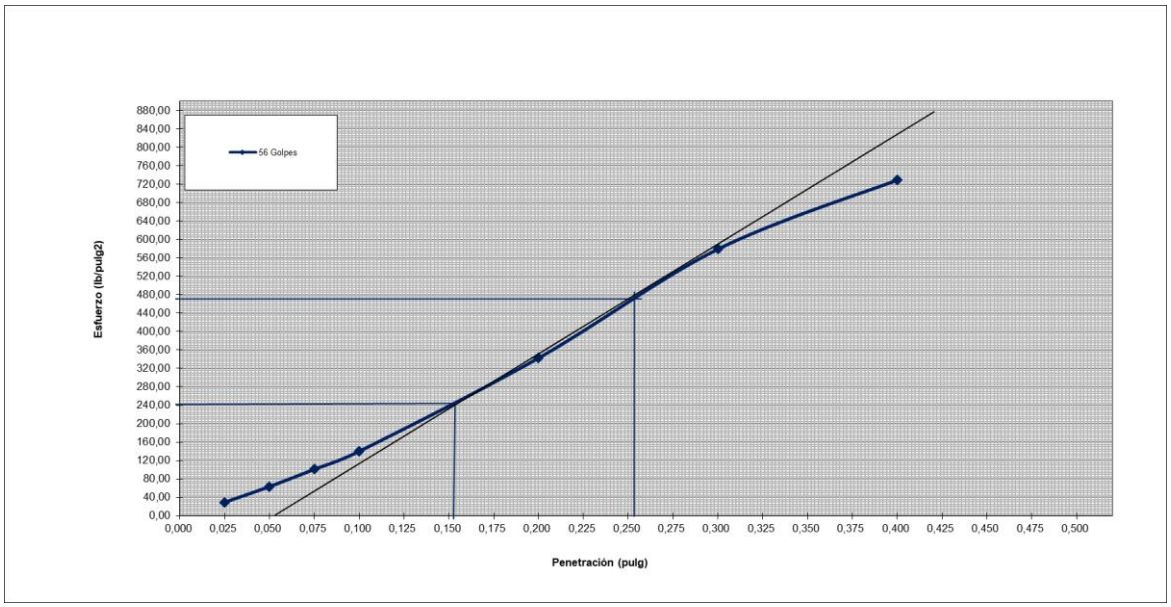


Figura 4.29 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (26 golpes)

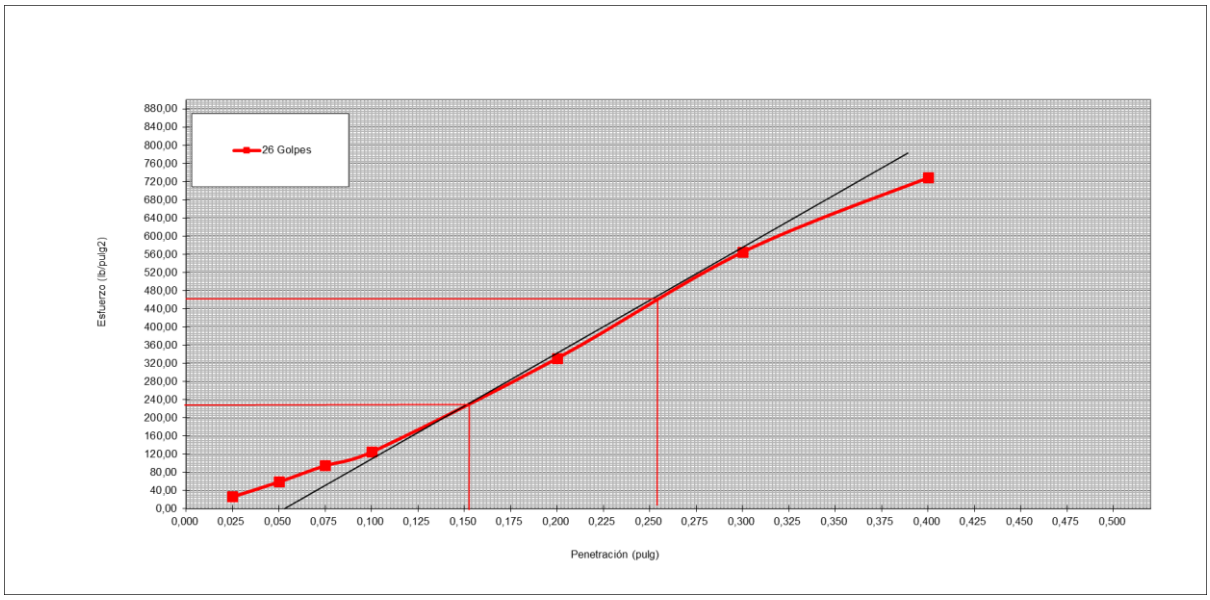


Figura 4.30 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 2 (12 golpes)

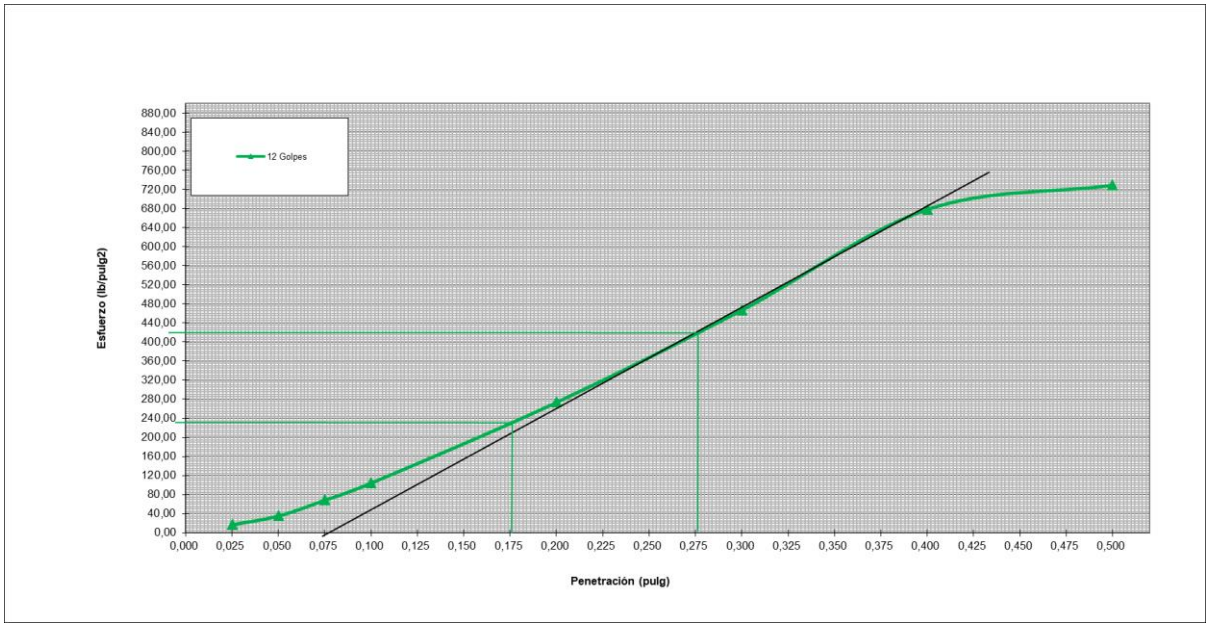


Tabla 4.26 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 2

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1"**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R. 0,2"**
240,00	24,00	470,00	31,33
237,50	23,75	462,50	30,83
220,00	22,00	420,00	28,00
% CBR (100% gd max.) 0,1"	**24,00**	**% CBR (100% gd max.) 0,2"**	**31,33**

Figura 4.31 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 2

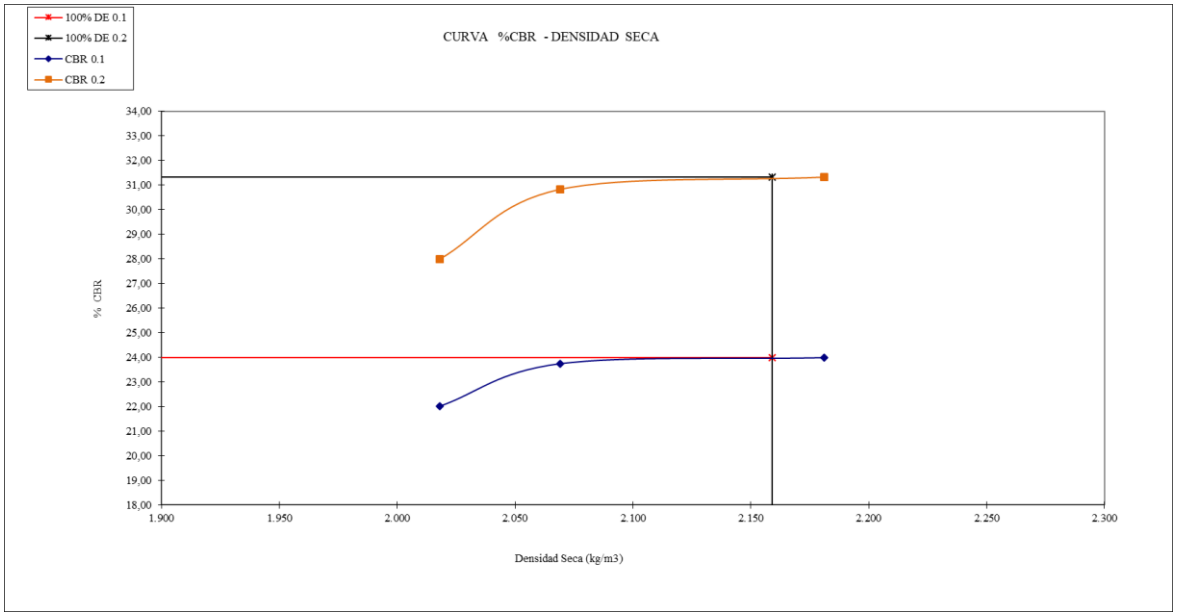


Tabla 4.27 C.B.R de la subbase clase 3

Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) -- Subbase clase 3						
Moldes	1		2		3	
Número de golpes por capa	56		25		12	
Muestra antes de la saturación						
Peso del molde	6.237		6.679		6.148	
Peso molde + muestra húmeda	11.121		11.298		10.730	
Peso muestra húmeda	4.884		4.619		4.582	
Volumen del molde	2.125		2.125		2.125	
Densidad humeda	2.298		2.174		2.156	
Contenido de humedad antes de la saturación						
Peso de la cápsula	32,74	49,41	63,33	65,93	34,43	32,97
Peso cápsula + suelo húmedo	236,17	280,79	219,32	283,00	245,99	240,86
Peso de la cápsula + suelo seco	224,76	268,12	210,99	270,94	234,13	229,01
Porcentaje de humedad	5,94	5,79	5,64	5,88	5,94	6,04
Promedio del porcentaje de humedad	5,87		5,76		5,99	
Densidad seca	2.171		2.055		2.034	
Contenido de humedad despues de la saturación						
Peso de la cápsula	34,43	32,71	33,81	33,79	49,43	33,05
Peso cápsula + suelo húmedo	214,93	269,22	256,02	295,00	284,87	329,84
Peso de la cápsula + suelo seco	204,35	254,53	240,50	277,16	266,08	308,72
Porcentaje de humedad	6,23	6,62	7,51	7,33	7,67	7,66
Promedio del porcentaje de humedad	6,42		7,42		8,17	
Porcentaje de agua absorbida						
Peso del molde + muestra húmeda	11.210		11.388		10.825	
Peso del molde	6.237		6.679		6.148	
Agua absorbida	89		90		95	
% de agua absorbida	1,82		1,95		2,07	

Expansión									
Tiempo (días)	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje	Lectura	Pulgadas	Porcentaje
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-3	-0,003	-0,066	-4	-0,004	0,087	-6	-0,006	-0,131
3	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022
4	-1	-0,001	-0,022	-1	-0,001	0,022	-1	-0,001	-0,022

Datos de la penetración									
Penetración (pulgadas)	Cargas tipo (lb/pulg2)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (25 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido	Carga de ensayo		C.B.R. corregido
		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2		Lectura	lb/pulg2	
0,000		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,025		63	19,13		58	17,61		61	18,53	
0,050		171	51,93		152	46,16		184	55,88	
0,075		291	88,38		243	73,80		302	91,72	
0,100	1	423	128,47	265,00	396	120,27	257,50	426	129,38	185,00
0,200	1,5	874	265,43	475,00	870	264,22	460,00	947	287,60	310,50
0,300	1,9	1538	467,09		1531	464,96		1375	417,59	
0,400	2,3	2303	699,42		2203	669,05		1981	601,63	
0,500	2,6	2400	728,88		2400	728,88		2400	728,88	

Figura 4.32 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (56 golpes)

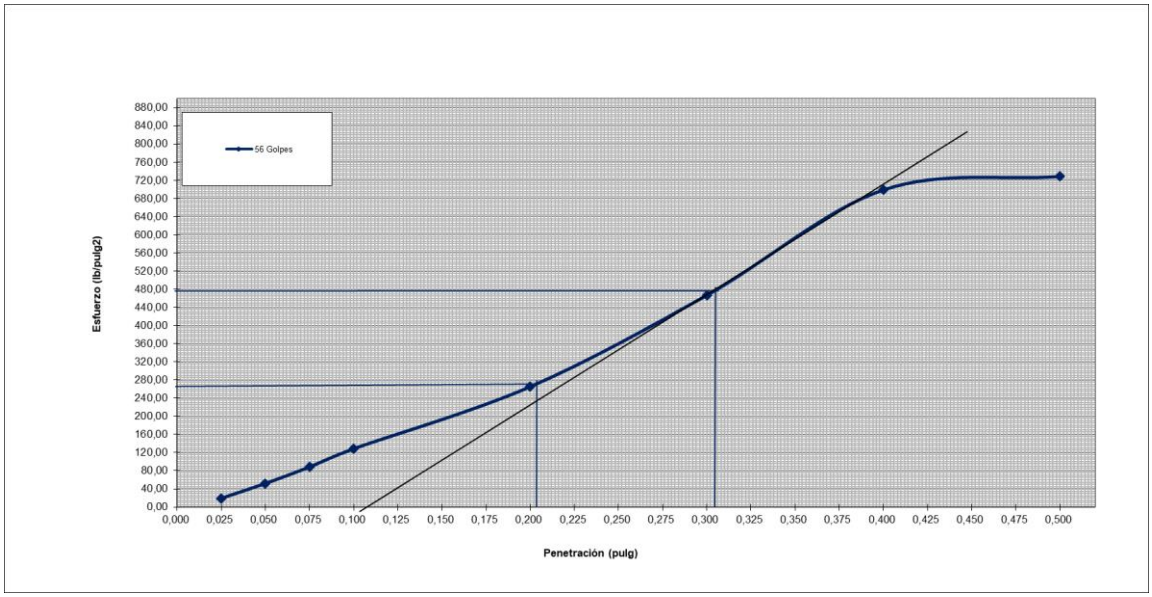


Figura 4.33 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (26 golpes)

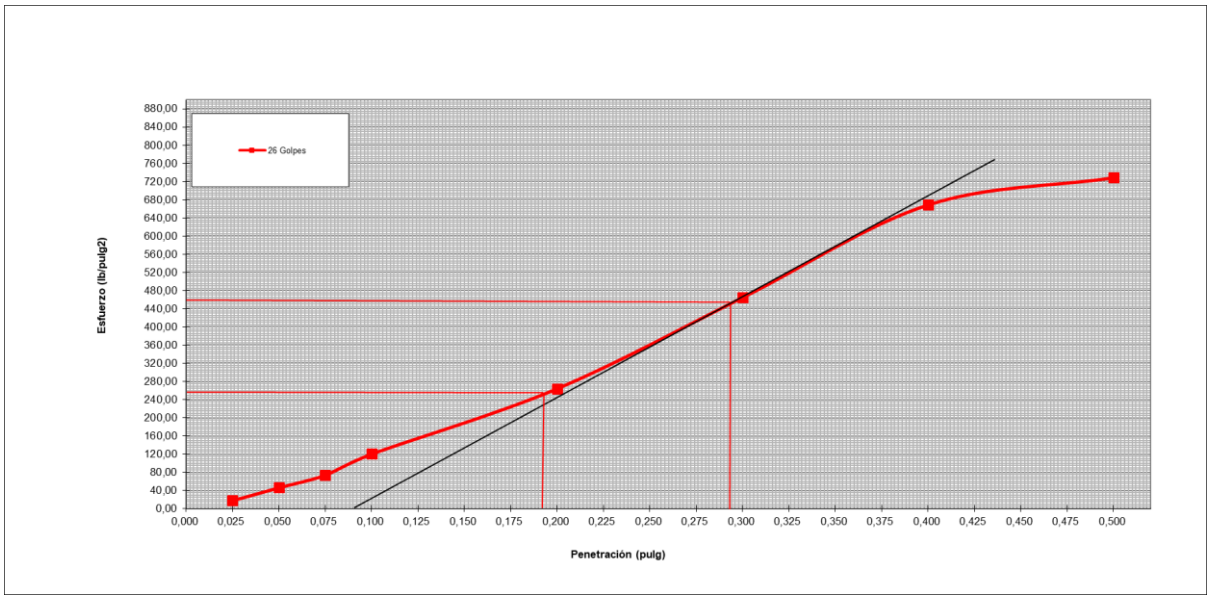


Figura 4.34 Esfuerzo vs penetración de la subbase clase 3 (12 golpes)

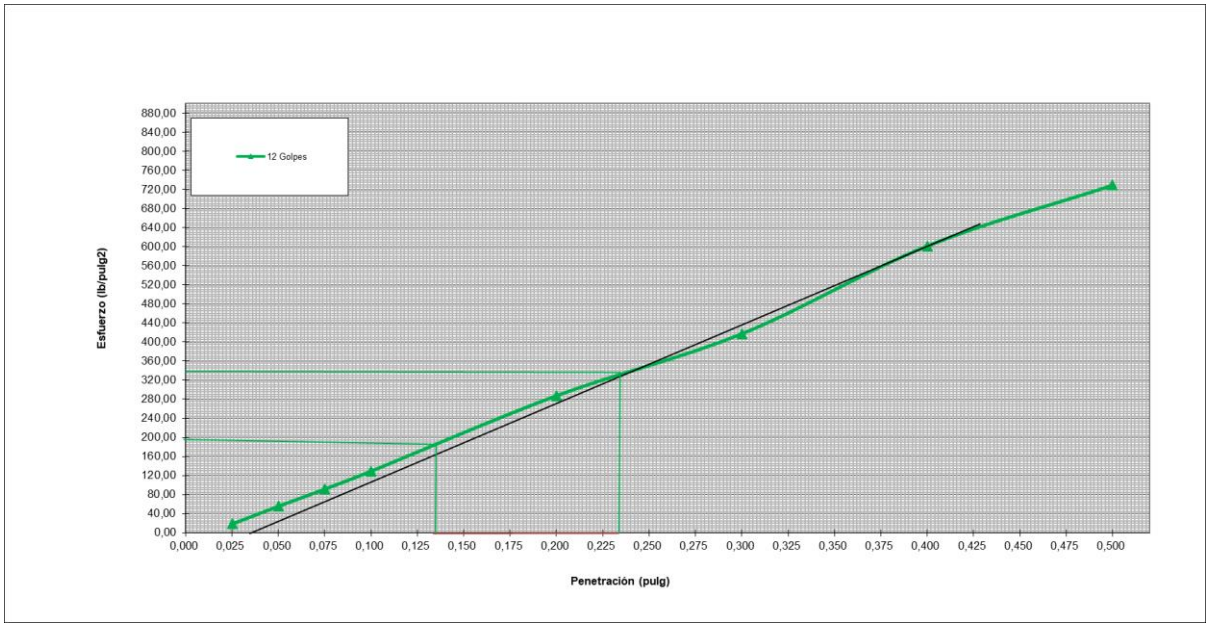
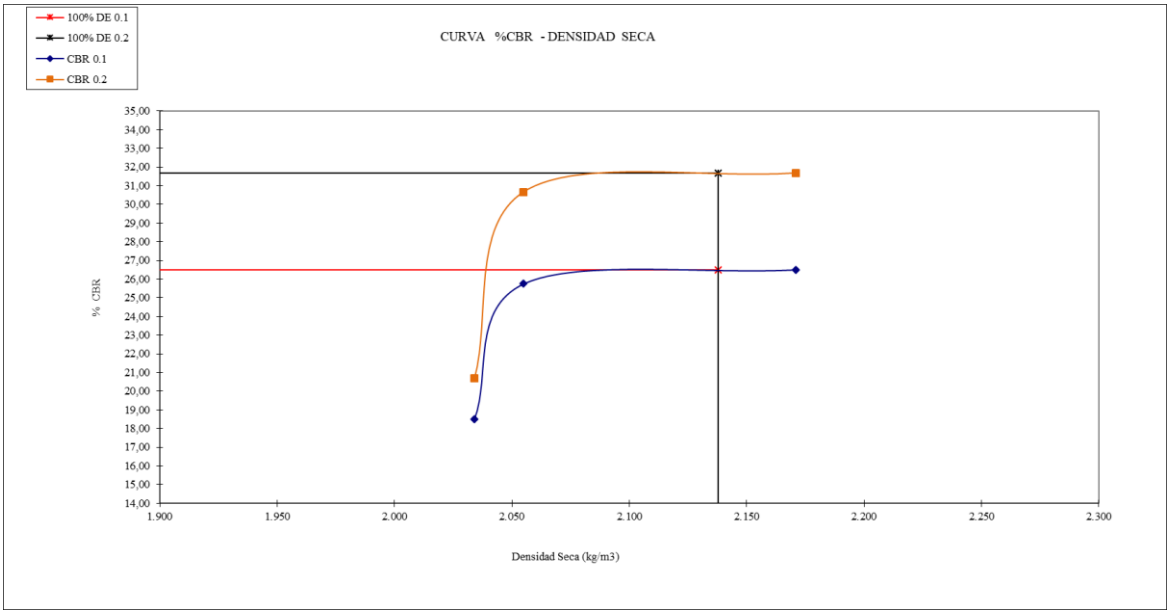


Tabla 4.28 Corrección del C.B.R. a la densidad máxima de la subbase clase 3

Valores C.B.R.			
Presión lb/plg2	**Valor C.B.R. 0,1"**	**Presión lb/plg2**	**Valor C.B.R. 0,2"**
265,00	26,50	475,00	31,67
257,50	25,75	460,00	30,67
185,00	18,50	310,50	20,70
% CBR (100% gd max.) 0,1"	**26,50**	**% CBR (100% gd max.) 0,2"**	**31,67**

Figura 4.35 Densidad máxima vs C.B.R. de la subbase clase 3



4.1.4. Resumen de resultados del C.B.R.

Tabla 4.29 Resumen de resultados C.B.R

Tipo	Densidad Máxima (g/cm3)	Humedad Óptima (%)	C.B.R
Base clase 1 tipo A	2,158	5,99	32,00
Base clase 2	2,150	6,41	33,17
Base clase 3	2,135	5,99	27,50
Base clase 4	2,110	5,97	33,33
subbase clase 1	2,172	6,02	45,33
subbase clase 2	2,159	5,69	31,33
subbase clase 3	2,138	5,77	31,67

CAPÍTULO 5

5. Módulo de Young con el uso del Geogauge

El geo gauge es un aparato manejable que nos permite encontrar propiedades necesarias para la compactación de las diferentes capas del pavimento, de una forma rápida, simple y sin ocasionar algún daño a la estructura de suelo ensayada.

El equipo geogauge es un aparato electromagnético el cual evalúa el nivel de compactación de los suelos de una manera segura y no destructiva, lo cual permite la evaluación de asfaltos, subrasantes, subbases, bases y cualquier material granular que se utilizara en terraplenes y carreteras, (Cárdenas Cedillo, 2018).

El Geogauge nos arroja dos datos importantes el uno es el módulo de rigidez y el otro es el módulo de Young del suelo ensayado en un radio de 9 a 12 pulgadas, el tiempo que toma realizar el ensayo es de 60 segundos aproximadamente.

En un suelo el módulo de rigidez es la deformación que se produce en dicho suelo debido a la aplicación de esfuerzos cortantes, se debe tener en cuenta que en suelos compactados las propiedades mecánicas dependen tanto del tipo de suelo como de la microestructura que se produce durante el proceso de compactación. El módulo de Young nos permite representar la conducta elástica lineal de un suelo.

5.1. Generalidades y uso del Geogauge

- Tiene un peso de 10 kg
- Su diámetro es de 28 cm
- Tiene una altura de 25,4 cm
- Funciona con 6 pilas tamaño D
- Tienen una exactitud de medición de +-5%

- La profundidad de medición es de aproximadamente de 22 a 31 cm
- El tiempo de duración de la medición es de aproximadamente 60 segundos
- El ensayo se rige de acuerdo con la norma ASTM D6758

Para poder realizar las mediciones con el geogauge primero se lo debe colocar sobre el suelo, luego se debe aplicar una ligera presión y además se lo debe rotar de tal manera de obtener un área de contacto entre el suelo y el geogauge del 60%.

5.2. Procedimiento

Lo primero que se realizo fue un hueco de 100cm*100cm*30cm, de tal manera que el área de influencia sea la correcta, luego se procedió a realizar la medición de los módulos de rigidez y de Young de la subrasante.

Luego se compacto los diferentes tipos de subbases y luego los diferentes tipos de bases con la ayuda de un compactador manual, hasta llegar a las densidades máximas obtenida en los ensayos de Proctor modificado previamente realizados, para verificar que la capa compacta haya llegado a la densidad máxima, se utilizó un aparato denominado densímetro nuclear, el cual nos proporcionó los datos de densidad y humedad de las capas, luego de haber verificado que la densidad máxima de cada capa se cumpla, se procedió a tomar las medidas del módulo de rigidez y el módulo de Young con el Geogauge.

5.3. Resultados

Tabla 5.1 Geogauge base clase 1-A

Geogauge -- Base clase 1-A								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
2053	2060	2056,5	95%	2158	62,05	61,84	61,95	8984,38
2118	2121	2119,5	98%		66,76	66,04	66,40	9630,52
2151	2158	2154,5	100%		72,66	71,91	72,29	10484,07

Figura 5.1 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 1-A

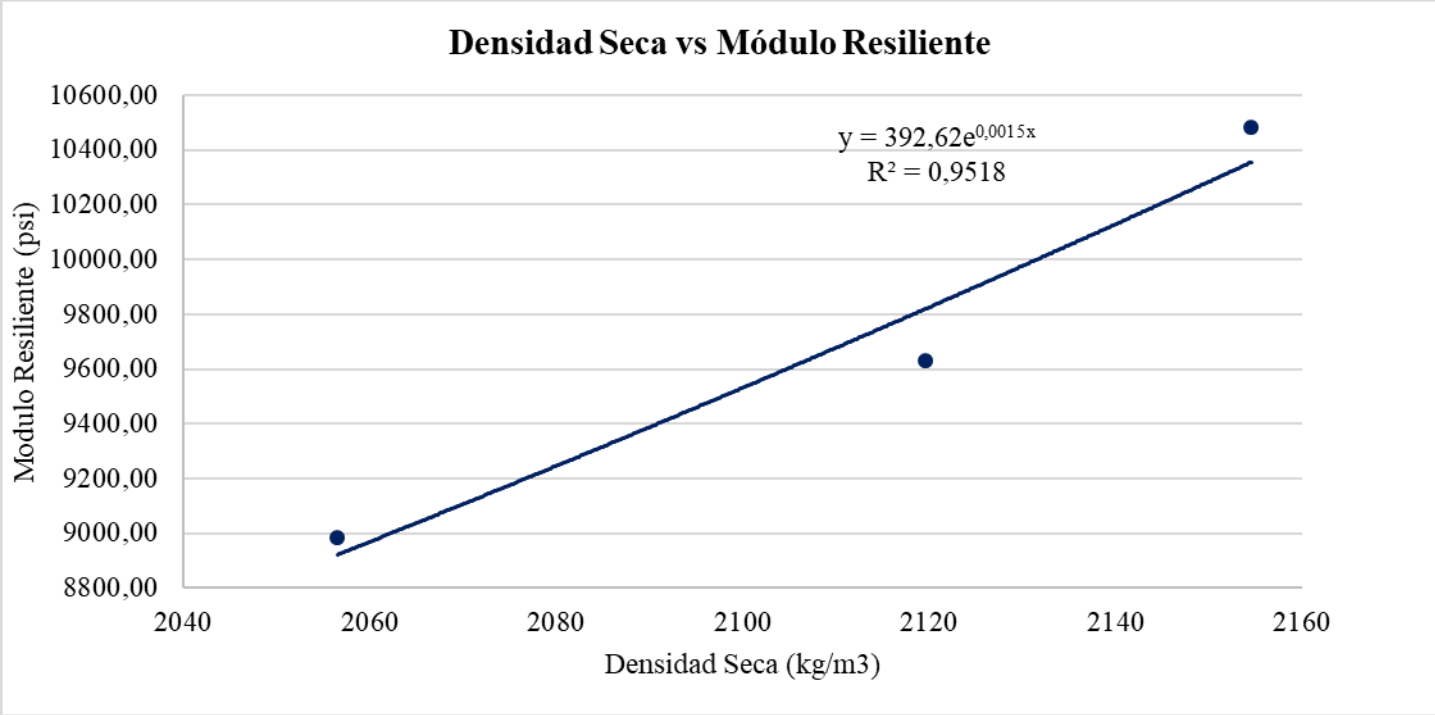


Tabla 5.2 Geogauge base clase 2

Geogauge -- Base clase 2								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
2075	2072	2073,5	96%	2150	61,88	61,09	61,49	8917,66
2093	2108	2100,5	98%		64,08	63,81	63,95	9274,45
2147	2151	2149	100%		73,82	72,47	73,15	10608,80

Figura 5.2 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 2

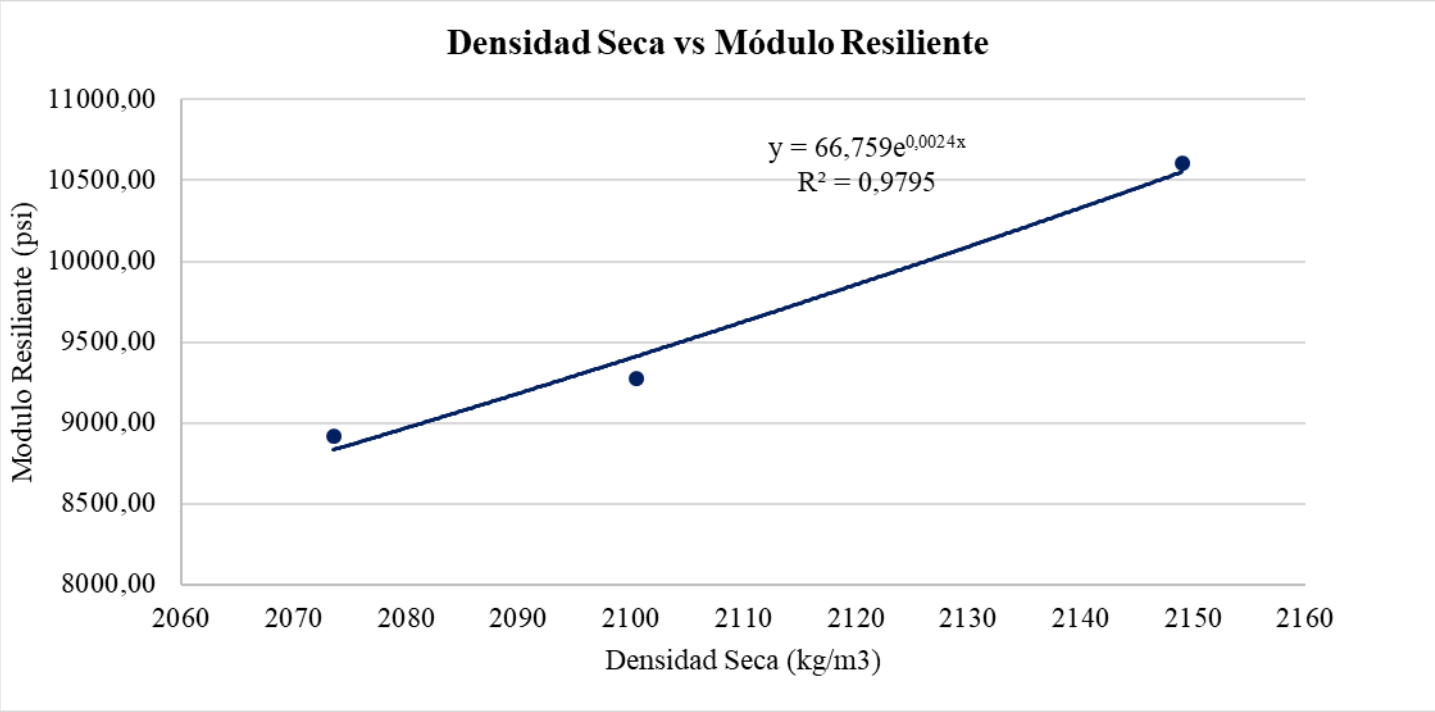


Tabla 5.3 Geogauge base clase 3

Geogauge -- Base clase 2								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
1995	1991	1993	93%	2135	61,23	60,86	61,05	8853,84
2079	2063	2071	97%		64,57	65,11	64,84	9404,26
2128	2133	2130,5	100%		71,62	71,98	71,800	10413,73

Figura 5.3 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 3

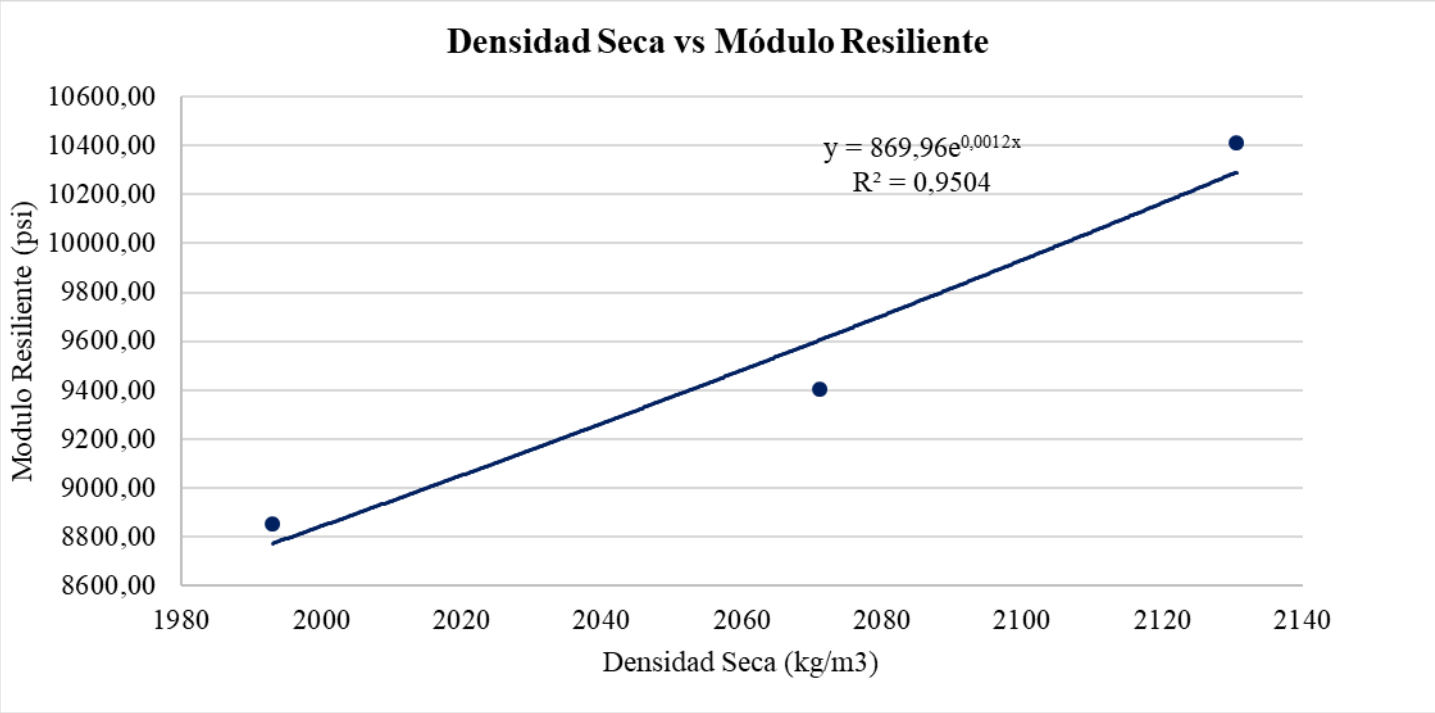


Tabla 5.4 Geogauge base clase 4

Geogauge -- Base clase 2								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
1985	1994	1989,5	94%	2110	64,83	63,89	64,36	9334,65
2101	1998	2049,5	97%		67,98	66,61	67,30	9760,33
2103	2106	2104,5	100%		72,74	74,67	73,705	10690,03

Figura 5.4 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la base clase 4

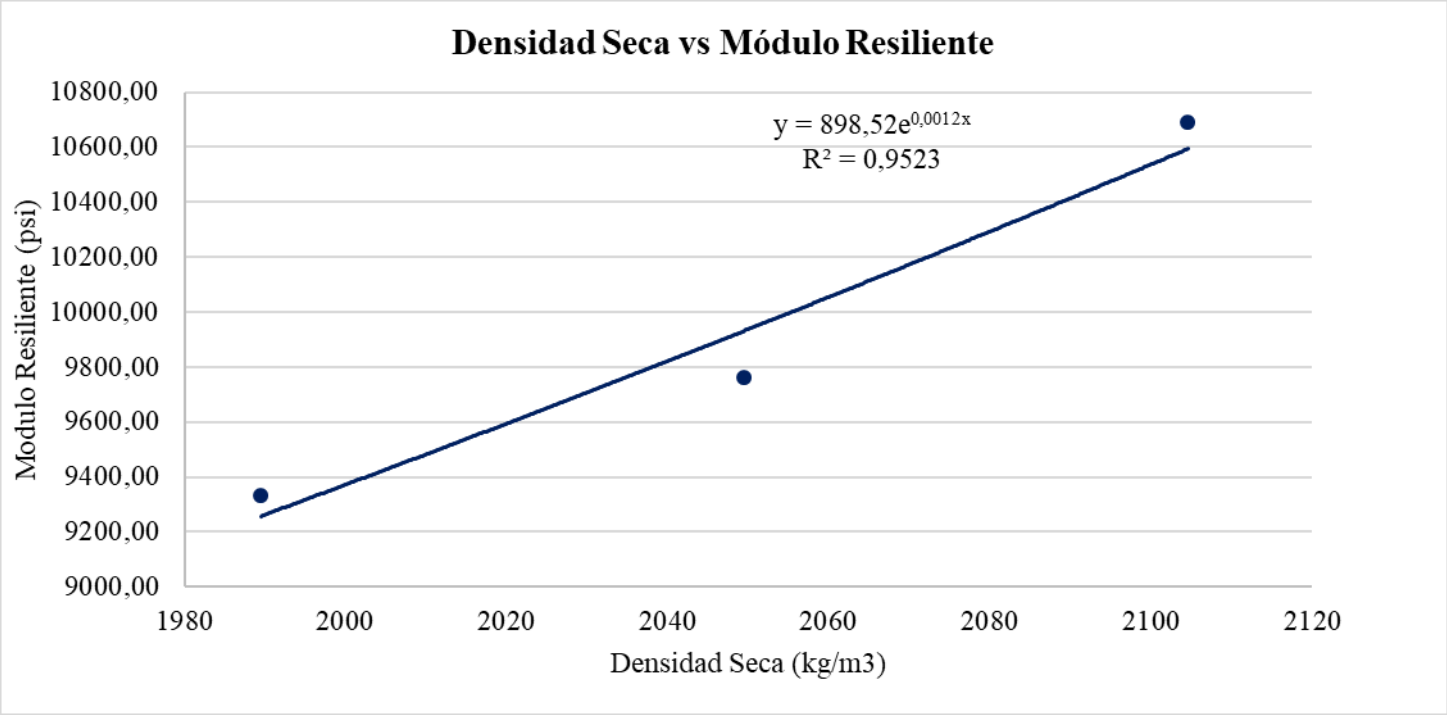


Tabla 5.5 Geogauge subbase clase 1

Geogauge -- Subbase clase 1								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
2011	2008	2009,5	93%	2172	66,42	65,17	65,80	9542,78
2106	2014	2060	95%		68,25	67,20	67,73	9822,70
2169	2158	2163,5	100%		74,15	76,82	75,49	10948,19

Figura 5.5 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase 1

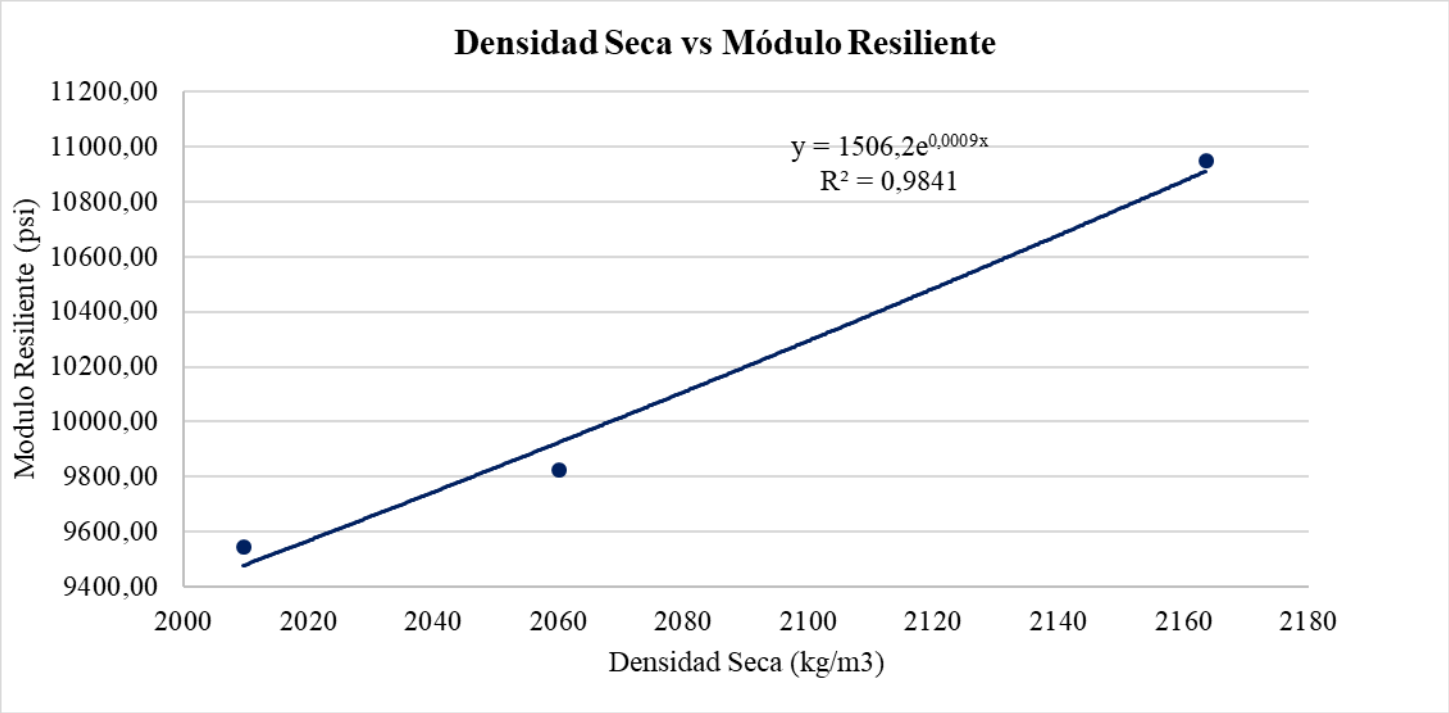


Tabla 5.6 Geogauge subbase clase 2

Geogauge -- Subbase clase 2								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
1992	1987	1989,5	92%	2159	61,84	61,21	61,53	8923,46
2089	2068	2078,5	96%		65,87	64,99	65,43	9489,84
2151	2150	2150,5	100%		71,24	72,67	71,96	10436,21

Figura 5.6 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase2

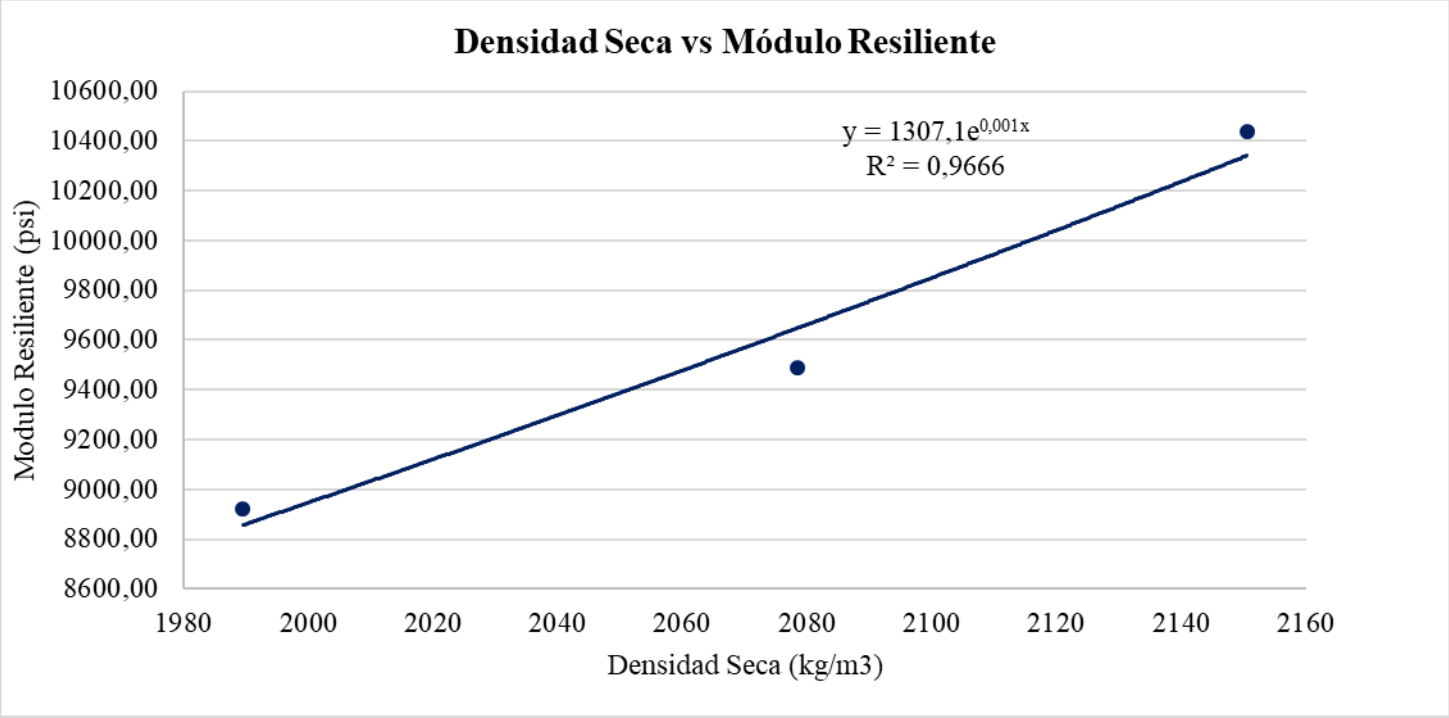


Tabla 5.7 Geogauge subbase clase 3

Geogauge -- Subbase clase 2								
Densidad seca -- Densímetro nuclear (kg/m3)		Densidad seca promedio (kg/m3)	Compactación	Densidad seca --Proctor Modificado (kg /m3)	Módulo de Young (Mpa)		Módulo de Young promedio (Mpa)	Módulo Resiliente (psi)
2008	1989	1998,5	93%	2138	63,56	63,14	63,35	9188,16
2078	2088	2083	97%		67,26	67,85	67,56	9798,04
2125	2132	2128,5	100%		72,18	73,23	72,705	10544,99

Figura 5.7 Relación densidad seca vs módulo resiliente de la subbase clase 3

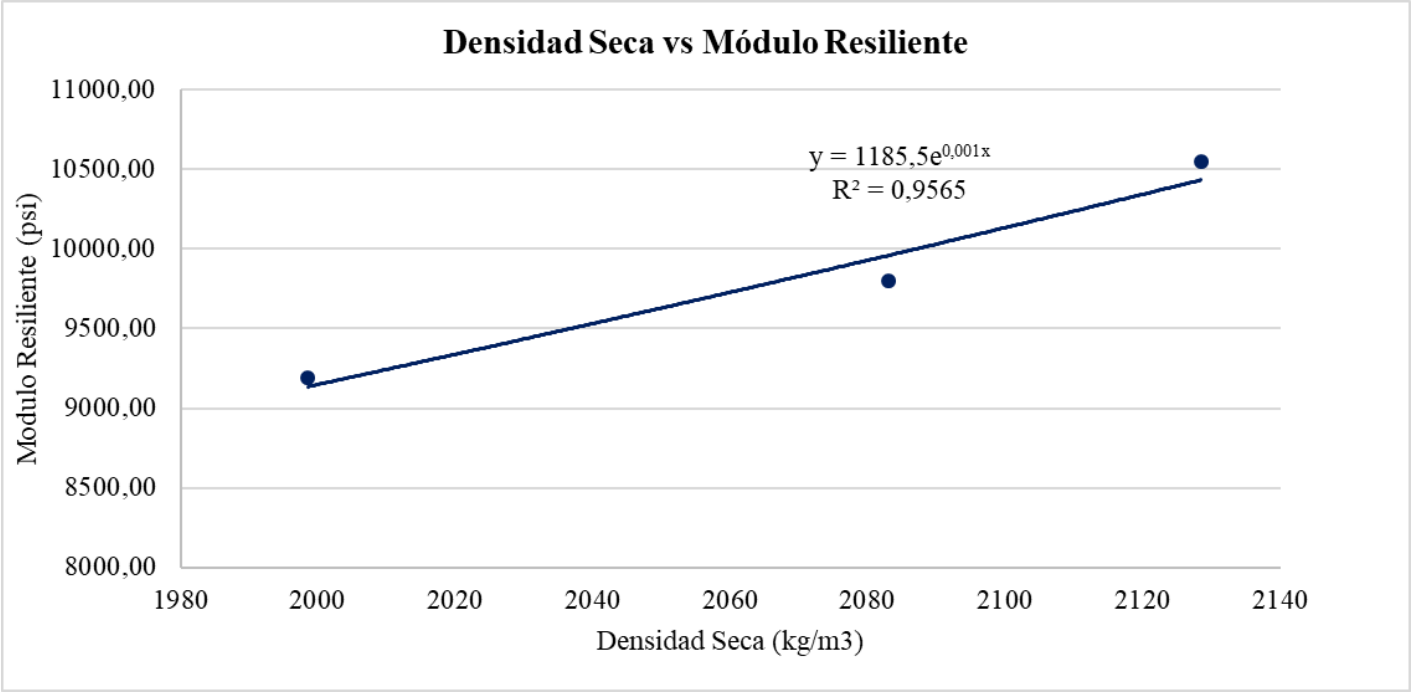


Figura 5.8 Relación densidad seca vs módulo resiliente para bases

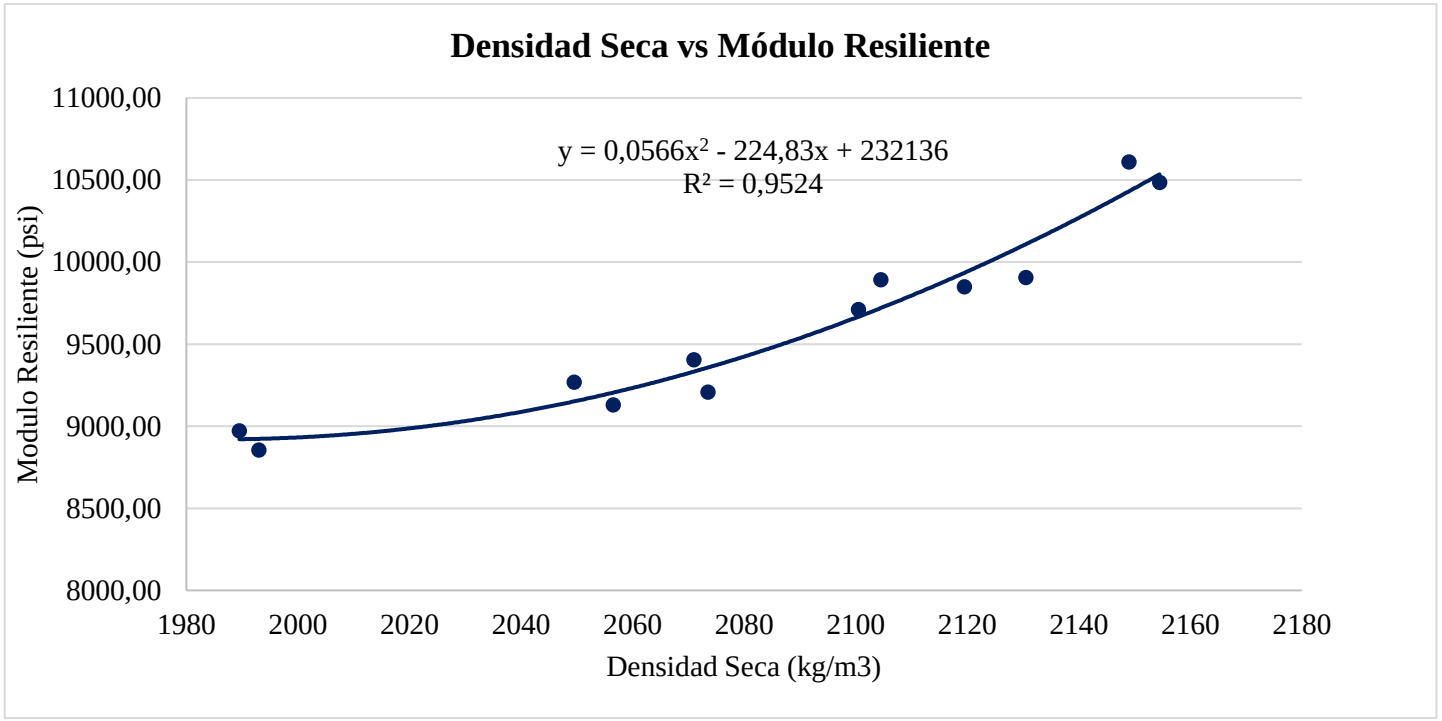
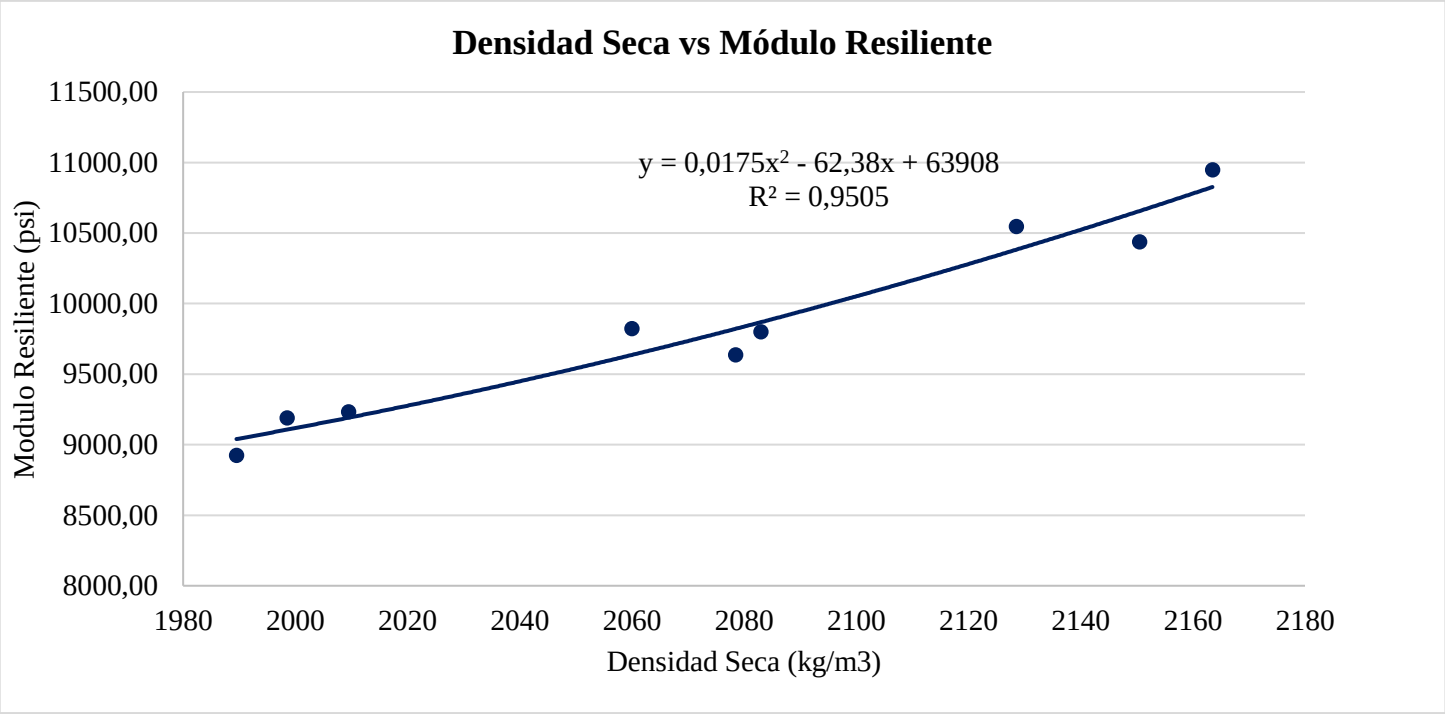


Figura 5.9 Relación densidad seca vs módulo resiliente para subbases



CAPÍTULO 6

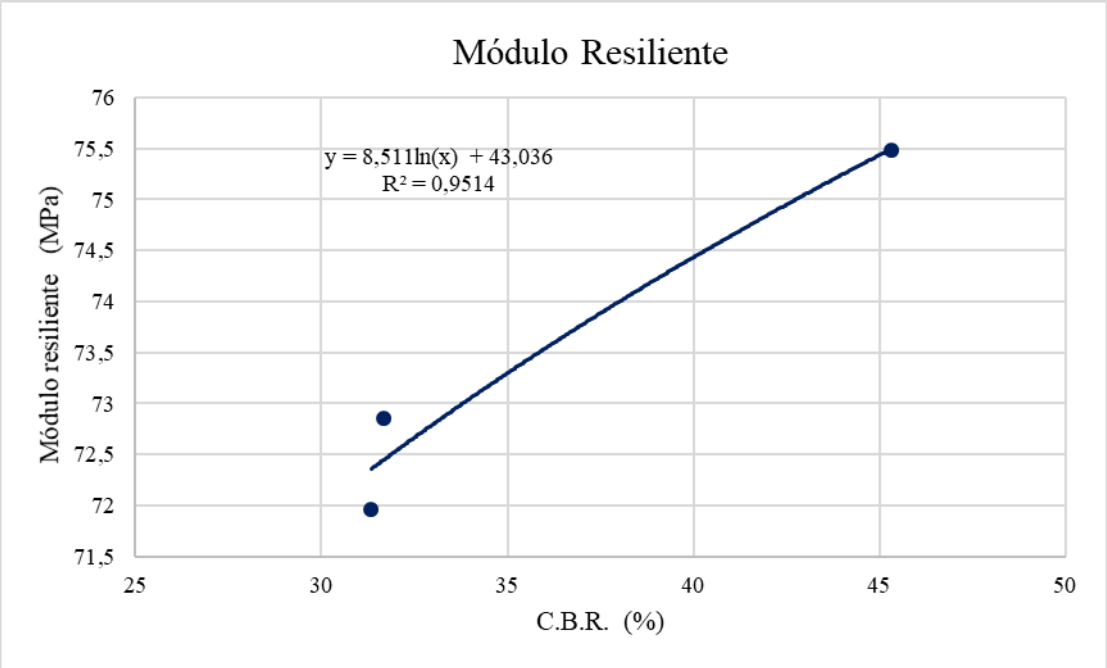
6. Correlaciones

6.1. Correlación C.B.R Y Módulo Resiliente para subbases

Tabla 6.1 Valores de C.B.R. y Modulo resiliente para subbases

Tipo	C.B.R. (%)	Mr 1 (MPa)	Mr 1 (Psi)
Subbase clase 1	45,33	75,485	10948,1934
Subbase clase 2	31,33	71,955	10436,2093
subbase clase 3	31,67	72,855	10544,9878

Figura 6.1 Ecuación de módulo resiliente para subbases

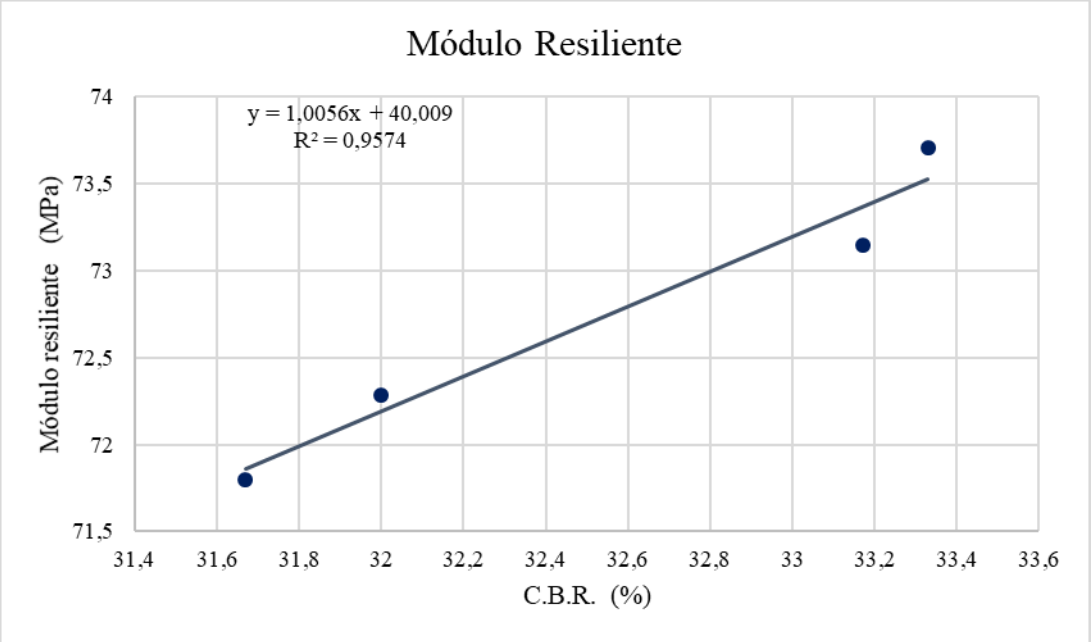


6.2. Correlación C.B.R Y Módulo Resiliente para bases

Tabla 6.2 Valores de C.B.R. y Modulo resiliente para bases

Tipo	C.B.R. (%)	Mr 1 (MPa)	Mr 1 (Psi)
Base clase 1	32	72,285	10484,0718
Base clase 2	33,17	73,145	10608,8045
Base clase 3	31,67	71,8	10413,7284
Base clase 4	33,33	73,705	10690,0258

Figura 6.2 Ecuación de módulo resiliente para bases



6.3. Diseño de la capa de base y subbase con método AASSHTO 1993

Para poder realizar el diseño de la base y subbase, se optó por tomar datos empleados en "Villafuerte Bermúdez, L. E., & Ortega Calle, K. G. (2015). Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso. Quito, Ecuador".

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

Tabla 6.3 Tráfico promedio diario anual (TPDA)

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

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

- **Nivel de confianza**

La vía a diseñarse es autopista que se ubicara en sector rural, por lo tanto, el nivel de confianza que se utilizara es de **C** = 90%.

Tabla 6.4 Nivel de confianza

Clasificación funcional	**Nivel de confianza recomendados**	
	Urbano	**Rural**
Interestatal y autopista	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteria principal	80 - 99	75 - 95
Calles colectoras	80 - 95	75- 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

- **Desviación estándar**

Se tomará una desviación estándar de **So** = 0.44

Tabla 6.5 Valores recomendados para desviación estándar

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

Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

- **Factor de distribución de tráfico**

En este caso se tiene un solo contador por lo tanto se toma 50% del TPDA, caso contrario si se tiene dos contadores se tomará el 100% del más alto TPDA en los dos sentidos, (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

Factor de distribución de tráfico (Dt) = 50 % = 0.5

- **Periodo de diseño**

En este caso se toma un **n** = 10 años

- **Tasa de crecimiento**

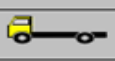
La tasa de crecimiento que se toma en este caso es **i** = 3%

- **Cálculo del TPDA final**

$$\boldsymbol{TPDA\ final} = TPDAo * (1 + i)^n \qquad (\text{Ecuación 6.1})$$

Basándonos en la tabla 6.6 a cada vehículo se le asigna un tipo.

Tabla 6.6 Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques

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

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

Tabla 6.7 TPDA final

Tipo	TPDAo	%	TPDA final
2D	171	52	230
2DB	15	5	20
3A	142	43	191
Total	328		441

- **Factor de carga equivalente**

Eje simple

$$Fss = \left(\frac{Lss}{6.6}\right)^4 \qquad (Ecuación\ 6.2)$$

Eje doble

$$Fsd = \left(\frac{Lsd}{8.2}\right)^4 \qquad (Ecuación\ 6.3)$$

Eje tándem

$$Ft = \left(\frac{Lt}{15}\right)^4 \qquad (Ecuación\ 6.4)$$

Tabla 6.8 Factor de carga equivalente

Tipo	Carga total (Ton)	Carga por eje (Ton)	%	Fce por eje
2D	7	3 4	52	0,022 0,07
2DB	18	7 11	5	0,063 0,162
3A	27	7 20	43	0,544 1,36
			FCE	2,22

- **Numero de ejes de 8.2 Ton**

$$W(8.2T) = \left(\frac{TPDAo+TPDAfinal}{2}\right) * 365 * Dt * n * FCE \qquad (Ecuación\ 6.5)$$

$$W(8.2T) = 1560000$$

- **Perdida por serviciabilidad**

Po valores entre: 4.2 – 4.5 → **Po** = 4.2

Pt valores entre: 5 – 4 Muy bueno
4 – 3 Bueno
3 – 2 Regular → **Pt** = 2.2
2 – 1 Malo
1 – 0 Muy malo

$$\boldsymbol{PSI} = Po - Pt \qquad (Ecuación\ 6.6)$$

$$\boldsymbol{PSI} = 4.2 - 2.2 = 2.0$$

- **Cálculo del número estructural**

Subrasante

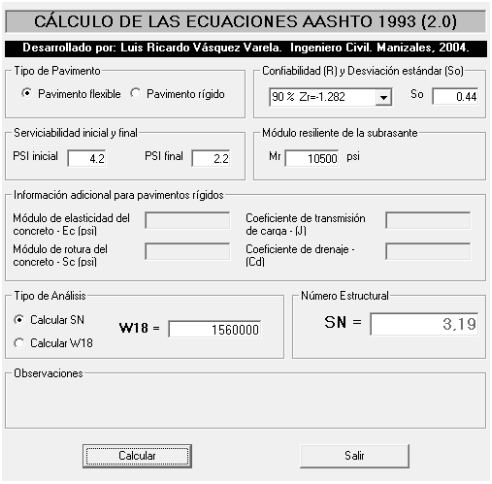
Se asume un valor de C.B.R = 7%

C.B.R. < 10%

$$\boldsymbol{Mr\ (psi)} = 1500 * C.B.R. \qquad (Ecuación\ 6.7)$$

$$\boldsymbol{Mr\ (psi)} = 10500\ psi$$

Figura 6.3 Numero estructural de la subrasante obtenido con el programa AASHTO 1993



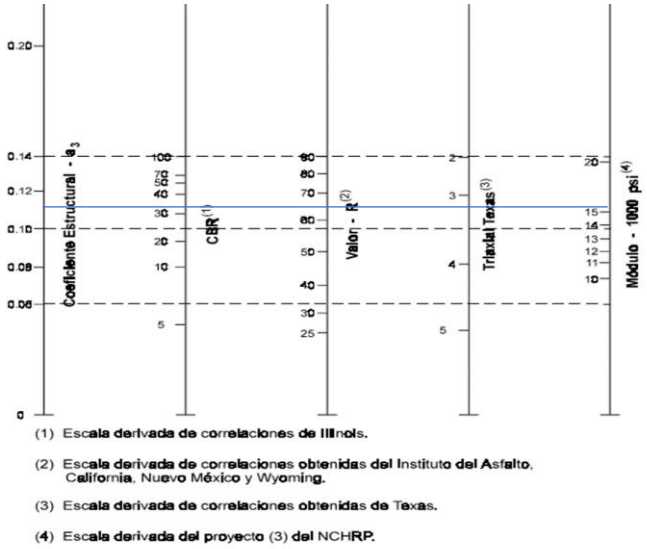
Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

SN = 3.19

Subbase clase 3

C.B.R.=33,33 **Coeficiente de drenaje (m) = 1**

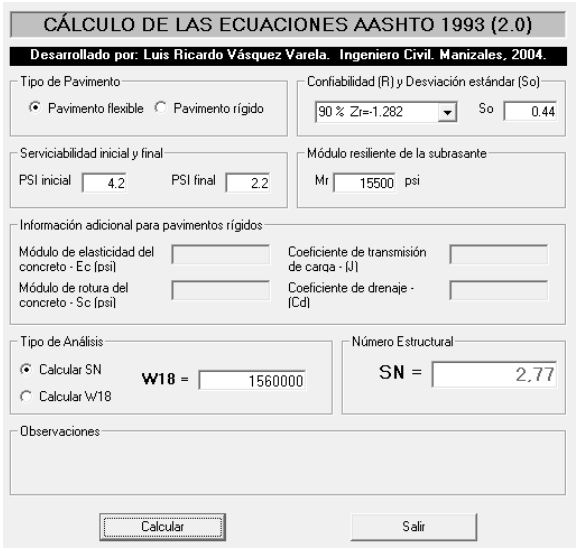
Figura 6.4 Abaco para obtener coeficiente estructural de la subbase



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

Mr = 15500 (psi) **a3 = 0.113 (pulg)/2.54 (cm)=0.044**

Figura 6.5 Numero estructural de la subbase obtenido con el programa AASHTO 1993



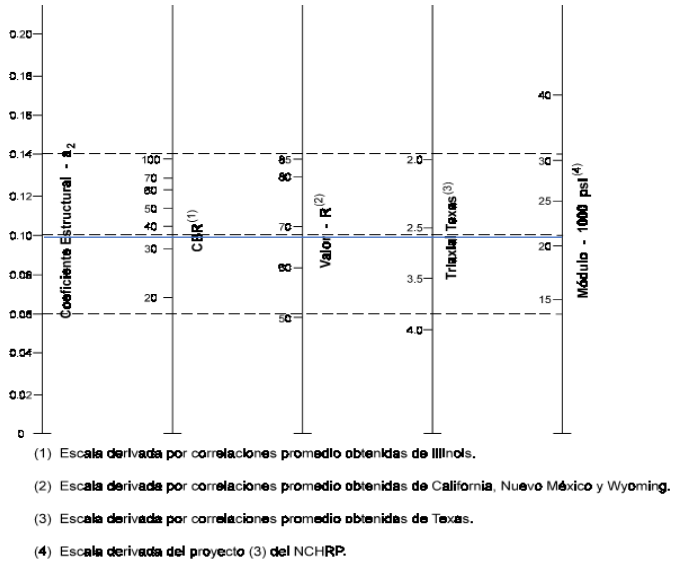
Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

SN = 2,77

Base clase 2

CBR = 33.17 Coeficiente de drenaje (m) = 1

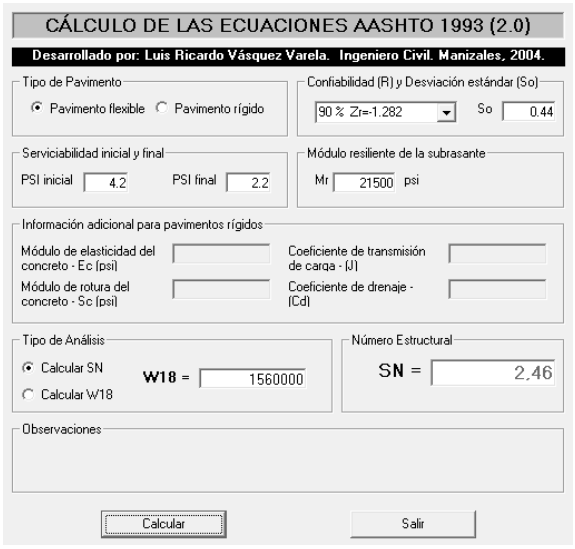
Figura 6.6 Abaco para obtener coeficiente estructural de la base



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

Mr = 21500 (psi) a2 = 0.098 (pulg) / 2.54 (cm) = 0.039

Figura 6.7 Numero estructural de la base obtenido con el programa AASHTO 1993



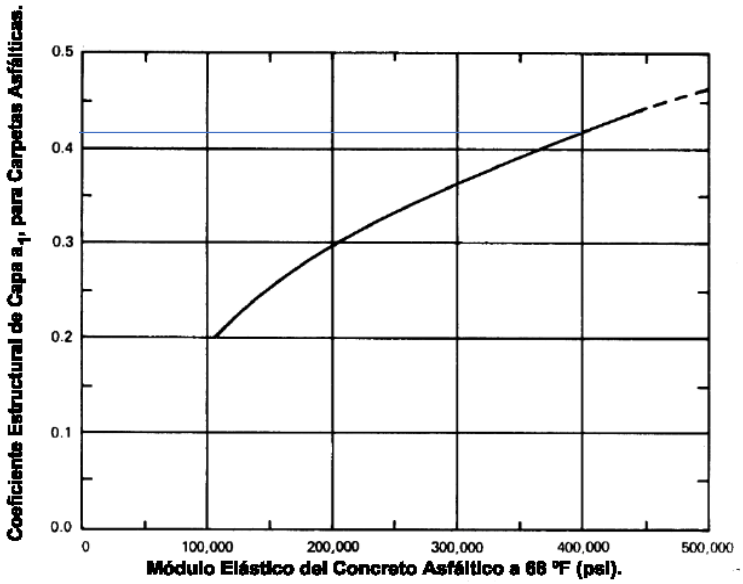
Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

SN=2,46

Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica debe cumplir con un **Mr = 400000 psi**

Figura 6.8 Abaco para obtener coeficiente estructural de la carpeta asfáltica



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

a1= 0,43 (pulg) / 2.54 (cm) = 0,169

- Espesores

Carpeta asfáltica

$$D1 = \frac{2.46}{0.169} = 14.56 = 15cm$$

$$SN\ real = 15 * 0.169 * 1 = 2.535$$

Base

$$D2 = \frac{2.77 - 2.535}{0.039 * 1} = 6.03 = 15cm$$

$$SN\ real = 15 * 0.039 * 1 = 0.585$$

Subbase

$$D2 = \frac{3.19 - 2.535 - 0.585}{0.044 * 1} = 1.59 = 15cm$$

$$SN\ real = 15 * 0.044 * 1 = 0.66$$

- Comprobación

$$2.535 + 0.585 + 0.66 = 3.78$$

$$3.78 > 3.14 \quad \surd\surd \quad \textbf{O.K.}$$

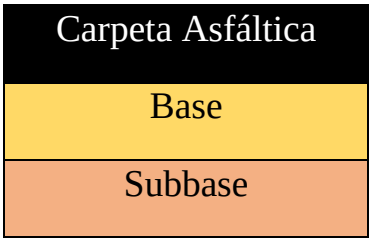
- Estructura del pavimento

Figura 6.9 Espesores de la estructura vial por el método AASHTO 1993

D1= 15cm

D2=15 cm

D3=15 cm

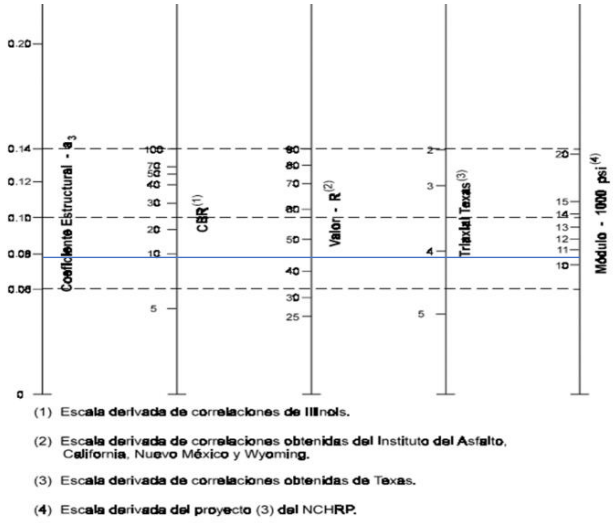


6.4. Diseño de la base y subbase con la correlación obtenida

Subbase

Mr = 10544.98 Psi

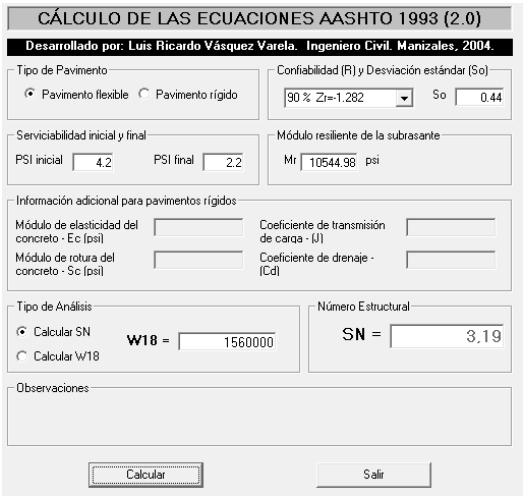
Figura 6.10 Abaco para obtener coeficiente estructural de la subbase



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

a = 0.078 (pulg) / 2.54 (cm) = 0.031

Figura 6.11 Número estructural de la subbase obtenido con el programa AASHTO 1993



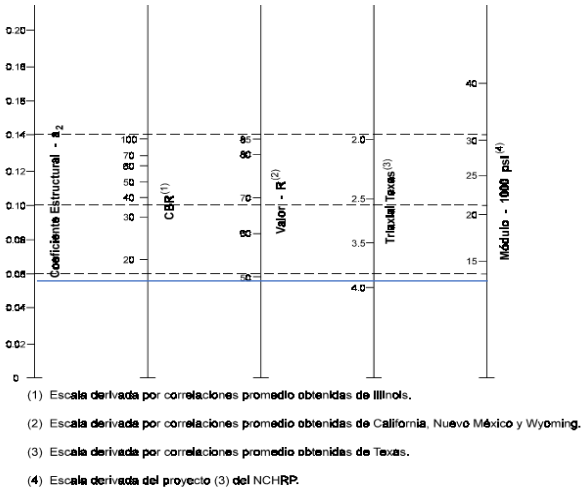
Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

SN= 3.19

Base

Mr = 10690.025 Psi

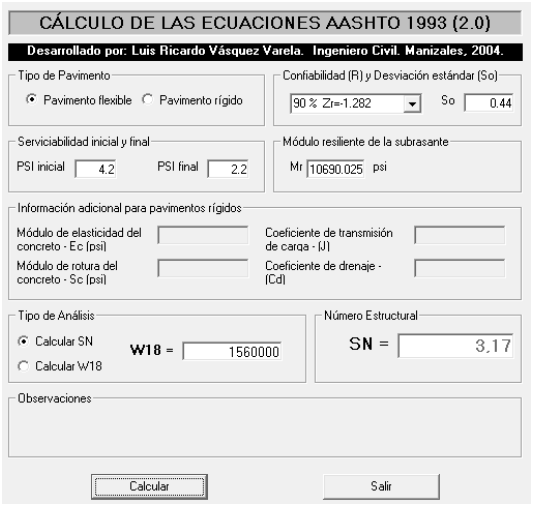
Figura 6.12 Abaco para obtener coeficiente estructural de la base



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

a = 0.055 (pulg) / 2.54 (cm) = 0.022

Figura 6.13 Número estructural de la base obtenido con el programa AASHTO 1993



Fuente: AASTHO. (1993). ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition). Estados Unidos.

SN = 3.17

- Espesores

Carpeta asfáltica

$$D1 = \frac{3.17}{0.169} = 18.76 = 15cm$$

$$SN\ real = 15 * 0.169 * 1 = 2.535$$

Base

$$D2 = \frac{3.19 - 2.535}{0.022 * 1} = 29.77 = 20cm$$

$$SN\ real = 20 * 0.022 * 1 = 0.44$$

Subbase

$$D2 = \frac{3.19 - 2.535 - 0.44}{0.044 * 1} = 4.88 = 15cm$$

$$SN\ real = 15 * 0.044 * 1 = 0.66$$

Comprobación

$$SN = 2.535 + 0.44 + 0.66 = 3.64$$

$$3.64 > 3.14 \quad \surd\surd \quad \textbf{O.K.}$$

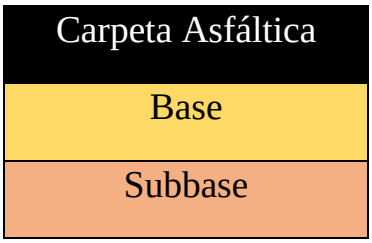
- Estructura del pavimento

Figura 6.14 Espesores de la estructura vial obtenida por la correlación

D1=15 cm

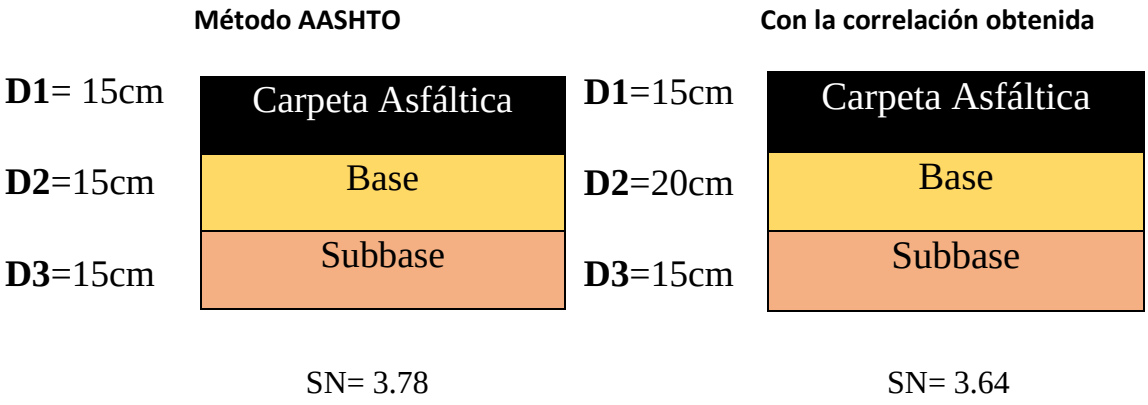
D2=20 cm

D3=15 cm



6.5. Comparación de los espesores obtenidos por el método AASHTO y las correlaciones obtenidas

Figura 6.15 Comparación de los espesores obtenidos por el método AASHTO y la correlación obtenida



CAPÍTULO 7

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Al realizar el ensayo de granulometría el cual es uno de los ensayos de caracterización del material, se obtuvo como resultados que los materiales de base y subbase traídos de la mina en estudio de acuerdo con las tablas 2.1 y 2.2 se tiene que la base se la clasifica como base clase 2 y la subbase se clasifica como subbase clase 3.
- Los valores de C.B.R. obtenidos tanto para el caso de bases como de subbases varían entre 30% y 40%, con lo cual el material tan solo puede ser utilizado como material de subbase, ya que para poder ser usado como material de base es necesario que el valor de C.B.R. sea mayor o igual a 80%, de acuerdo con las especificaciones, lo cual en este caso no se cumple.
- Al ver que el desgaste a la abrasión obtenido es un valor aceptable, el cual cumple con las especificaciones, una de las posibles causas de obtener valores muy bajos de C.B.R. en los casos de las bases puede ser la granulometría, en la cual posiblemente falto material fino el cual permite tener una mejor acomodación de las partículas al instante del proceso de compactación.
- Al comparar los diseños se logra observar que en el diseño realizado por método de la AASTHO se tiene espesores menores que los obtenidos con la correlación, por lo que al momento de utilizar el método AASTHO para realizar el diseño de las capas de una carretera se coloca espesores de capas menores a las necesarias.
- Al obtener los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con el material de la mina en estudio, se tiene como resultados una mina con agregados que

cumplen con la mayoría de las especificaciones estipuladas en las normas con excepción del material de base en el cual no se cumple con el C.B.R.

7.2. Recomendaciones

- Antes de ejecutar los diversos ensayos se debe poseer el conocimiento necesario de los procedimientos con los cuales se realizarán los ensayos, para evitar que se cometa error al momento de realizarlos y con lo cual se tenga datos erróneos que no reflejan las condiciones reales del material.
- Para poder realizar el ensayo del Geogauge es importante que se tenga el conocimiento adecuado del radio y la profundidad de influencia del aparato, para evitar que los datos tomados no se vean afectados por desconocer dicho dato necesario
- Es necesario tener muy en cuenta la humedad optima y la densidad máxima del material, para evitar tener problemas en el momento de la compactación de las diferentes capas, razón por la cual es necesario el uso de algún aparato que nos permita medir en campo estos datos de una manera fácil y rápida, en este caso el aparato que se utilizó para verificar estos valores fue el densímetro nuclear el cual nos da resultados confiables.
- El uso del densímetro nuclear debe ser realizado por un personal calificado debido a la radiación que se emite al momento de tomar las lecturas, lo cual ocasionaría serios problemas a las personas que no tengan el conocimiento adecuado de uso de dicho aparato.

7.3. Bibliografía

AASTHO. (1993). *ASSTHO Guide for design of paviment structures (4TH Edition).* Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C-127 Gravedad específica y absorción del agregado grueso.* West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C128 Gravedad específica y absorción delagregado fino.* West Conshohocken, Estados Unidos.

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

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C142-97 Detreminación de terrones de arcill y de particulas friables (esmenuzables) en los agregados.* West Conshohocken, Estados unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C33 Granulometría de agragados.* West Conshohcken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C702 Reducción de muestras a tamaños de ensayo.* West Conshohocken, Estados Unidos.

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

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

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

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

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D2487-17 Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System.* West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D4318-05 Métodos de ensayos estánadar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos.* West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D75 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.* West Conshohocken, Estados Unidos.

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

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

Cárdenas Cedillo, L. P. (2018). *Comprobación del Módulo de Young y la Rigidez de la capa estructural de varias muestras de suelos mediante ensayos del geogauge y correlacionarlos con el Densímetro Nuclear y el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).* Quito, Ecuador.

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

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). Quito-Ecuador: Recuperado el 19 de marzo del 2019.

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

Montejo Fonseca, A. (2008). *Ingeniería de pavimentos.* Bogotá.

Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos materiales, construcción y diseño.* Bogotá.

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

7.4. Anexos

Anexo 1.- Fotos de la mina Compañía JHV (Tena)

Fotografía 7.1 Agregados de la mina



Fotografía 7.2 Agregado de la mina



Anexo 2.- Fotos de los ensayos de caracterización

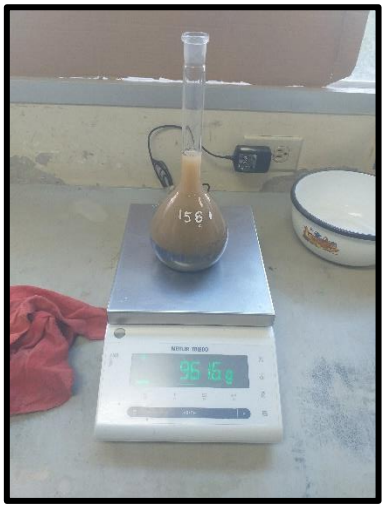
Fotografía 7.3 Granulometría del material



Fotografía 7.4 Gravedad especifica agregado grueso



Fotografía 7.5 Gravedad especifica agregado fino



Fotografía 7.6 Muestra para el ensayo de abrasión (máquina de los ángeles)



Anexos 3.- Fotografías del ensayo de C.B.R.

Fotografía 7.7 Fundas para Proctor



Fotografía 7.8 Fundas para C.B.R.



Fotografía 7.9 Molde para C.B.R.



Fotografía 7.10 Ensayo C.B.R.



Fotografía 7.11 Ensayo C.B.R.



Anexo 4.- Fotografías del ensayo de Geogauge

Fotografía 7.12 Colocación del material



Fotografía 7.13 Compactación del material



Fotografía 7.14 Densidad máxima



Fotografía 7.15 Ensayo Geogauge

