

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO

“COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE  
MÓDULO YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASOS DE ESTUDIO DE  
MINAS LA CHIMBA Y LOMA DE CUNIBURO (CONSEJO PROVINCIAL DE  
PICHINCHA)”.

RICARDO MARCELO ECHEVERRÍA CEDEÑO

TRUMAN ANÍBAL BASTIDAS MIGUEZ

QUITO, DICIEMBRE 2019

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien es el único que sabe todo lo que tuve que atravesar para llegar a cumplir esta meta, por darme siempre salud y permitirme vivir esta experiencia.

Las personas más especiales y maravillosas que la vida me pudo dar, mis padres, quienes siempre supieron apoyarme en todo momento y tenerme paciencia en cada etapa de mi vida.

A mi novia Karina Moreno, quien siempre fue un apoyo fundamental, quien con sus palabras y jalones de oreja siempre estuvo pendiente de mi en esta etapa de mi vida.

A mi director de tesis, Ing. Wilson Cando, quien con sus consejos se convirtió en un amigo, y con quien tengo el gusto de llevar una amistad.

A mis correctores de tesis Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Jorge Bucheli, a quienes considero grandes amigos y personas, que supieron guiarme durante este largo camino.

A mi compañero de tesis, con quien, a pesar de las adversidades, supimos salir adelante y darnos el apoyo que necesitábamos durante el proceso de tesis, y quien se convirtió en un gran amigo.

En primer lugar, a Dios por permitirme vivir este momento importante para la vida de cualquier persona, por brindarme una excelente familia y grandes amigos.

A mi director de tesis Ing. Wilson Cando, que más que sólo un guía se a convertido en un amigo y consejero en este arduo camino como estudiante.

A mis correctores de tesis Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Jorge Bucheli, quienes con su guía y apoyo hicieron este momento posible.

A mi compañero de tesis Ricardo Echeverría, quien se ha convertido en un gran amigo y colega, con el que realicé este trabajo y a pesar de las dificultades lo hemos sabido culminar de la mejor manera.

Y por último y no menos importante a mis amigos, “colegas”, de carrera y de vida, quienes ayudaron que esta etapa de mi vida sea una aventura en su día a día.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Lorena Cedeño y Marcelo Echeverría, quienes fueron parte fundamental para culminar este proceso, por siempre apoyarme en las buenas y en las malas, por siempre estar ahí para mí ante cualquier situación, por su paciencia y amor incondicional, que gracias a ellos que supieron darme la fuerza día a día, hasta llegar a cumplir esta meta.

A mi Abuela materna, Rosa Menéndez quien siempre estuvo pendiente de mí durante todo el proceso de mis estudios, a quien agradezco y amo por sus palabras de fuerza que siempre me supo dar.

A mis hermanos, mi novia y mis amigos, quienes siempre fueron una parte fundamental, y a su momento supieron apoyarme de manera incondicional.

Primeramente, a mis amados padres, Truman A. Bastidas y Elsa Judith Miguez, que gracias a su amor y apoyo incondicional esta meta se ve cumplida, así que es su logro por siempre creer en mí, por su paciencia y comprensión.

A mis hermanos, Damián y Harry Bastidas, por siempre apoyarme sin importar las circunstancias o mis errores, siempre estuvieron ahí viviendo lo bueno y lo malo conmigo hombro a hombro, este también es su logro.

A mis tías, Amanda Bastidas y Nora Bastidas, que tomaron el papel de madres cuando dejé mi hogar, me han apoyado en todo momento y ahora podemos disfrutar los frutos de ello.

Y por último va dedicado a todas esas personas que creyeron en mí, fueron el empuje para hacerlo realidad.

## RESUMEN

Mediante la presente investigación busca generar resultados con dos principales ensayos que son: C.B.R (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young mediante el GeoGauge, para las diferentes bases y subbases que podemos obtener, en este caso enfocado a las minas La Chimba y Loma de Cuniburo del Consejo Provincial de Pichincha, ubicadas en Cayambe.

El trabajo empieza con la caracterización del material obtenido de las minas anteriormente mencionadas con la ayuda de ensayos de laboratorio, aplicando las normativas vigentes se estableció que las minas La Chimba y Loma de Cuniburo del Consejo Provincial de Pichincha, ubicadas en Cayambe, cumplen con los parámetros necesarios para ser caso de estudio en nuestra investigación.

Posteriormente se procede a realizar el ensayo del Proctor Modificado para así obtener parámetros de suma importancia como son la humedad óptima y la densidad máxima, necesarios para realizar el C.B.R. para las diferentes bases y subbases y de esta forma obtener los valores requeridos a partir de sus resultados. Mediante el GeoGauge y la modelación de una estructura del pavimento flexible con los materiales indicados de base y subbase, se obtiene valores del módulo de Young para mediante una correlación de estos datos obtener el Módulo Resiliente, el cual será indispensable para el diseño de las capas dentro de la estructura del pavimento.

Para finalizar y mediante la ayuda del programa AASHTO 1993 se puede realizar un diseño para los dos métodos y de esta manera comparar resultados, concluyendo así de esta manera cuál de estos es el óptimo y que cumpla con espesores mínimos establecidos. Con esto podremos conseguir un ahorro en el material y por consiguiente en el presupuesto del proyecto.

Contenido	
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN: .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.2 ALCANCE .....	3
CAPÍTULO 2 .....	4
MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 ANTECEDENTES .....	4
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	5
2.2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	5
2.2.2 SUBBASES .....	5
2.2.3 BASES .....	6
CAPÍTULO 3 .....	8
ENSAYOS DE LABORATORIO .....	8
3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C-127, C-128) .....	9
3.3 CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C-40, 99) .....	9
3.4 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA (ASTM C-142) .....	9
3.5 DESGASTE DE LOS AGREGADOS SUJETOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C-88) .....	9
3.6 EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D-2419) (AASHTO T-176) .....	10
3.7 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C-131) .....	10
3.8 DELETEREOS (ASTM C-142) (AASHTO T-112) .....	10
3.9 CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) (ASTM D-1883) .....	10
CAPÍTULO 4 .....	12
RESULTADOS DE ENSAYOS .....	12
4.1 Granulometría .....	12
4.1.1 Granulometría Base clase 1 .....	12
4.1.2 Granulometría Base clase 2 .....	14
4.1.3 Granulometría Base clase 3 .....	16
4.1.4 Granulometría Base clase 4 .....	18
4.1.5 Granulometría Subbase clase 1 .....	20
4.1.6 Granulometría Subbase clase 2 .....	22
4.1.7 Granulometría Subbase clase 3 .....	24

4.2 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	26
4.2.1 Proctor Modificado Base Clase 1.....	26
1.1.1.....	26
4.2.2 Proctor Modificado Base Clase 2.....	28
4.2.3 Proctor Modificado Base Clase 3.....	30
4.2.4 Proctor Modificado Base Clase 4.....	32
4.2.5 Proctor Modificado Subbase Clase 1.....	34
4.2.6 Proctor Modificado Subbase Clase 2.....	36
4.2.7 Proctor Modificado Subbase Clase 3.....	38
4.3 C.B.R. ....	40
4.3.1 CBR Base clase 1.....	40
4.3.2 CBR Base clase 2.....	44
4.3.3 CBR Base clase 3.....	48
4.3.4 CBR Base clase 4.....	52
4.3.5 CBR Subbase clase 1.....	56
4.3.6 CBR Subbase clase 2.....	60
4.3.7 CBR Subbase clase 3.....	64
4.4 MÓDULO DE YOUNG.....	68
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	69
5.1 RESUMEN Y RESULTADOS.....	69
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	71
6.1 CORRELACIÓN DEL C.B.R. CON EL MÓDULO DE YOUNG.....	71
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	83
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL.....	83
7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA BASE Y SUBBASE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON CBR Y MÓDULO DE YOUNG.....	83
7.1.1 TPDA (Tráfico Promedio Anual) desarrollado por conteo vehicular.....	83
7.1.2 Nivel de Confianza.....	83
7.1.3 Desviación Estándar para una vía.....	84
7.1.4 Distribución del tráfico.....	85
7.1.5 Periodo de diseño.....	85
7.1.6 Tasa de Crecimiento.....	85
7.1.7 Tipos de vehículos.....	85
7.1.8. Cálculo de TPDA final.....	87
7.1.9. Carga Equivalente.....	87
7.1.10. Número de ejes equivalente a 8.2 T.....	88

7.1.11	Serviciabilidad de la vía .....	88
7.2.	Coeficiente estructural para Base y Subbase de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	89
7.2.1	Empleando CBR .....	89
7.2.1.1.	Coeficiente estructural Subbase Clase 1 .....	89
7.2.1.2.	Coeficiente estructural Subbase Clase 2 .....	91
7.2.1.3.	Coeficiente estructural Subbase Clase 3 .....	93
7.2.1.4.	Coeficiente estructural Base Clase 1 .....	95
7.2.1.5.	Coeficiente estructural Base Clase 2 .....	97
7.2.1.6.	Coeficiente estructural Base Clase 3 .....	99
7.2.1.7.	Coeficiente estructural Base Clase 4 .....	101
7.2.2.	COEFICIENTE ESTRUCTURAL EMPLEANDO MÓDULO RESILIENTE .....	103
7.2.2.1.	Coeficiente estructural Subbase Clase 1 .....	103
1.1.2.....		103
7.2.2.2.	Coeficiente estructural Subbase Clase 2 .....	105
7.2.2.3.	Coeficiente estructural Subbase Clase 3 .....	107
7.2.2.4.	Coeficiente estructural Base Clase 1 .....	109
7.2.2.5.	Coeficiente estructural Base Clase 2 .....	111
7.2.2.6.	Coeficiente estructural Base Clase 3 .....	113
7.2.2.7.	Coeficiente estructural Base Clase 4 .....	115
7.3.	RESUMEN DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES .....	117
7.4.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE C.B.R. MINA LA CHIMBA .....	117
7.5.	Diseño de la Subrasante .....	118
7.6.	DISEÑO DE LA BASE .....	119
7.7.	DISEÑO DE LA SUBBASE .....	120
7.8.	DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA .....	121
7.9.	ESPEORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	121
7.10.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE MINA LA CHIMBA .....	123
7.11.	DISEÑO DE LA BASE .....	124
7.12.	DISEÑO DE LA SUBBASE .....	125
7.13.	DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA .....	126
7.14.	ESPEORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	126
7.15.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE C.B.R. MINA LOMA DE CUNIBURO.....	128
7.16.	DISEÑO DE LA SUBRASANTE.....	128

7.17.	DISEÑO DE LA BASE .....	129
7.18.	DISEÑO DE LA SUBBASE .....	130
7.19.	DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA .....	131
7.21.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE LOMA DE CUNIBURO.....	133
7.22.	DISEÑO DE LA BASE .....	134
7.23.	DISEÑO DE LA SUBBASE .....	135
7.24.	DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA .....	136
7.25.	ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO .....	136
<b>CAPÍTULO 8</b>	.....	<b>138</b>
8.1	CONCLUSIONES .....	138
8.2	RECOMENDACIONES .....	140
BIBLIOGRAFÍA	.....	141

## Índice de Figuras

Figura 2.1 Estructura del Pavimento .....	5
Figura 4.1 Gráfica Granulometría Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	12
Figura 4.2 Gráfica Granulometría Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .	13
Figura 4.3 Gráfica Granulometría Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	14
Figura 4.4 Gráfica Granulometría Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .	15
Figura 4.5 Gráfica Granulometría Base clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	16
Figura 4.6 Gráfica Granulometría Base clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)..	17
Figura 4.7 Gráfica Granulometría Base clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	18
Figura 4.8 Gráfica Granulometría Base clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)..	19
Figura 4.9 Gráfica Granulometría Subbase clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	20
Figura 4.10 Gráfica Granulometría Subbase clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	21
Figura 4.11 Gráfica Granulometría Subbase clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	22
Figura 4.12 Gráfica Granulometría Subbase clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	23
Figura 4.13 Gráfica Granulometría Subbase clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	24
Figura 4.14 Gráfica Granulometría Subbase clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	25
Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) ....	26
Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 1, Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).	27
Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) ....	28
Figura 4.18 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe) .....	29
Figura 4.19 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) ....	30
Figura 4.20 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	31
Figura 4.21 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) ....	32
Figura 4.22 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	33
Figura 4.23 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	34
Figura 4.24 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	35
Figura 4.25 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	36
Figura 4.26 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	37
Figura 4.27 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	38
Figura 4.28 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	39
Figura 4.29 Gráfica CBR Base clase 1 (esfuerzo/penetración), Mina La Chimba (Cayambe- Ecuador) .....	41
Figura 4.30 Gráfica CBR Base clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe- Ecuador) .....	41

Figura 4.31 Gráfica CBR Base clase 1 (esfuerzo/penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	43
Figura 4.32 Gráfica CBR Base Clase 1 (densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	43
Figura 4.33 Gráfica Base Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	45
Figura 4.34 Gráfica Base Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	45
Figura 4.35 Gráfica Base Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	47
Figura 4.36 Gráfica Base Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	47
Figura 4.37 CBR Base Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)....	49
Figura 4.38 CBR Base Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina la Chimba (Cayambe-Ecuador) ..	49
Figura 4.39 Gráfica CBR Base Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	51
Figura 4.40 Gráfica CBR Base Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	51
Figura 4.41 Gráfica CBR Base Clase 4 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	53
Figura 4.42 Gráfica CBR Base Clase 4 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	53
Figura 4.43 Gráfica CBR Base Clase 4 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	55
Figura 4.44 Gráfica CBR Base Clase 4 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	55
Figura 4.45 Gráfica CBR Subbase Clase 1 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	57
Figura 4.46 Gráfica CBR Subbase Clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	57
Figura 4.47 Gráfica Subbase Clase 1 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	59
Figura 4.48 Gráfica Subbase Clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	59
Figura 4.49 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina la Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	61
Figura 4.50 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	61
Figura 4.51 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	63
Figura 4.52 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	63
Figura 4.53 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	65
Figura 4.54 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	65
Figura 4.55 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	67

Figura 4.56 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	67
Figura 6.1 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	71
Figura 6.2 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	72
Figura 6.3 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	72
Figura 6.4 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	73
Figura 6.5 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	73
Figura 6.6 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	74
Figura 6.7 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	74
Figura 6.8 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Subbases, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	76
Figura 6.9 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Bases, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	76
Figura 6.10 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	77
Figura 6.11 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	78
Figura 6.12 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	78
Figura 6.13 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	79
Figura 6.14 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	79
Figura 6.15 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	80
Figura 6.16 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	80
Figura 6.17 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Subbases, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	82
Figura 6.18 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Bases, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	82
Figura 7.1. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques.....	86
Figura 7.2. Ábaco para determinar el coeficiente estructural de Subbase Clase 1 .....	89

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 Penetración y Carga unitaria patrón .....	11
Tabla 4.1 Granulometría Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	12
Tabla 4.2 Granulometría Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	13
Tabla 4.3 Granulometría Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	14
Tabla 4.4 Granulometría Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	15
Tabla 4.5 Granulometría Base clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	16
Tabla 4.6 Granulometría Base clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	17
Tabla 4.7 Granulometría Base clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	18
4.8 Granulometría Base clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	19
Tabla 4.9 Granulometría Subbase clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	20
Tabla 4.10 Granulometría Subbase clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	21
Tabla 4.11 Granulometría Subbase clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	22
Tabla 4.12 Granulometría Subbase clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	23
Tabla 4.13 Granulometría Subbase clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	24
Tabla 4.14 Granulometría Subbase clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	25
Tabla 4.15 Proctor Modificado Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	26
Tabla 4.16 Proctor Modificado Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	27
Tabla 4.17 Proctor Modificado Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	28
Tabla 4.18 Proctor Modificado Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe).....	29
Tabla 4.19 Proctor Modificado Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	30
Tabla 4.20 Proctor Modificado Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	31
Tabla 4.21 Proctor Modificado Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	32
Tabla 4.22 Proctor Modificado Base Clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	33
Tabla 4.23 Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	34
Tabla 4.24 Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	35
Tabla 4.25 Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	36
Tabla 4.26 Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	37
Tabla 4.27 Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	38
Tabla 4.28 Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).....	39
Tabla 4.29 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	40
Tabla 4.30 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	40
Tabla 4.31 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador).....	40
Tabla 4.32 Penetración Base Clase 1 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	41
Tabla 4.33 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	42
Tabla 4.34 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	42
Tabla 4.35 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	42
Tabla 4.36 Penetración Base Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máximavs.C.B.R.....	43
Tabla 4.37 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	44
Tabla 4.38 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	44
Tabla 4.39 CBR, Mina la Chimba (Cayambe-Ecuador).....	44
Tabla 4.40 Penetración Base Clase 2 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	45

Tabla 4.41 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	46
Tabla 4.42 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	46
Tabla 4.43 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	46
Tabla 4.44 Penetración Base Clase 2 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máximavs C.B.R. ....	47
Tabla 4.45 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	48
Tabla 4.46 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	48
Tabla 4.47 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	48
Tabla 4.48 Penetración Base Clase 3 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	49
Tabla 4.49 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	50
Tabla 4.50 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	50
Tabla 4.51 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	50
Tabla 4.52 Penetración Base Clase 3 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador);Densidad Máxima vs C.B.R. ....	51
Tabla 4.53 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	52
Tabla 4.54 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	52
Tabla 4.55 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	52
Tabla 4.56 Penetración Base Clase 4 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	53
Tabla 4.57 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	54
Tabla 4.58 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	54
Tabla 4.59 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	54
Tabla 4.60 Penetración Base Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador);Densidad Máxima vs C.B.R. ....	55
Tabla 4.61 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	56
Tabla 4.62 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe Ecuador) .....	56
Tabla 4.63 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	56
Tabla 4.64 Penetración Subbase Clase 1 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	57
Tabla 4.65 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	58
Tabla 4.66 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	58
Tabla 4.67 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	58
Tabla 4.68 Penetración Subbase Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máx. C.B.R. ....	59
Tabla 4.69 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	60
Tabla 4.70 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	60
Tabla 4.71 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	60
Tabla 4.72 Penetración Subbase Clase 2 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	61
Tabla 4.73 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	62
Tabla 4.74 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	62
Tabla 4.74 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	62

Tabla 4.76 Penetración Subbase Clase 2 Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	63
Tabla 4.77 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	64
Tabla 4.78 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	64
Tabla 4.79 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	64
Tabla 4.80 Penetración Subbase Clase 3 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	65
Tabla 4.81 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	66
Tabla 4.82 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	66
Tabla 4.83 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	66
Tabla 4.84 Penetración Subbase Clase 3 Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R. ....	67
Tabla 4.85 Geogauge, Módulo de Young y Módulo Resiliente, Mina La Chimba (Cayambe- Ecuador) .....	68
Tabla 4.86 Geogauge, Módulo de Young y Módulo Resiliente, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	68
Tabla 5.1 Resumen Resultados (Humedad Óptima, Densidad Máxima y CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	69
Tabla 5.2 Resumen de Resultados (Módulo de Young y Módulo Resiliente), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	69
Tabla 5.3 Resumen de Resultados (Humedad Óptima, Densidad Máxima y CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	70
Tabla 6.1 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	71
Tabla 6.2 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Ecuación de Cálculo), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador) .....	75
Tabla 6.3 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (C.B.R.) Mina La Chimba (Cayambe- Ecuador) .....	75
Tabla 6.4 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador) .....	77
Tabla 6.5 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Ecuación de Cálculo), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	81
Tabla 6.6 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (C.B.R.) Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador) .....	81
Tabla 7.1. TPDA (Tráfico Promedio Anual) .....	83
Tabla 7.2. Nivel de confianza según la funcionalidad de la vía .....	84
Tabla 7.3. Valores recomendados para la desviación estándar $S_o$ .....	84
Tabla 7.4. TPDA final .....	87
Tabla 7.5. Factor Carga Equivalente por eje .....	87
Tabla 7.6. Serviciabilidad de la vía .....	88

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 JUSTIFICACIÓN:

Con el presente trabajo de investigación encontramos información esencial para obtener parámetros físicos y característicos de las diferentes zonas de explotación de materiales para la construcción de vías en el Ecuador. En nuestro caso el estudio se centra en las minas La Chimba y Loma de Cuniburo del Consejo Provincial de Pichincha, ubicadas en Cayambe.

Los parámetros deseados se obtienen de los ensayos de C.B.R. (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young, con los agregados utilizados para la elaboración de las diferentes capas inferiores a la capa de rodadura como bases y subbases, permitiendo de esta manera la optimización en el espesor de estas y consiguiendo de esta manera un ahorro significativo en el momento de la construcción.

Obtener correlaciones entre estos ensayos generará un aprovechamiento significativo en las construcciones viales, incrementando índices de calidad y eficiencia en estudios y planificaciones de los diferentes proyectos en zonas que sean beneficiadas con dicho material de estudio, y de esta forma reducir los tiempos y el costo en la ejecución de proyectos.

La optimización de los recursos en un estudio planificado es uno de los objetivos más importante a la hora de la ejecución de un proyecto para conseguir un mayor beneficio, consiguiendo de esta manera asegurar reducciones de tiempo-costos y buena calidad del proyecto.

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mal uso de los recursos y materiales es comúnmente visto en nuestro día a día, ya sea por negligencia en el manejo de estos o al sobredimensionar los proyectos, lo que en general pasa desapercibido por el desinterés en tratar de obtener métodos para aprovechar a su máxima

capacidad el potencial minero que posee el Ecuador, lo que conlleva a un desmesurado consumo de recursos que en algún momento terminarían agotándose.

La principal razón de la presente investigación es encontrar y reconocer el mejor método para aprovechar el material que será empleado para bases y subbases regidas por la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) empleadas para un proyecto vial, de la misma manera determinar los espesores más óptimos sin afectar la calidad de dichas capas, es decir definir un espesor menor que satisfaga los requisitos especificados por la norma, por lo que he ahí la importancia de los estudios de los principales ensayos de esta investigación, lo que de otra forma no afectaría al estado de la vía a corto o largo plazo, ya que cumpliría con la estructura adecuada del pavimento, brindando seguridad y resistencia al diseño de la misma.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer una comparación técnica apropiada entre los ensayos de C.B.R (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young, generando parámetros necesarios para la elaboración de las bases y subbases de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo – Consejo Provincial Pichincha.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar y certificar los materiales extraídos de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo – Consejo Provincial Pichincha, a través de ensayos de laboratorio, comparados con las especificaciones y normas definidas de cada uno.
- Obtener los valores reales de C.B.R. (California Bearing Ratio) de laboratorio, para cada base y subbase formada por los materiales extraídos de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo – Consejo Provincial Pichincha.
- Diseñar con la ayuda del software AASHTO 1993 la estructura completa de un pavimento flexible a partir de los resultados provenientes de los dos principales ensayos de la investigación.

- Establecer un balance contrastando las dimensiones de las capas que conforman la estructura del pavimento proveniente de los ensayos C.B.R (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young.

## 1.2 ALCANCE

Mediante esta investigación se busca determinar una correlación adecuada entre los ensayos de laboratorio C.B.R. (California Bearing Ratio) y el módulo de Young mediante un ensayo de campo denominado GeoGauge, únicamente para el caso establecido de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo – Consejo Provincial Pichincha.

Nuestra investigación comienza con una caracterización y certificación completa de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo para los materiales que son explotados en esa zona y de esta manera afirmar si dichos materiales con los que se va a trabajar son aptos para nuestro estudio, cuya información se obtendrá de datos relevantes como son: granulometría (agregado fino y grueso), contenido de humedad, equivalente de arena, abrasión, material fino que pasa el tamiz 200, peso unitario, contenido de terrones de arcilla, gravedad específica, resistencia a los sulfatos y contenido orgánico, respaldado de la respectiva clasificación del material.

Concluido la primera parte de nuestro trabajo se puede confirmar si las minas cumplen con los requisitos para la elaboración de las bases y subbases, para proceder con los ensayos de Proctor Modificado y C.B.R (California Bearing Ratio), que resultarían 3 para subbases y 4 para bases con un total de 7 ensayos para dichos ensayos de laboratorio.

Para culminar con nuestro proyecto se realizará el ensayo de campo GeoGauge H4140, con lo cual obtendremos el módulo de Young respectivo.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES

Ecuador actualmente para obtener el diseño de la estructura del pavimento, se basa en gran parte del ensayo C.B.R. el cual por sus siglas en inglés significa “California Bearing Ratio”, de este ensayo obtenemos diferentes variables, de las cuales una de ellas es el Módulo Resiliente, el cual se obtiene mediante ábacos, obteniéndose un valor aproximado al real.

Este ensayo se rige por la norma ASTM D-1883.

Dentro de la guía para el diseño de pavimentos propuesto por la AASHTO, indica que para obtener un diseño satisfactorio de la estructura del pavimento, es necesario convertir los datos obtenidos por el C.B.R. o por el valor R a un Módulo Resiliente, si bien existen cuadros generales, no existe ninguna correlación; por lo cual para Ecuador existiría la necesidad de crear dichas correlaciones con el fin de lograr un diseño más preciso de manera ágil, estas correlaciones nos servirán puesto que los cuadros existentes no necesariamente aplican para los materiales pétreos del país. (AASHTO, 1993, págs. 1-15).

Así llegamos a determinar el Módulo de Young, el cual se lo obtiene mediante el ensayo de campo GeoGauge la cual fue aprobada a inicios del 2002 por la ASTM-D6758, mediante este ensayo obtendremos el Módulo Resiliente para los diferentes tipos de bases y subbases que establece la NEVI 12-MTOP. (MTOP, 2012, págs. 340-380)

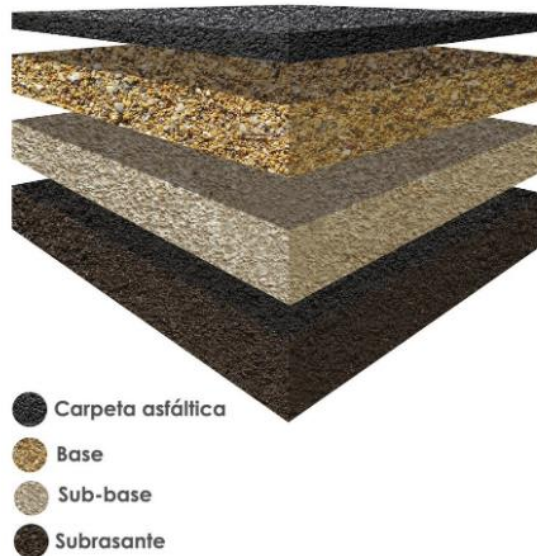
Una vez obtenido estos datos, podemos comparar para poder crear una base de datos de nuestro entorno.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

La estructura del pavimento, en nuestro caso en particular del pavimento flexible, está conformado por 4 capas las cuales se encuentran en el siguiente orden, comenzando desde la capa inferior se encuentra la subrasante la cual viene a ser la superficie del terreno terminado a nivel de movimiento de tierras, sobre esta capa viene la Sub Base, subsiguiente a esta viene la Base, sobre la cual finalmente se encuentra la carpeta asfáltica.

*Figura 2.1 Estructura del Pavimento*



Fuente: (Luis Guillermo Loria, 2019)

### 2.2.2 SUBBASES

La capa de la subbase como se indica en la figura 1 está por debajo de la base y sobre la subrasante, su principal función es absorber las cargas causadas por los vehículos, sin tener como consecuencia deformaciones permanentes y es importante que la capacidad de soporte de esta capa sea mayor a la de la subrasante.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas existen 3 tipos:

- Subbase Clase 1: Compreendida principalmente por agregados provenientes de trituración de rocas o gravas. Por lo menos el 30% del agregado preparado debe obtenerse por trituración.
- Subbase Clase 2: Compreendida principalmente por agregados provenientes del cribado o trituración de rocas o gravas que se fragmentan naturalmente. Por lo menos 25% de agregado obtenido por trituración y 75% por cribado.
- Subbase Clase 3: Compreendida principalmente por material proveniente de excavaciones para la plataforma o de fuentes de préstamo. El material que se utiliza es 100% cribado.

### 2.2.3 BASES

Esta es la capa es la que recibe en mayor proporción los esfuerzos producidos por los vehículos que transitan sobre la capa de rodadura, es por lo que esta capa es la que mayor resistencia a la deformación debe tener, muchas veces esta capa necesita algún tipo de mejoramiento (estabilización), para soportar las cargas solicitadas a este.

Existen 4 tipos de base, el tipo de base que se debe usar, viene dado por el tipo de vía y su uso.

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	No. CARRILES	TPDA
<b>BASE CLASE 1</b>	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50.000
<b>BASE CLASE 2</b>	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m.	2 a 6	8.000 – 50.000
<b>BASE CLASE 3</b>	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1.000 – 8.000
<b>BASE CLASE 4</b>	Caminos vecinales	2	<1.000

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

Para las bases se deberá tener un porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados menor que 40% y un valor de soporte C.B.R. mayor o igual al 80%, conformada por materiales limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas. (MTO, 2012, pág. 372).

Base Clase 1: Se comprende generalmente por agregado grueso y agregado fino, triturados en un 100%, graduados dentro de los límites de granulometría tipo A y B, debe ser formada la mezcla necesariamente en una planta central.

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2"	50 mm		100		100
1 ½"	37.5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
¾"	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9.5 mm	35	60	30	60
Nº 4	4.75 mm	25	50	20	50
Nº 10	2 mm	20	40	10	25
Nº 40	0.425 mm	10	25	2	12
Nº 200	0.075 mm	2	12		

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

Base Clase 2: Se comprende generalmente por fragmentos de roca o grabas trituradas en un 50% o más, graduados dentro de los límites de granulometría adecuada, debe ser formada la mezcla necesariamente en una planta central.

## CAPÍTULO 3

### ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio se los realiza para determinar varias características del material de interés, en nuestro caso de los agregados que van a ser usados como bases y subbases, estos ensayos nos ayudarán a determinar si los materiales son aptos para el diseño y construcción de una carretera, es decir con estos ensayos lo que determinamos es si los valores obtenidos en los diferentes ensayos cumplen con las especificaciones y normas requeridas.

Los ensayos realizados se encuentran realizados bajo las normas ASTM, y bajo la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP publicada en 2013 y Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.

#### 3.1 GRANULOMETRÍA (ASTM C-33)

Este ensayo tiene como finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo con su tamaño. La distribución de las partículas con tamaño superior a 0.075 se determina mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas. Para partículas menores que 0.075 mm, su tamaño se determina observando la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión de densidad y viscosidad conocidas. (Rengifo, 2015)

Los valores obtenidos deberán comprobarse de manera tal que cumpla con los límites propuestos dentro de las normativas utilizadas. (ASTM C-136, 2014), (AASHTO T-27), (INEN696)

### 3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM C-127, C-128)

Este parámetro es la relación que existe entre el peso unitario del material de interés, con el peso unitario del agua.

El valor obtenido dentro de este ensayo nos sirve para calcular la relación de vacíos de cualquier tipo de suelo como también nos permite obtener el volumen que ocupa el suelo cuando forma parte de alguna mezcla.

### 3.3 CONTENIDO ORGÁNICO (ASTM C-40, 99)

Este ensayo es realizado para determinar si nuestro suelo tiene presencia de materia orgánica, la cual puede estar presente dentro de nuestro suelo, si este fuera el caso, es aconsejable realizar otra prueba para determinar el efecto de este contenido orgánico sobre la resistencia de la muestra. (AASHTO T-71) (I.N.V.E-212-07, 2012)

### 3.4 DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA (ASTM C-142)

Este ensayo nos permite determinar la cantidad de partículas perjudiciales que se encuentran en los terrones de arcilla, los cuales afectan directamente la resistencia de nuestro material, debido a la absorción en mayor o menor proporción.

### 3.5 DESGASTE DE LOS AGREGADOS SUJETOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C-88)

Este ensayo nos ayuda a determinar la resistencia que tienen los agregados tanto finos como gruesos, a la acción del sulfato, el cual puede ser sulfato de sodio o sulfato de magnesio; este ensayo nos permite darnos cuenta la pérdida de propiedades de los materiales.

### 3.6 EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D-2419) (AASHTO T-176)

Este ensayo tiene como finalidad dar a conocer la cantidad de arcillas, finos y polvo que se encuentra presente dentro de los agregados; este ensayo es realizado en suelos granulares y agregados finos que pasen el tamiz con abertura 4,75mm. (tamiz N°4)

### 3.7 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C-131)

Este ensayo nos permite conocer la resistencia de nuestros agregados al desgaste, mediante el uso de la máquina de los ángeles, teniendo como finalidad conocer si nuestro agregado tiene una resistencia recomendada y que tan susceptible es al desgaste.

El Ministerio de Transporte y Obras públicas establece que la abrasión máxima de los agregados para base es 40% y para subbase 50%.

### 3.8 DELETEREOS (ASTM C-142) (AASHTO T-112)

Este ensayo nos sirve para determinar el porcentaje de partículas ligeras, ya que estas partículas por lo general representan peligro para el material.

### 3.9 CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) (ASTM D-1883)

“El CBR de un suelo viene a ser la carga unitaria correspondiente a 0.1” o 0,2” de penetración expresada en por ciento. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada.” (Fernández, 2015)

Para lograr obtener valores más aproximados a la realidad se realiza el ensayo de Proctor Modificado, el cual nos permite obtener dos parámetros muy importantes como son la densidad máxima y la humedad óptima.

Este ensayo es realizado con la finalidad de analizar la capacidad portante del suelo compactado, esta prueba consiste básicamente en compactar suelo en varios moldes, los estados de compactación usados fueron 12, 25 y 56 golpes, después de tenerlos compactados a cada molde se los sumergió en agua durante 4 días con la finalidad de conocer su hinchamiento.

Finalmente se carga la muestra como indica la siguiente tabla.

*Tabla 3.1 Penetración y Carga unitaria patrón*

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

Fuente: (Abraham, 2015)

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS DE ENSAYOS

#### 4.1 Granulometría

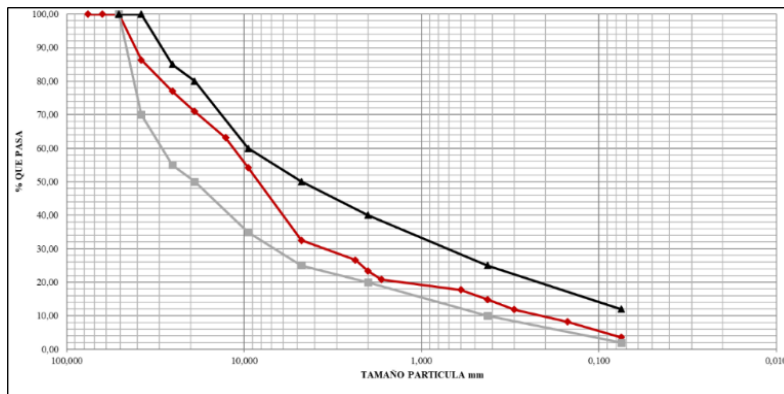
##### 4.1.1 Granulometría Base clase 1

1Tabla 4.1 Granulometría Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA (g.)		%	%	% PASA
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	1456	1456	13,70	86,30	70 - 100
25,40mm	1'	987	2443	22,98	77,02	55 - 85
19,00mm	¾'	645	3088	29,05	70,95	50 - 80
12,70mm	½'	832	3920	36,87	63,13	
9,50mm	⅜'	946	4866	45,77	54,23	35 - 60
4,75mm	No.4	2309	7175	67,49	32,51	25 - 50
Pasa 4,75mm		3456	3456	32,51		
Total		10631			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	32,51	
2,36mm	No.8	180,41	180,41	5,86	26,64	
2,00mm	No.10	102,43	282,84	9,19	23,31	20 - 40
1,68mm	No.16	77,17	360,01	11,70	20,81	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	94,32	454,33	14,77	17,74	
425 µm	No.40	88,11	542,44	17,63	14,87	10' - 25
300 µm	No.50	93,24	635,68	20,67	11,84	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	112,45	748,13	24,32	8,19	
75 µm	No.200	142,27	890,40	28,95	3,56	2' - 12
Pasa 75 µm		109,60	109,60	3,56		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN	
SUCS	GP - GW
AASHTO	A-1-a

1Figura 4.1 Gráfica Granulometría Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

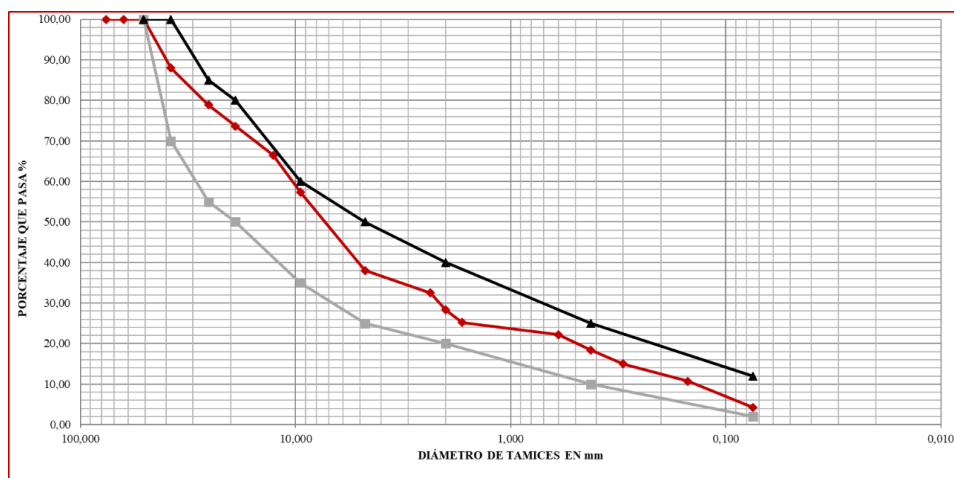


2Tabla 4.2 Granulometría Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	1045	1045	12,04	87,96	70 - 100
25,40mm	1'	789	1834	21,14	78,86	55 - 85
19,00mm	¾'	452	2286	26,35	73,65	50 - 80
12,70mm	½'	621	2907	33,50	66,50	
9,50mm	⅜'	794	3701	42,65	57,35	35 - 60
4,75mm	No.4	1678	5379	61,99	38,01	25 - 50
pasa 4,75mm		3298	3298	38,01		
Total		8677			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	38,01	
2,36mm	No.8	145,32	145,32	5,52	32,49	
2,00mm	No.10	110,77	256,09	9,73	28,27	20 - 40
1,68mm	No.16	79,76	335,85	12,77	25,24	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	80,87	416,72	15,84	22,17	
425 µm	No.40	99,33	516,05	19,61	18,39	10' - 25
300 µm	No.50	89,76	605,81	23,03	14,98	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	112,45	718,26	27,30	10,71	
75 µm	No.200	169,24	887,50	33,73	4,28	2' - 12
Pasa 75 µm		112,50	112,50	4,28		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT =	A-1-a

Figura 4.2 Gráfica Granulometría Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



#### 4.1.2 Granulometría Base clase 2

Tabla 4.3 Granulometría Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% que pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	
25,40mm	1'	0	0	0,00	100,00	100
19,00mm	¾'	1455	1455	10,90	89,10	70 - 100
12,70mm	½'	1022	2477	18,55	81,45	
9,50mm	⅜'	854	3331	24,95	75,05	50 - 80
4,75mm	No.4	3789	7120	53,33	46,67	35 - 65
pasa 4,75mm		6231	6231	46,67		
Total		13351			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	46,67	
2,36mm	No.8	177,22	177,22	8,27	38,40	
2,00mm	No.10	106,76	283,98	13,25	33,42	25 - 50
1,68mm	No.16	93,21	377,19	17,60	29,07	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	89,52	466,71	21,78	24,89	
425 µm	No.40	78,23	544,94	25,43	21,24	15 - 30
300 µm	No.50	55,77	600,71	28,04	18,64	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	81,43	682,14	31,84	14,83	
75 µm	No.200	130,29	812,43	37,92	8,75	3' - 15
Pasa 75 µm		187,57	187,57	8,75		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS	GP - GW
AASHTO	A-1-a

Figura 4.3 Gráfica Granulometría Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

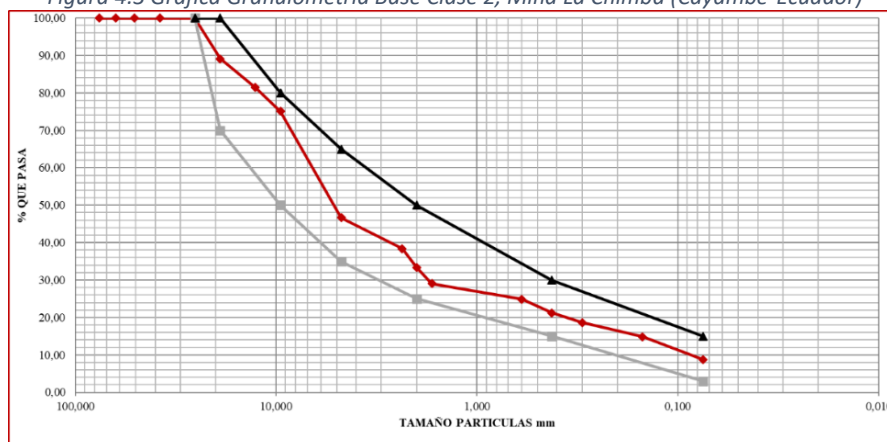
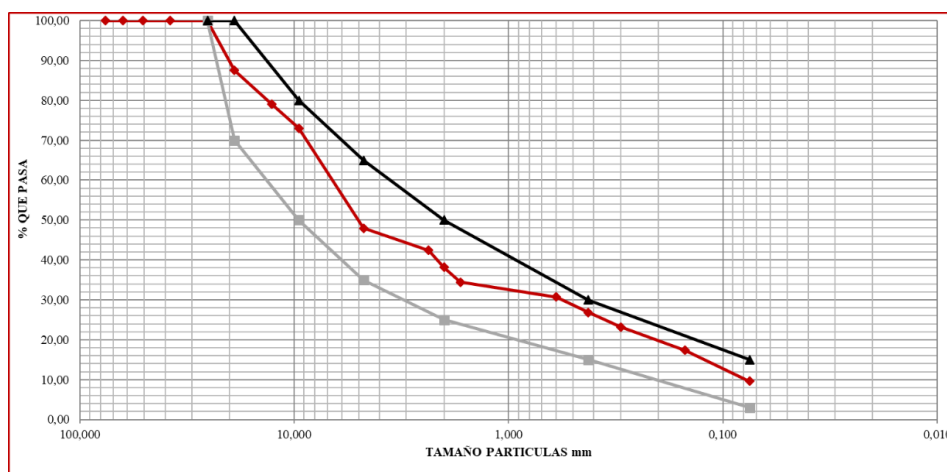


Tabla 4.4 Granulometría Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Pcumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	
25,40mm	1'	0	0	0,00	100,00	100
19,00mm	¾'	1192	1192	12,49	87,51	70 - 100
12,70mm	½'	814	2006	21,01	78,99	
9,50mm	⅜'	566	2572	26,94	73,06	50 - 80
4,75mm	No.4	2398	4970	52,06	47,94	35 - 65
pasa 4,75mm		4577	4577	47,94		
Total		9547			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	47,94	
2,36mm	No.8	115,56	115,56	5,54	42,40	
2,00mm	No.10	88,42	203,98	9,78	38,16	25 - 50
1,68mm	No.16	77,31	281,29	13,49	34,46	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	77,72	359,01	17,21	30,73	
425 µm	No.40	80,33	439,34	21,06	26,88	15 - 30
300 µm	No.50	77,31	516,65	24,77	23,17	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	121,29	637,94	30,58	17,36	
75 µm	No.200	160,98	798,92	38,30	9,64	3' - 15
Pasa 75 µm		201,08	201,08	9,64		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.4 Gráfica Granulometría Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



#### 4.1.3 Granulometría Base clase 3

Tabla 4.5 Granulometría Base clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	
25,40mm	1'	0	0	0,00	100,00	
19,00mm	¾'	0	0	0,00	100,00	100,00
12,70mm	½'	978	978	5,81	94,19	
9,50mm	⅜'	1234	2212	13,15	86,85	
4,75mm	No.4	5673	7885	46,88	53,12	45 - 80
pasa 4,75mm		8935	8935	53,12		
Total		16820			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	53,12	
2,36mm	No.8	171,07	171,07	9,09	44,03	
2,00mm	No.10	123,54	294,61	15,65	37,47	30 - 60
1,68mm	No.16	96,72	391,33	20,79	32,33	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	109,76	501,09	26,62	26,50	
425 µm	No.40	58,32	559,41	29,72	23,40	20 - 35
300 µm	No.50	64,33	623,74	33,13	19,99	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	120,76	744,50	39,55	13,57	
75 µm	No.200	136,74	881,24	46,81	6,31	3' - 15
Pasa 75 µm		118,76	118,76	6,31		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.5 Gráfica Granulometría Base clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

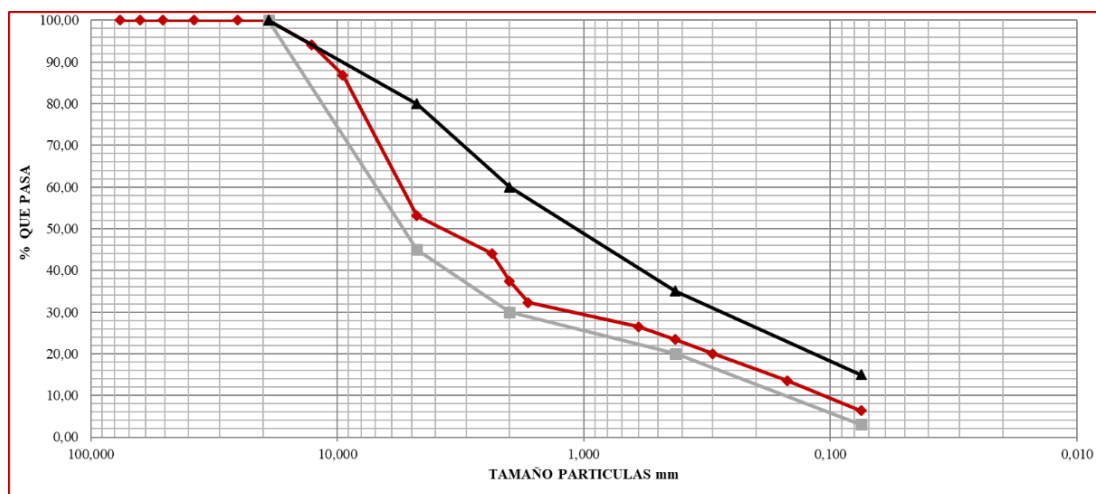
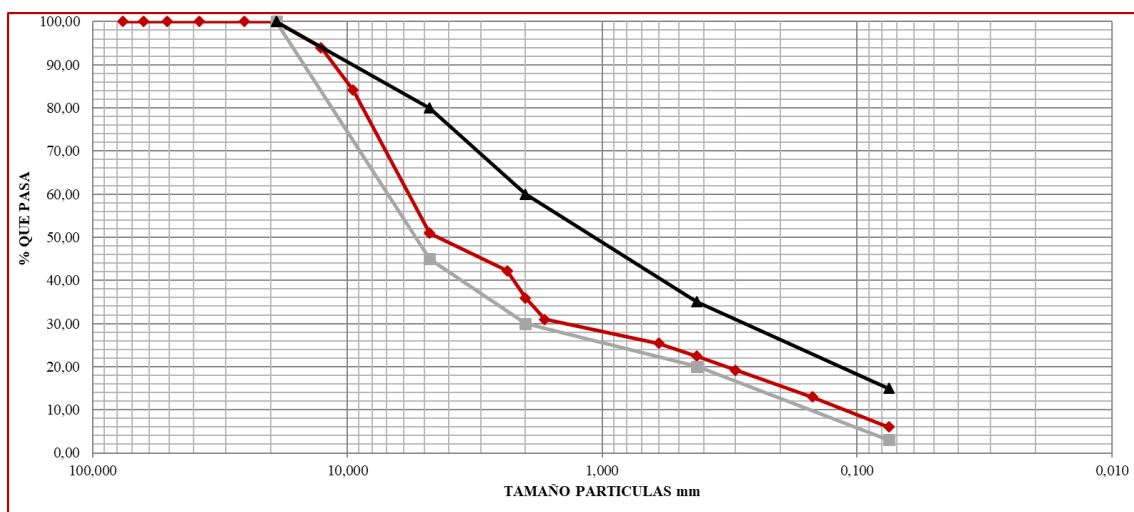


Tabla 4.6 Granulometría Base clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	
25,40mm	1'	0	0	0,00	100,00	
19,00mm	¾'	0	0	0,00	100,00	100,00
12,70mm	½'	1150	1150	6,01	93,99	
9,50mm	¾'	1892	3042	15,90	84,10	
4,75mm	No.4	6345	9387	49,07	50,93	45 - 80
pasa 4,75mm		9742	9742	50,93		
Total		19129			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	50,93	
2,36mm	No.8	171,07	171,07	8,71	42,22	
2,00mm	No.10	123,54	294,61	15,00	35,92	30 - 60
1,68mm	No.16	96,72	391,33	19,93	31,00	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	109,76	501,09	25,52	25,41	
425 µm	No.40	58,32	559,41	28,49	22,44	20 - 35
300 µm	No.50	64,33	623,74	31,77	19,16	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	120,76	744,50	37,92	13,01	
75 µm	No.200	136,74	881,24	44,88	6,05	3' - 15
Pasa 75 µm		209,66	209,66	10,68		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.6 Gráfica Granulometría Base clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



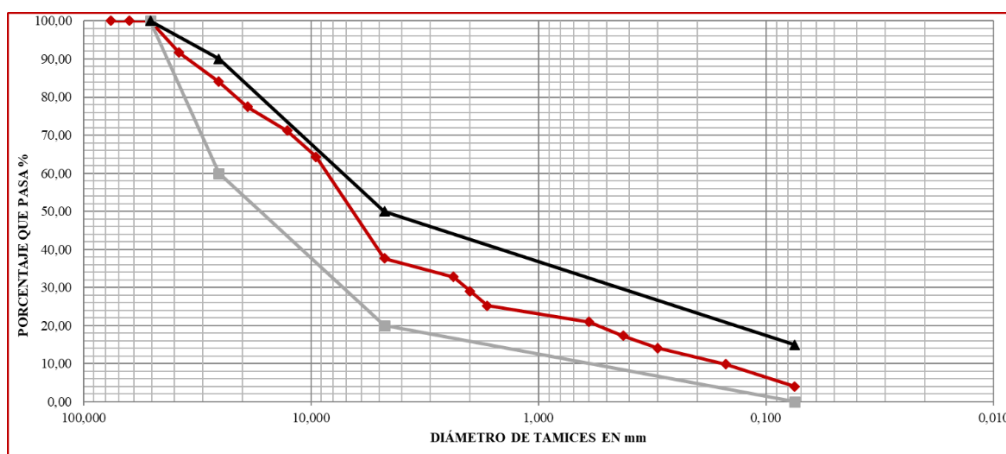
#### 4.1.4 Granulometría Base clase 4

Tabla 4.7 Granulometría Base clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	2034	2034	8,29	91,71	
25,40mm	1'	1875	3909	15,92	84,08	60 - 90
19,00mm	¾'	1622	5531	22,53	77,47	
12,70mm	½'	1541	7072	28,81	71,19	
9,50mm	⅜'	1678	8750	35,64	64,36	
4,75mm	No.4	6564	15314	62,38	37,62	20 - 50
pasa 4,75mm		9234	9234	37,62		
Total		24548			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	37,62	
2,36mm	No.8	127,65	127,65	4,80	32,81	
2,00mm	No.10	99,77	227,42	8,55	29,06	
1,68mm	No.16	102,31	329,73	12,40	25,21	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	112,56	442,29	16,64	20,98	
425 µm	No.40	98,08	540,37	20,33	17,29	
300 µm	No.50	85,07	625,44	23,53	14,09	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	112,01	737,45	27,74	9,88	
75 µm	No.200	154,67	892,12	33,56	4,06	0' - 15
Pasa 75 µm		107,88	107,88	4,06		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.7 Gráfica Granulometría Base clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

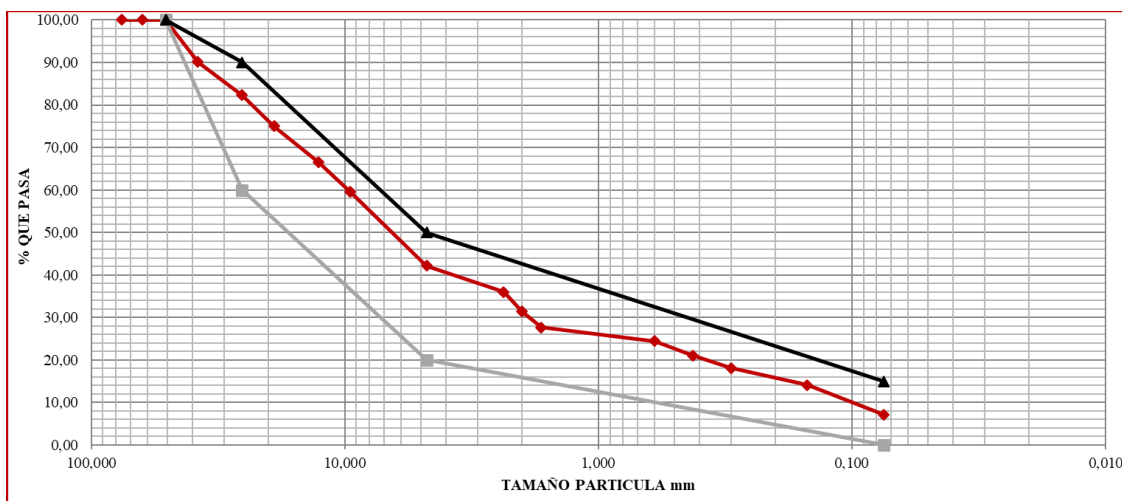


4.8 Granulometría Base clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%		% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	1329	1329	9,87	90,13	
25,40mm	1'	1056	2385	17,71	82,29	60 - 90
19,00mm	¾'	984	3369	25,01	74,99	
12,70mm	½'	1127	4496	33,38	66,62	
9,50mm	⅜'	953	5449	40,46	59,54	
4,75mm	No.4	2345	7794	57,87	42,13	20 - 50
pasa 4,75mm		5674	5674	42,13		
Total		13468			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	42,13	
2,36mm	No.8	145,67	145,67	6,14	35,99	
2,00mm	No.10	108,65	254,32	10,71	31,42	
1,68mm	No.16	88,77	343,09	14,45	27,68	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	76,44	419,53	17,67	24,45	
425 µm	No.40	80,34	499,87	21,06	21,07	
300 µm	No.50	69,89	569,76	24,00	18,13	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	96,42	666,18	28,07	14,06	
75 µm	No.200	164,15	830,33	34,98	7,15	0' - 15
Pasa 75 µm		169,67	169,67	7,15		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.8 Gráfica Granulometría Base clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



#### 4.1.5 Granulometría Subbase clase 1

Tabla 4.9 Granulometría Subbase clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	100
25,40mm	1'	1456	1456	10,94	89,06	
19,00mm	¾'	978	2434	18,29	81,71	
12,70mm	½'	743	3177	23,87	76,13	
9,50mm	⅜'	1223	4400	33,06	66,94	
4,75mm	No.4	2789	7189	54,01	45,99	30 - 70
pasa 4,75mm		6121	6121	45,99		
Total		13310			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	45,99	
2,36mm	No.8	120,91	120,91	5,56	40,43	
2,00mm	No.10	86,77	207,68	9,55	36,44	
1,68mm	No.16	70,32	278,00	12,78	33,20	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	74,33	352,33	16,20	29,79	
425 µm	No.40	59,82	412,15	18,95	27,03	10' - 35
300 µm	No.50	93,44	505,59	23,25	22,74	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	154,32	659,91	30,35	15,64	
75 µm	No.200	190,18	850,09	39,09	6,89	0' - 15
Pasa 75 µm		149,91	149,91	6,89		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.9 Gráfica Granulometría Subbase clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

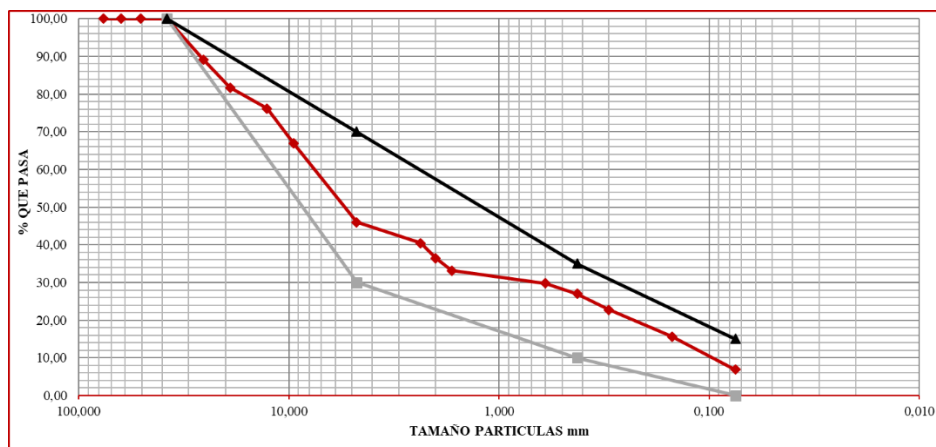
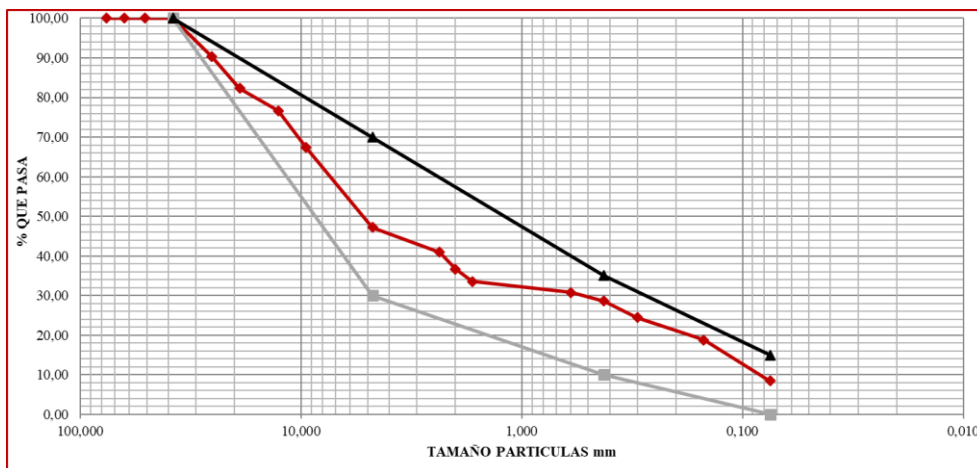


Tabla 4.10 Granulometría Subbase clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% que pasa
		parcial	acumulado	Retenido	que pasa	especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	
38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	100
25,40mm	1'	1511	1511	9,72	90,28	
19,00mm	¾'	1233	2744	17,65	82,35	
12,70mm	½'	879	3623	23,31	76,69	
9,50mm	⅜'	1456	5079	32,67	67,33	
4,75mm	No.4	3122	8201	52,75	47,25	30 - 70
pasa 4,75mm		7345	7345	47,25		
Σ		15546			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	47,25	
2,36mm	No.8	133,37	133,37	6,30	40,95	
2,00mm	No.10	90,24	223,61	10,56	36,68	
1,68mm	No.16	66,43	290,04	13,70	33,54	
850 μm	No.20					
600 μm	No.30	58,92	348,96	16,49	30,76	
425 μm	No.40	45,33	394,29	18,63	28,62	10' - 35
300 μm	No.50	88,12	482,41	22,79	24,45	
250 μm	No.60					
150 μm	No.100	119,19	601,60	28,42	18,82	
75 μm	No.200	219,12	820,72	38,78	8,47	0' - 15
Pasa 75 μm		179,28	179,28	8,47		
Σ		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS	GP - GW
AASHTO	A-1-a

Figura 4.10 Gráfica Granulometría Subbase clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



#### 4.1.6 Granulometría Subbase clase 2

Tabla 4.11 Granulometría Subbase clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	1233	1233	6,62	93,38	70 - 100
25,40mm	1'	951	2184	11,72	88,28	
19,00mm	¾'	1121	3305	17,74	82,26	
12,70mm	½'	867	4172	22,39	77,61	
9,50mm	⅜'	692	4864	26,11	73,89	
4,75mm	No.4	4534	9398	50,44	49,56	30 - 70
pasa 4,75mm		9233	9233	49,56		
Total		18631			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	49,56	
2,36mm	No.8	120,21	120,21	5,96	43,60	
2,00mm	No.10	106,54	226,75	11,24	38,32	
1,68mm	No.16	93,23	319,98	15,86	33,70	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	102,43	422,41	20,93	28,62	
425 µm	No.40	66,32	488,73	24,22	25,34	15 - 40
300 µm	No.50	77,34	566,07	28,05	21,50	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	127,65	693,72	34,38	15,18	
75 µm	No.200	137,21	830,93	41,18	8,38	0' - 20
Pasa 75 µm		169,07	169,07	8,38		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.11 Gráfica Granulometría Subbase clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

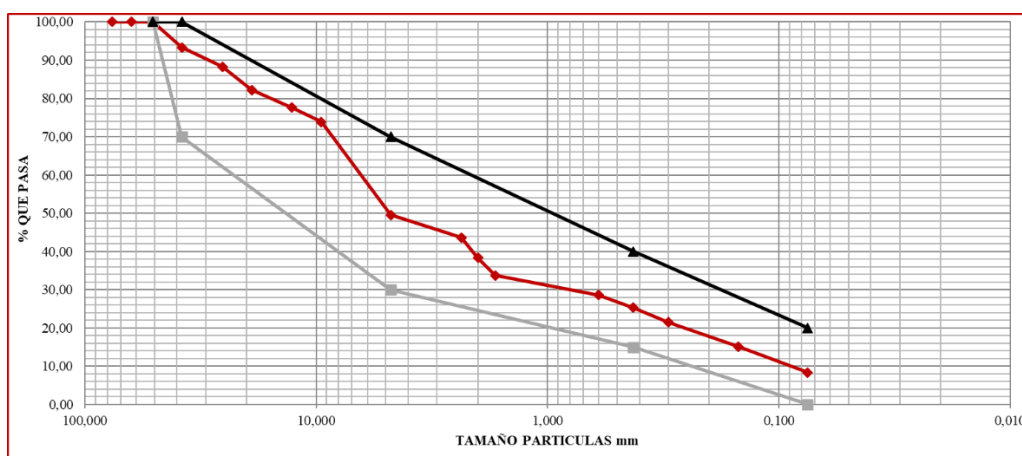
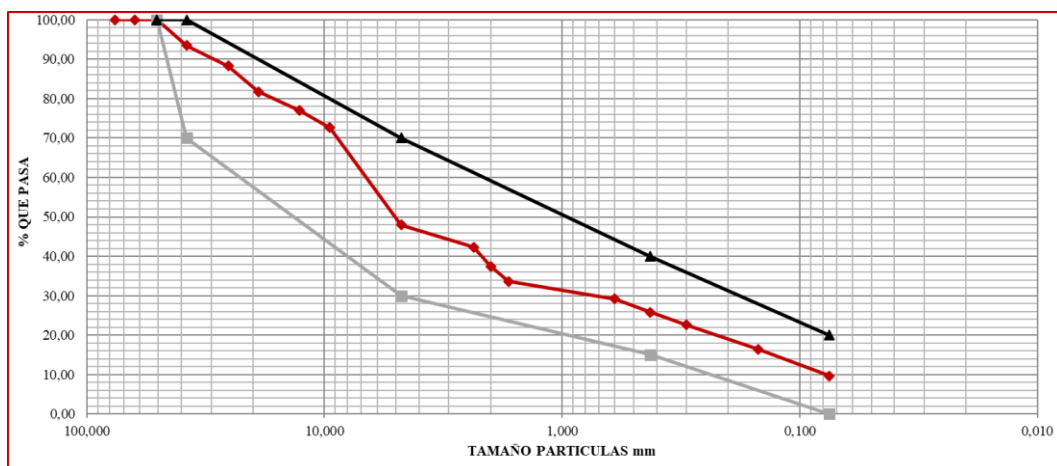


Tabla 4.12 Granulometría Subbase clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
50,80mm	2'	0	0	0,00	100,00	100
38,00mm	1½'	1343	1343	6,52	93,48	70 - 100
25,40mm	1'	1065	2408	11,69	88,31	
19,00mm	¾'	1342	3750	18,20	81,80	
12,70mm	½'	991	4741	23,01	76,99	
9,50mm	⅜'	898	5639	27,36	72,64	
4,75mm	No.4	5077	10716	52,00	48,00	30 - 70
pasa 4,75mm		9891	9891	48,00		
Total		20607			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	48,00	
2,36mm	No.8	119,19	119,19	5,72	42,28	
2,00mm	No.10	99,76	218,95	10,51	37,49	
1,68mm	No.16	80,34	299,29	14,37	33,63	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	92,28	391,57	18,79	29,20	
425 µm	No.40	70,45	462,02	22,18	25,82	15 - 40
300 µm	No.50	67,43	529,45	25,41	22,59	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	127,65	657,10	31,54	16,46	
75 µm	No.200	141,87	798,97	38,35	9,65	0' - 20
Pasa 75 µm		201,03	201,03	9,65		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS	GP - GW
AASHTO	A-1-a

Figura 4.12 Gráfica Granulometría Subbase clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



#### 4.1.7 Granulometría Subbase clase 3

Tabla 4.13 Granulometría Subbase clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRÍA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado	Retenido	Calculado	Especificado
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	100
63,00mm	2½'	892	892	4,20	95,80	
50,80mm	2'	636	1528	7,20	92,80	
38,00mm	1½'	1144	2672	12,58	87,42	
25,40mm	1'	924	3596	16,93	83,07	
19,00mm	¾'	1345	4941	23,27	76,73	
12,70mm	½'	1166	6107	28,76	71,24	
9,50mm	⅜'	993	7100	33,44	66,56	
4,75mm	No.4	3789	10889	51,28	48,72	30 -70
pasa 4,75mm		10346	10346	48,72		
Total		21235			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	48,72	
2,36mm	No.8	133,76	133,76	6,52	42,20	
2,00mm	No.10	99,56	233,32	11,37	37,35	
1,68mm	No.16	88,23	321,55	15,67	33,06	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	90,42	411,97	20,07	28,65	
425 µm	No.40	78,61	490,58	23,90	24,82	
300 µm	No.50	88,32	578,90	28,20	20,52	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	118,89	697,79	34,00	14,72	
75 µm	No.200	152,36	850,15	41,42	7,30	0' - 20
Pasa 75 µm		149,85	149,85	7,30		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS =	GP - GW
AASHT=	A-1-a

Figura 4.13 Gráfica Granulometría Subbase clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

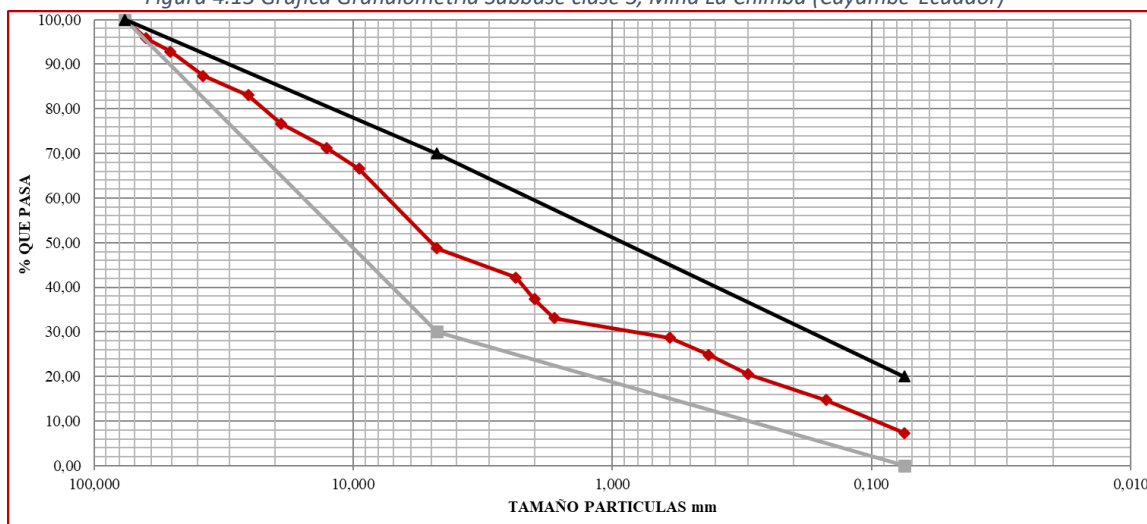
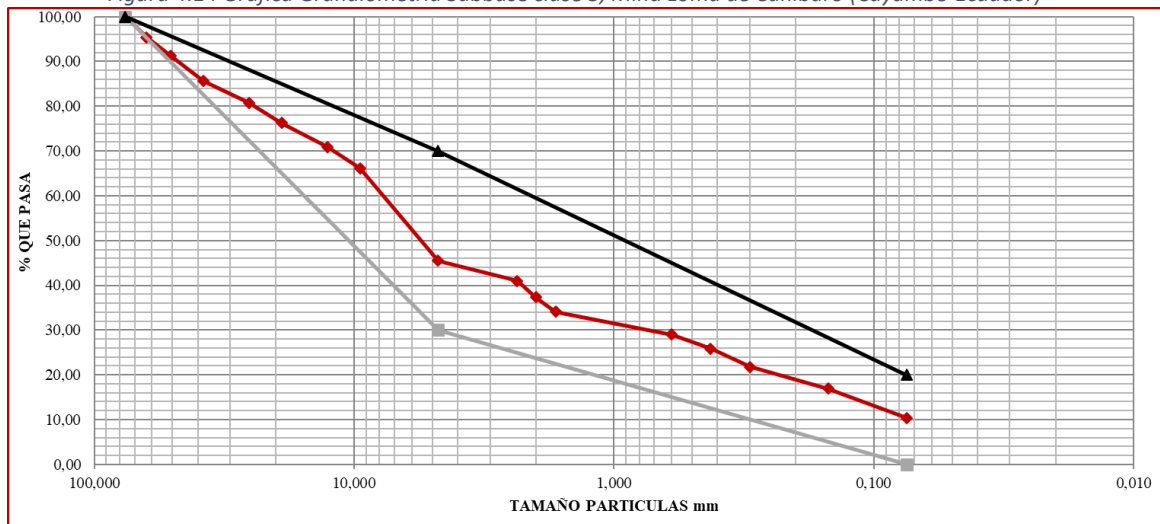


Tabla 4.14 Granulometría Subbase clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

GRANULOMETRIA						
TAMIZ		MASA RETENIDA		%	%	% Pasa
		Parcial	Acumulado			
76,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	100
63,00mm	2½'	1098	1098	4,63	95,37	
50,80mm	2'	976	2074	8,75	91,25	
38,00mm	1½'	1332	3406	14,37	85,63	
25,40mm	1'	1154	4560	19,24	80,76	
19,00mm	¾'	1065	5625	23,73	76,27	
12,70mm	½'	1277	6902	29,12	70,88	
9,50mm	⅜'	1122	8024	33,85	66,15	
4,75mm	No.4	4896	12920	54,51	45,49	30 - 70
pasa 4,75mm		10782	10782	45,49		
Total		23702			FINOS	
4,75mm	No.4	0	0,00	0,00	45,49	
2,36mm	No.8	98,76	98,76	4,49	41,00	
2,00mm	No.10	80,54	179,30	8,16	37,33	
1,68mm	No.16	70,34	249,64	11,36	34,13	
850 µm	No.20					
600 µm	No.30	112,36	362,00	16,47	29,02	
425 µm	No.40	69,14	431,14	19,61	25,88	
300 µm	No.50	90,45	521,59	23,73	21,76	
250 µm	No.60					
150 µm	No.100	105,56	627,15	28,53	16,96	
75 µm	No.200	143,8	770,95	35,07	10,42	0' - 20
Pasa 75 µm		229,05	229,05	10,42		
Total		1000,00				

CLASIFICACIÓN:	
SUCS	GP - GW
AASHTO	A-1-a

Figura 4.14 Gráfica Granulometría Subbase clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



## 4.2 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

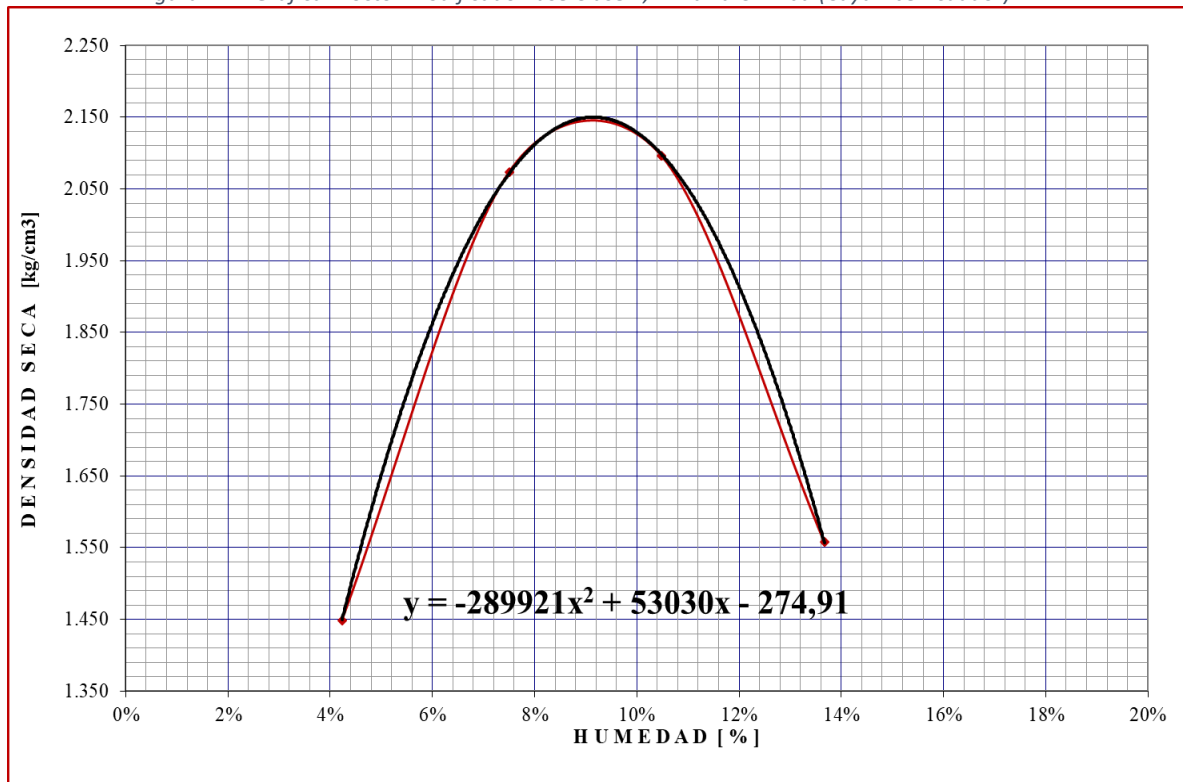
### 4.2.1 Proctor Modificado Base Clase 1

#### 1.1.1.

Tabla 4.15 Proctor Modificado Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD										
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA					
5	56	10 lb	18"		6000 g					
MUESTRA		1	2	3	4					
Molde No.		A	A	A	A					
Agua aumentada	cc	0	180	360	540					
	%	0	3	6	9					
Peso suelo húmedo + molde		A	9.678	11.212	11.397		10.234			
Peso del molde		B	6.457	6.457	6.457		6.457			
Peso suelo húmedo		C=A-B	3.221	4.755	4.940		3.777			
Volumen del molde		D	2.133	2.133	2.133		2.133			
Densidad húmeda		E=C/D	1.510	2.229	2.316		1.771			
Tarro No.		ML-32	ML-14	ML-8	ML-20	ML-7	ML-39	ML-2	ML-40	
Tarro + suelo húmedo		F	77,34	80,32	74,56	69,89	72,33	60,34	88,67	55,79
Tarro + suelo seco		G	74,65	77,98	70,77	66,23	67,14	55,78	80,56	50,23
Peso de agua		H=F-G	2,69	2,34	3,79	3,66	5,19	4,56	8,11	5,56
Peso del tarro		I	14,40	19,40	19,10	18,50	18,80	11,20	20,40	10,10
Peso del suelo seco		J=G-I	60,25	58,58	51,67	47,73	48,34	44,58	60,16	40,13
Contenido de agua		K=H/J	4,46%	3,99%	7,34%	7,67%	10,74%	10,23%	13,48%	13,85%
Contenido de agua promedio		L	4,23%		7,50%		10,48%		13,67%	
Densidad seca		M	1,449		2,074		2,096		1,558	

Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

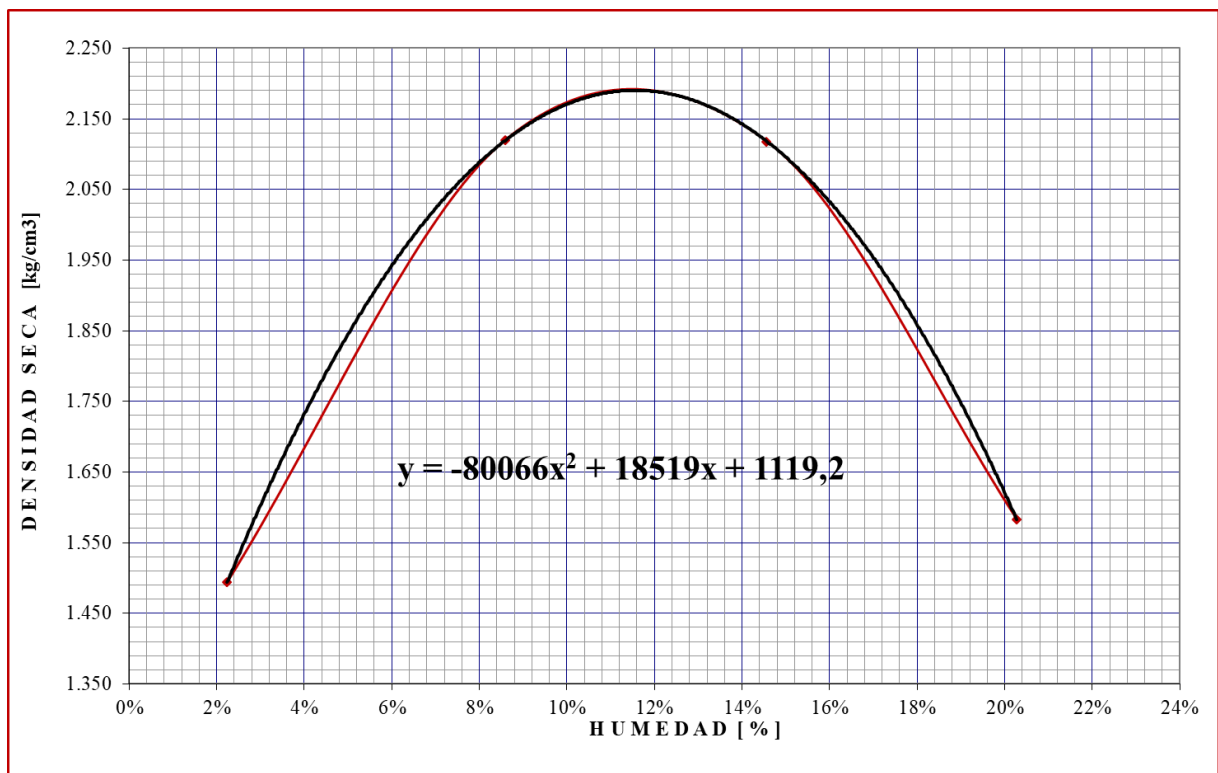


Densidad Máxima:	2.150 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	9,15%
------------------	--------------------------	-----------------	-------

Tabla 4.16 Proctor Modificado Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA					
5	56	10 lb	18"	6000 g					
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		360		720		1.080	
	%	0		6		12		18	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.098		10.678		10.932		9.865	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3.118		4.698		4.952		3.885	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.528		2.302		2.426		1.903	
Tarro No.		AB	C-20	176	T41	C-15	ML-43	C27	10
Tarro + suelo húmedo	F	47,95	50,60	51,44	54,52	92,90	72,22	80,76	86,45
Tarro + suelo seco	G	47,12	49,90	48,44	50,98	83,33	65,65	69,11	73,98
Peso de agua	H=F-G	0,83	0,70	3,00	3,54	9,57	6,57	11,65	12,47
Peso del tarro	I	12,20	16,70	12,01	11,41	18,15	20,14	12,00	12,11
Peso del suelo seco	J=G-I	34,92	33,20	36,43	39,57	65,18	45,51	57,11	61,87
Contenido de agua	K=H/J	2,38%	2,11%	8,23%	8,95%	14,68%	14,44%	20,40%	20,16%
Contenido de agua promedio	L	2,24%		8,59%		14,56%		20,28%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M	1.494	2.120		2.118		1.583	

Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 1, Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



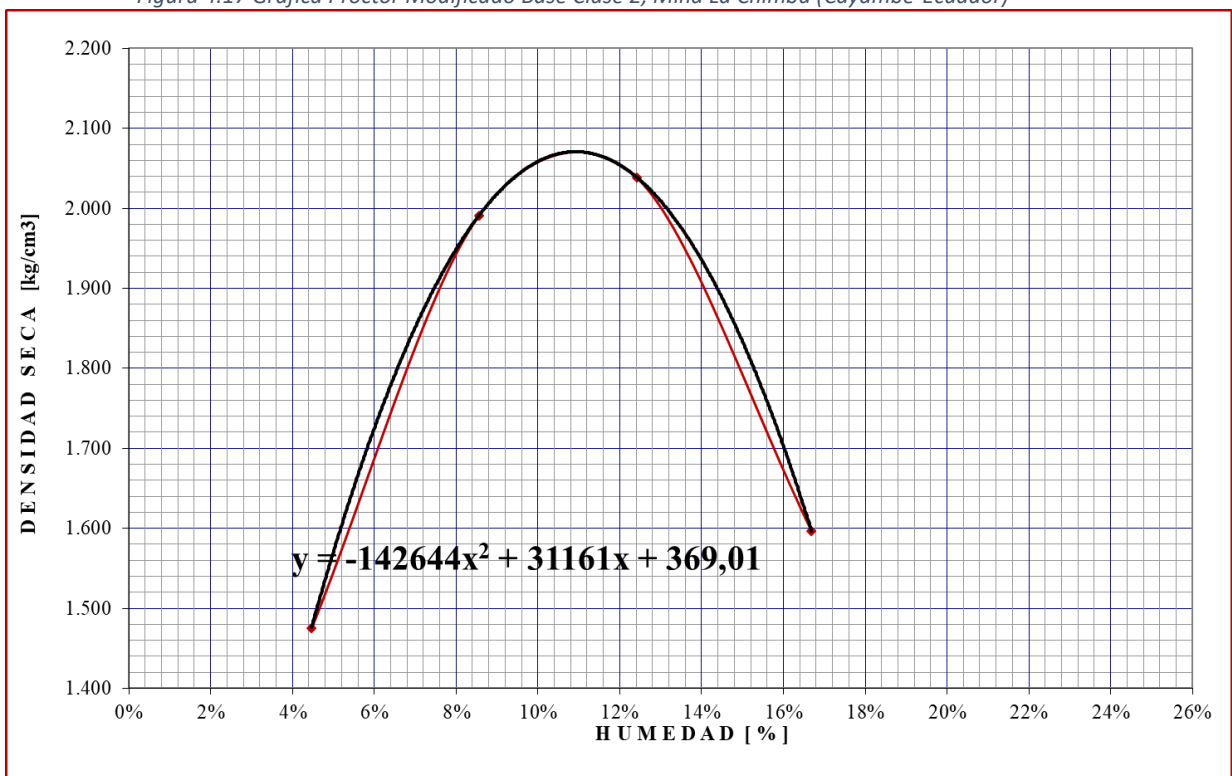
Densidad Máxima:	2.190 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	11,56%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.2 Proctor Modificado Base Clase 2

Tabla 4.17 Proctor Modificado Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		240		480		720	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.574		10.845		11.112		10.233	
Peso del molde	B	6.414		6.414		6.414		6.414	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3.160		4.431		4.698		3.819	
Volumen del molde	D	2.050		2.050		2.050		2.050	
Densidad húmeda	E=C/D	1.541		2.161		2.292		1.863	
Tarro No.		C-15	C-20	C-14	ML-43	C-17	DS-1	SD-2	M-3
Tarro + suelo húmedo	F	80,03	74,41	85,66	92,43	95,69	90,77	90,12	86,54
Tarro + suelo seco	G	77,23	72,09	80,65	86,49	87,24	83,00	79,98	77,00
Peso de agua	H=F-G	2,80	2,32	5,01	5,94	8,45	7,77	10,14	9,54
Peso del tarro	I	18,15	16,70	19,20	20,14	20,16	19,44	20,04	19,05
Peso del suelo seco	J=G-I	59,08	55,39	61,45	66,35	67,08	63,56	59,94	57,95
Contenido de agua	K=H/J	4,74%	4,19%	8,15%	8,95%	12,60%	12,22%	16,92%	16,46%
Contenido de agua promedio	L	4,46%		8,55%		12,41%		16,69%	
Densidad seca	M	1.476		1.991		2.039		1.596	

Figura 4.17 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)



Densidad Máxima:	2.071 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,92%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.18 Proctor Modificado Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa		Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA		
5	56		10 lb		18"		6000 g		
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		240		480		840	
	%	0		4		8		14	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.234		10.798		11.159		9.789	
Peso del molde	B	6.414		6.414		6.414		6.414	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.820		4.384		4.745		3.375	
Volumen del molde	D	2.050		2.050		2.050		2.050	
Densidad húmeda	E=C/D	1.376		2.139		2.315		1.646	
Tarro No.		SA	3	18	RX	176	T41	10	HA
Tarro + suelo húmedo	F	61,82	52,29	57,36	61,01	60,93	61,43	61,61	58,64
Tarro + suelo seco	G	59,88	50,67	53,91	57,00	55,45	55,98	54,02	51,56
Peso de agua	H=F-G	1,94	1,62	3,45	4,01	5,48	5,45	7,59	7,08
Peso del tarro	I	11,78	11,29	11,98	11,12	12,01	11,44	12,11	12,11
Peso del suelo seco	J=G-I	48,10	39,38	41,93	45,88	43,44	44,54	41,91	39,45
Contenido de agua	K=H/J	4,03%	4,11%	8,23%	8,74%	12,62%	12,24%	18,11%	17,95%
Contenido de agua promedio	L	4,07%		8,48%		12,43%		18,03%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M	1.322	1.971	2.059	1.395			

Figura 4.18 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe)



Densidad Máxima:	2.081 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	11,23%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.3 Proctor Modificado Base Clase 3

Tabla 4.19 Proctor Modificado Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA				
5	56	10 lb	18"		6000 g				
MUESTRA		1	2	3	4				
Molde No.		A	A	A	A				
Agua aumentada	cc	0	240	480	720				
	%	0	4	8	12				
Peso suelo húmedo + molde		A	9.509	10.932	10.988	9.765			
Peso del molde		B	6.457	6.457	6.457	6.457			
Peso suelo húmedo		C=A-B	3.052	4.475	4.531	3.308			
Volumen del molde		D	2.133	2.133	2.133	2.133			
Densidad húmeda		E=C/D	1.431	2.098	2.124	1.551			
Tarro No.		ML-12	ML-22	ML-38	ML-16	ML-17	ML-9	ML-41	ML-14
Tarro + suelo húmedo	F	93,11	64,52	55,79	84,48	90,22	94,55	66,33	90,69
Tarro + suelo seco	G	90,13	62,55	52,34	79,34	82,45	86,08	59,03	80,76
Peso de agua	H=F-G	2,98	1,97	3,45	5,14	7,77	8,47	7,30	9,93
Peso del tarro	I	19,40	14,50	10,70	20,20	19,50	20,20	15,20	19,40
Peso del suelo seco	J=G-I	70,73	48,05	41,64	59,14	62,95	65,88	43,83	61,36
Contenido de agua	K=H/J	4,21%	4,10%	8,29%	8,69%	12,34%	12,86%	16,66%	16,18%
Contenido de agua promedio	L	4,16%		8,49%		12,60%		16,42%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M	1.374	1.934	1.887	1.887	1.332		

Figura 4.19 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

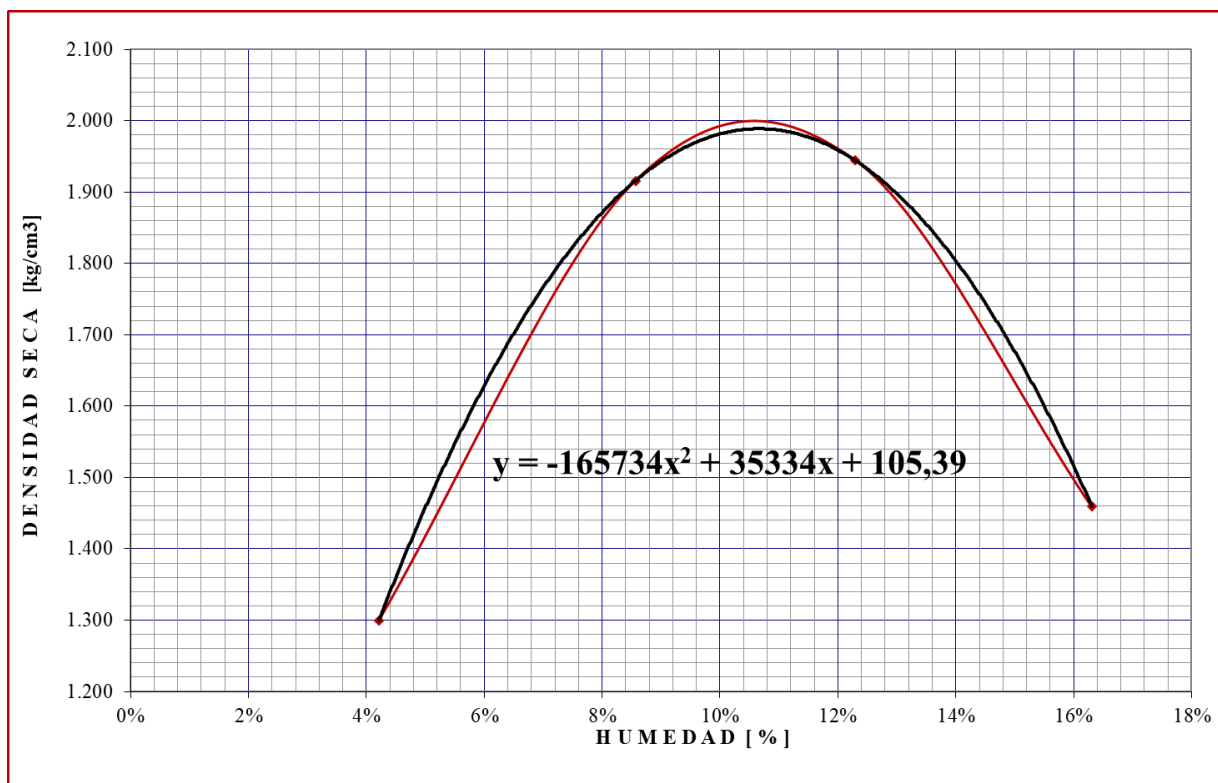


Densidad Máxima:	1.983 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,19%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.20 Proctor Modificado Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		240		480		720	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde		A		10.678		10.891		9.894	
Peso del molde		B		6.414		6.414		6.414	
Peso suelo húmedo		C=A-B		4.264		4.477		3.480	
Volumen del molde		D		2.050		2.050		2.050	
Densidad húmeda		E=C/D		2.080		2.184		1.698	
Tarro No.		MA	A9	DI	345	C27	ID	201	I
Tarro + suelo húmedo		F	40,67	46,43	58,28	56,68	54,14	56,38	53,76
Tarro + suelo seco		G	39,54	45,01	54,78	53,00	49,49	51,56	47,98
Peso de agua		H=F-G	1,13	1,42	3,50	3,68	4,65	4,82	5,78
Peso del tarro		I	12,11	12,00	12,08	11,84	11,98	12,01	12,08
Peso del suelo seco		J=G-I	27,43	33,01	42,70	41,16	37,51	39,55	35,90
Contenido de agua		K=H/J	4,12%	4,30%	8,20%	8,94%	12,40%	12,19%	16,10%
Contenido de agua promedio		L	4,21%		8,57%		12,29%		16,31%
Densidad seca		M	1.299		1.916		1.945		1.460

Figura 4.20 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



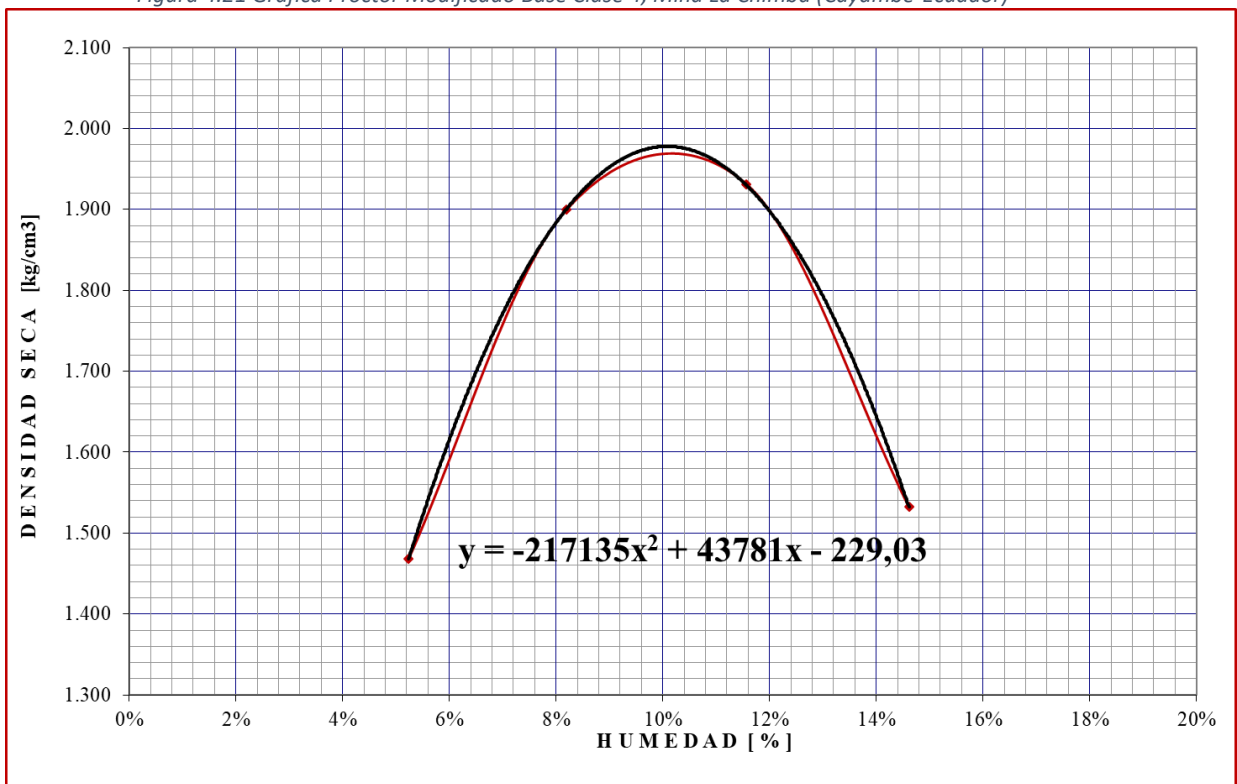
Densidad Máxima:	1.989 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,66%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.4 Proctor Modificado Base Clase 4

Tabla 4.21 Proctor Modificado Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		180		360		540	
	%	0		3		6		9	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.134		10.176		10.377		9.564	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	3.154		4.196		4.397		3.584	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.545		2.056		2.154		1.756	
Tarro No.		B19	D31	B32	B21	M11	D17	B22	B26
Tarro + suelo húmedo	F	78,19	70,65	66,69	77,17	60,50	64,44	77,34	79,81
Tarro + suelo seco	G	75,23	67,67	63,00	72,43	55,56	59,09	69,77	71,67
Peso de agua	H=F-G	2,96	2,98	3,69	4,74	4,94	5,35	7,57	8,14
Peso del tarro	I	16,06	13,19	16,56	16,35	12,29	13,41	16,69	17,26
Peso del suelo seco	J=G-I	59,17	54,48	46,44	56,08	43,27	45,68	53,08	54,41
Contenido de agua	K=H/J	5,00%	5,47%	7,95%	8,45%	11,42%	11,71%	14,26%	14,96%
Contenido de agua promedio	L	5,24%		8,20%		11,56%		14,61%	
Densidad seca	M	1.468		1.900		1.931		1.532	

Figura 4.21 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

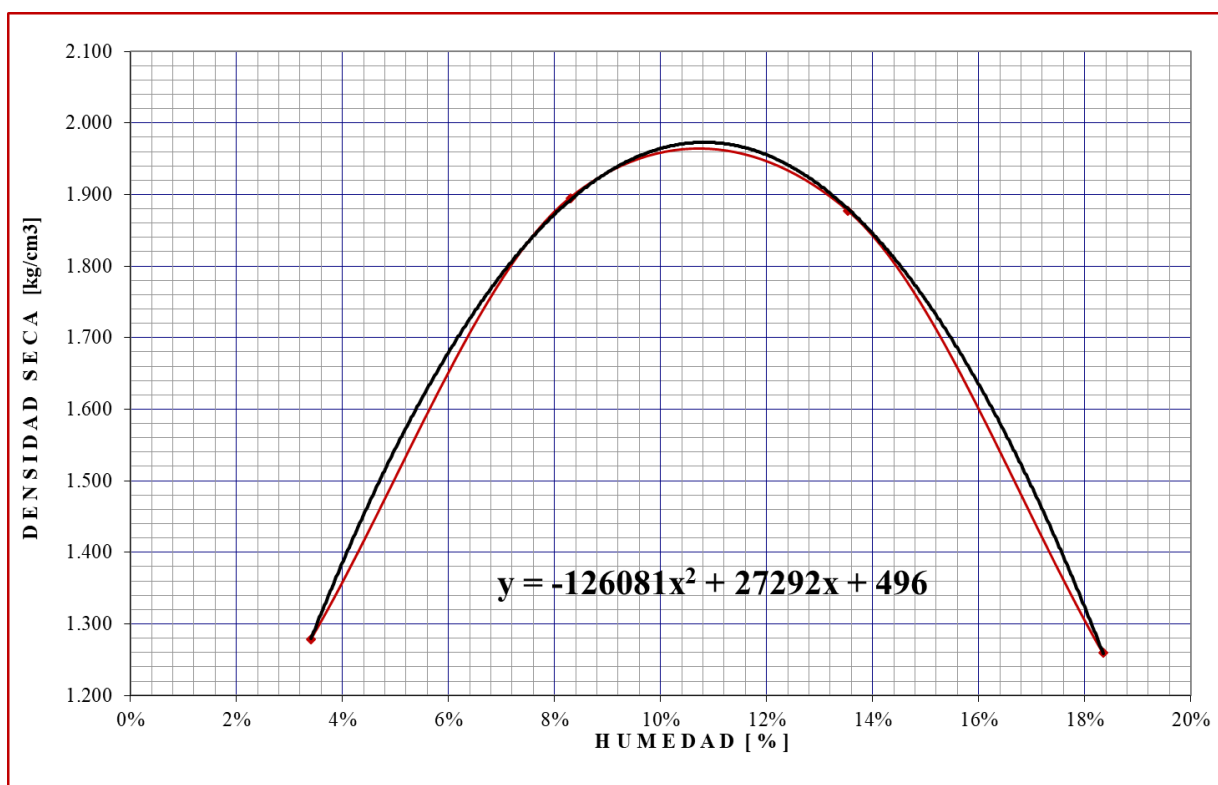


Densidad Máxima:	1.978 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,08%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.22 Proctor Modificado Base Clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		300		600		900	
	%	0		5		10		15	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.215		10.733		10.897		9.566	
Peso del molde	B	6.470		6.470		6.470		6.470	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.745		4.263		4.427		3.096	
Volumen del molde	D	2.077		2.077		2.077		2.077	
Densidad húmeda	E=C/D	1.322		2.052		2.131		1.491	
Tarro No.		74	2.500	SI	T41	SY	10	KG	RV
Tarro + suelo húmedo	F	42,06	46,14	45,24	45,50	45,33	44,02	49,60	50,55
Tarro + suelo seco	G	40,99	45,11	42,76	42,83	41,34	40,25	43,65	44,65
Peso de agua	H=F-G	1,07	1,03	2,48	2,67	3,99	3,77	5,95	5,90
Peso del tarro	I	11,98	12,11	12,10	11,44	12,16	12,11	11,76	11,95
Peso del suelo seco	J=G-I	29,01	33,00	30,66	31,39	29,18	28,14	31,89	32,70
Contenido de agua	K=H/J	3,69%	3,12%	8,09%	8,51%	13,67%	13,40%	18,66%	18,04%
Contenido de agua promedio	L	3,40%		8,30%		13,54%		18,35%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M		1.278		1.895		1.877	

Figura 4.22 Gráfica Proctor Modificado Base Clase 4, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



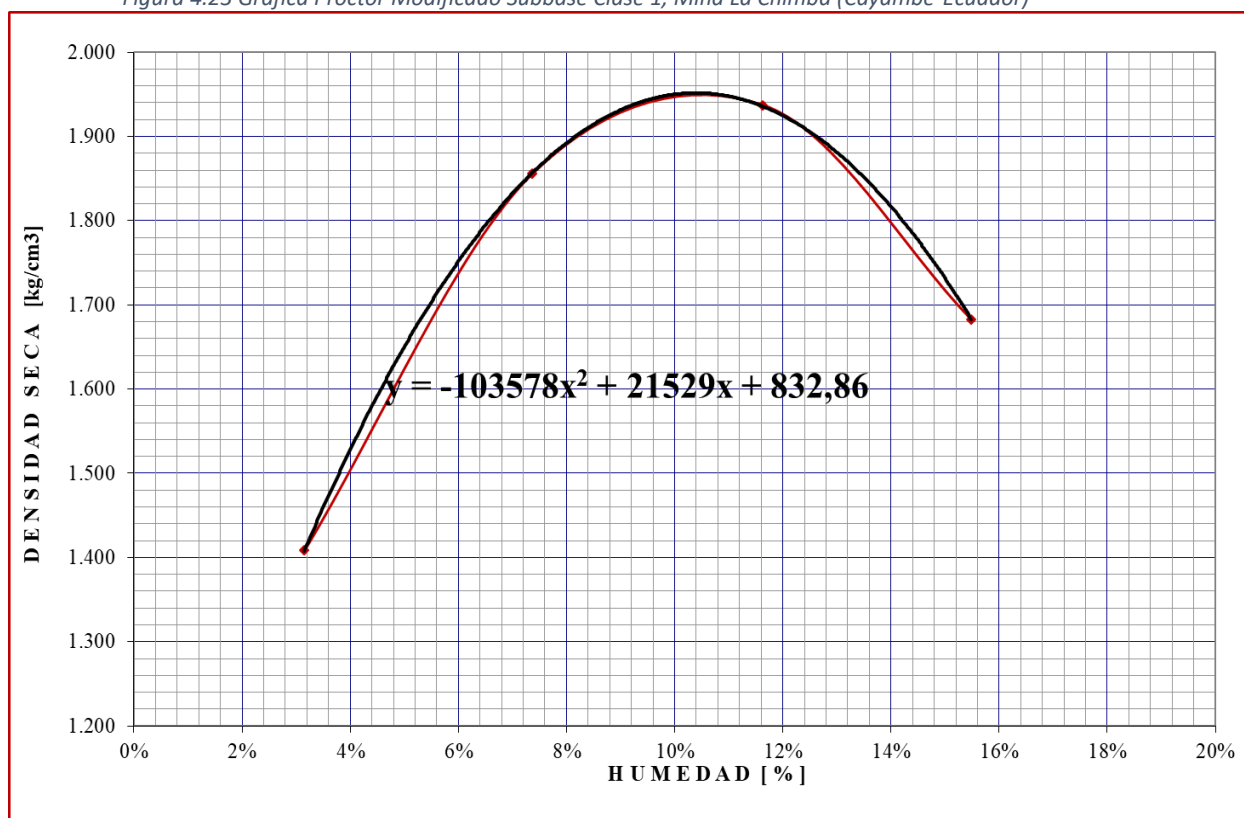
Densidad Máxima:	1.973 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,82%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.5 Proctor Modificado Subbase Clase 1

Tabla 4.23 Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA				
5	56	10 lb	18"		6000 g				
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		240		480		720	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.945		10.047		10.393		9.945	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.965		4.067		4.413		3.965	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.453		1.993		2.162		1.943	
Tarro No.		BA-37	D-36	B9	BC22	B10	M2	D38	M11
Tarro + suelo húmedo	F	59,77	63,44	77,23	70,65	80,22	60,61	79,54	63,44
Tarro + suelo seco	G	58,23	62,00	73,03	67,00	73,47	55,65	70,54	56,64
Peso de agua	H=F-G	1,54	1,44	4,20	3,65	6,75	4,96	9,00	6,80
Peso del tarro	I	12,13	13,29	16,93	16,69	16,70	12,00	13,39	11,99
Peso del suelo seco	J=G-I	46,10	48,71	56,10	50,31	56,77	43,65	57,15	44,65
Contenido de agua	K=H/J	3,34%	2,96%	7,49%	7,26%	11,89%	11,36%	15,75%	15,23%
Contenido de agua promedio	L	3,15%		7,37%		11,63%		15,49%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M		1.408		1.856		1.937	
				1.856		1.937		1.682	

Figura 4.23 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

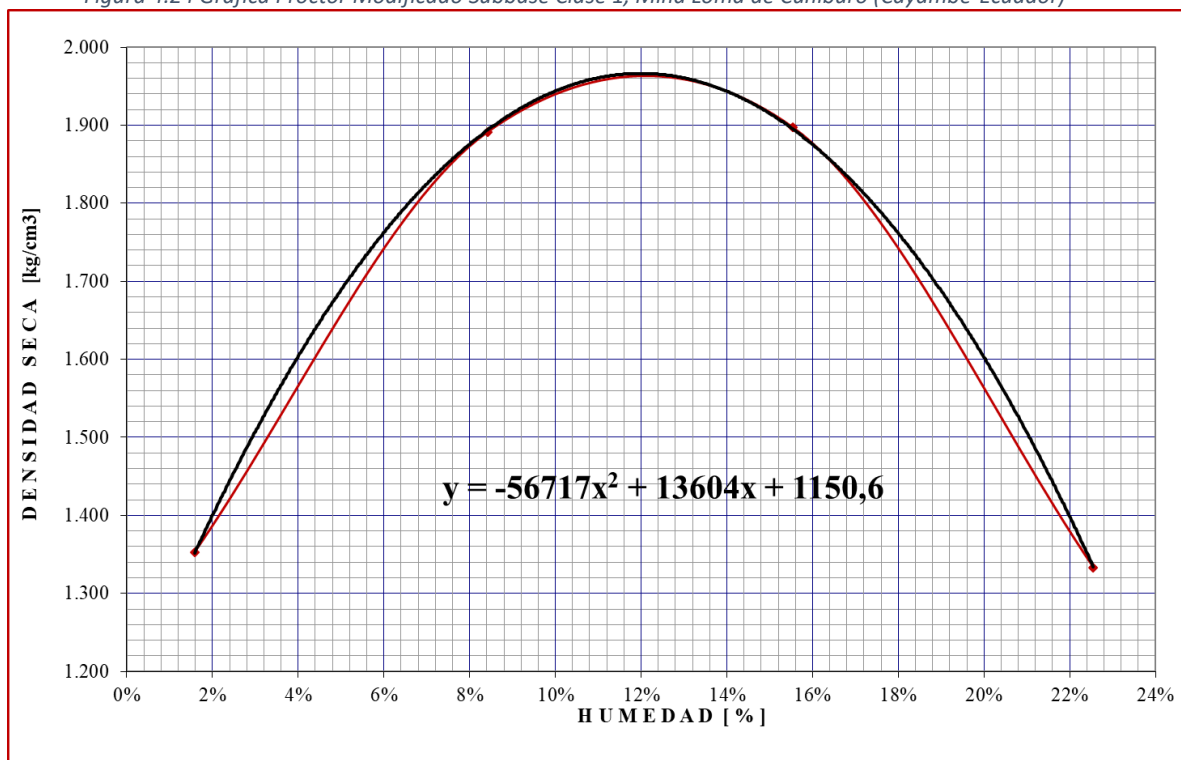


Densidad Máxima:	1.952 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,39%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.24 Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD										
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA					
5	56	10 lb	18"		6000 g					
MUESTRA		1	2	3	4					
Molde No.		A	A	A	A					
Agua aumentada	cc	0	420	840	1.260					
	%	0	7	14	21					
Peso suelo húmedo + molde		A	9.323	10.729	11.023		9.863			
Peso del molde		B	6.470	6.470	6.470		6.470			
Peso suelo húmedo		C=A-B	2.853	4.259	4.553		3.393			
Volumen del molde		D	2.077	2.077	2.077		2.077			
Densidad húmeda		E=C/D	1.374	2.051	2.192		1.634			
Tarro No.		ZV	5A	R88	G	RT	61	199	GX	
Tarro + suelo húmedo		F	41,37	42,38	40,75	43,48	46,86	46,44	50,17	42,55
Tarro + suelo seco		G	40,89	41,93	38,45	41,09	42,24	41,76	43,23	36,89
Peso de agua		H=F-G	0,48	0,45	2,30	2,39	4,62	4,68	6,94	5,66
Peso del tarro		I	12,11	11,78	11,78	11,97	12,14	12,02	12,10	12,08
Peso del suelo seco		J=G-I	28,78	30,15	26,67	29,12	30,10	29,74	31,13	24,81
Contenido de agua		K=H/J	1,67%	1,49%	8,62%	8,21%	15,35%	15,74%	22,29%	22,81%
Contenido de agua promedio		L	1,58%		8,42%		15,54%		22,55%	
Densidad seca		M	1.352		1.891		1.897		1.333	

Figura 4.24 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



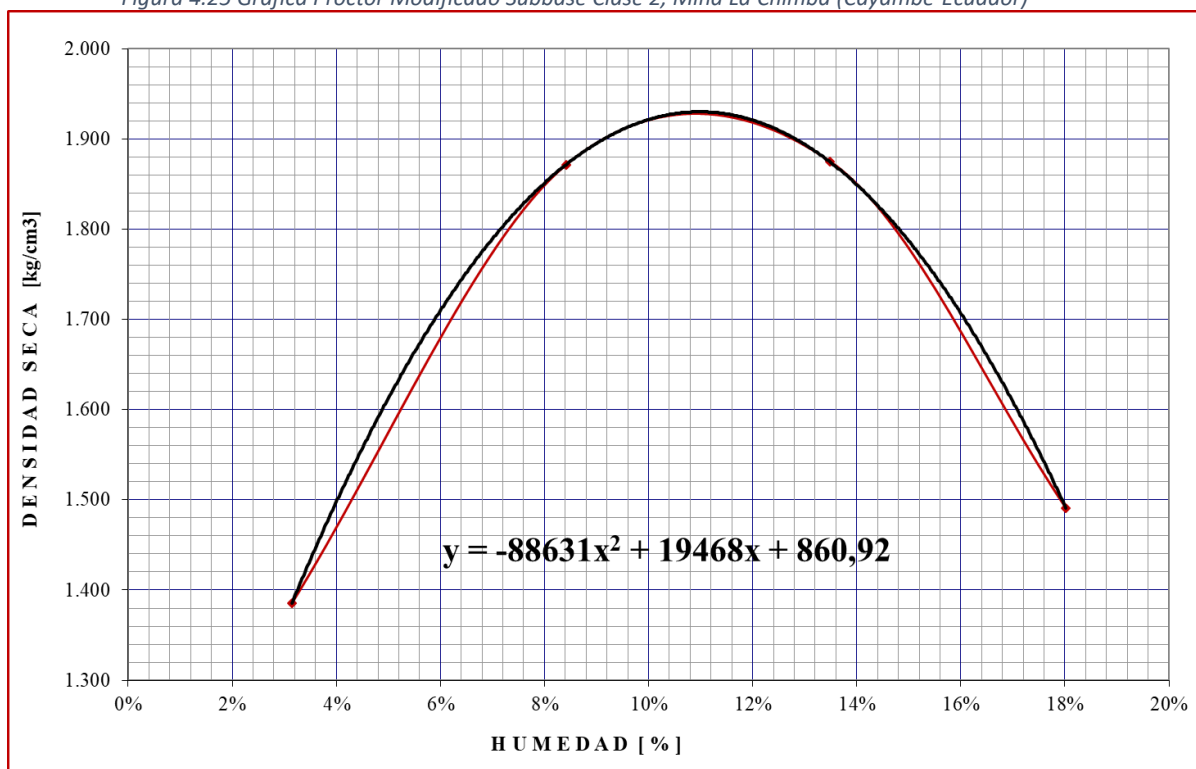
Densidad Máxima:	1.966 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	11,99%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.6 Proctor Modificado Subbase Clase 2

Tabla 4.25 Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA				
5	56	10 lb	18"		6000 g				
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		300		600		900	
	%	0		5		10		15	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.896		10.121		10.323		9.571	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.916		4.141		4.343		3.591	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.429		2.029		2.128		1.759	
Tarro No.		ML-3	ML-7	ML-23	ML-9	ML-16	ML-14	23	12
Tarro + suelo húmedo	F	92,92	84,45	73,44	85,12	94,94	92,29	96,63	99,98
Tarro + suelo seco	G	90,76	82,39	68,89	79,99	86,18	83,54	84,89	88,00
Peso de agua	H=F-G	2,16	2,06	4,55	5,13	8,76	8,75	11,74	11,98
Peso del tarro	I	19,80	18,80	13,80	20,20	20,40	19,40	20,12	21,13
Peso del suelo seco	J=G-I	70,96	63,59	55,09	59,79	65,78	64,14	64,77	66,87
Contenido de agua	K=H/J	3,04%	3,24%	8,26%	8,58%	13,32%	13,64%	18,13%	17,92%
Contenido de agua promedio	L	3,14%		8,42%		13,48%		18,02%	
Densidad seca	M	1.385		1.871		1.875		1.491	

Figura 4.25 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

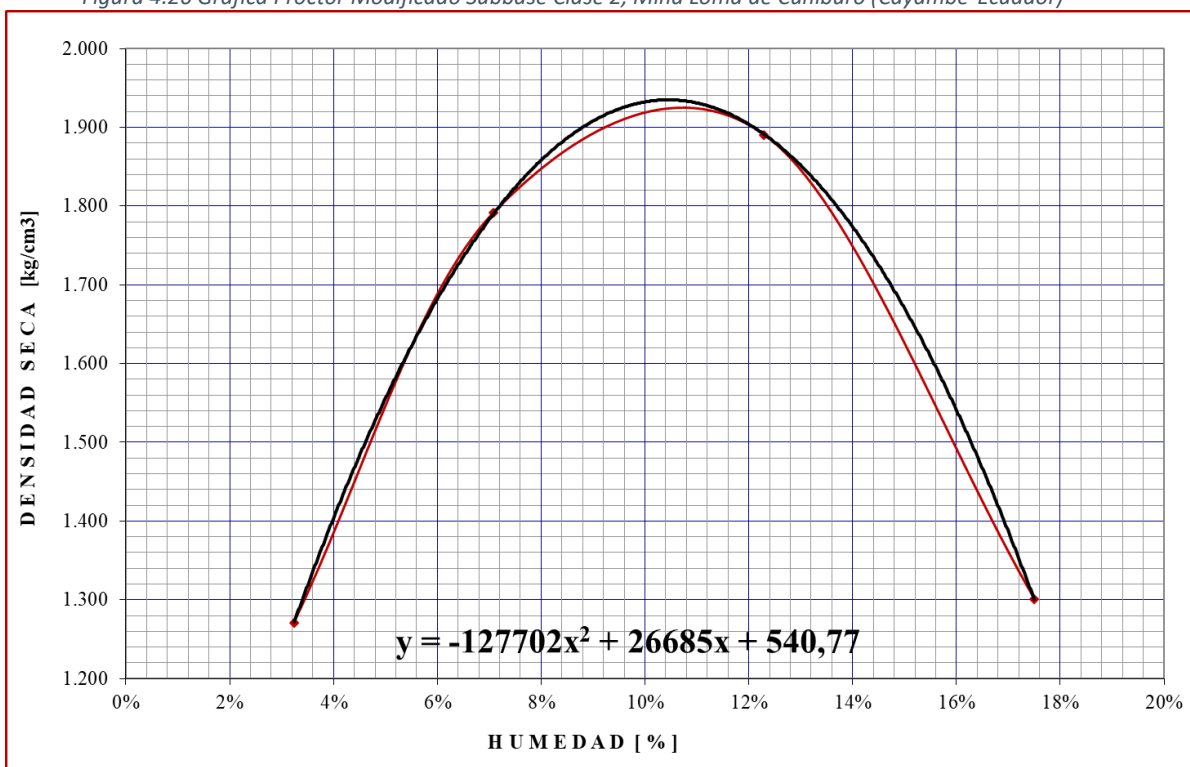


Densidad Máxima:	1.930 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,98%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.26 Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		240		540		840	
	%	0		4		9		14	
Peso suelo húmedo + molde	A	9.195		10.454		10.879		9.644	
Peso del molde	B	6.470		6.470		6.470		6.470	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.725		3.984		4.409		3.174	
Volumen del molde	D	2.077		2.077		2.077		2.077	
Densidad húmeda	E=C/D	1.312		1.918		2.123		1.528	
Tarro No.		720	706	XR	EY4	RT	0	M3	PV
Tarro + suelo húmedo	F	45,79	52,16	51,69	52,68	49,49	46,11	61,44	57,22
Tarro + suelo seco	G	44,67	50,98	49,04	50,03	45,34	42,43	54,00	50,55
Peso de agua	H=F-G	1,12	1,18	2,65	2,65	4,15	3,68	7,44	6,67
Peso del tarro	I	12,15	12,11	12,08	12,15	12,14	11,98	12,02	11,93
Peso del suelo seco	J=G-I	32,52	38,87	36,96	37,88	33,20	30,45	41,98	38,62
Contenido de agua	K=H/J	3,44%	3,04%	7,17%	7,00%	12,50%	12,09%	17,72%	17,27%
Contenido de agua promedio	L	3,24%		7,08%		12,29%		17,50%	
Densidad seca	M	1.271		1.791		1.890		1.301	

Figura 4.26 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



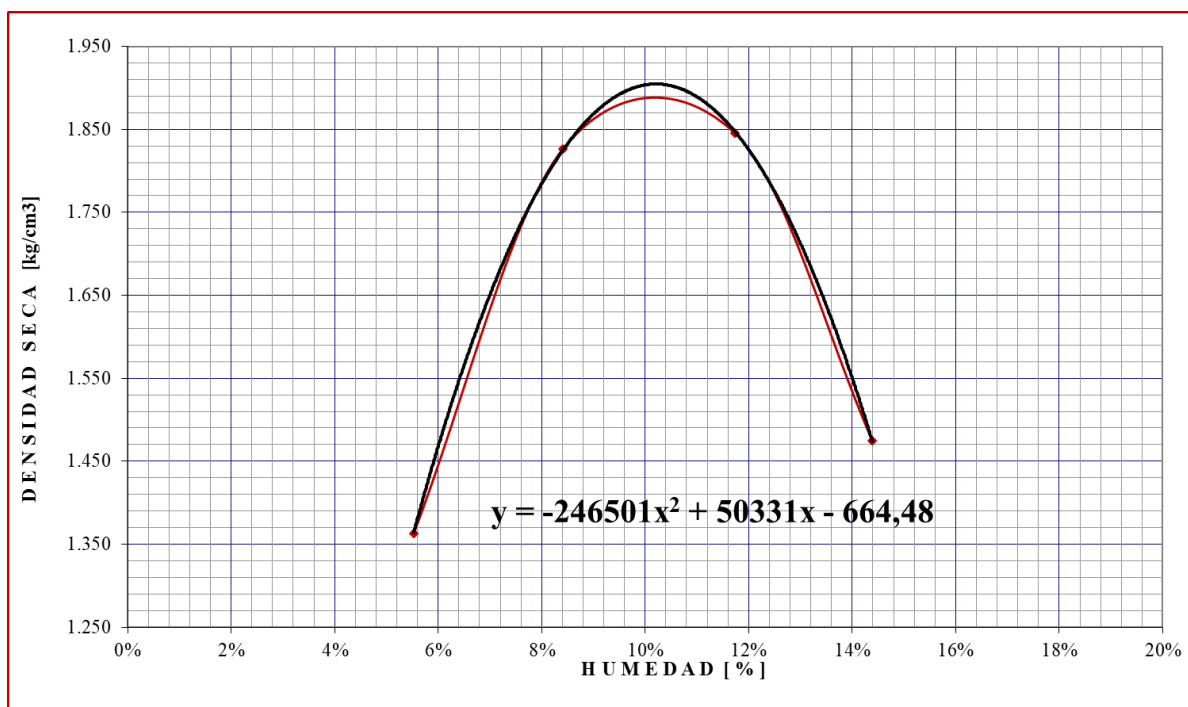
Densidad Máxima:	1.935 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,45%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.2.7 Proctor Modificado Subbase Clase 3

Tabla 4.27 Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD									
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo		Altura caída		PESO INICIAL DE LA MUESTRA			
5	56	10 lb		18"		6000 g			
MUESTRA		1		2		3		4	
Molde No.		A		A		A		A	
Agua aumentada	cc	0		180		360		540	
	%	0		3		6		9	
Peso suelo húmedo + molde	A	8.915		10.022		10.189		9.423	
Peso del molde	B	5.980		5.980		5.980		5.980	
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.935		4.042		4.209		3.443	
Volumen del molde	D	2.041		2.041		2.041		2.041	
Densidad húmeda	E=C/D	1.438		1.980		2.062		1.687	
Tarro No.		ML-29	ML-D	ML-27	ML-25	ML-10	ML-13	V-5	B-4
Tarro + suelo húmedo	F	81,68	88,84	66,26	74,54	90,59	89,98	76,44	65,53
Tarro + suelo seco	G	78,23	85,45	62,49	70,03	83,45	82,56	68,09	59,00
Peso de agua	H=F-G	3,45	3,39	3,77	4,51	7,14	7,42	8,35	6,53
Peso del tarro	I	19,10	20,40	16,06	18,20	21,30	20,60	11,70	12,26
Peso del suelo seco	J=G-I	59,13	65,05	46,43	51,83	62,15	61,96	56,39	46,74
Contenido de agua	K=H/J	5,83%	5,21%	8,12%	8,70%	11,49%	11,98%	14,81%	13,97%
Contenido de agua promedio	L	5,52%		8,41%		11,73%		14,39%	
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	M		1.363		1.827		1.846	

Figura 4.27 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)



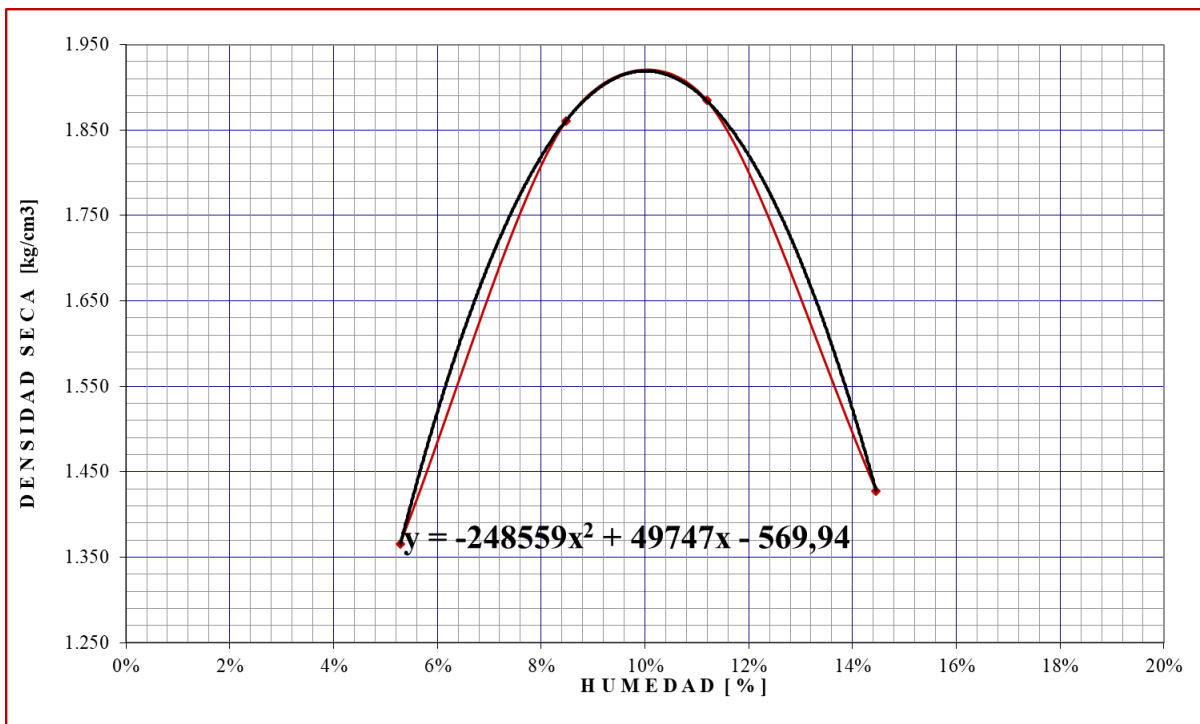
Densidad Máxima:	1.905 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,21%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

Tabla 4.28 Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

RELACIÓN DENSIDAD SECA - HUMEDAD				
No. de Capas	Golpes por capa	Peso Martillo	Altura caída	PESO INICIAL DE LA MUESTRA
5	56	10 lb	18"	6000 g

MUESTRA		1	2	3	4				
Molde No.		A	A	A	A				
Agua aumentada	cc	0	180	360	540				
	%	0	3	6	9				
Peso suelo húmedo + molde	A	9.456	10.663	10.823	9.864				
Peso del molde	B	6.470	6.470	6.470	6.470				
Peso suelo húmedo	C=A-B	2.986	4.193	4.353	3.394				
Volumen del molde	D	2.077	2.077	2.077	2.077				
Densidad húmeda	E=C/D	1.438	2.019	2.096	1.634				
Tarro No.		700	503	18	RR	141	SUS	IB	D38
Tarro + suelo húmedo	F	50,18	45,50	43,65	46,49	55,29	58,04	55,66	58,55
Tarro + suelo seco	G	48,34	43,76	41,24	43,74	50,95	53,34	50,09	52,76
Peso de agua	H=F-G	1,84	1,74	2,41	2,75	4,34	4,70	5,57	5,79
Peso del tarro	I	12,10	12,10	11,98	12,24	11,44	12,10	12,20	12,00
Peso del suelo seco	J=G-I	36,24	31,66	29,26	31,50	39,51	41,24	37,89	40,76
Contenido de agua	K=H/J	5,08%	5,50%	8,24%	8,73%	10,98%	11,40%	14,70%	14,21%
Contenido de agua promedio	L	5,29%		8,48%		11,19%		14,45%	
Densidad seca	M	1.365		1.861		1.885		1.428	

Figura 4.28 Gráfica Proctor Modificado Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



Densidad Máxima:	1.919 kg/cm <sup>3</sup>	Humedad óptima:	10,01%
------------------	--------------------------	-----------------	--------

#### 4.3 C.B.R.

##### 4.3.1 CBR Base clase 1

Tabla 4.29 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	ML-23			G-8			SL-12		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar	Después de Remojar		Antes de Remojar	Después de Remojar		Antes de Remojar	Después de Remojar	
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12256	12567		11878	12397		10689	11332	
Peso del molde (Kgs)	7005	7005		7028	7028		7110	7110	
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5251	5562		4850	5369		3579	4222	
Volumen muestra (m³)	2205	2205		2391	2391		2270	2270	
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,381	2,522		2,028	2,246		1,577	1,860	
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
	RX	T41	176	DC	D38	A9	307	Y	5
Peso de muestra humedad + tarro (g)	41,08	43,00	37,91	44,58	48,93	45,37	64,59	54,73	60,34
Peso de muestra seca + tarro (g)	38,34	40,09	34,31	41,59	45,52	39,64	59,78	50,78	49,89
Peso del agua (g)	2,74	2,91	3,60	2,99	3,41	5,73	4,81	3,95	10,45
Peso del tarro (g)	11,12	11,44	12,01	12,03	12,03	12,00	12,16	12,13	11,96
Peso de la muestra seca (g)	27,22	28,65	22,30	29,56	33,49	27,64	47,62	38,65	37,93
Contenido de humedad %	10,07%	10,16%	16,14%	10,12%	10,18%	20,73%	10,10%	10,22%	27,55%
Contenido de humedad promedio, %	10,11%		16,14%	10,15%		20,73%	10,16%		27,55%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,163		2,172	1,842		1,860	1,431		1,458

Tabla 4.30 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº ML-23			Molde Nº G-8			Molde Nº SL-12		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%
2019-10-31	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	4	0,004	0,088
2019-11-01	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	6	0,006	0,132
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	6	0,006	0,132
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	6	0,006	0,132
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	6	0,006	0,132

Tabla 4.31 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº ML-23		Molde Nº G-8			Molde Nº SL-12			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.			
0,000		0	0	0	0	0	0			
0,025		311	320	202	208	142	146			
0,050		486	501	347	357	268	276			
0,075		616	634	491	506	365	376			
0,100	1000	729	751	<b>78,10</b>	585	603	<b>63,30</b>	456	470	<b>49,97</b>
0,150		974	1003	783	806	541	557			
0,200		1103	1136	<b>77,73</b>	893	920	<b>63,33</b>	678	698	<b>48,56</b>
0,250		1277	1315	1030	1061	790	814			
0,300		1413	1455	1176	1211	866	892			
0,400		1457	1501	1234	1271	934	962			
0,500		1504	1549	1307	1346	988	1018			
0,600		1538	1584	1342	1382	1012	1042			

Figura 4.29 Gráfica CBR Base clase 1 (esfuerzo/penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

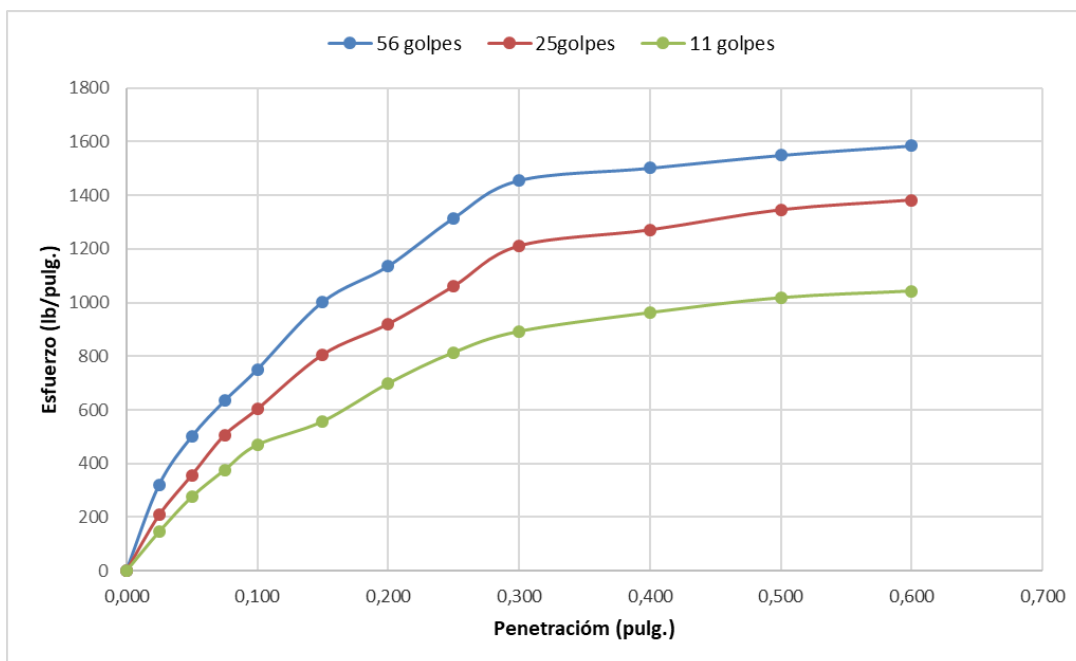


Figura 4.30 Gráfica CBR Base clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

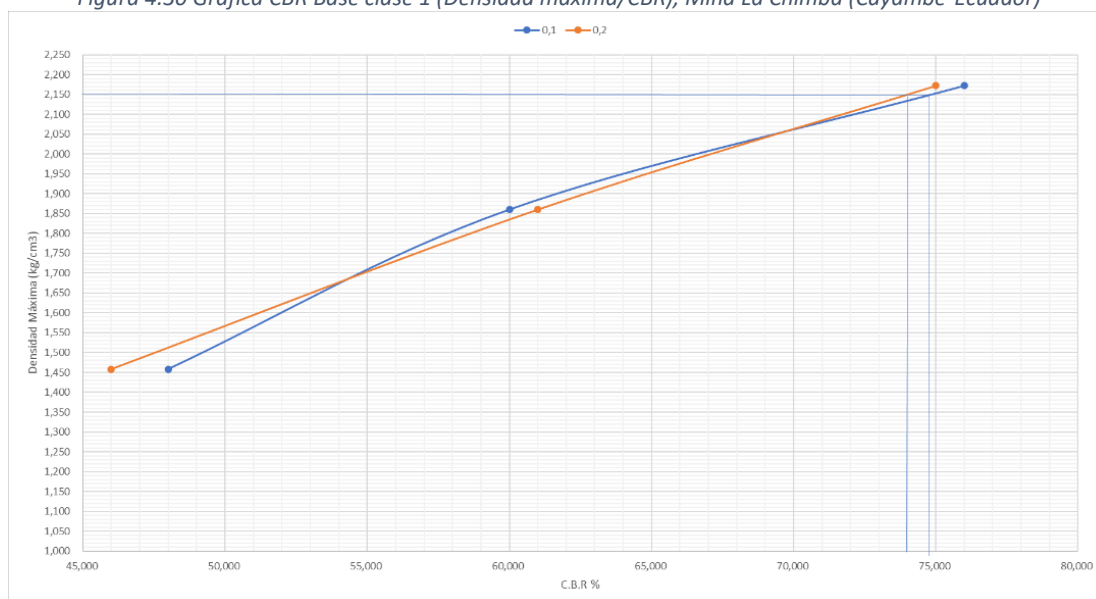


Tabla 4.32 Penetración Base Clase 1 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	2,15	2,15
C.B.R (100%)	74	74,75
C.B.R Promedio	74,38	

Tabla 4.33 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	33			34			25		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11398		11912	10423		11043	9765		10423
Peso del molde (Kgs)	6127		6127	6170		6170	6149		6149
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5271		5785	4253		4873	3616		4274
Volumen muestra (m³)	2145		2145	2156		2156	2168		2168
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,457		2,697	1,973		2,260	1,668		1,971
	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	LDMS	M-3	LDMS-4	SD-3	DI-12	33-3	DI-11	SI-9	SD-7
Peso de muestra humedad + tarro (g)	232,40	256,70	138,20	209,10	198,40	177,20	190,50	211,40	213,90
Peso de muestra seca + tarro (g)	216,78	244,22	127,77	190,09	180,00	144,76	172,98	192,44	171,34
Peso del agua (g)	15,62	12,48	10,43	19,01	18,40	32,44	17,52	18,96	42,56
Peso del tarro (g)	83,60	139,20	80,56	27,89	24,12	23,45	22,34	30,34	31,56
Peso de la muestra seca (g)	133,18	105,02	47,21	162,20	155,88	121,31	150,64	162,10	139,78
Contenido de humedad %	11,73%	11,88%	22,09%	11,72%	11,80%	26,74%	11,63%	11,70%	30,45%
Contenido de humedad promedio, %	11,81%		22,09%	11,76%		26,74%	11,66%		30,45%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,198		2,209	1,765		1,783	1,494		1,511

Tabla 4.34 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº 33			Molde Nº 34			Molde Nº 25		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-08	14h00	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088

Tabla 4.35 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº 33			Molde Nº 34			Molde Nº 25		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		334	194		116	119		79	81	
0,050		367	378		239	246		122	126	
0,075		530	546		377	388		192	198	
0,100	1000	646	665	<b>69,50</b>	495	510	<b>54,00</b>	277	285	<b>31,50</b>
0,150		967	996		633	652		400	412	
0,200		1071	1103	<b>75,53</b>	850	875	<b>60,33</b>	492	507	<b>35,80</b>
0,250		1209	1245		1004	1034		677	697	
0,300		1287	1326		1074	1106		818	843	
0,400		1403	1445		1190	1226		889	916	
0,500		1514	1559		1274	1312		940	968	
0,600		1559	1606		1352	1393		964	993	

Figura 4.31 Gráfica CBR Base clase 1 (esfuerzo/penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

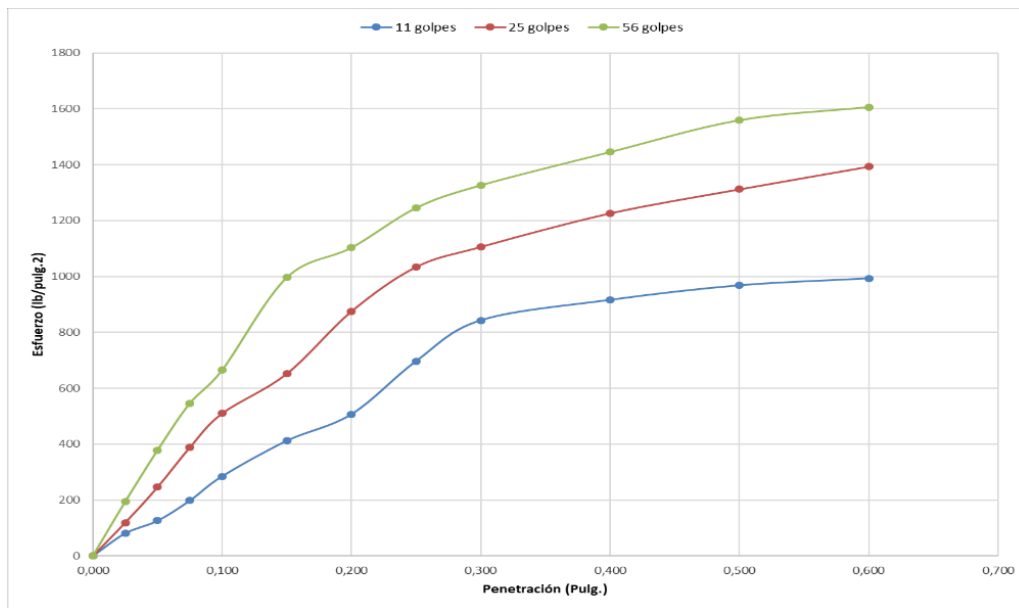


Figura 4.32 Gráfica CBR Base Clase 1 (densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

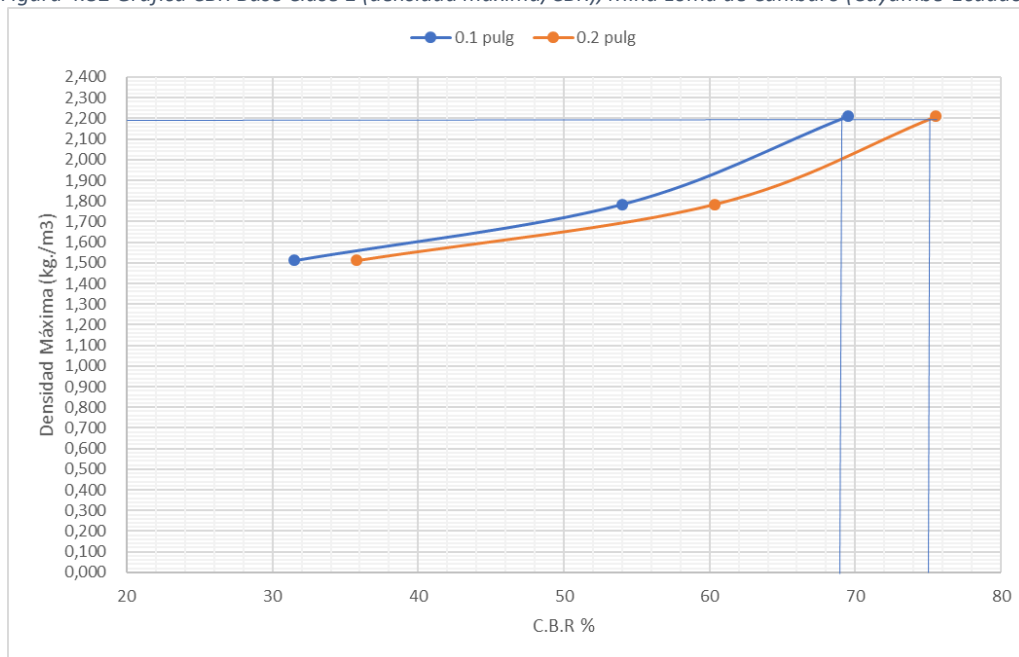


Tabla 4.36 Penetración Base Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	2,19	2,19
C.B.R (100%)	69	75
C.B.R Promedio	72,00	

### 4.3.2 CBR Base clase 2

Tabla 4.37 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	LL-22			CM-14			MK-1		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12345		12656	11554		12271	11309		12143
Peso del molde (Kgs)	7088		7088	7111		7111	7670		7670
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5257		5568	4443		5160	3639		4473
Volumen muestra (m³)	2286		2286	2288		2288	2323		2323
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,300		2,436	1,942		2,255	1,567		1,926
	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	HA	5A	3	51	RT	SY	RR	307	D345
Peso de muestra humedad + tarro (g)	49,82	54,72	48,65	56,29	63,93	94,04	85,63	59,85	45,26
Peso de muestra seca + tarro (g)	46,33	50,66	43,52	52,17	59,05	76,84	78,82	55,34	37,43
Peso del agua (g)	3,49	4,06	5,13	4,12	4,88	17,20	6,81	4,51	7,83
Peso del tarro (g)	12,11	11,78	11,29	12,01	12,14	12,16	12,24	12,13	13,29
Peso de la muestra seca (g)	34,22	38,88	32,23	40,16	46,91	64,68	66,58	43,21	24,14
Contenido de humedad %	10,20%	10,44%	15,92%	10,26%	10,40%	26,59%	10,23%	10,44%	32,44%
Contenido de humedad promedio, %	10,32%		15,92%	10,33%		26,59%	10,33%		32,44%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,085		2,101	1,760		1,782	1,420		1,454

Tabla 4.38 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº L-22			Molde Nº CM-14			Molde Nº MK-1		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-10-31	14h00	1	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-01	14h00	2	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,110	7	0,007	0,154
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,110	7	0,007	0,154
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,110	7	0,007	0,154
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,110	7	0,007	0,154

Tabla 4.39 CBR, Mina la Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº L-22			Molde Nº CM-14			Molde Nº MK-1		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		315	324		198	204		91	94	
0,050		453	467		317	327		176	181	
0,075		627	646		482	496		243	250	
0,100	1000	818	843	<b>87,30</b>	633	652	<b>68,20</b>	344	354	<b>38,43</b>
0,150		1100	1133		811	835		451	465	
0,200		1253	1291	<b>88,07</b>	948	976	<b>67,10</b>	511	526	<b>37,09</b>
0,250		1401	1443		1095	1128		663	683	
0,300		1503	1548		1177	1212		789	813	
0,400		1601	1649		1293	1332		894	921	
0,500		1664	1714		1344	1384		965	994	
0,600		1702	1753		1411	1453		1004	1034	

Figura 4.33 Gráfica Base Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

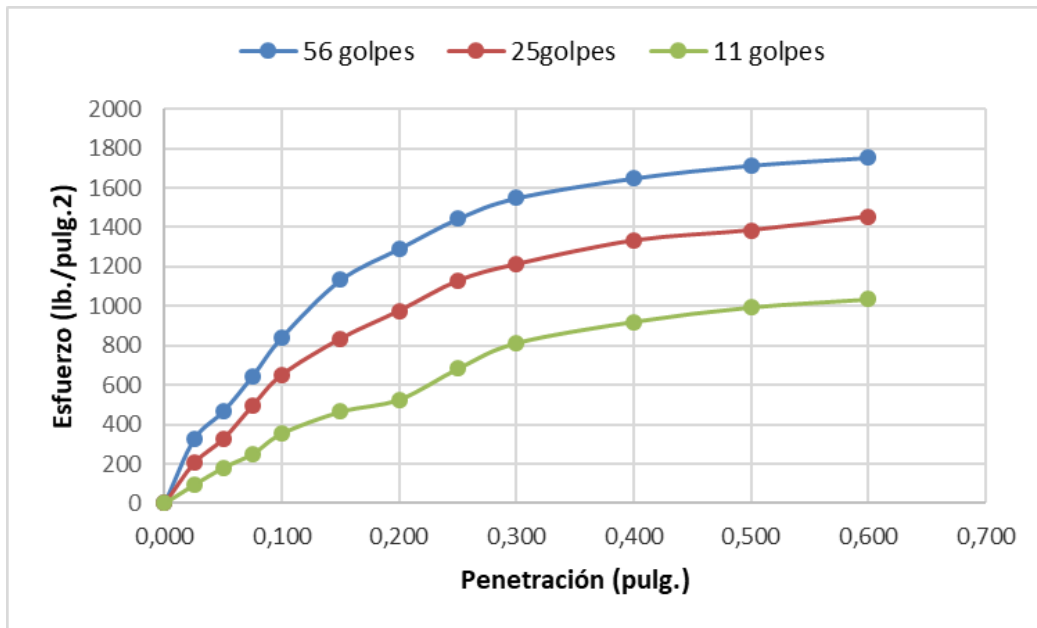


Figura 4.34 Gráfica Base Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

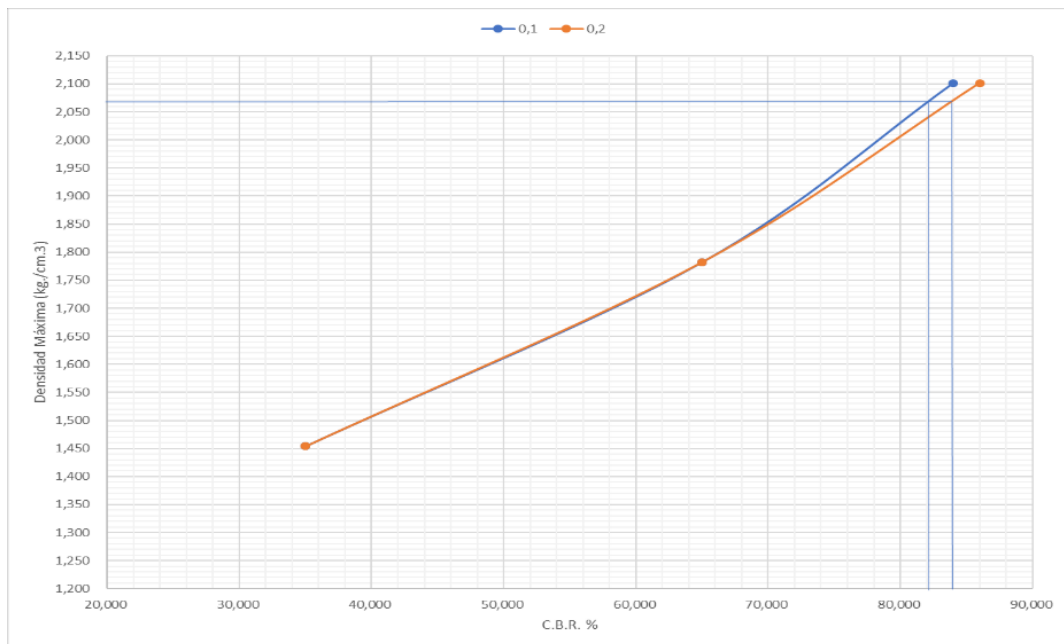


Tabla 4.40 Penetración Base Clase 2 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Máxima	2,071	2,071
C.B.R. (100%)	82	84
C.B.R. Promedio	83,00	

Tabla 4.41 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	11			18			29		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11012		11456	10234		10821	9546		10176
Peso del molde (Kgs)	6078		6078	6094		6094	6117		6117
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4934		5378	4140		4727	3429		4059
Volumen muestra (m³)	2130		2130	2142		2142	2144		2144
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,316		2,525	1,933		2,207	1,599		1,893
	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	176	VT	Y	C27	D38	SA	4M	T41	A9
Peso de muestra humedad + tarro (g)	68,44	124,32	60,31	66,45	59,82	55,44	125,67	67,31	69,93
Peso de muestra seca + tarro (g)	62,78	114,93	52,12	60,98	54,96	46,46	116,25	61,66	56,45
Peso del agua (g)	5,66	9,39	8,19	5,47	4,86	8,98	9,42	5,65	13,48
Peso del tarro (g)	12,01	31,58	12,13	12,00	12,03	11,78	31,42	11,44	12,00
Peso de la muestra seca (g)	50,77	83,35	39,99	48,98	42,93	34,68	84,83	50,22	44,45
Contenido de humedad %	11,15%	11,27%	20,48%	11,17%	11,32%	25,89%	11,10%	11,25%	30,33%
Contenido de humedad promedio, %	11,21%		20,48%	11,24%		25,89%	11,18%		30,33%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2,083		2,096	1,737		1,753	1,439		1,453

Tabla 4.42 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Lectura del Indicador	Molde Nº 11		Molde Nº 18			Molde Nº 29		
				Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-08	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-09	14h00	4	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-10	14h00	5	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066

Tabla 4.43 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº 11			Molde Nº 18			Molde Nº 29		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		259	267		167	172		109	112	
0,050		471	485		345	355		233	240	
0,075		732	754		508	523		311	320	
0,100	1000	921	949	<b>97,86</b>	626	645	<b>67,50</b>	423	436	<b>46,57</b>
0,150		1214	1250		867	893		576	593	
0,200		1376	1417	<b>96,49</b>	1082	1114	<b>76,27</b>	770	793	<b>54,87</b>
0,250		1511	1556		1222	1259		890	917	
0,300		1598	1646		1296	1335		976	1005	
0,400		1655	1705		1361	1402		1132	1166	
0,500		1724	1776		1455	1499		1221	1258	
0,600		1798	1852		1572	1619		1299	1338	

Figura 4.35 Gráfica Base Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

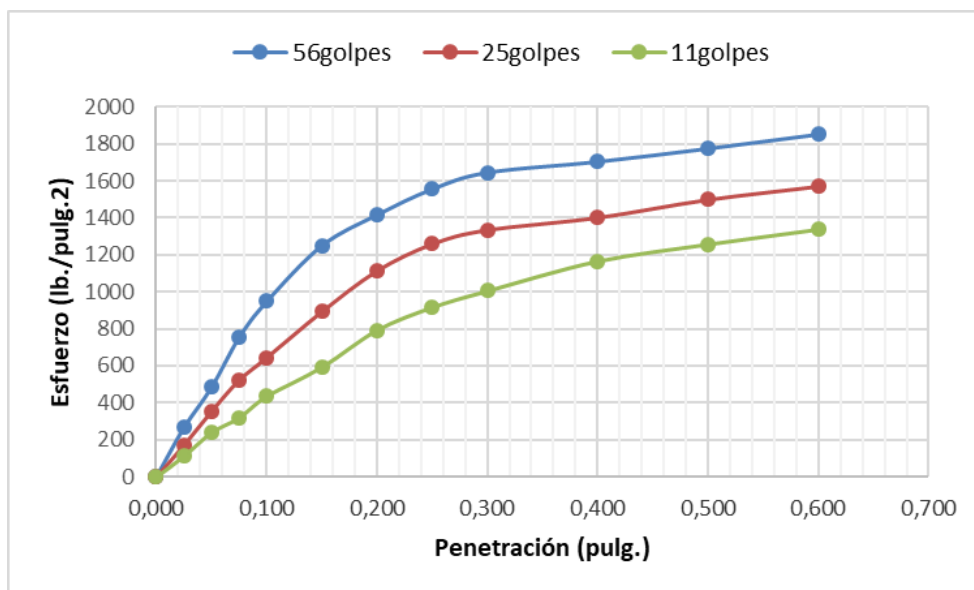


Figura 4.36 Gráfica Base Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

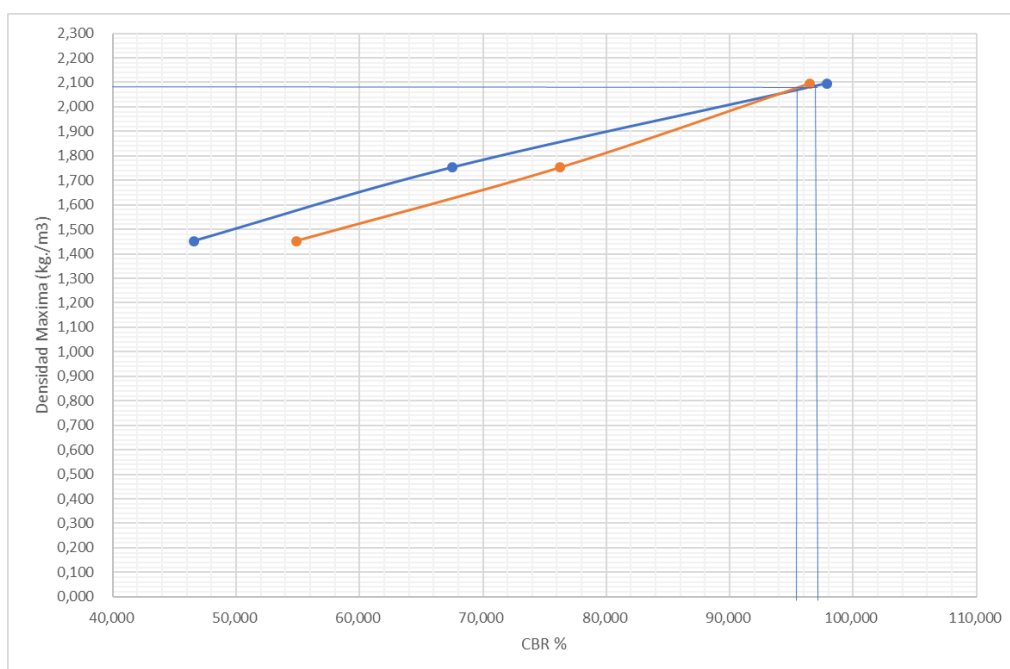


Tabla 4.44 Penetración Base Clase 2 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Máxima	2,081	2,081
C.B.R (100%)	95,75	97
C.B.R Promedio	96,38	

### 4.3.3 CBR Base clase 3

Tabla 4.45 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	D-9			G-6			M-11		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11983		12654	10987		11756	11789		12712
Peso del molde (Kgs)	6998		6998	6896		6896	8299		8299
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4985		5656	4091		4860	3490		4413
Volumen muestra (m³)	2280		2280	2205		2205	2353		2353
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,186		2,481	1,855		2,204	1,483		1,875
	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	18	AG	Y	0	RT	1	51	10	EY4
Peso de muestra humedad + tarro (g)	46,48	45,54	56,70	66,89	65,20	66,09	48,51	45,45	41,90
Peso de muestra seca + tarro (g)	43,79	42,88	48,82	61,86	60,39	53,64	45,17	42,37	33,79
Peso del agua (g)	2,69	2,66	7,88	5,03	4,81	12,45	3,34	3,08	8,11
Peso del tarro (g)	16,93	16,69	16,70	12,00	13,39	11,99	12,01	12,11	12,15
Peso de la muestra seca (g)	26,86	26,19	32,12	49,86	47,00	41,65	33,16	30,26	21,64
Contenido de humedad %	10,01%	10,16%	24,53%	10,09%	10,23%	29,89%	10,07%	10,18%	37,48%
Contenido de humedad promedio, %	10,09%		24,53%	10,16%		29,89%	10,13%		37,48%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,986		1,992	1,684		1,697	1,347		1,364

Tabla 4.46 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº D-9			Molde Nº G-6			Molde Nº M-11		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-10-31	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-01	14h00	2	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088

Tabla 4.47 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº D-9			Molde Nº G-6			Molde Nº M-11		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		311	320		212	218		88	91	
0,050		525	541		359	370		165	170	
0,075		737	759		469	483		231	238	
0,100	1000	951	980	<b>100,95</b>	614	632	<b>66,20</b>	316	325	<b>35,50</b>
0,150		1092	1125		768	791		424	437	
0,200		1228	1265	<b>86,33</b>	960	989	<b>67,92</b>	529	545	<b>38,32</b>
0,250		1307	1346		1011	1041		624	643	
0,300		1350	1391		1096	1129		667	687	
0,400		1414	1456		1167	1202		734	756	
0,500		1486	1531		1233	1270		792	816	
0,600		1549	1595		1289	1328		814	838	

Figura 4.37 CBR Base Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

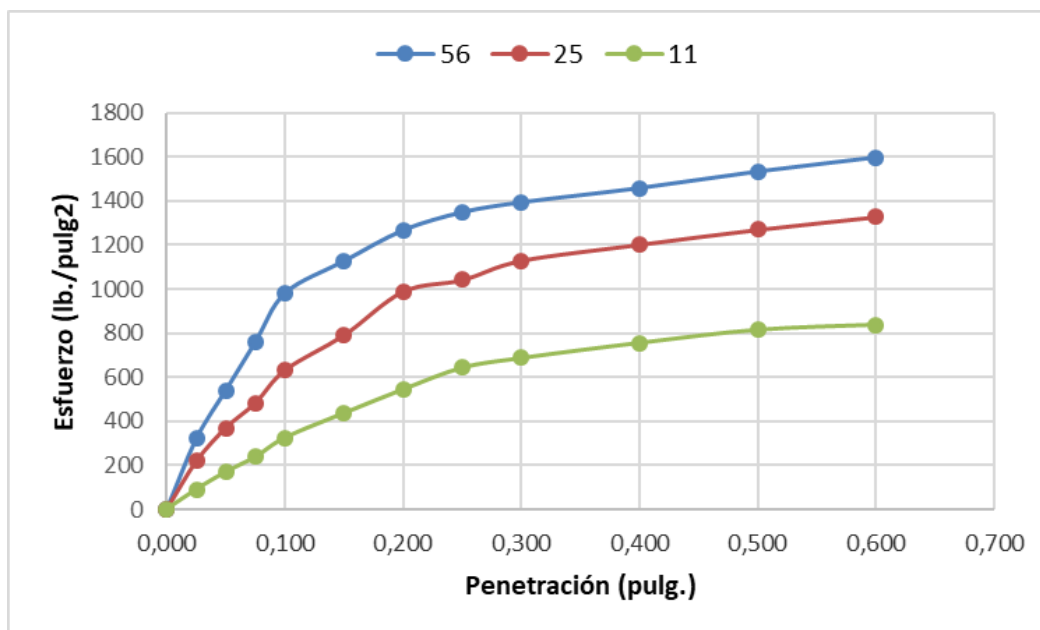


Figura 4.38 CBR Base Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

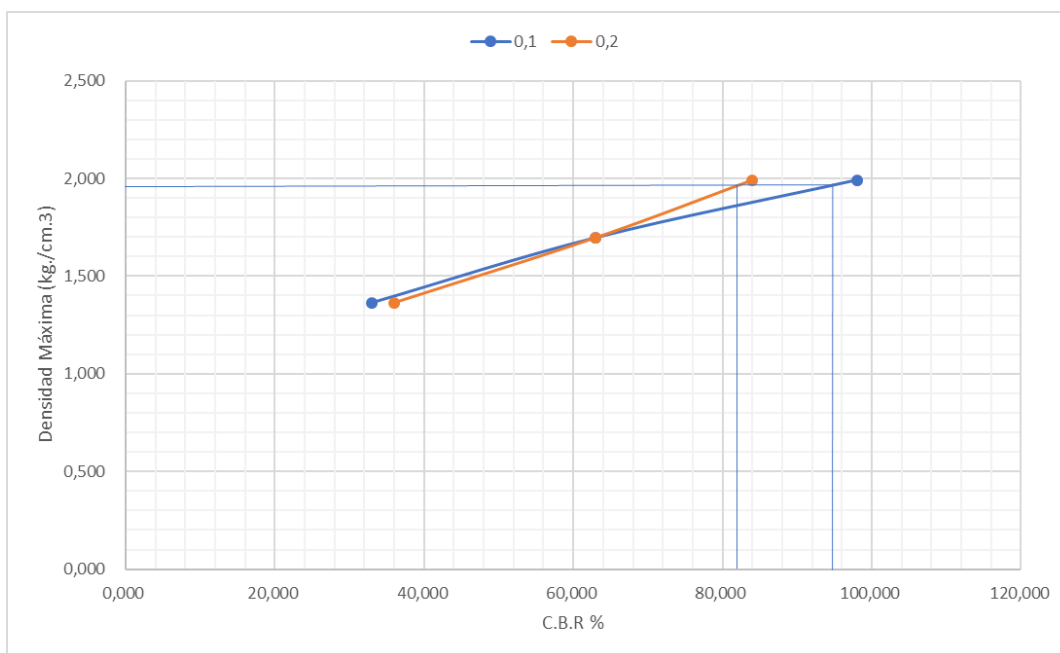


Tabla 4.48 Penetración Base Clase 3 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,983	1,983
C.B.R (100%)	81	87,5
C.B.R Promedio	84,25	

Tabla 4.49 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	MJ-7			MD-3			MJ-9		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10843		11399	10123		10789	9422		10133
Peso del molde (Kgs)	6124		6124	6171		6171	6134		6134
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4719		5275	3952		4618	3288		3999
Volumen muestra (m³)	2145		2145	2156		2156	2142		2142
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,200		2,459	1,833		2,142	1,535		1,867
	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	307	C-20	SI	AB	DC	YE	T41	7M	55
Peso de muestra humedad + tarro (g)	72,76	77,89	58,76	55,94	57,09	90,73	70,08	95,44	99,19
Peso de muestra seca + tarro (g)	67,09	72,11	50,09	51,83	52,82	77,95	64,63	89,46	83,08
Peso del agua (g)	5,67	5,78	8,67	4,11	4,27	12,78	5,45	5,98	16,11
Peso del tarro (g)	12,16	16,70	12,11	12,20	12,03	31,29	11,44	31,80	31,32
Peso de la muestra seca (g)	54,93	55,41	37,98	39,63	40,79	46,66	53,19	57,66	51,76
Contenido de humedad %	10,32%	10,43%	22,83%	10,37%	10,47%	27,39%	10,25%	10,37%	31,12%
Contenido de humedad promedio, %	10,38%		22,83%	10,42%		27,39%	10,31%		31,12%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,993		2,002	1,660		1,681	1,392		1,424

Tabla 4.50 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº MJ-7			Molde Nº MD-3			Molde Nº MJ-9		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-07	14h00	2	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-08	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	4	0,004	0,088
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088

Tabla 4.51 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº MJ-7			Molde Nº MD-3			Molde Nº MJ-9		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		215	221		132	136		95	98	
0,050		491	506		284	293		168	173	
0,075		688	709		464	478		255	263	
0,100	1000	883	909	<b>93,95</b>	617	635	<b>66,50</b>	333	343	<b>37,30</b>
0,150		1122	1156		820	845		444	457	
0,200		1324	1364	<b>92,91</b>	989	1019	<b>69,93</b>	581	598	<b>41,90</b>
0,250		1411	1453		1145	1179		661	681	
0,300		1488	1533		1211	1247		712	733	
0,400		1542	1588		1279	1317		778	801	
0,500		1609	1657		1324	1364		834	859	
0,600		1676	1726		1356	1397		892	919	

Figura 4.39 Gráfica CBR Base Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

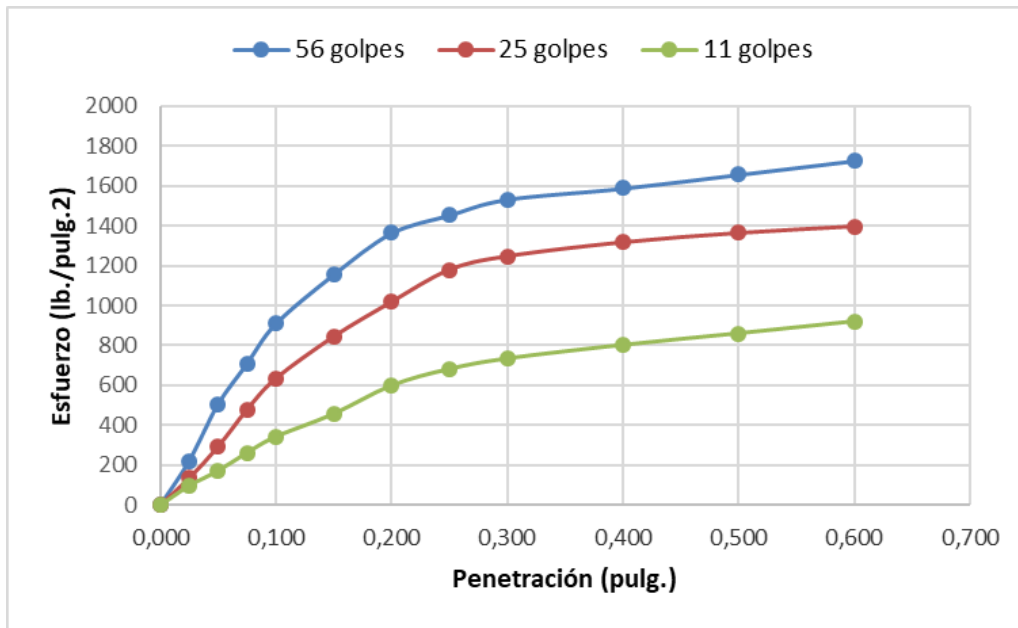


Figura 4.40 Gráfica CBR Base Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

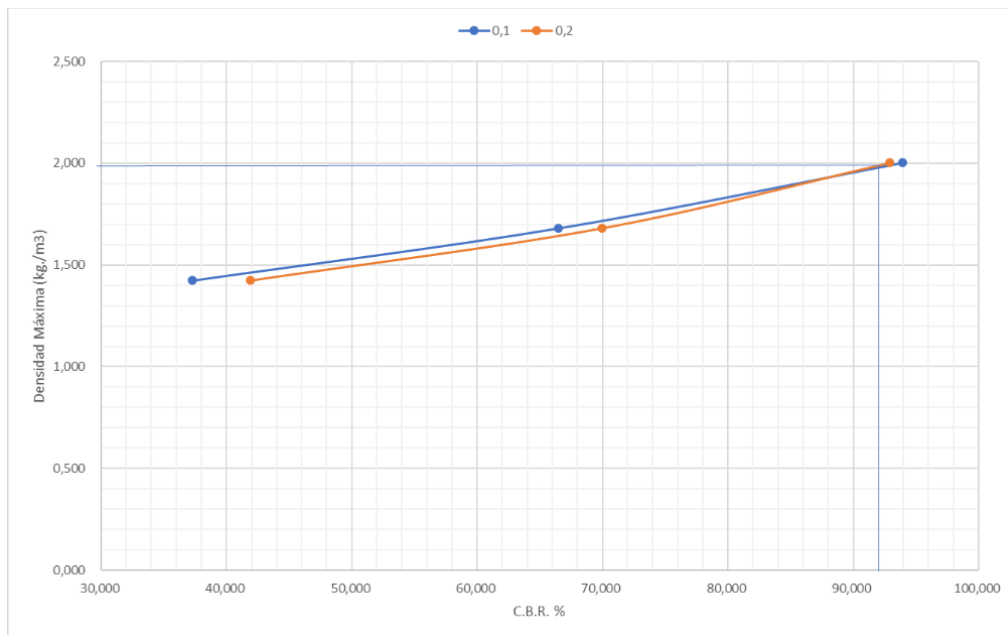


Tabla 4.52 Penetración Base Clase 3 Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,989	1,989
C.B.R (100%)	92	92
C.B.R Promedio	92,00	

#### 4.3.4 CBR Base clase 4

Tabla 4.53 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	ML-24			D-12			M-4		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11969		12522	10876		11576	10576		11367
Peso del molde (Kgs)	6998		6998	6518		6518	6987		6987
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4971		5524	4358		5058	3589		4380
Volumen muestra (m³)	2278		2278	2366		2366	2403		2403
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,182		2,425	1,842		2,138	1,494		1,823
	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	5	CS	Y	R88	RX	T41	5	ML-27	SI
Peso de muestra humedad + tarro (g)	49,98	49,56	49,13	64,10	57,33	55,51	51,22	47,86	53,88
Peso de muestra seca + tarro (g)	46,57	46,19	42,56	59,42	53,16	46,12	47,74	45,00	43,59
Peso del agua (g)	3,41	3,37	6,57	4,68	4,17	9,39	3,48	2,86	10,29
Peso del tarro (g)	11,96	12,15	12,16	11,79	11,12	11,44	11,91	16,06	12,11
Peso de la muestra seca (g)	34,61	34,04	30,40	47,63	42,04	34,68	35,83	28,94	31,48
Contenido de humedad %	9,85%	9,90%	21,61%	9,83%	9,92%	27,08%	9,71%	9,88%	32,69%
Contenido de humedad promedio, %	9,88%		21,61%	9,87%		27,08%	9,80%		32,69%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,986		1,994	1,676		1,682	1,360		1,374

Tabla 4.54 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº ML-24			Molde Nº D-12			Molde Nº M-4		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-10-31	14h00	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,044	5	0,005	0,110
2019-11-01	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	7	0,007	0,154
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	7	0,007	0,154
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	7	0,007	0,154
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	7	0,007	0,154

Tabla 4.55 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº ML-24			Molde Nº D-12			Molde Nº M-4		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		246	253		173	178		77	79	
0,050		425	438		256	264		124	128	
0,075		619	638		348	358		193	199	
0,100	1000	704	725	<b>75,50</b>	454	468	<b>49,80</b>	278	286	<b>31,63</b>
0,150		964	993		603	621		332	342	
0,200		1149	1183	<b>80,87</b>	823	848	<b>58,51</b>	422	435	<b>30,98</b>
0,250		1302	1341		898	925		479	493	
0,300		1442	1485		976	1005		493	508	
0,400		1511	1556		1054	1086		533	549	
0,500		1579	1626		1092	1125		567	584	
0,600		1633	1682		1144	1178		595	613	

Figura 4.41 Gráfica CBR Base Clase 4 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

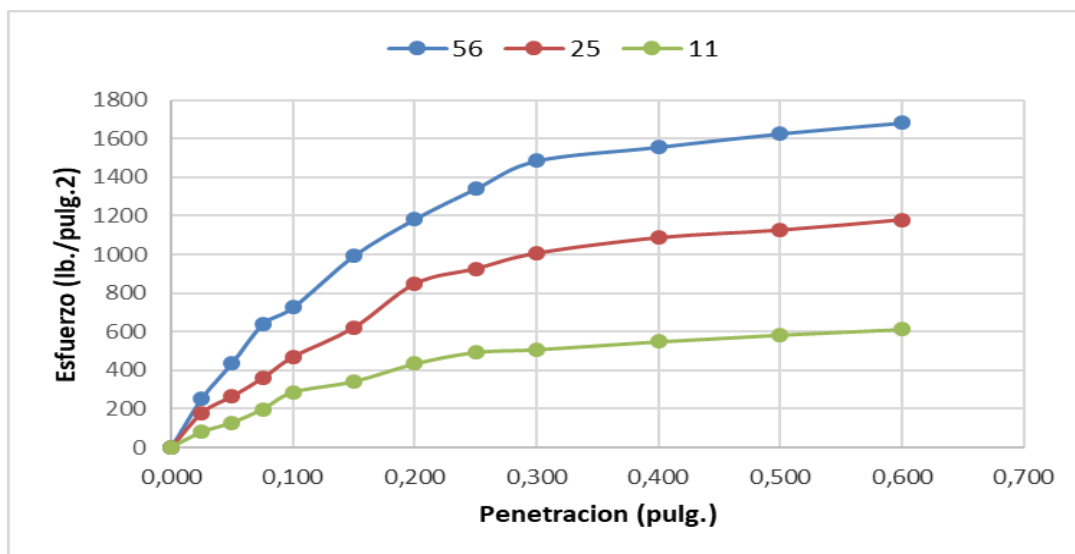


Figura 4.42 Gráfica CBR Base Clase 4 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

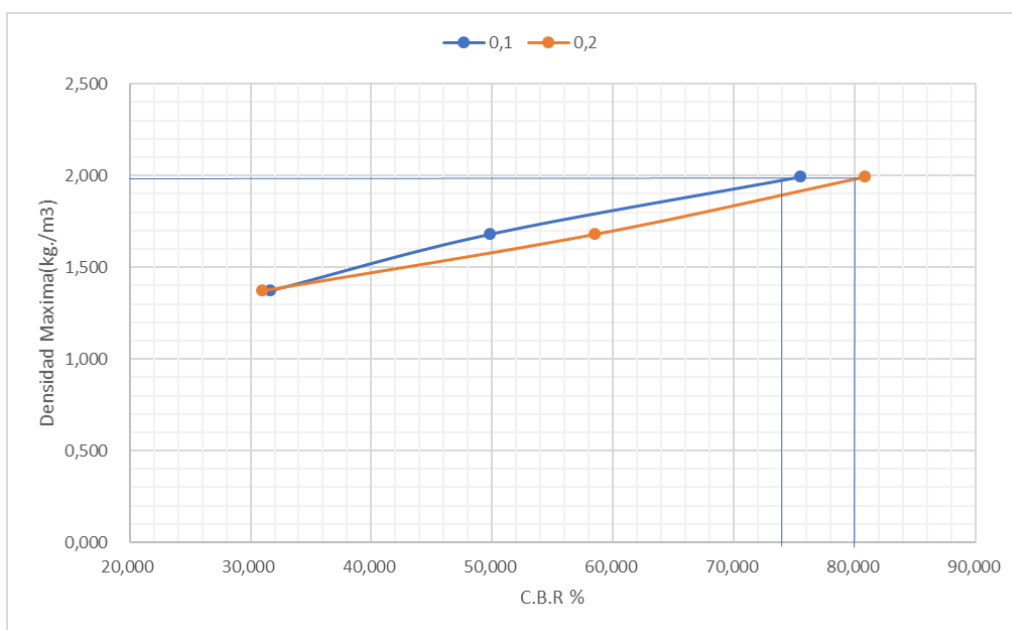


Tabla 4.56 Penetración Base Clase 4 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,978	1,978
C.B.R (100%)	74	80
C.B.R Promedio	77,00	

Tabla 4.57 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	MJ-11			MK-3			MK-8		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11234		11676	10343		10912	9754		10365
Peso del molde (Kgs)	6456		6456	6378		6378	6411		6411
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4778		5220	3965		4534	3343		3954
Volumen muestra (m³)	2178		2178	2165		2165	2169		2169
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,194		2,397	1,831		2,094	1,541		1,823
	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba	Fondo	Arriba	1° de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	176	RX	CS	T41	R88	ML-43	A	5	2A
Peso de muestra humedad + tarro (g)	59,99	57,83	60,06	63,44	65,52	85,67	99,89	60,44	98,83
Peso de muestra seca + tarro (g)	55,23	53,12	52,02	58,23	60,09	72,45	93,11	55,50	83,00
Peso del agua (g)	4,76	4,71	8,04	5,21	5,43	13,22	6,78	4,94	15,83
Peso del tarro (g)	12,01	11,12	12,15	11,41	11,79	20,14	31,53	11,91	31,25
Peso de la muestra seca (g)	43,22	42,00	39,87	46,82	48,30	52,31	61,58	43,59	51,75
Contenido de humedad %	11,01%	11,21%	20,17%	11,13%	11,24%	25,27%	11,01%	11,33%	30,59%
Contenido de humedad promedio, %	11,11%		20,17%	11,18%		25,27%	11,17%		30,59%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,974		1,994	1,647		1,672	1,386		1,396

Tabla 4.58 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº MJ-11			Molde Nº MK-3			Molde Nº MK-8		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-08	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066

Tabla 4.59 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº MJ-11			Molde Nº MK-3			Molde Nº MK-8		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		273	281		134	138		88	91	
0,050		469	483		278	286		178	183	
0,075		663	683		438	451		250	257	
0,100	1000	835	860	<b>89,00</b>	577	594	<b>62,40</b>	316	325	<b>35,50</b>
0,150		1077	1109		764	787		424	437	
0,200		1267	1305	<b>89,00</b>	934	962	<b>66,13</b>	546	562	<b>39,49</b>
0,250		1338	1378		1012	1042		611	629	
0,300		1390	1432		1083	1115		687	708	
0,400		1455	1499		1136	1170		732	754	
0,500		1511	1556		1179	1214		779	802	
0,600		1569	1616		1211	1247		809	833	

Figura 4.43 Gráfica CBR Base Clase 4 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

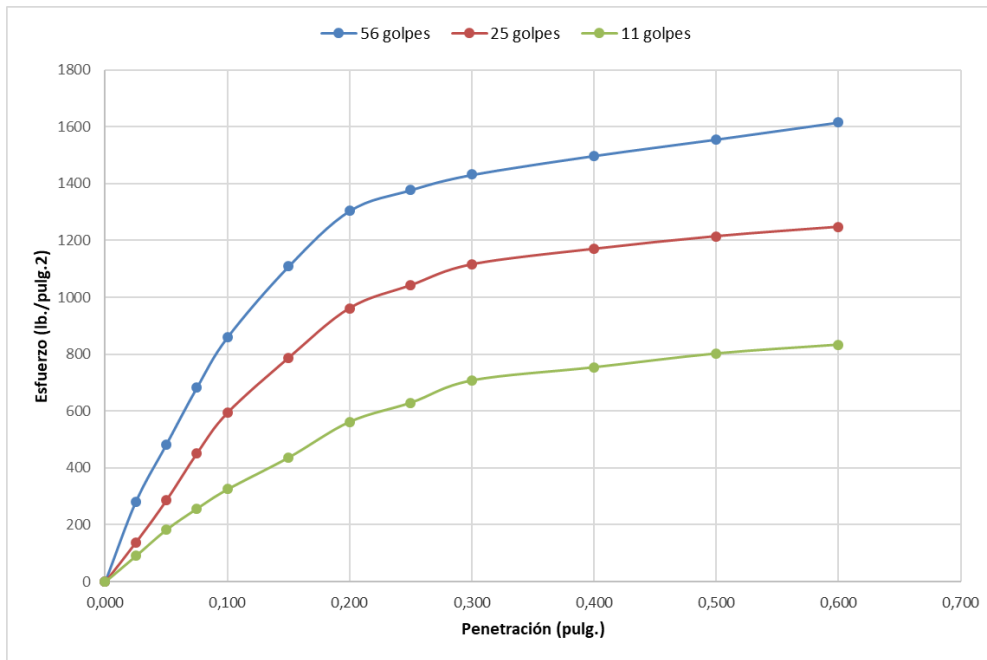


Figura 4.44 Gráfica CBR Base Clase 4 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

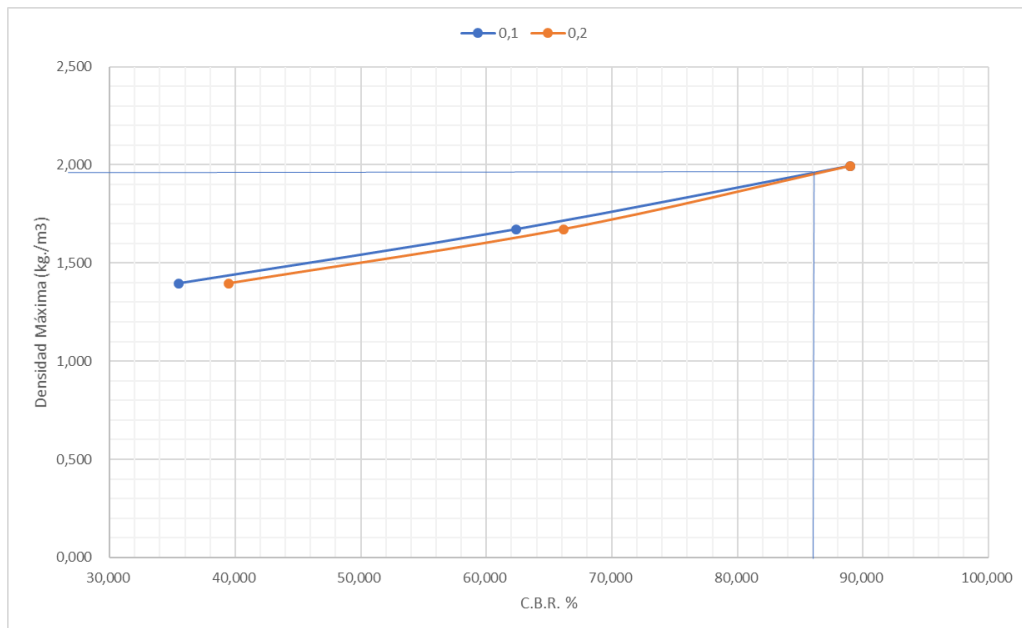


Tabla 4.60 Penetración Base Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,973	1,973
C.B.R (100%)	86	86
C.B.R Promedio	86,00	

#### 4.3.5 CBR Subbase clase 1

Tabla 4.61 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	3			M-6			SL-11		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de	Antes de Remojar		Después de	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10754		11245	11212		11876	10034		10644
Peso del molde (Kgs)	6049		6049	7504		7504	6996		6996
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4705		5196	3708		4372	3038		3648
Volumen muestra (m³)	2177		2177	2403		2403	2226		2226
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,161		2,387	1,543		1,819	1,365		1,639
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	AB	176	RX	B-4	2A	YE	VT	7M	55
	57,51	54,91	51,17	61,58	96,68	93,47	96,30	97,56	90,71
Peso de muestra seca + tarro (g)	53,34	50,94	44,23	57,06	90,67	80,08	90,34	91,43	76,94
Peso del agua (g)	4,17	3,97	6,94	4,52	6,01	13,39	5,96	6,13	13,77
Peso del tarro (g)	12,20	12,01	11,12	12,26	31,25	31,29	31,58	31,80	31,32
Peso de la muestra seca (g)	41,14	38,93	33,11	44,80	59,42	48,79	58,76	59,63	45,62
Contenido de humedad %	10,14%	10,20%	20,96%	10,09%	10,11%	27,44%	10,14%	10,28%	30,18%
Contenido de humedad promedio, %	10,17%		20,96%	10,10%		27,44%	10,21%		30,18%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,962		1,973	1,401		1,428	1,238		1,259

Tabla 4.62 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)												
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº 3			Molde Nº M-6			Molde Nº SL-11			
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
2019-10-31	14h00	1	1	0,001	0,0220	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044	
2019-11-01	14h00	2	1	0,001	0,0220	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088	
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,0440	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088	
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,0440	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088	
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,0440	3	0,003	0,0659776	4	0,004	0,088	

Tabla 4.63 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº 3			Molde Nº M-6			Molde Nº SL-11		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		220	227		112	115		56	58	
0,050		361	372		198	204		98	101	
0,075		593	611		287	296		165	170	
0,100	1000	823	848	<b>87,77</b>	396	408	<b>43,80</b>	234	241	<b>27,10</b>
0,150		1065	1097		523	539		289	298	
0,200		1232	1269	<b>86,60</b>	676	696	<b>48,42</b>	356	367	<b>26,45</b>
0,250		1299	1338		717	739		411	423	
0,300		1356	1397		779	802		476	490	
0,400		1382	1423		809	833		505	520	
0,500		1465	1509		898	925		587	605	
0,600		1512	1557		945	973		623	642	

Figura 4.45 Gráfica CBR Subbase Clase 1 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

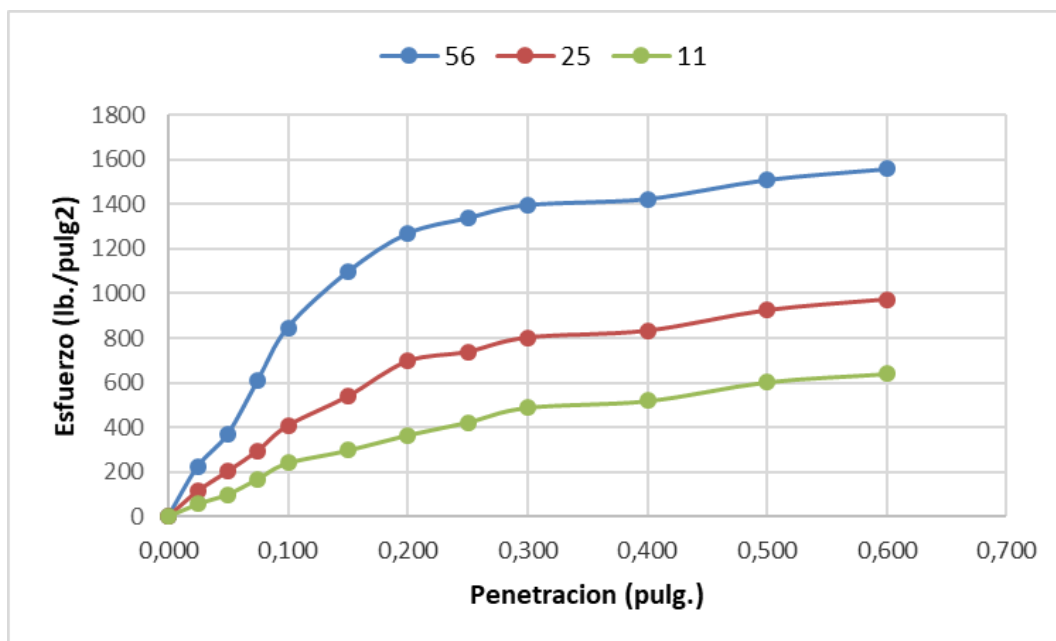


Figura 4.46 Gráfica CBR Subbase Clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

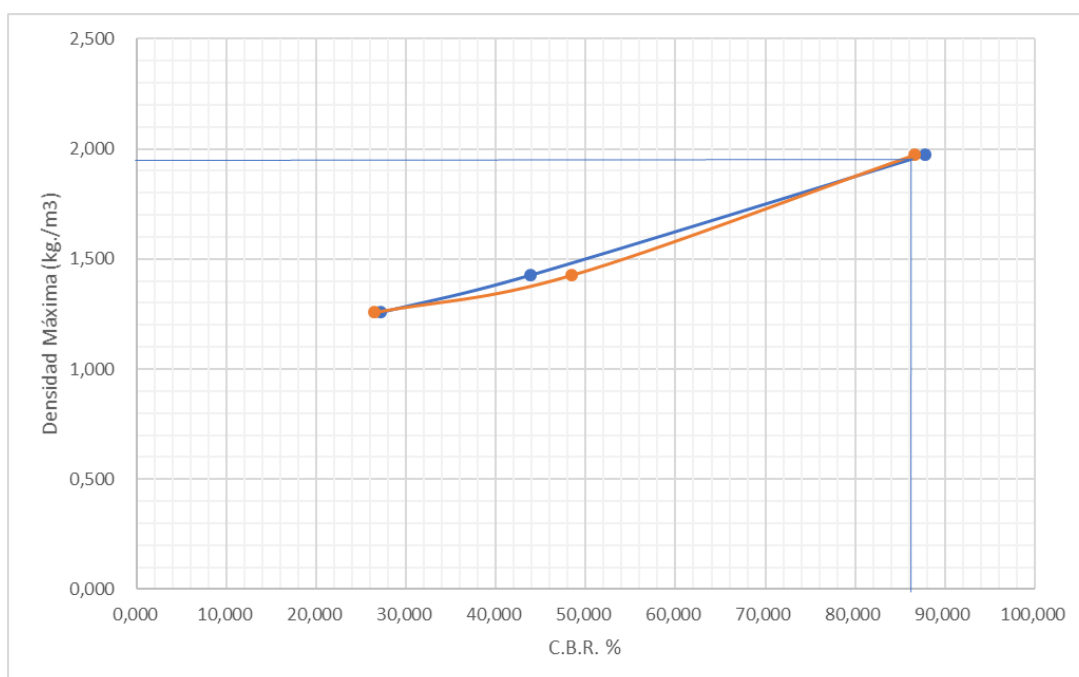


Tabla 4.64 Penetración Subbase Clase 1 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,952	1,952
C.B.R (100%)	86	86
C.B.R Promedio	86,00	

Tabla 4.65 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	CM-22			SL-18			CM-27		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar	Después de Remojar	" de Arriba	Antes de Remojar	Después de Remojar	" de Arriba	Antes de Remojar	Después de Remojar	" de Arriba
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11011	11412		10134	10609		9456	9980	
Peso del molde (Kgs)	6245	6245		6266	6266		6178	6178	
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4766	5167		3868	4343		3278	3802	
Volumen muestra (m³)	2160	2160		2163	2163		2158	2158	
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,206	2,392		1,788	2,008		1,519	1,762	
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	" de Arriba	Fondo	Arriba	" de Arriba	Fondo	Arriba	" de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	VAS	ML-27	0	B-4	1	10	EY4	D345	18
	109,45	88,84	65,34	77,11	68,93	59,77	64,32	70,09	90,12
Peso de muestra seca + tarro (g)	101,45	81,23	56,52	70,45	63,02	50,65	59,00	64,23	74,56
Peso del agua (g)	8,00	7,61	8,82	6,66	5,91	9,12	5,32	5,86	15,56
Peso del tarro (g)	32,02	16,06	12,00	12,26	11,99	12,11	12,15	13,29	16,93
Peso de la muestra seca (g)	69,43	65,17	44,52	58,19	51,03	38,54	46,85	50,94	57,63
Contenido de humedad %	11,52%	11,68%	19,81%	11,45%	11,58%	23,66%	11,36%	11,50%	27,00%
Contenido de humedad promedio, %	11,60%			11,51%			23,66%		
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,977			1,604			1,363		

Tabla 4.66 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº CM-22			Molde Nº SL-18			Molde Nº CM-27		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-08	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,044	3	0,003	0,066
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066

Tabla 4.67 CBR, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº CM-22			Molde Nº SL-18			Molde Nº CM-27		
		Carga del Ensayo	CBR Corr.		Carga del Ensayo	CBR Corr.		Carga del Ensayo	CBR Corr.	
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		209	215		110	113		85	88	
0,050		384	396		235	242		144	148	
0,075		592	610		390	402		199	205	
0,100	1000	832	857	<b>88,70</b>	534	550	<b>58,00</b>	278	286	<b>31,63</b>
0,150		1077	1109		722	744		326	336	
0,200		1256	1294	<b>88,25</b>	934	962	<b>66,13</b>	422	435	<b>30,98</b>
0,250		1379	1420		1098	1131		497	512	
0,300		1424	1467		1122	1156		542	558	
0,400		1489	1534		1195	1231		589	607	
0,500		1533	1579		1233	1270		611	629	
0,600		1591	1639		1276	1314		677	697	

Figura 4.47 Gráfica Subbase Clase 1 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

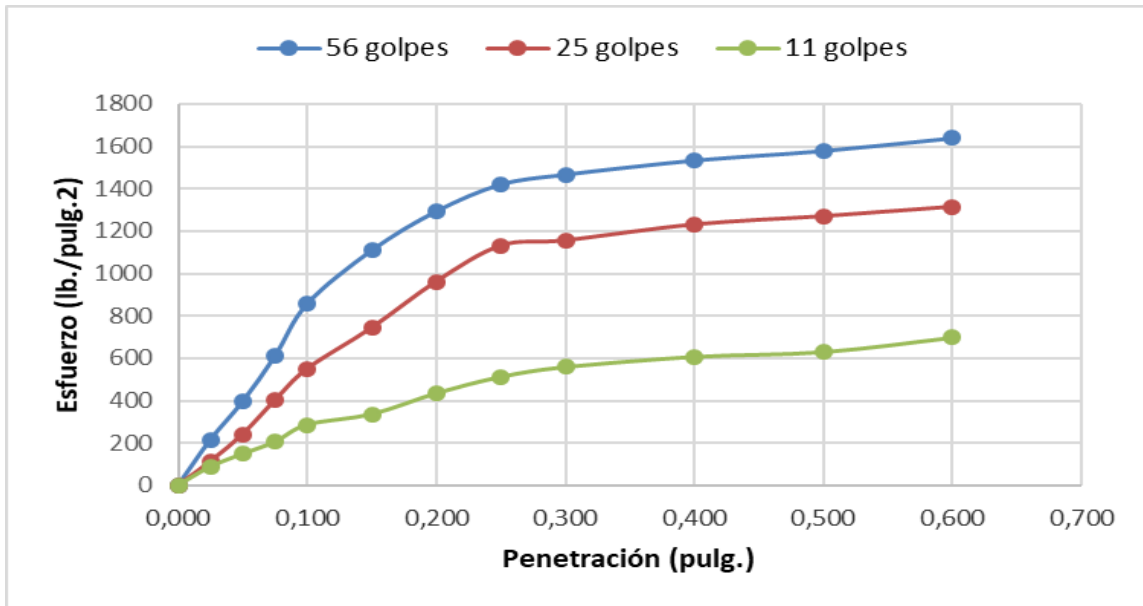


Figura 4.48 Gráfica Subbase Clase 1 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

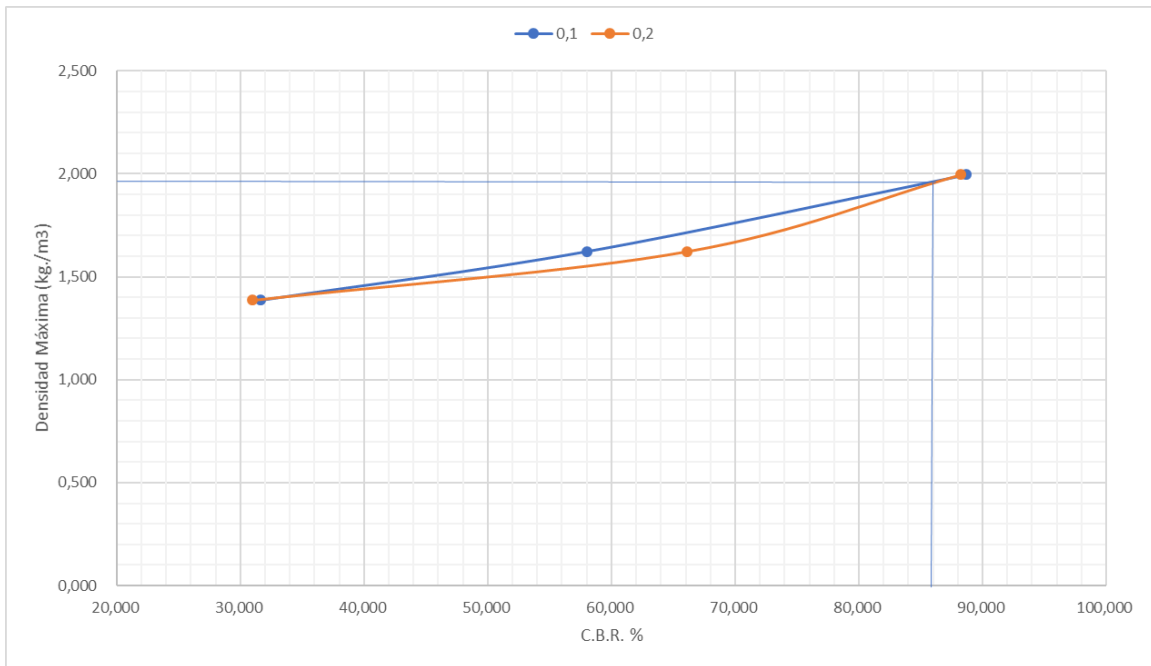


Tabla 4.68 Penetración Subbase Clase 1 de la Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máx. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,966	1,966
C.B.R (100%)	86	86
C.B.R Promedio	86,00	

#### 4.3.6 CBR Subbase clase 2

Tabla 4.69 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	D-11			CM-3			2		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12656		13324	10623		11267	8978		9623
Peso del molde (Kgs)	7670		7670	7120		7120	6004		6004
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4986		5654	3503		4147	2974		3619
Volumen muestra (m³)	2323		2323	2285		2285	2156		2156
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,146		2,434	1,533		1,815	1,379		1,679
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Tarro Nº	A	4M	VAS	SA	R88	D38	SI	5	17
Peso de muestra humedad + tarro (g)	106,41	123,74	142,52	47,73	45,77	44,03	50,75	69,76	64,44
Peso de muestra seca + tarro (g)	99,45	115,09	120,86	44,43	42,60	36,83	47,19	64,38	51,85
Peso del agua (g)	6,96	8,65	21,66	3,30	3,17	7,20	3,56	5,38	12,59
Peso del tarro (g)	31,53	31,42	32,02	11,78	11,70	12,03	12,16	11,96	12,20
Peso de la muestra seca (g)	67,92	83,67	88,84	32,65	30,90	24,80	35,03	52,42	39,65
Contenido de humedad %	10,25%	10,34%	24,38%	10,11%	10,26%	29,03%	10,16%	10,26%	31,75%
Contenido de humedad promedio, %	10,29%		24,38%	10,18%		29,03%	10,21%		31,75%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,946		1,957	1,391		1,407	1,252		1,274

Tabla 4.70 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº D-11			Molde Nº CM-3			Molde Nº 2		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-10-31	14h00	1	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	7	0,007	0,154
2019-11-01	14h00	2	3	0,003	0,0659776	6	0,006	0,132	9	0,009	0,198
2019-11-02	14h00	3	3	0,003	0,0659776	6	0,006	0,132	9	0,009	0,198
2019-11-03	14h00	4	3	0,003	0,0659776	6	0,006	0,132	9	0,009	0,198
2019-11-04	14h00	5	3	0,003	0,0659776	6	0,006	0,1319551	9	0,009	0,198

Tabla 4.71 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº D-11			Molde Nº CM-3			Molde Nº 2		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		165	170		90	93		45	46	
0,050		296	305		188	194		97	100	
0,075		465	479		284	293		156	161	
0,100	1000	619	638	<b>66,80</b>	394	406	<b>43,60</b>	198	204	<b>23,39</b>
0,150		850	875		512	527		232	239	
0,200		1002	1032	<b>70,80</b>	643	662	<b>46,15</b>	297	306	<b>22,39</b>
0,250		1127	1161		743	765		345	355	
0,300		1170	1205		811	835		376	387	
0,400		1201	1237		887	914		396	408	
0,500		1237	1274		943	971		434	447	
0,600		1270	1308		965	994		451	465	

Figura 4.49 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina la Chimba (Cayambe-Ecuador)

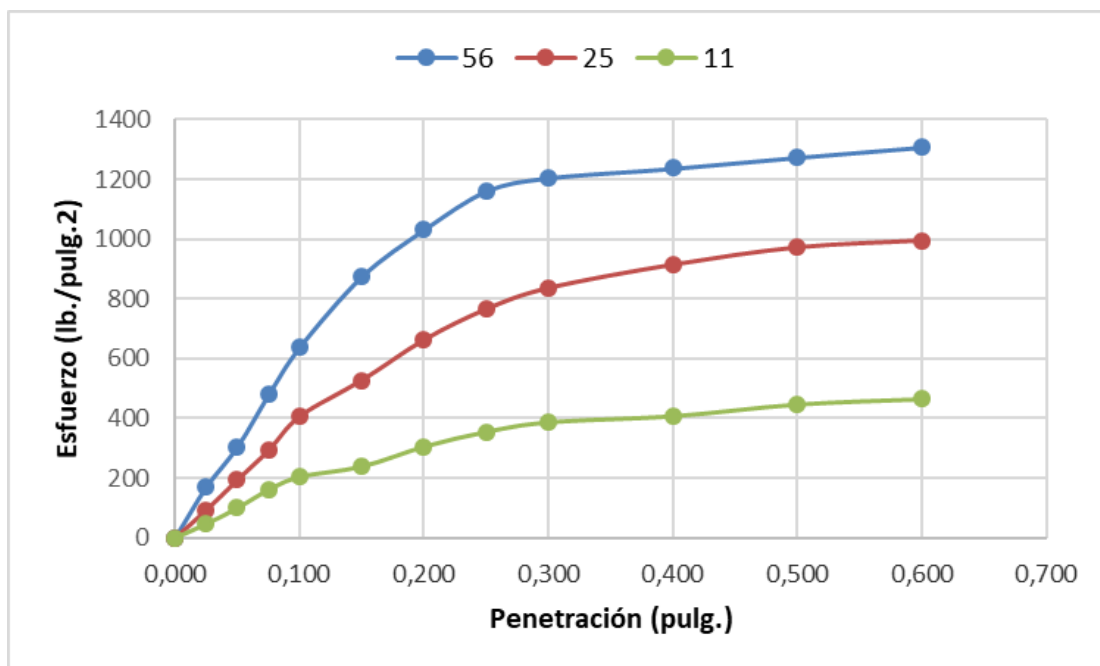


Figura 4.50 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

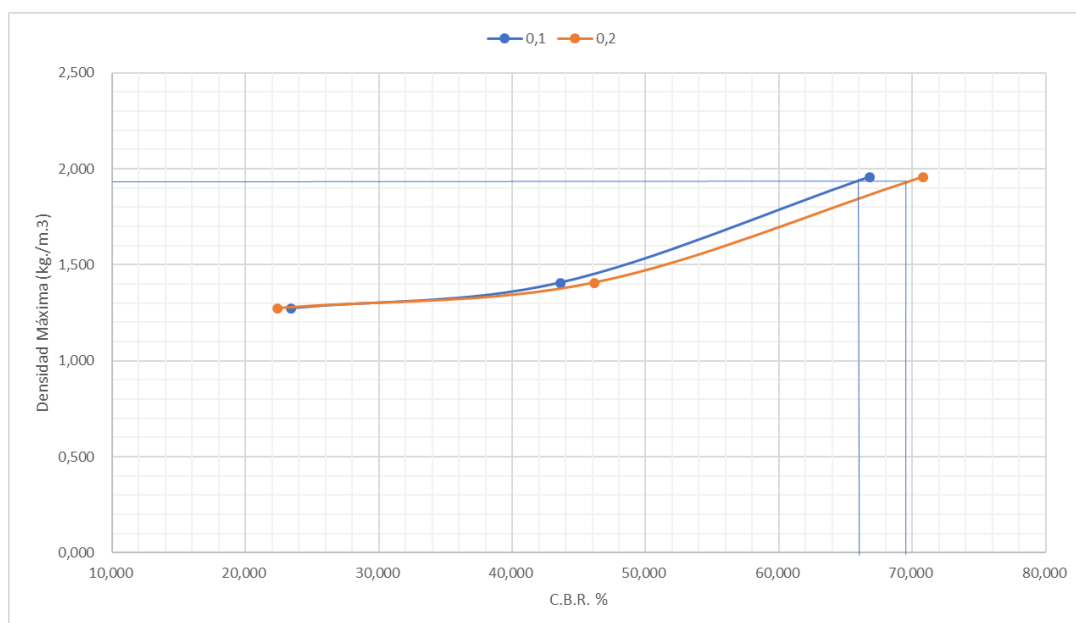


Tabla 4.72 Penetración Subbase Clase 2 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,93	1,93
C.B.R (100%)	66	69,5
C.B.R Promedio	67,75	

Tabla 4.73 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	D-11			D-7			B-10		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10878		11435	10033		10597	9233		9845
Peso del molde (Kgs)	6260		6260	6277		6277	6195		6195
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4618		5175	3756		4320	3038		3650
Volumen muestra (m³)	2155		2155	2159		2159	2151		2151
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,143		2,401	1,740		2,001	1,412		1,697
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba	Fondo	Arriba	1º de Arriba
Tarro Nº	51	RX	Y	RR	B-30	B-14	BC-2	M-2	B-18
Peso de muestra humedad + tarro (g)	59,76	57,33	58,32	85,63	99,54	89,62	90,11	86,73	92,56
Peso de muestra seca + tarro (g)	55,34	52,98	50,95	78,83	91,89	74,00	83,34	79,79	74,45
Peso del agua (g)	4,42	4,35	7,37	6,80	7,65	15,62	6,77	6,94	18,11
Peso del tarro (g)	12,01	11,12	16,70	12,24	17,95	14,90	16,35	12,00	16,66
Peso de la muestra seca (g)	43,33	41,86	34,25	66,59	73,94	59,10	66,99	67,79	57,79
Contenido de humedad %	10,20%	10,39%	21,52%	10,21%	10,35%	26,43%	10,11%	10,24%	31,34%
Contenido de humedad promedio, %	10,30%		21,52%	10,28%		26,43%	10,17%		31,34%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,943		1,976	1,578		1,583	1,282		1,292

Tabla 4.74 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº D-11			Molde Nº D-7			Molde Nº B-10		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-08	14h00	3	1	0,001	0,0219925	2	0,002	0,044	2	0,002	0,044
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	3	0,003	0,066
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,0659776	3	0,003	0,066

Tabla 4.74 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº D-11		Molde Nº D-7			Molde Nº B-10			
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.			
0,000		0	0	0	0	0	0			
0,025		179	184	98	101	54	56			
0,050		381	392	247	254	126	130			
0,075		547	563	385	397	177	182			
0,100	1000	711	732	<b>76,23</b>	522	538	<b>56,77</b>	216	222	<b>25,25</b>
0,150		896	923		642	661		244	251	
0,200		1065	1097	<b>75,13</b>	796	820	<b>56,66</b>	323	333	<b>24,18</b>
0,250		1134	1168		893	920		388	400	
0,300		1255	1293		975	1004		411	423	
0,400		1298	1337		1024	1055		479	493	
0,500		1326	1366		1112	1145		496	511	
0,600		1377	1418		1145	1179		509	524	

Figura 4.51 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

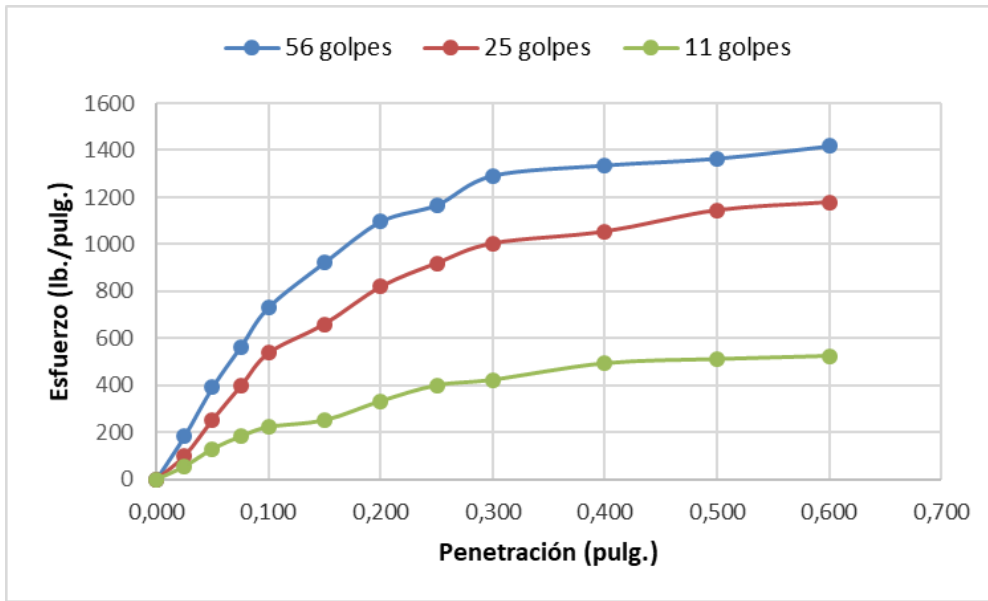


Figura 4.52 Gráfica CBR Subbase Clase 2 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

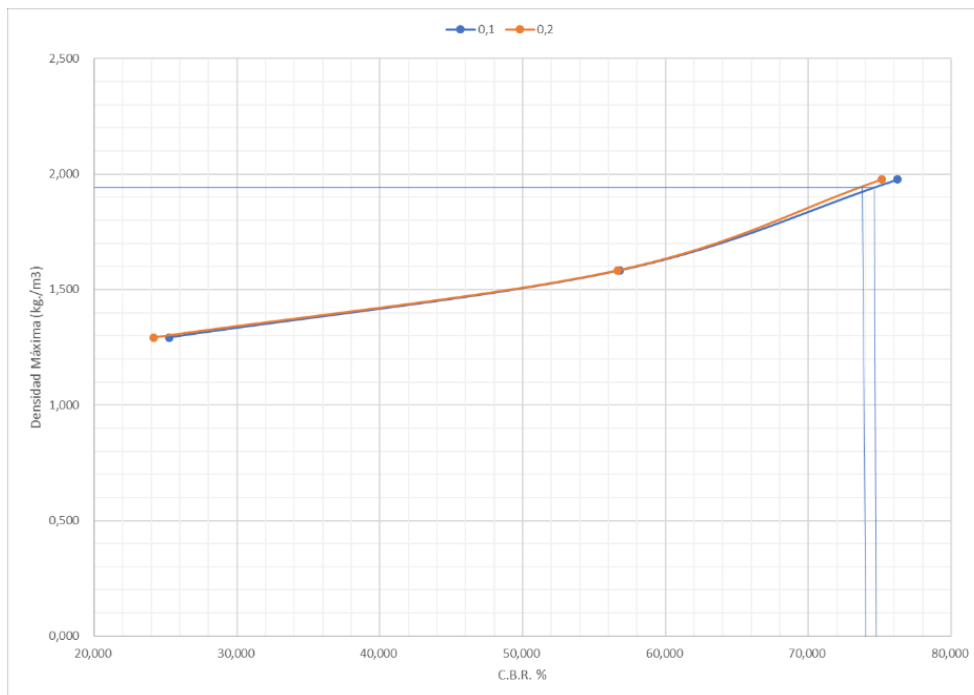


Tabla 4.76 Penetración Subbase Clase 2 Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,935	1,935
C.B.R (100%)	74	75
C.B.R Promedio	74,50	

#### 4.3.7 CBR Subbase clase 3

Tabla 4.77 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	1			B-6			D-2		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10511		10987	10343		10945	9743		10432
Peso del molde (Kgs)	6045		6045	6895		6895	6518		6518
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4466		4942	3448		4050	3225		3914
Volumen muestra (m³)	2116		2116	2317		2317	2366		2366
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,111		2,336	1,488		1,748	1,363		1,654
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo		Arriba	1" de Arriba	Fondo		Arriba	1" de Arriba	Fondo
Peso de muestra humedad + tarro (g)	DC	1	D-11	D-12	M-3	SI-2	SI-3	D-10	3"- 2
	78,92	81,09	134,70	145,90	198,30	195,10	126,70	124,30	189,90
Peso de muestra seca + tarro (g)	72,87	74,82	114,88	135,00	192,92	181,98	123,57	115,50	154,00
Peso del agua (g)	6,05	6,27	19,82	10,90	5,38	13,12	3,13	8,80	35,90
Peso del tarro (g)	12,05	12,28	19,92	25,00	139,20	132,50	92,10	27,80	44,40
Peso de la muestra seca (g)	60,82	62,54	94,96	110,00	53,72	49,48	31,47	87,70	109,60
Contenido de humedad %	9,95%	10,03%	20,87%	9,91%	10,01%	26,52%	9,95%	10,03%	32,76%
Contenido de humedad promedio, %	9,99%		20,87%	9,96%		26,52%	9,99%		32,76%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,919		1,932	1,353		1,382	1,239		1,246

Tabla 4.78 Esponjamiento, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº 1			Molde Nº B-6			Molde Nº D-2		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-10-31	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-01	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-02	14h00	3	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2019-11-03	14h00	4	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2019-11-04	14h00	5	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,0879701	4	0,004	0,088

Tabla 4.79 CBR, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº 1			Molde Nº B-6			Molde Nº D-2		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		179	184		90	93		35	36	
0,050		343	353		175	180		78	80	
0,075		519	535		234	241		118	122	
0,100	1000	693	714	<b>74,40</b>	315	324	<b>35,40</b>	160	165	<b>19,48</b>
0,150		896	923		397	409		197	203	
0,200		1114	1147	<b>78,49</b>	511	526	<b>37,09</b>	234	241	<b>18,07</b>
0,250		1277	1315		581	598		279	287	
0,300		1345	1385		633	652		321	331	
0,400		1422	1465		692	713		376	387	
0,500		1490	1535		741	763		411	423	
0,600		1512	1557		779	802		454	468	

Figura 4.53 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

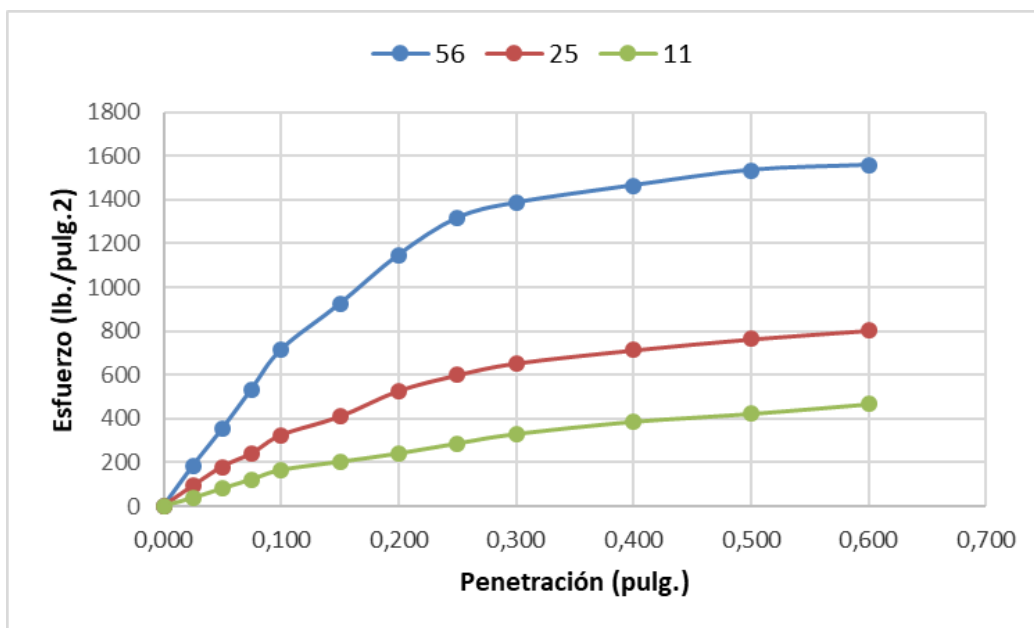


Figura 4.54 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

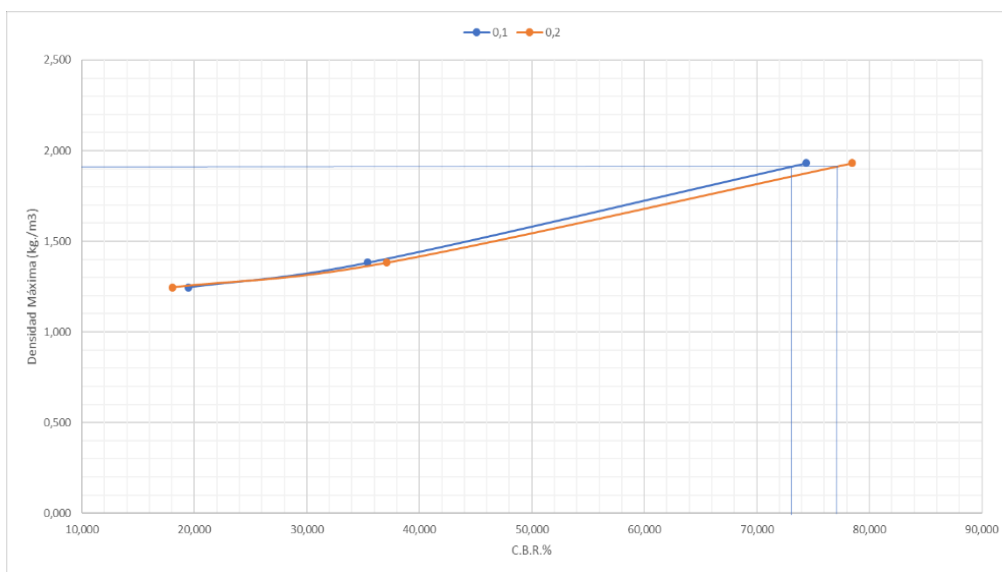


Tabla 4.80 Penetración Subbase Clase 3 de la Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Máxima	1,905	1,905
C.B.R. (100%)	73	77
C.B.R. Promedio	75,00	

Tabla 4.81 Contenido de Humedad y Peso Unitario, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde Nº	HJ-3			HJ-7			GJ-10		
Nº de Capas	5			5			5		
Nº de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	10623		11234	9812		10345	9144		9678
Peso del molde (Kgs)	6124		6124	6140		6140	6139		6139
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4499		5110	3672		4205	3005		3539
Volumen muestra (m³)	2144		2144	2156		2156	2149		2149
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2,098		2,383	1,703		1,950	1,398		1,647
Cant. De humedad de muestra del tarro Nº	Fondo	Arriba	1ª de Arriba	Fondo	Arriba	1ª de Arriba	Fondo	Arriba	1ª de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	D-20	B-15	D-9	EF	AB3	AB15	SD	ML	MV
	90,11	92,34	87,81	89,73	95,64	78,96	79,12	99,44	96,79
Peso de muestra seca + tarro (g)	82,95	85,20	74,56	83,19	88,45	69,98	74,76	92,89	82,09
Peso del agua (g)	7,16	7,14	13,25	6,54	7,19	8,98	4,36	6,55	14,70
Peso del tarro (g)	13,30	16,48	13,44	19,98	20,08	34,01	32,13	29,76	30,21
Peso de la muestra seca (g)	69,65	68,72	61,12	63,21	68,37	35,97	42,63	63,13	51,88
Contenido de humedad %	10,28%	10,39%	21,68%	10,35%	10,52%	24,97%	10,23%	10,38%	28,33%
Contenido de humedad promedio, %	10,33%		21,68%	10,43%		24,97%	10,30%		28,33%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1,902		1,959	1,542		1,561	1,268		1,283

Tabla 4.82 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)											
Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde Nº HJ-3			Molde Nº HJ-7			Molde Nº GJ-10		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2019-11-06	14h00	1	1	0,001	0,0219925	1	0,001	0,022	2	0,002	0,044
2019-11-07	14h00	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,066	4	0,004	0,088
2019-11-08	14h00	3	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2019-11-09	14h00	4	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,088	4	0,004	0,088
2019-11-10	14h00	5	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,0879701	4	0,004	0,088

Tabla 4.83 Esponjamiento, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

CBR										
Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde Nº HJ-3			Molde Nº HJ-7			Molde Nº GJ-10		
		Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.	Carga del Ensayo		CBR Corr.
0,000		0	0		0	0		0	0	
0,025		112	115		79	81		34	35	
0,050		275	283		156	161		89	92	
0,075		452	466		231	238		97	100	
0,100	1000	605	623	<b>65,30</b>	336	346	<b>37,60</b>	124	128	<b>15,77</b>
0,150		831	856		486	501		156	161	
0,200		998	1028	<b>70,53</b>	605	623	<b>43,53</b>	198	204	<b>15,60</b>
0,250		1076	1108		711	732		231	238	
0,300		1124	1158		769	792		267	275	
0,400		1198	1234		811	835		289	298	
0,500		1265	1303		885	912		311	320	
0,600		1312	1351		898	925		342	352	

Figura 4.55 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Esfuerzo/Penetración), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

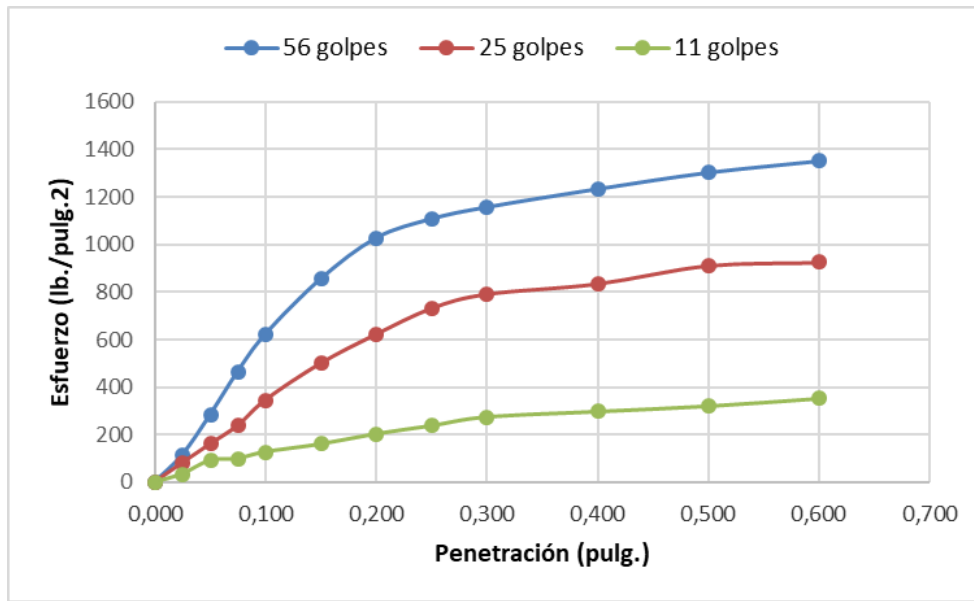


Figura 4.56 Gráfica CBR Subbase Clase 3 (Densidad máxima/CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

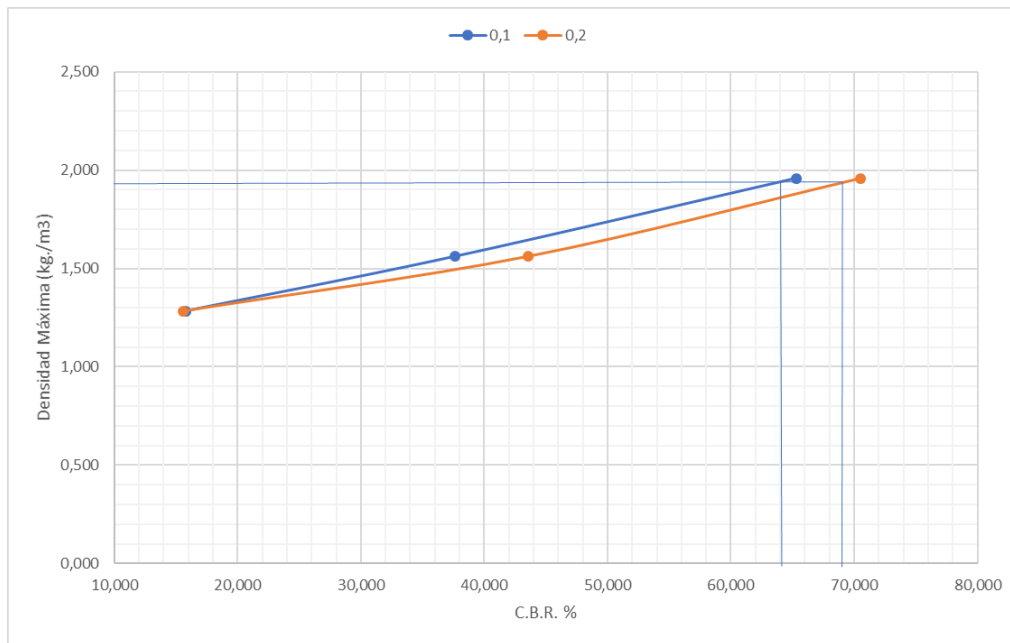


Tabla 4.84 Penetración Subbase Clase 3 Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador); Densidad Máxima vs. C.B.R.

Penetración (pulg.)	0,1	0,2
Densidad Maxima	1,919	1,919
C.B.R (100%)	64	69
C.B.R Promedio	66,50	

#### 4.4 MÓDULO DE YOUNG

##### Módulo Resiliente a partir del Módulo de Young

El Módulo de Young que será obtenido en campo mediante el GeoGauge tendrá como unidad MPa, para definir el Módulo Resiliente y realizar la correlación debemos desarrollar un cambio de unidades tomando en cuenta que 1MPa es igual a 145,0377 Psi de manera aproximada.

Tabla 4.85 Geogauge, Módulo de Young y Módulo Resiliente, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	Módulo de Young (Mpa.)			Módulo de Young Promedio (Mpa.)	Módulo Resiliente (Psi)			Módulo Resiliente Promedio (Psi)
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3		MR 1	MR 2	MR 3	
SUBBASE CLASE 1	96,06	98,41	101,46	98,64	13932,32	14273,16	14715,53	14307,00
SUBBASE CLASE 2	97,27	99,36	104,87	100,50	14107,82	14410,95	15210,10	14576,29
SUBBASE CLASE 3	98,59	101,97	106,53	102,36	14299,27	14789,49	15450,87	14846,54
BASE CLASE 1	109,45	114,26	120,34	114,68	15874,38	16572,01	17453,84	16633,41
BASE CLASE 2	116,34	115,94	121,59	117,96	16873,69	16815,67	17635,13	17108,16
BASE CLASE 3	117,48	120,32	126,37	121,39	17039,03	17450,94	18328,41	17606,13
BASE CLASE 4	129,35	131,28	132,01	130,88	18760,63	19040,55	19146,43	18982,53

Tabla 4.86 Geogauge, Módulo de Young y Módulo Resiliente, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	Módulo de Young (Mpa.)			Módulo de Young Promedio (Mpa.)	Módulo Resiliente (Psi)			Módulo Resiliente Promedio (Psi)
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3		MR 1	MR 2	MR 3	
SUBBASE CLASE 1	95,38	96,34	98,21	96,64	13833,70	13972,93	14244,15	14016,93
SUBBASE CLASE 2	97,02	97,25	99,14	97,80	14071,56	14104,92	14379,04	14185,17
SUBBASE CLASE 3	98,25	99,06	102,64	99,98	14249,95	14367,43	14886,67	14501,35
BASE CLASE 1	112,65	114,01	118,54	115,07	16338,50	16535,75	17192,77	16689,00
BASE CLASE 2	115,24	115,97	119,67	116,96	16714,14	16820,02	17356,66	16963,61
BASE CLASE 3	118,04	120,58	128,46	122,36	17120,25	17488,65	18631,54	17746,81
BASE CLASE 4	132,54	133,67	137,43	134,55	19223,30	19387,19	19932,53	19514,34

## CAPÍTULO 5

### 5.1 RESUMEN Y RESULTADOS

Tabla 5.1 Resumen Resultados (Humedad Óptima, Densidad Máxima y CBR), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	C.B.R. (%)
SUBBASE CLASE 1	10,39	1952	86
SUBBASE CLASE 2	10,98	1930	67,75
SUBBASE CLASE 3	10,21	1905	75
BASE CLASE 1	9,15	2150	75,13
BASE CLASE 2	10,92	2071	83,38
BASE CLASE 3	10,19	1983	84,25
BASE CLASE 4	10,08	1978	77

Tabla 5.2 Resumen de Resultados (Módulo de Young y Módulo Resiliente), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	MÓDULO DE YOUNG (Mpa)	MODULO RESILIENTE (Psi)
SUBBASE CLASE 1	98,64	14307,00
SUBBASE CLASE 2	100,50	14576,29
SUBBASE CLASE 3	102,36	14846,54
BASE CLASE 1	114,68	16633,41
BASE CLASE 2	117,96	17108,16
BASE CLASE 3	121,39	17606,13
BASE CLASE 4	130,88	18982,53

Tabla 5.3 Resumen (Humedad Óptima, Densidad Máxima y CBR), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MAXIMA (g/cm3)	C.B.R. (%)
SUBBASE CLASE 1	11,99	1966	86
SUBBASE CLASE 2	10,45	1935	74,5
SUBBASE CLASE 3	10,01	1919	66,5
BASE CLASE 1	11,56	2190	66,8
BASE CLASE 2	11,23	2081	95,75
BASE CLASE 3	10,66	1989	92
BASE CLASE 4	10,82	1973	86

Tabla 5.4 Resumen Resultados (Módulo de Young y Módulo Resiliente), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	MÓDULO DE YOUNG (Mpa)	MODULO RESILIENTE (Psi)
SUBBASE CLASE 1	96,64	14016,93
SUBBASE CLASE 2	97,80	14185,17
SUBBASE CLASE 3	99,98	14501,35
BASE CLASE 1	115,07	16689,00
BASE CLASE 2	116,96	16963,61
BASE CLASE 3	122,36	17746,81
BASE CLASE 4	134,55	19514,34

## CAPÍTULO 6

### 6.1 CORRELACIÓN DEL C.B.R. CON EL MÓDULO DE YOUNG

Tabla 6.1 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	DENSIDAD SECA DE CAMPO (g/cm <sup>3</sup> )			MÓDULO RESILIENTE (Psi)		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	MR 1	MR 2	MR 3
SUBBASE CLASE 1	1,856	1,855	1,967	13932,32	14273,16	14715,53
SUBBASE CLASE 2	1,799	1,798	1,83	14107,82	14410,95	15210,1
SUBBASE CLASE 3	1,809	1,798	1,898	14299,27	14789,49	15450,87
BASE CLASE 1	1,845	1,869	1,924	15874,38	16572,01	17453,84
BASE CLASE 2	1,802	1,901	1,85	16873,69	6815,67	17635,13
BASE CLASE 3	1,795	1,915	1,924	17039,03	17450,94	18328,41
BASE CLASE 4	1,801	1,902	1,875	18760,63	19040,55	19146,43

Figura 6.1 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

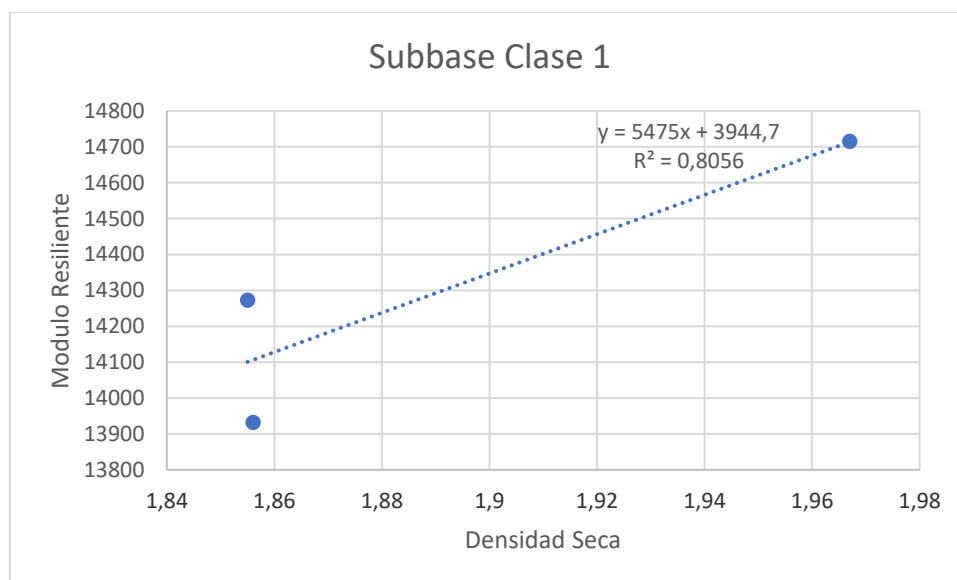


Figura 6.2 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

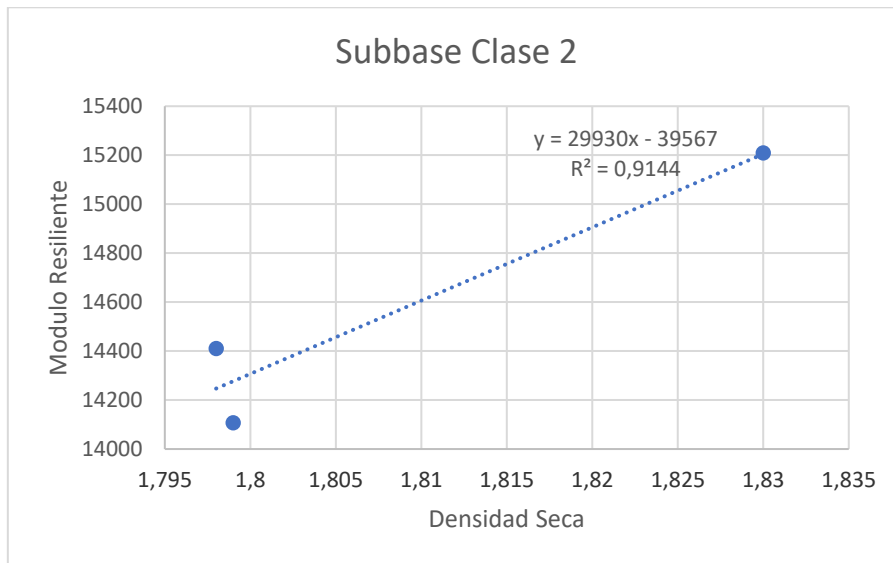


Figura 6.3 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

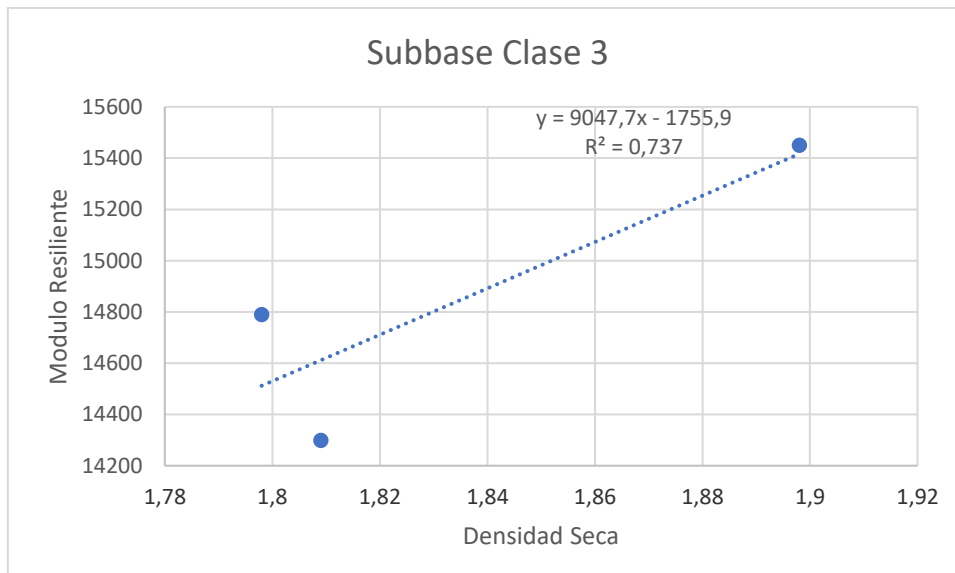


Figura 6.4 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

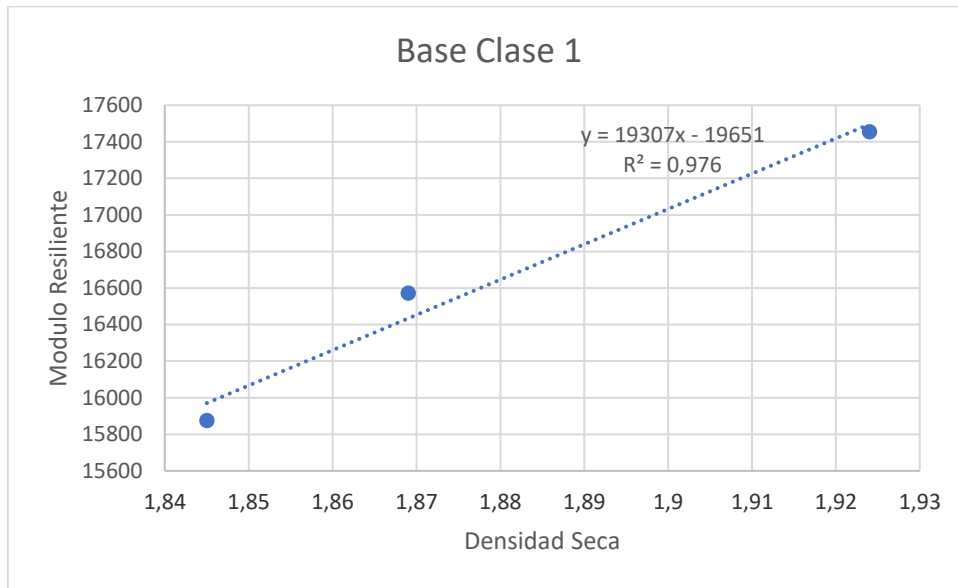


Figura 6.5 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 2, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

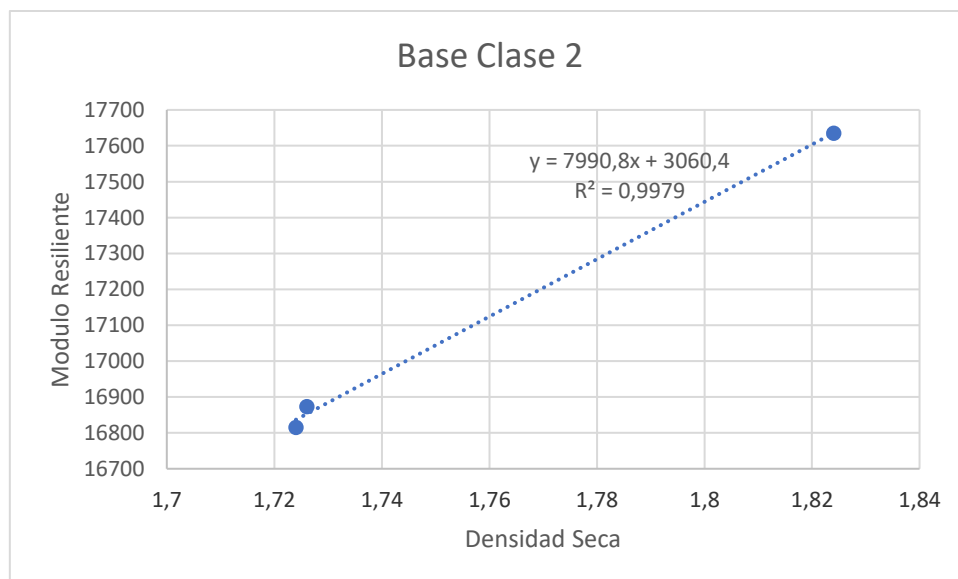


Figura 6.6 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 3, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

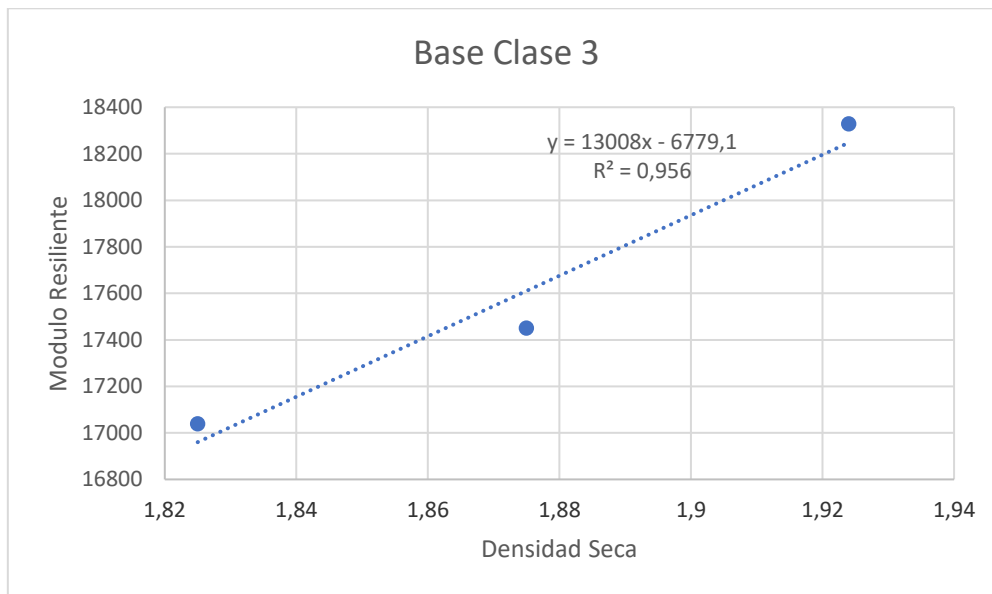


Figura 6.7 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 4, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

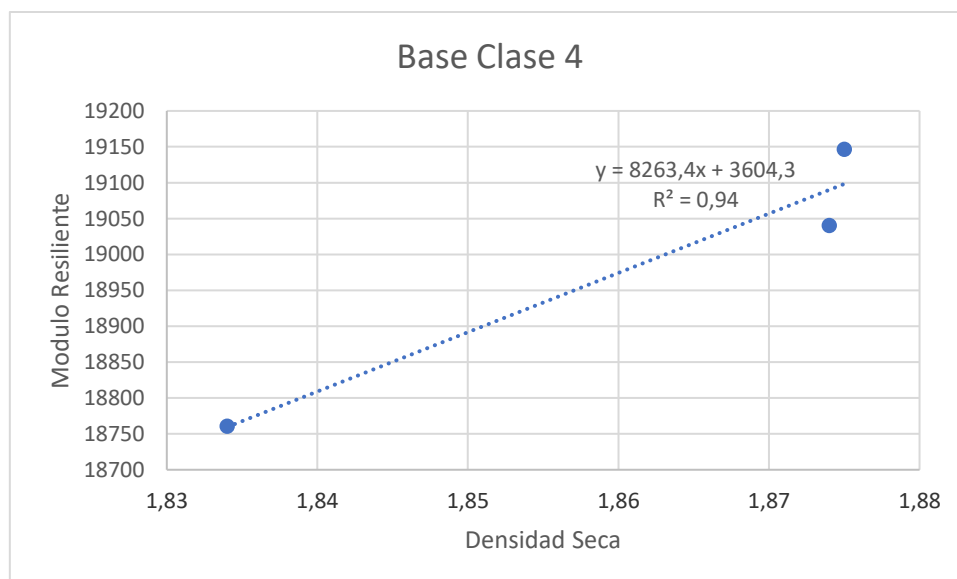


Tabla 6.2 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Ecuación de Cálculo), Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	ECUACIÓN	MODULO RESILIENTE (PSI)
SUBBASE CLASE 1	1,967	$y = 5475x + 3944,7$	14714,025
SUBBASE CLASE 2	1,83	$y = 29930x - 39567$	15204,9
SUBBASE CLASE 3	1,898	$y = 9047,7x - 1755,9$	15416,6346
BASE CLASE 1	1,924	$y = 19307x - 19651$	17495,668
BASE CLASE 2	1,824	$y = 7990,8x + 3060,4$	17635,6192
BASE CLASE 3	1,924	$y = 13008x - 6779,1$	18248,292
BASE CLASE 4	1,875	$y = 8263,4x + 3604,3$	19098,175

Tabla 6.3 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (C.B.R.) Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	MÓDULO RESILIENTE (PSI)	C.B.R. (%)
SUBBASE CLASE 1	1,967	14714,025	86
SUBBASE CLASE 2	1,83	15204,9	67,75
SUBBASE CLASE 3	1,898	15416,6346	75
BASE CLASE 1	1,924	17495,668	75,13
BASE CLASE 2	1,907	19362,6038	83,38
BASE CLASE 3	1,924	18248,292	84,25
BASE CLASE 4	1,875	19098,175	77

Tabla 6.31 Factor R<sup>2</sup> y R Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	Factor R <sup>2</sup>	Factor R	Calidad	Rango de Relacion
SUBBASE CLASE 1	0,8056	0,89755223	Buena	Fuerte - Perfecta
SUBBASE CLASE 2	0,9144	0,95624265	Excelente	Fuerte - Perfecta
SUBBASE CLASE 3	0,737	0,85848704	Buena	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 1	0,976	0,98792712	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 2	0,9979	0,99894945	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 3	0,956	0,97775252	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 4	0,94	0,96953597	Excelente	Fuerte - Perfecta

6.32 Rango de Valores Factor R

R	Calidad	R	Rango de relacion
1	Perfecta	0 - 0,25	Escasa o Nula
0,9 - 1	Excelente	0,26 - 0,5	Débil
0,8 - 0,9	Buena	0,51 - 0,75	Moderada - Fuerte
0,5 - 0,8	Regular	0,76 - 1	Fuerte - Perfecta
<0,5	Mala		

(Cabrera, 2009)

Figura 6.8 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Subbases, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

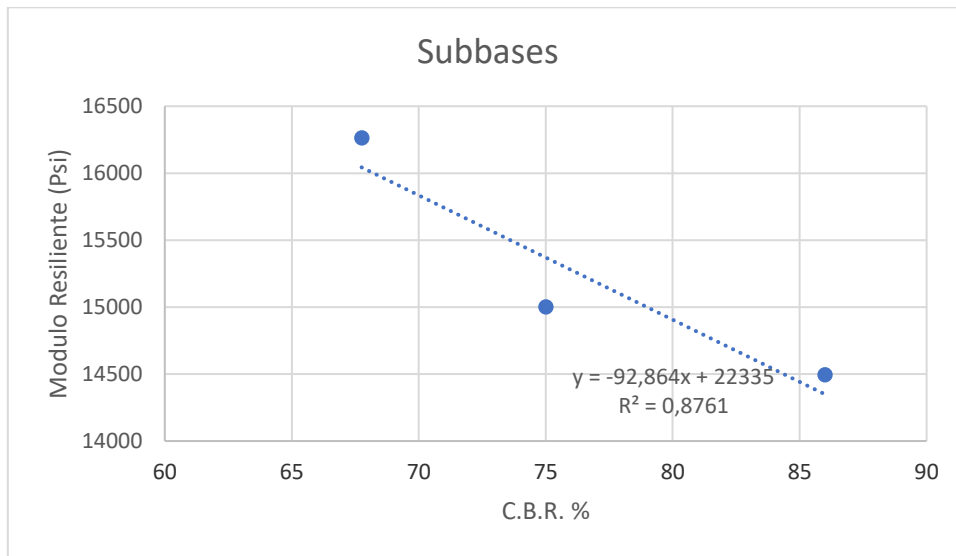


Figura 6.9 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Bases, Mina La Chimba (Cayambe-Ecuador)

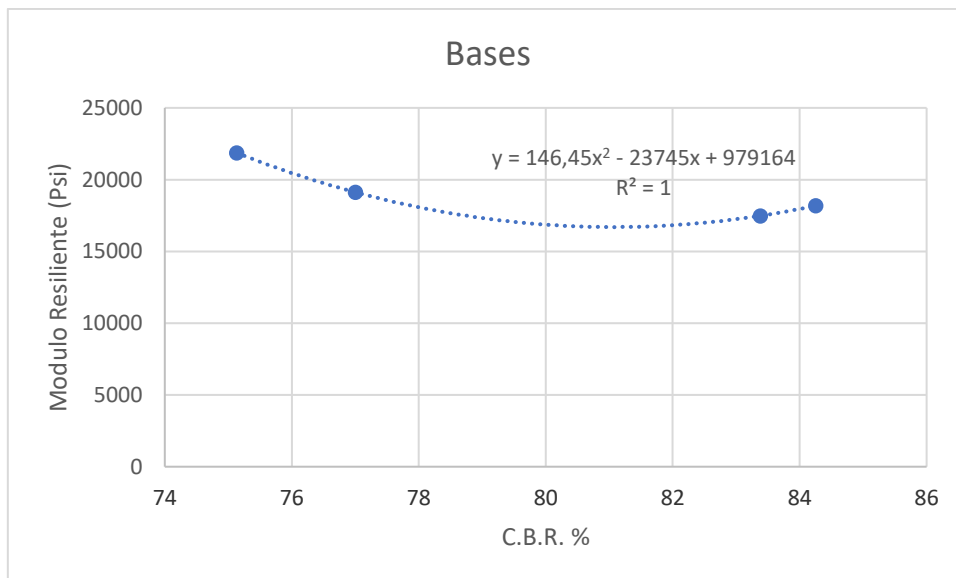


Tabla 6.4 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	DENSIDAD SECA DE CAMPO (g/cm3)			MODULO RESILIENTE (Psi)		
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	MR 1	MR 2	MR 3
SUBBASE CLASE 1	1,879	1,869	1,894	13833,70	13972,93	14244,15
SUBBASE CLASE 2	1,794	1,845	20,4	14071,56	14104,92	14379,04
SUBBASE CLASE 3	1,864	1,821	1,957	14249,95	14367,43	14886,67
BASE CLASE 1	1,802	1,837	1,897	16338,50	16535,75	17192,77
BASE CLASE 2	1,726	1,924	1,907	16714,14	16820,02	17356,66
BASE CLASE 3	1,704	1,794	1,985	17120,25	17488,65	18631,54
BASE CLASE 4	1,867	1,92	2,087	19223,30	19387,19	19932,53

Figura 6.10 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

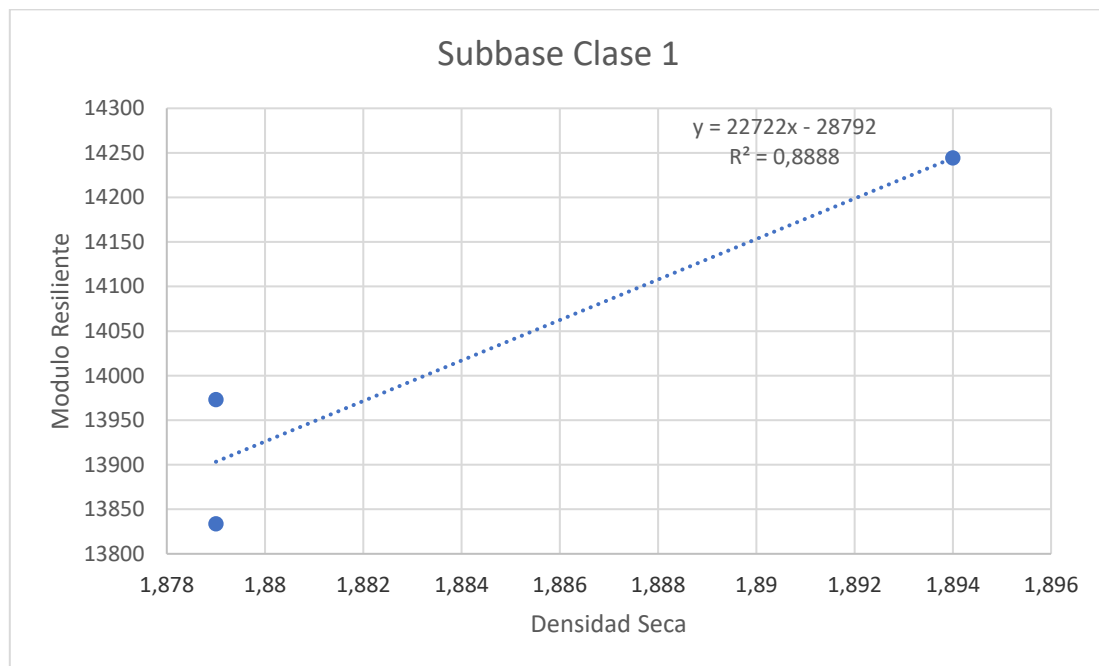


Figura 6.11 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

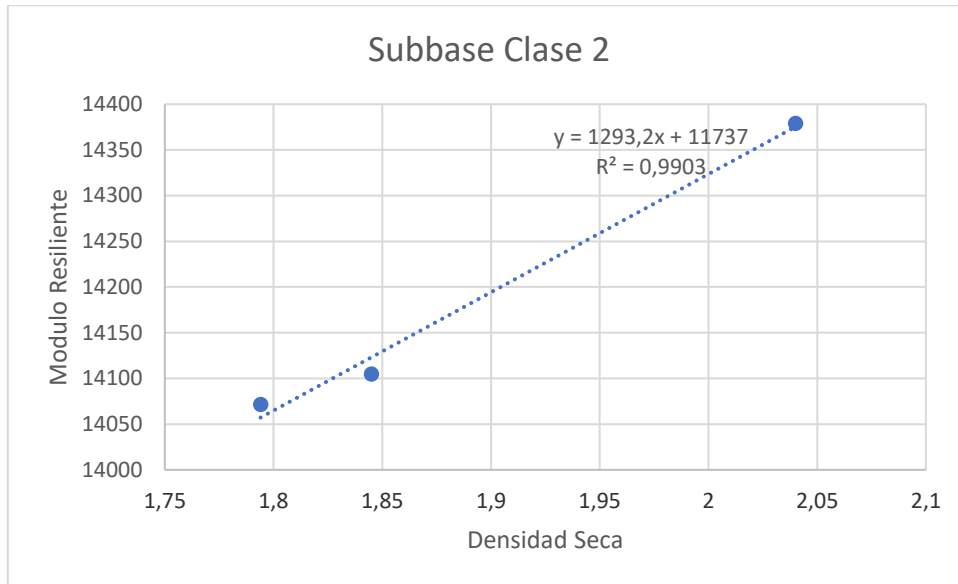


Figura 6.12 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Subbase Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

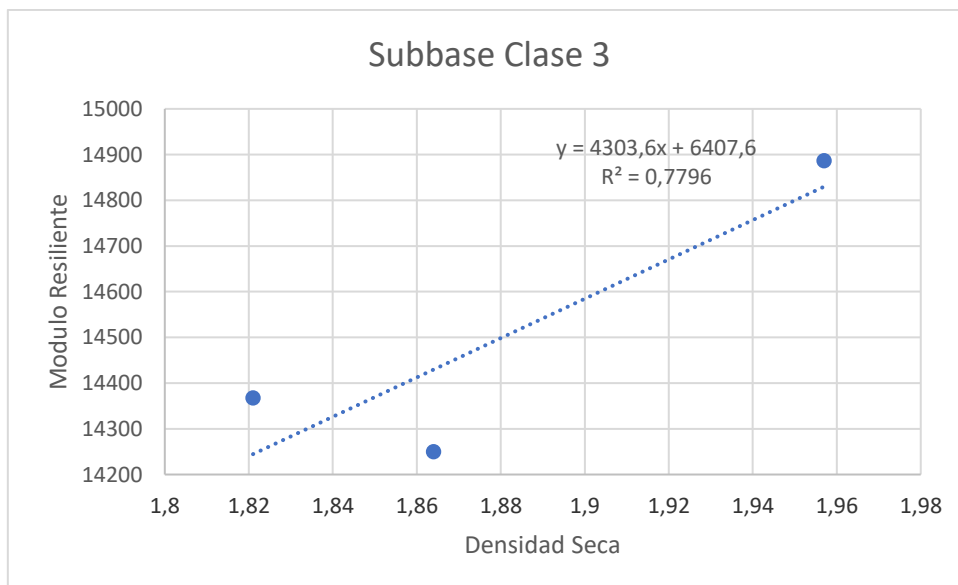


Figura 6.13 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

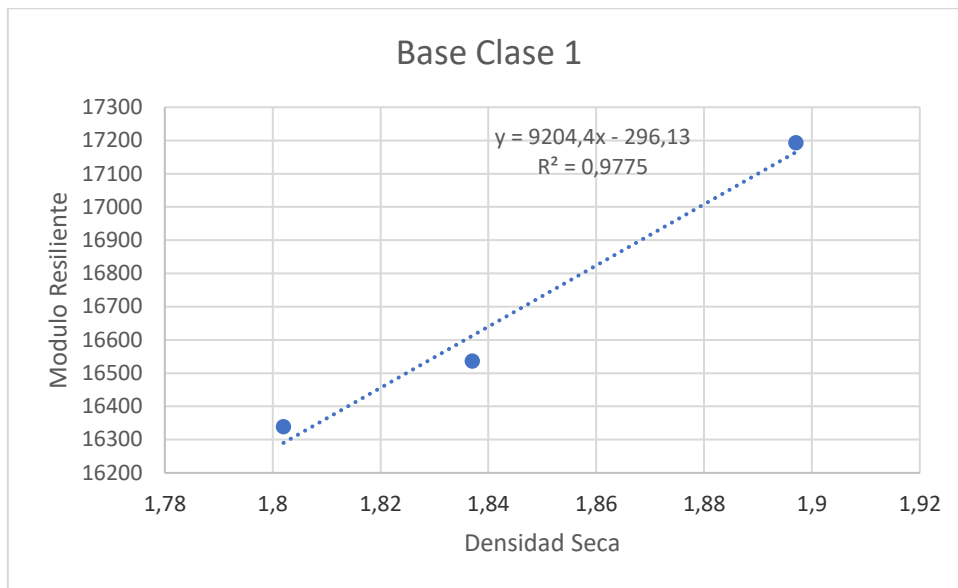


Figura 6.14 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 2, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

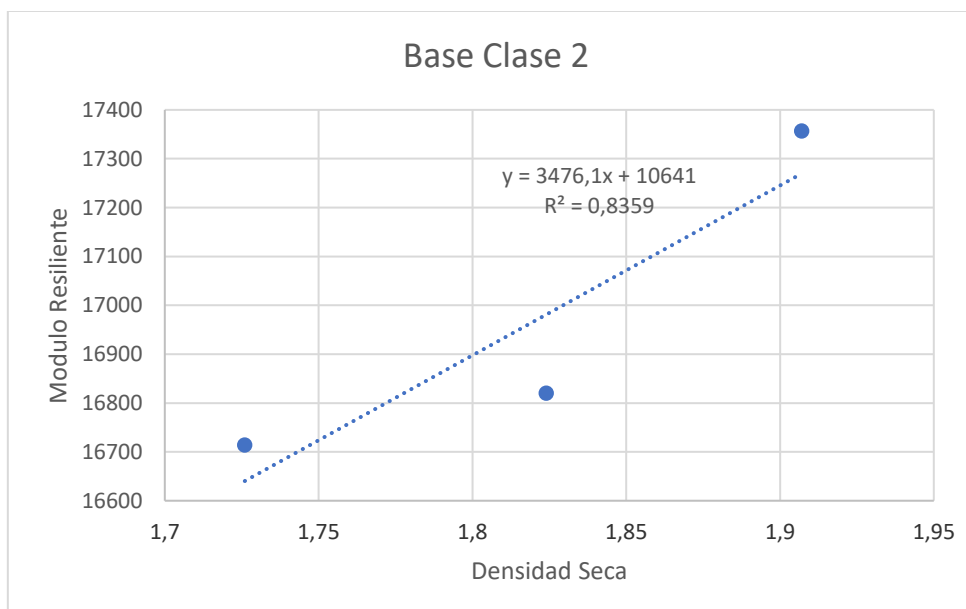


Figura 6.15 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 3, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

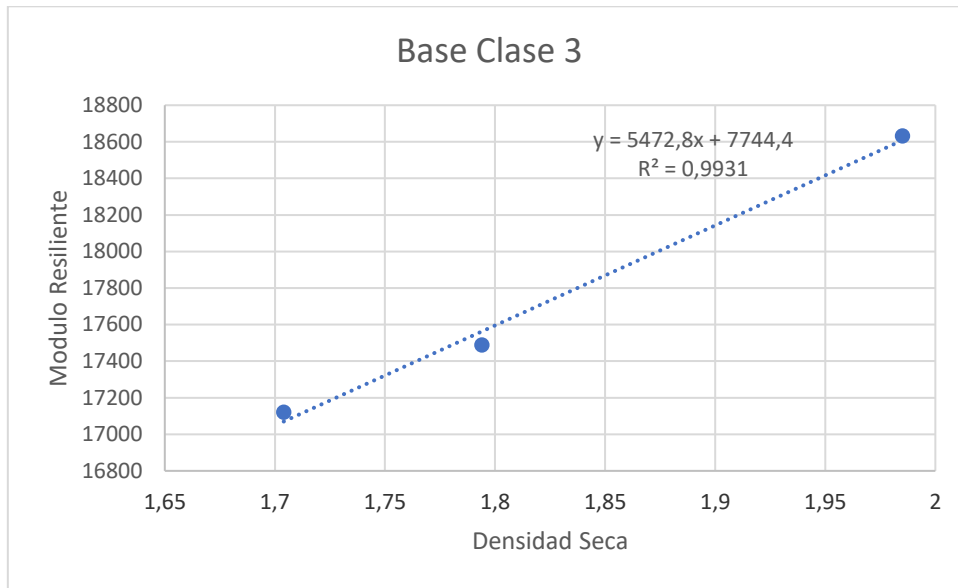


Figura 6.16 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/Densidad Seca) Base Clase 1, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

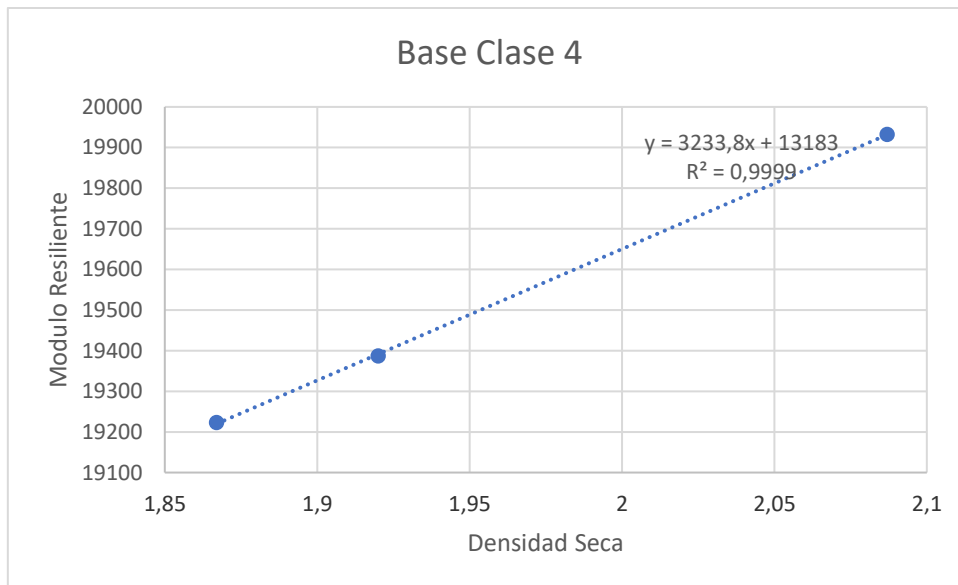


Tabla 6.5 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Ecuación de Cálculo), Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	ECUACIÓN	MODULO RESILIENTE (PSI)
SUBBASE CLASE 1	1,894	$y = 22722x - 28792$	14243,468
SUBBASE CLASE 2	2,04	$y = 1293,2x + 11737$	14375,128
SUBBASE CLASE 3	1,957	$y = 3476,1x + 10641$	17443,7277
BASE CLASE 1	1,897	$y = 9204,4x - 296,13$	17164,6168
BASE CLASE 2	1,907	$y = 3476,1x + 10641$	17269,9227
BASE CLASE 3	1,885	$y = 8357,5x + 2750,7$	18504,5875
BASE CLASE 4	2,087	$y = 3233,8x + 13183$	19931,9406

Tabla 6.6 Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (C.B.R.) Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO DE MATERIAL	DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	MÓDULO RESILIENTE (PSI)	C.B.R. (%)
SUBBASE CLASE 1	1,894	14243,468	86
SUBBASE CLASE 2	2,04	14375,128	74,5
SUBBASE CLASE 3	1,957	17443,7277	66,5
BASE CLASE 1	1,897	17164,6168	66,8
BASE CLASE 2	1,907	17269,9227	95,75
BASE CLASE 3	1,885	18504,5875	92
BASE CLASE 4	2,087	19931,9406	86

Tabla 6.61 Factor R2 y R Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

TIPO MATERIAL	Factor R <sup>2</sup>	Factor R	Calidad	Rango de Relacion
SUBBASE CLASE 1	0,8888	0,9427619	Excelente	Fuerte - Perfecta
SUBBASE CLASE 2	0,9903	0,99513818	Excelente	Fuerte - Perfecta
SUBBASE CLASE 3	0,7796	0,8829496	Buena	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 1	0,9775	0,988686	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 2	0,8359	0,91427567	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 3	0,9212	0,95979164	Excelente	Fuerte - Perfecta
BASE CLASE 4	0,9999	0,99995	Perfecta	Fuerte - Perfecta

#### 6.62 Rango de Valores Factor R

R	Calidad	R	Rango de relacion
1	Perfecta	0 - 0,25	Escasa o Nula
0,9 - 1	Excelente	0,26 - 0,5	Débil
0,8 - 0,9	Buena	0,51 - 0,75	Moderada - Fuerte
0,5 - 0,8	Regular	0,76 - 1	Fuerte - Perfecta
<0,5	Mala		

(Cabrera, 2009)

Figura 6.17 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Subbases, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)

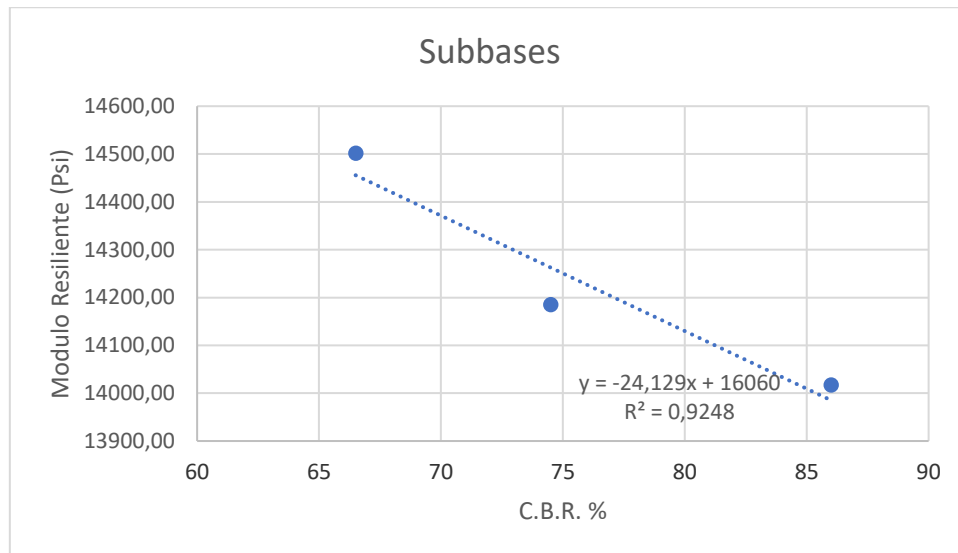
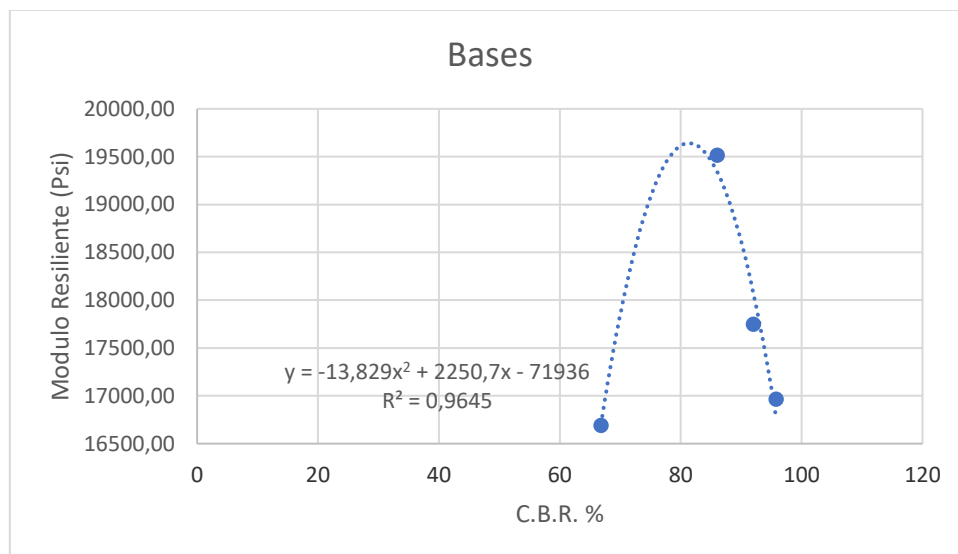


Figura 6.18 Gráfica Correlación del C.B.R. con el Módulo de Young (Módulo Resiliente/C.B.R.) Bases, Mina Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador)



## CAPÍTULO 7

### DISEÑO DE LA ESTRUCTURA VIAL

#### 7.1 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA BASE Y SUBBASE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON CBR Y MÓDULO DE YOUNG

Con los datos obtenidos de los diferentes ensayos y para la aplicación de estos, se realizará un diseño real con los diferentes parámetros obtenidos en (Veloz Aguirre, M. A. , 2014).

##### 7.1.1 TPDA (Tráfico Promedio Anual) desarrollado por conteo vehicular.

Tabla 7.1. TPDA (Tráfico Promedio Anual)

Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	
CATEGORÍA	TPDA
Livianos	9229
Buses	577
Camiones 2 Ejes	560
Camiones 3 Ejes	57
Camiones 4 Ejes	13
TPDA	10436

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

##### 7.1.2 Nivel de Confianza

Este se da de acuerdo con el estudio para una arteria principal, que se ubica en un sector urbano, como en nuestro caso, será un nivel de confianza de  $C=90\%$ .

Tabla 7.2. Nivel de confianza según la funcionalidad de la vía

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

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

### 7.1.3 Desviación Estándar para una vía

La desviación estándar que se propone para el diseño es de  $S_o = 0,44$ .

Tabla 7.3. Valores recomendados para la desviación estándar  $S_o$

Valores recomendados para la desviación estándar $S_o$	
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	0,35 - 0,50 (Valor recomendado 0,45)

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

#### 7.1.4 Distribución del tráfico

Este parámetro se basa en el valor del TPDA y también determinar el número de contadores, en el caso de que exista un solo contador en ambos sentidos se establece un valor del 50% del TPDA, por otra parte, si es que si existen dos contadores uno en cada sentido será el 100% del TPDA del mayor valor del TPDA en ambos sentidos. (. (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015).)

Distribución del tráfico (Dt)= 100%

Dt=1

#### 7.1.5 Periodo de diseño

El período de diseño se establece en 10 años.

n=10 años.

#### 7.1.6 Tasa de Crecimiento











Se toma una tasa de crecimiento del 3%.

i=3%

#### 7.1.7 Tipos de vehículos

Mediante la tabla del TPDA, tenemos:

Figura 7.1. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques

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

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

**Datos:**

Coefficiente estructural subbase clase 1

Nivel de confianza R=90%

Desviación Estándar So=0.43

Distribución de tráfico (Dt)= 100%

Periodo de diseño n=10años

Índice de crecimiento i=3%

**2D, 2DB, 3A**

### 7.1.8. Cálculo de TPDA final

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

Tabla 7.4. TPDA final

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

### 7.1.9. Carga Equivalente

Mediante las siguientes ecuaciones procederemos a determinar factores de carga equivalente teniendo en cuenta el tipo de eje (simple, doble o tándem).

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

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

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

Tabla 7.5. Factor Carga Equivalente por eje

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

7.1.10. Número de ejes equivalente a 8.2 T

Se utilizará la siguiente fórmula:

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

7.1.11. Serviciabilidad de la vía

Tabla 7.6. Serviciabilidad de la vía

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

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$PSI = P_o - P_T$$

$$PSI = 4,2 - 2,2$$

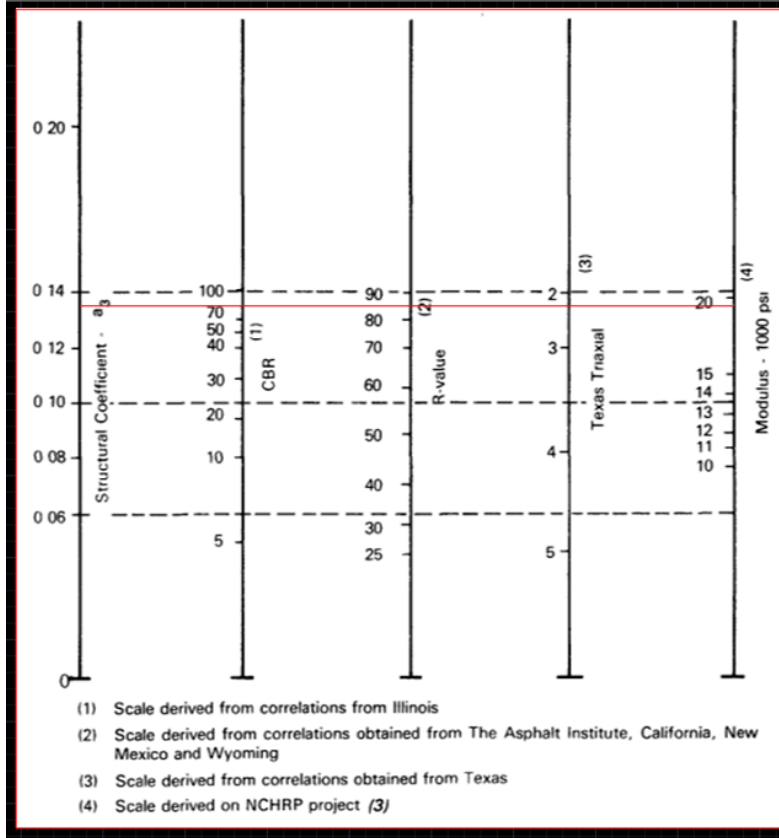
$$PSI = 2,0$$

7.2. Coeficiente estructural para Base y Subbase de las Minas La Chimba y Loma de Cuniburo (Cayambe-Ecuador).

7.2.1 Empleando CBR

7.2.1.1. Coeficiente estructural Subbase Clase 1

Figura 7.2. Ábaco para determinar el coeficiente estructural de Subbase Clase 1



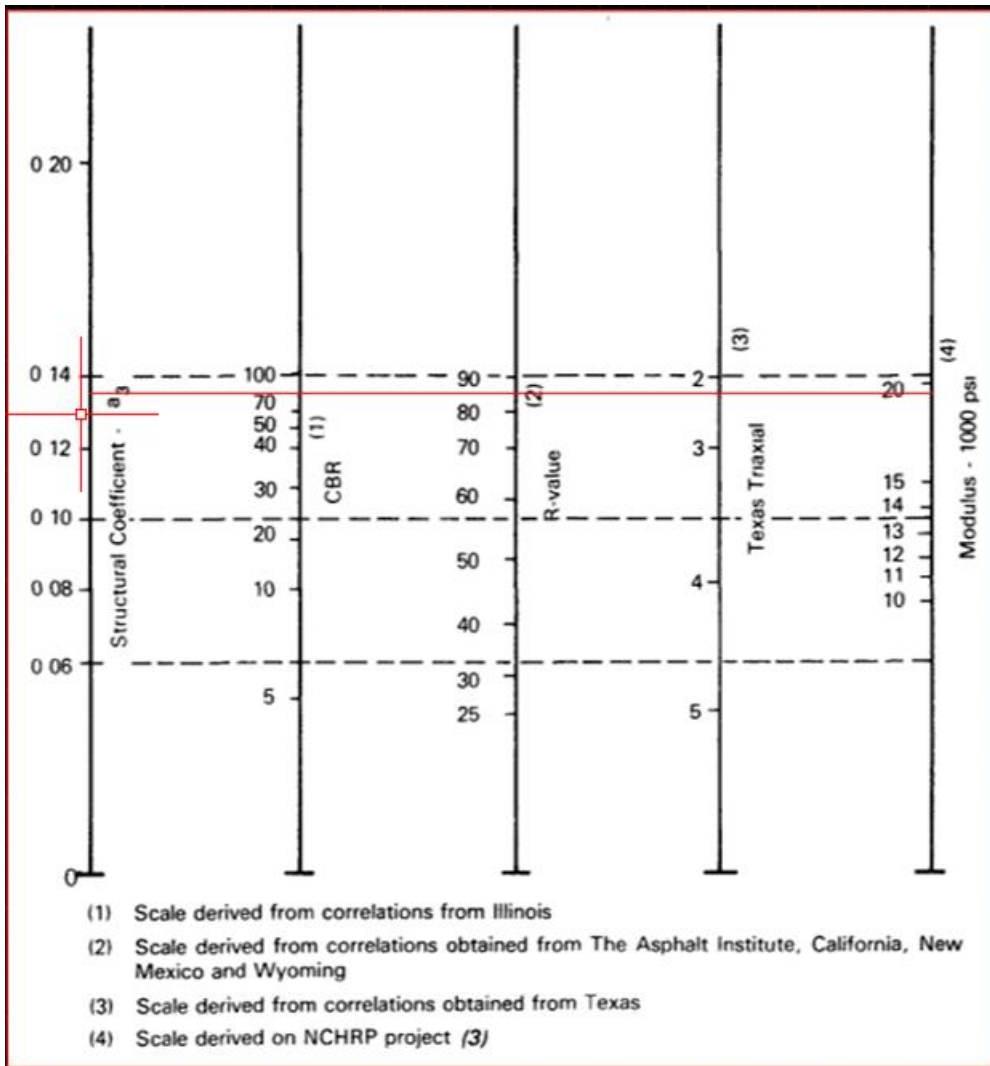
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$CBR \text{ subbase } 1 = 86\% ; a_3 = 0,136 ; MR = 19500 \text{ psi}$$

$$a_3 = \frac{0,136 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0535 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

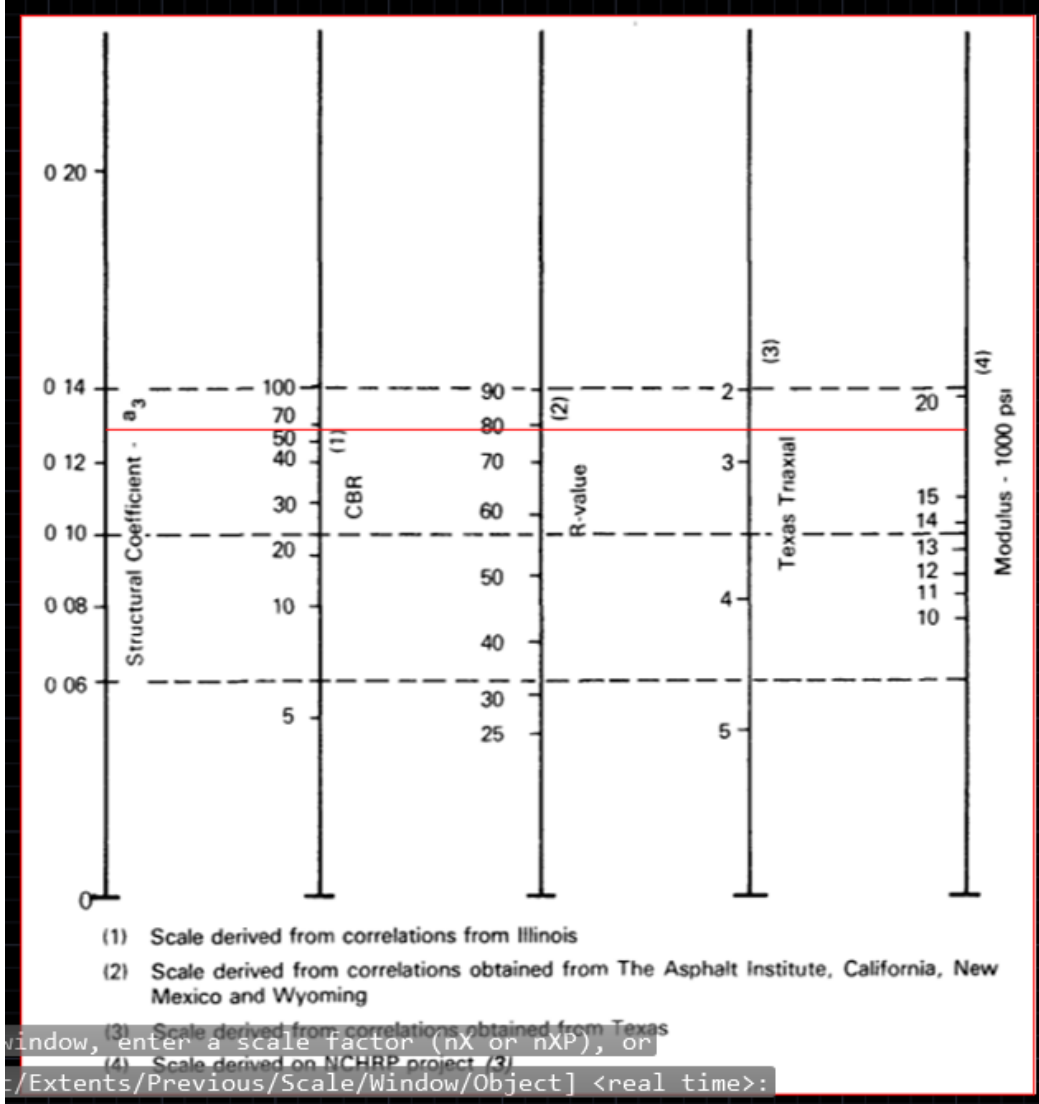
Estados Unidos.)

*CBR subbase 1 = 86% ; a<sub>3</sub> = 0,136 ; MR = 19500 psi*

$$a_3 = \frac{0,136 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0535 \text{ cm}$$

7.2.1.2. Coeficiente estructural Subbase Clase 2

Mina La Chimba



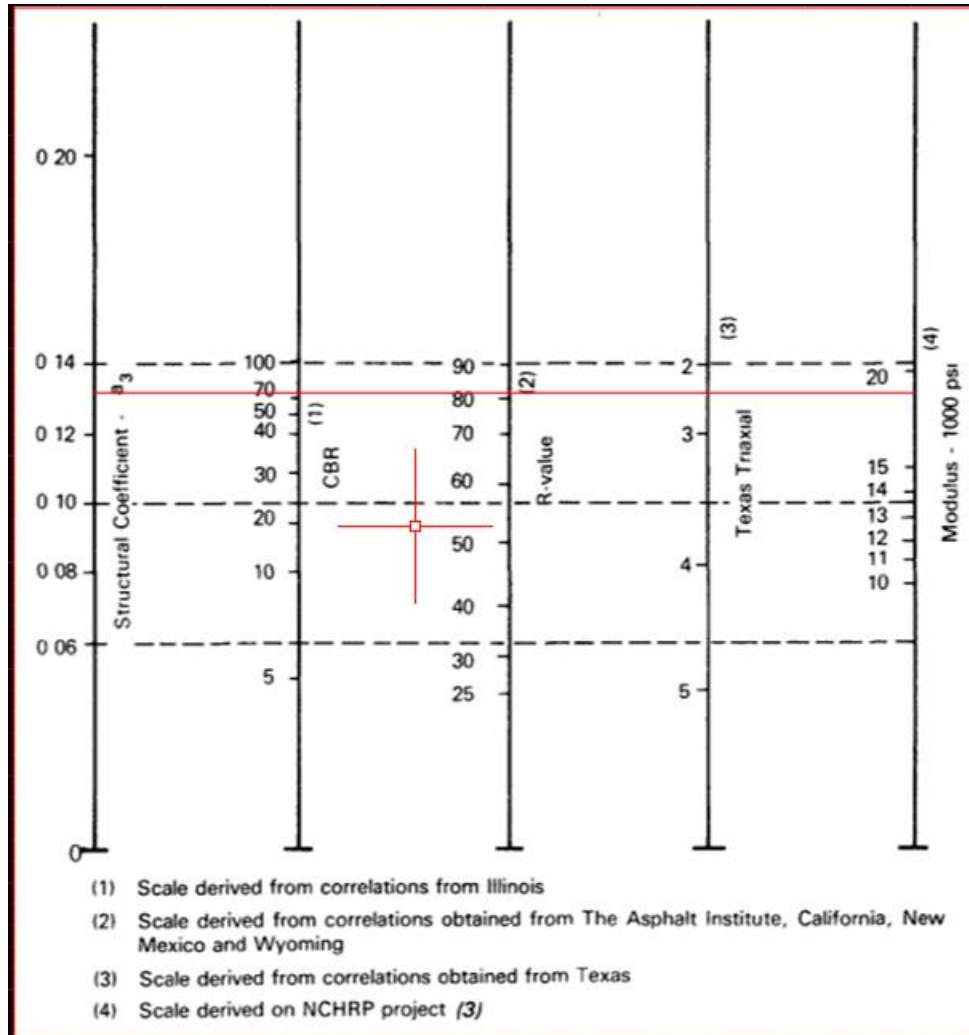
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$CBR$  sub base 2 = 67.75% ;  $a_3$  = 0,130 ;  $MR$  = 18300  $psi$

$$a_3 = \frac{0,130 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0512 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

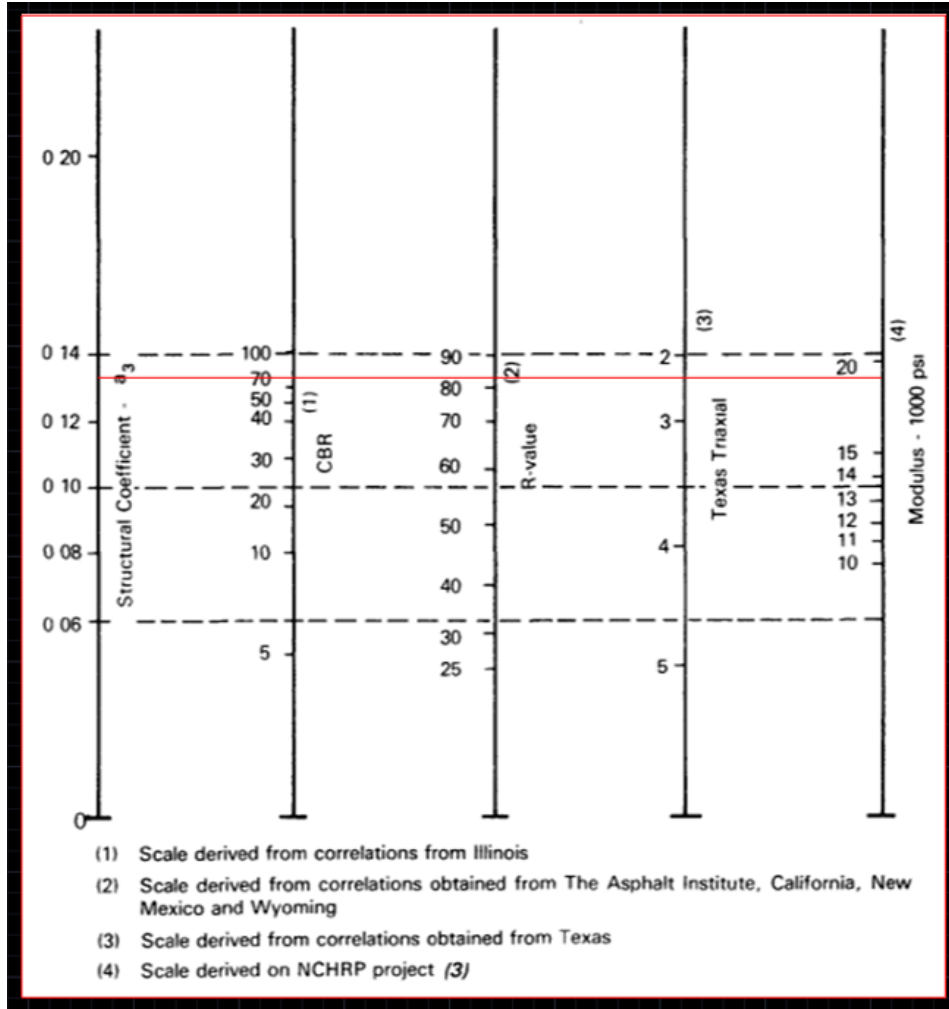
Estados Unidos.)

*CBR sub base 2 = 74,5% ; a<sub>3</sub> = 0,133 ; MR = 19000 psi*

$$a_3 = \frac{0,133 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0524 \text{ cm}$$

7.2.1.3. Coeficiente estructural Subbase Clase 3

Mina La Chimba



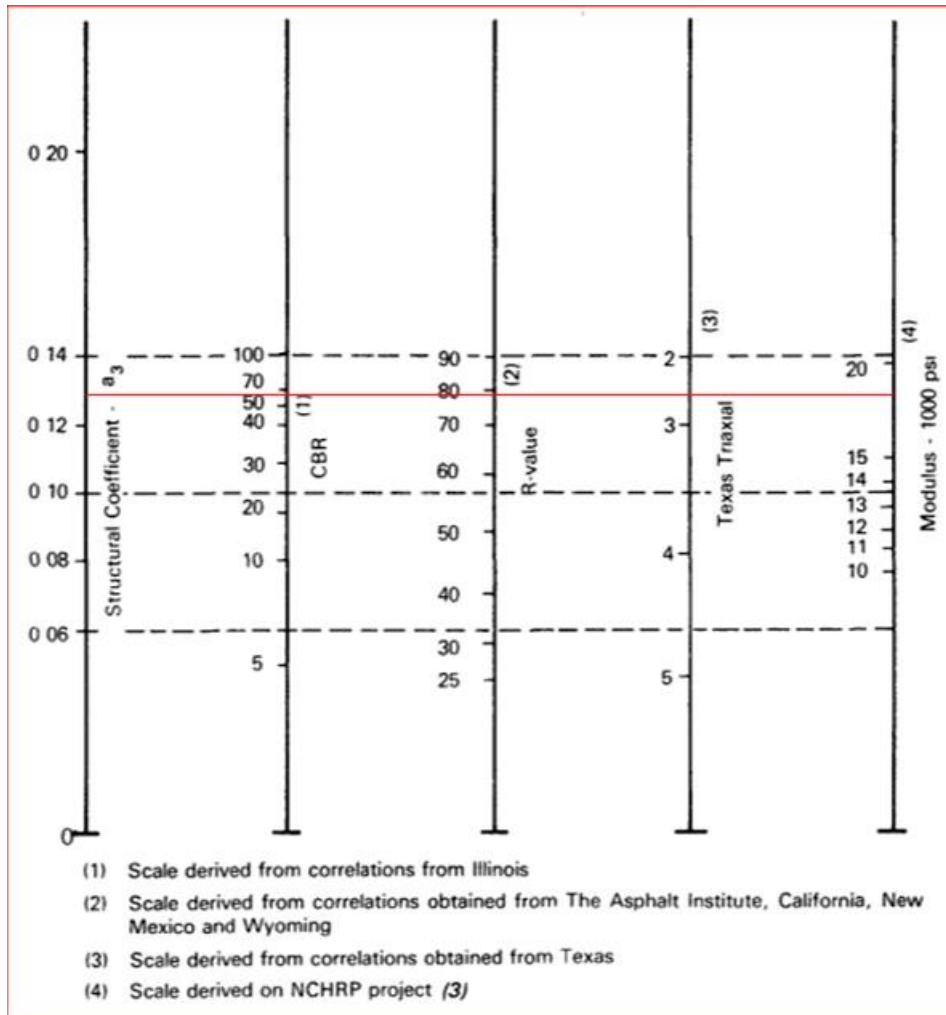
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$CBR \text{ sub base } 3 = 75\% ; a_3 = 0,133 ; MR = 19100 \text{ psi}$

$$a_3 = \frac{0,133 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0524 \text{ cm}$$

Mina Loma de Cuniburo



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

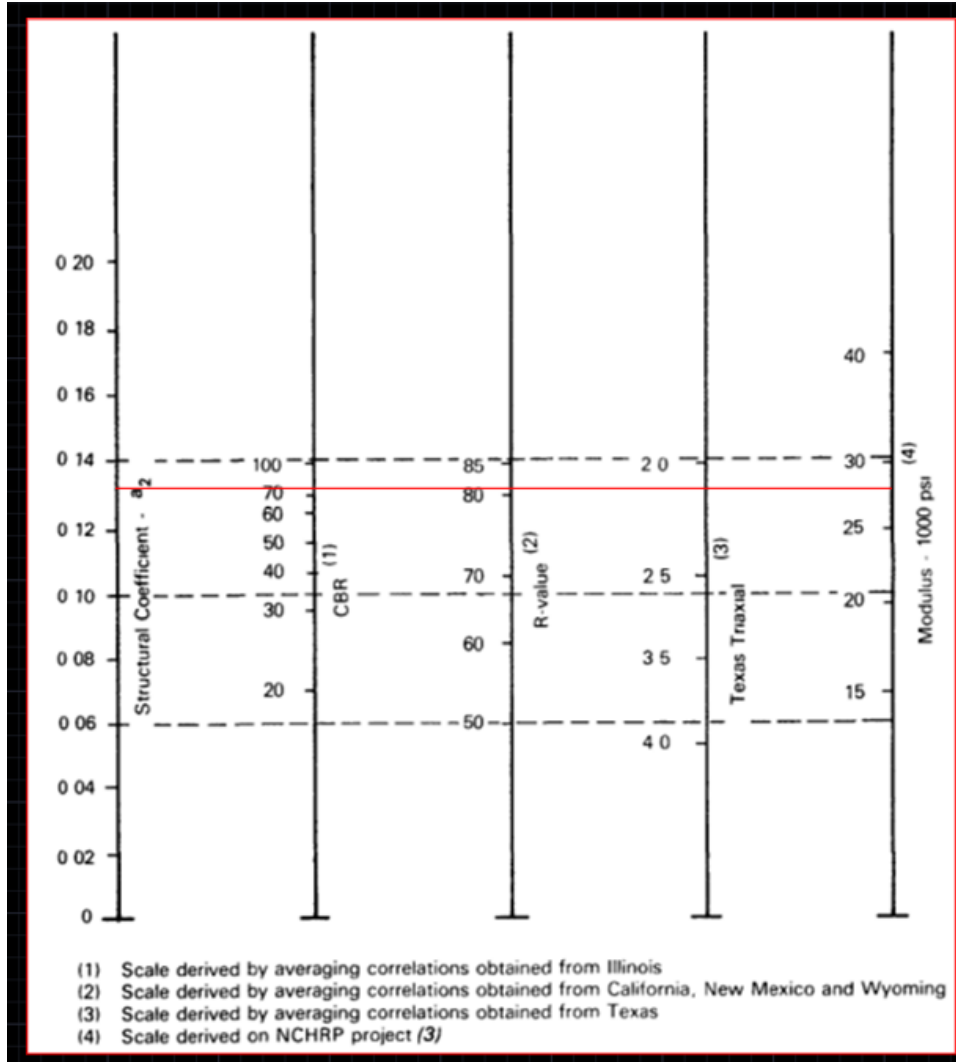
Estados Unidos.)

$CBR \text{ sub base } 3 = 66,5\% ; a_3 = 0,130 ; MR = 18300 \text{ psi}$

$$a_3 = \frac{0,130 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0512 \text{ cm}$$

7.2.1.4. Coeficiente estructural Base Clase 1

Mina La Chimba



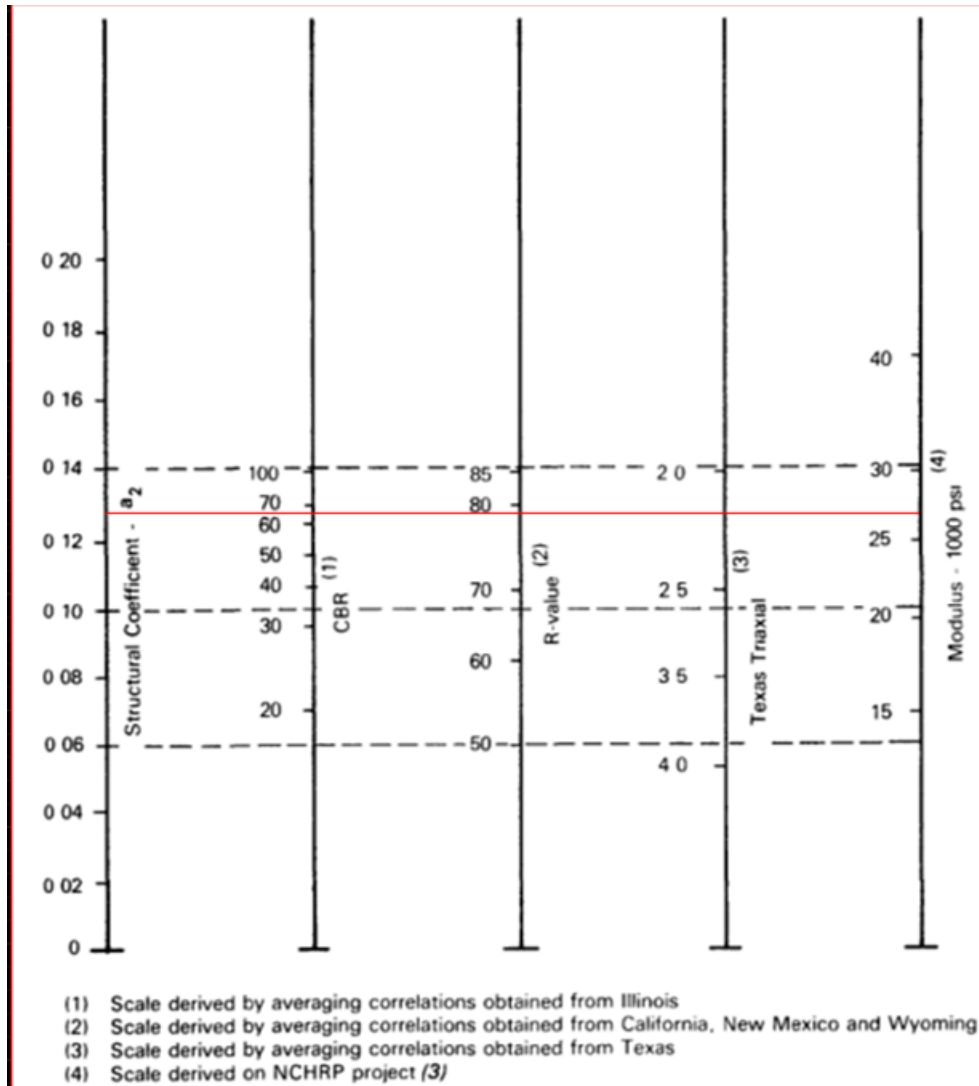
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$CBR \text{ base } 1 = 74.38\% ; a_2 = 0,130 ; MR = 28000 \text{ psi}$

$$a_2 = \frac{0,130 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0512 \text{ cm}$$

Mina Loma de Cuniburo



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

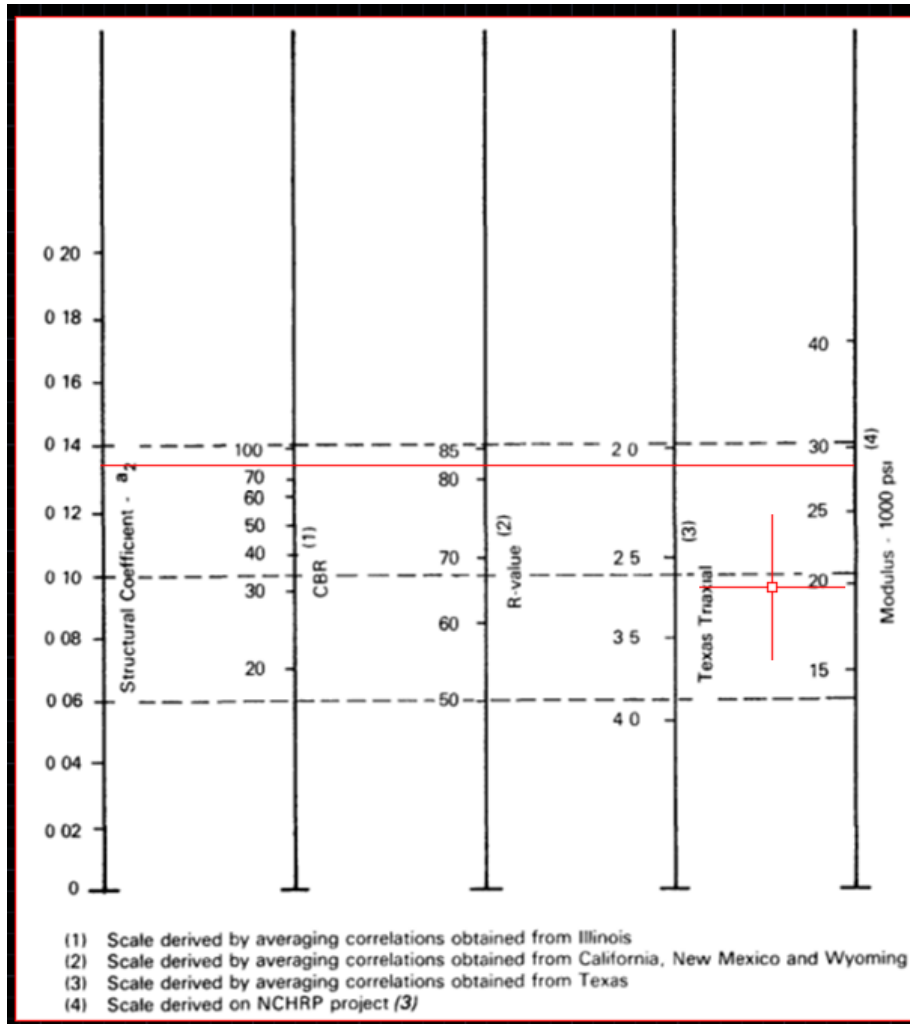
Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 1 = 66,8\% ; a_2 = 0,128 ; MR = 27000 \text{ psi}$$

$$a_2 = \frac{0,128 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0504 \text{ cm}$$

7.2.1.5. Coeficiente estructural Base Clase 2

Mina La Chimba



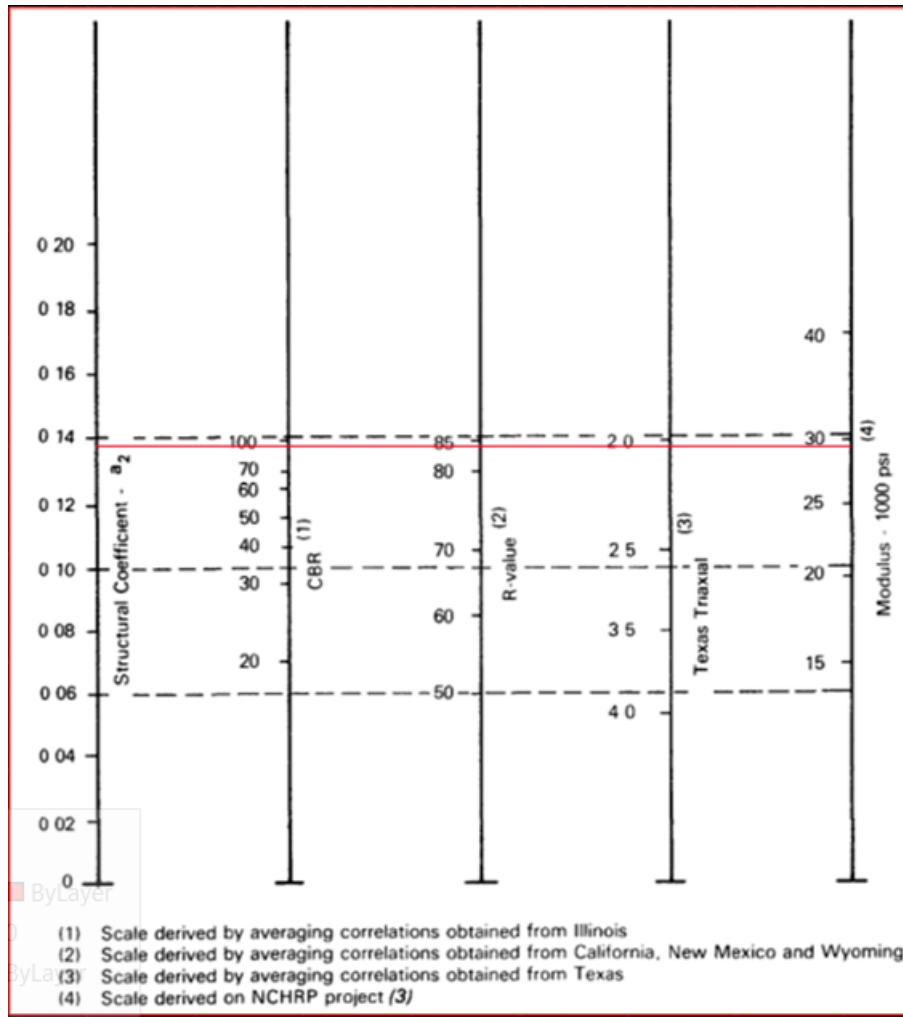
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 2 = 83\% ; a_2 = 0,135 ; MR = 28500 \text{ psi}$$

$$a_2 = \frac{0,135 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0531 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

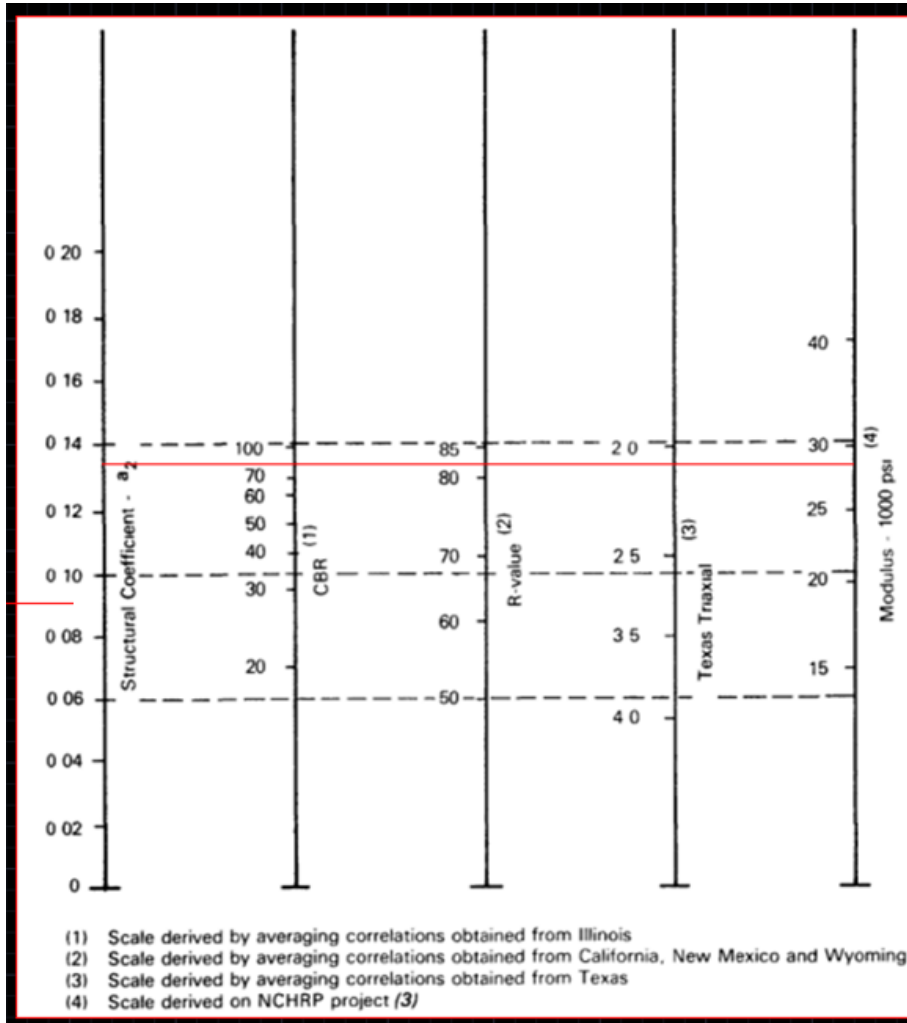
Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 2 = 95,75\% ; a_2 = 0,139 ; MR = 29500 \text{ psi}$$

$$a_2 = \frac{0,139 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0547 \text{ cm}$$

7.2.1.6. Coeficiente estructural Base Clase 3

Mina La Chimba



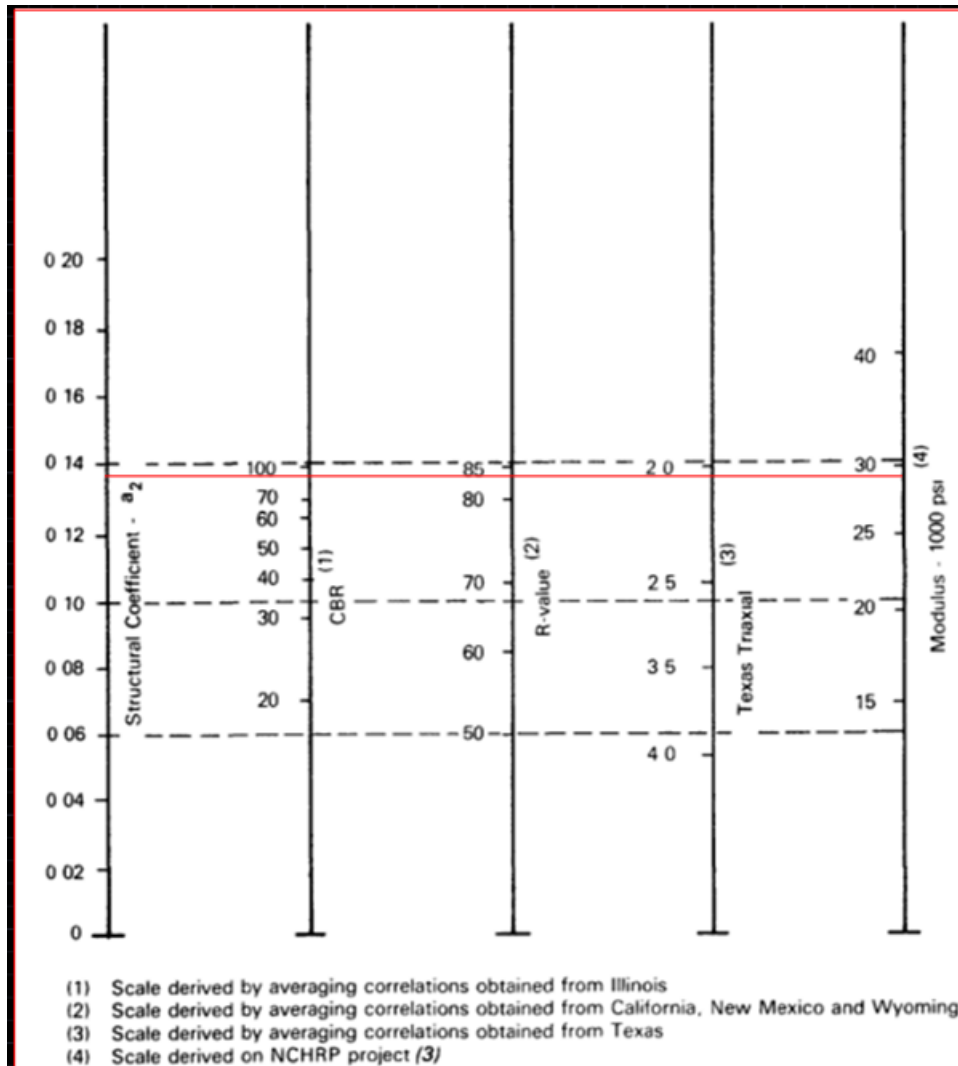
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 3 = 84.25\% ; a_2 = 0,136 ; MR = 28600 \text{ psi}$$

$$a_2 = \frac{0,136 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0535 \text{ cm}$$

Mina Loma de Cuniburo



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

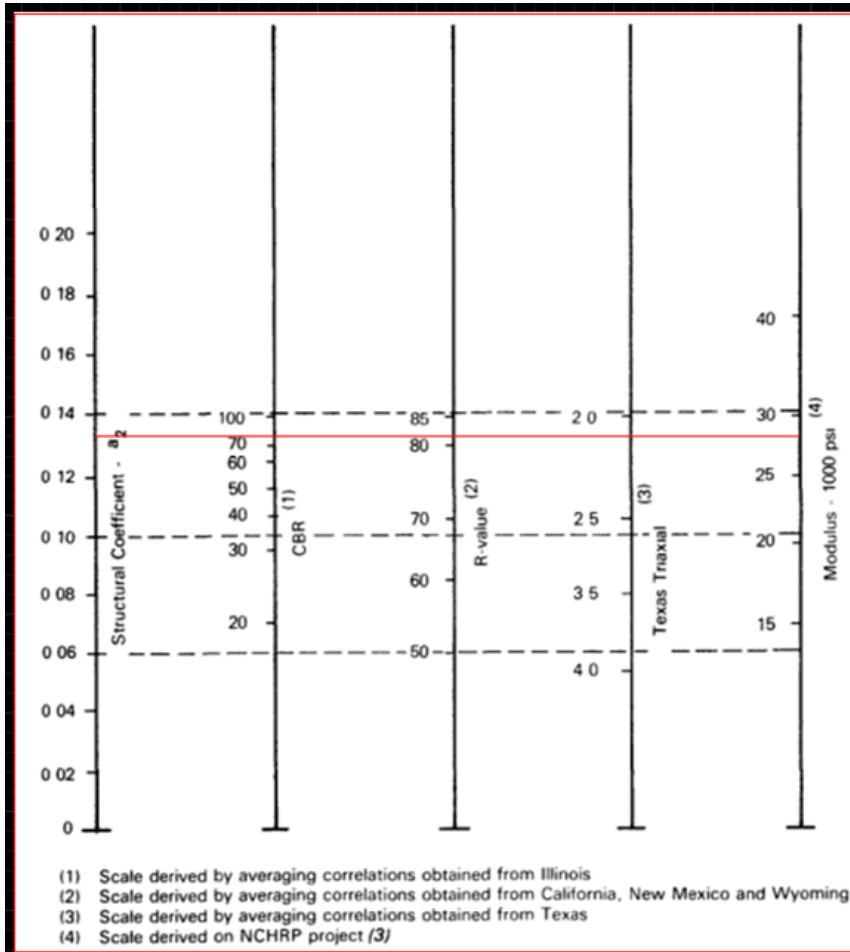
Estados Unidos.)

$CBR \text{ base } 3 = 92\% ; a_2 = 0,137 ; MR = 29200 \text{ psi}$

$$a_2 = \frac{0,137 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0539 \text{ cm}$$

7.2.1.7. Coeficiente estructural Base Clase 4

**Mina La Chimba**



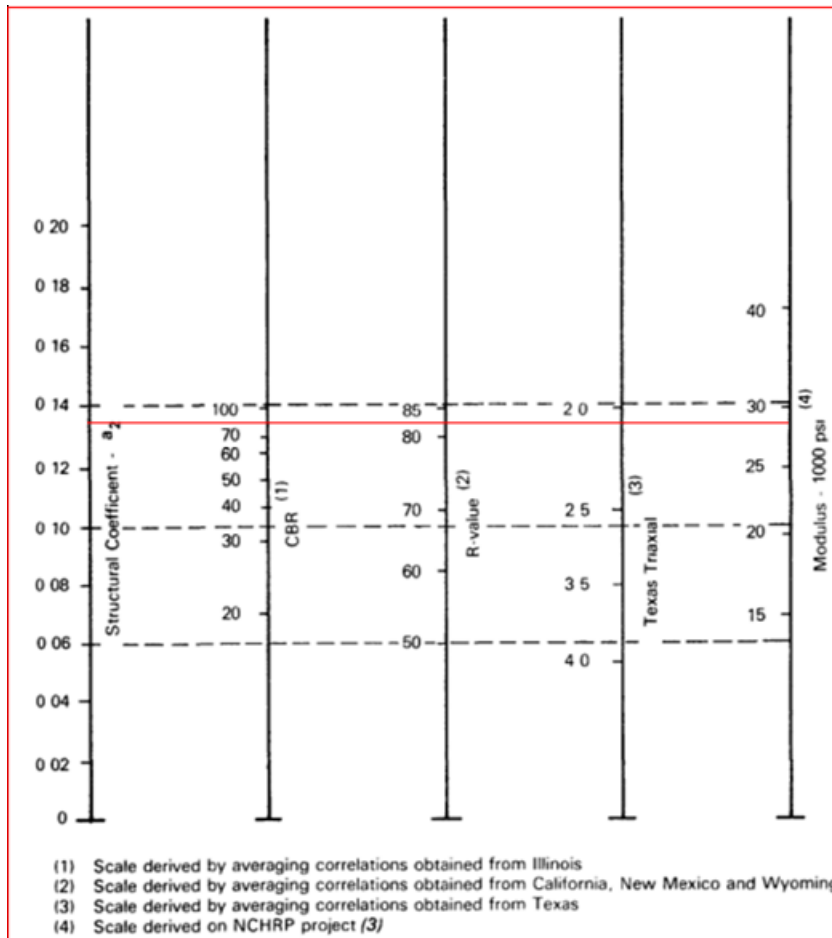
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 4 = 77\% ; a_2 = 0,133 ; MR = 28300 \text{ psi}$$

$$a_2 = \frac{0,133 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0524 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

Estados Unidos.)

$$CBR \text{ base } 4 = 86\% ; a_2 = 0,135 ; MR = 28800 \text{ psi}$$

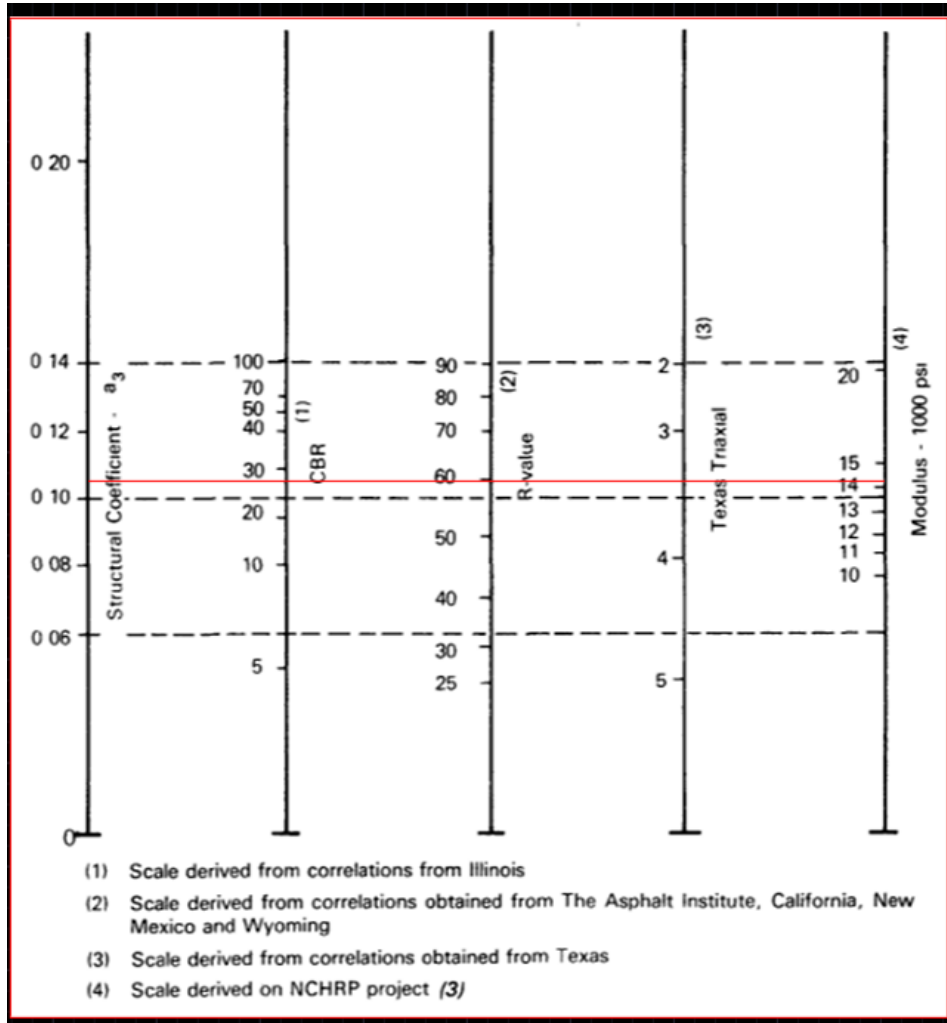
$$a_2 = \frac{0,135 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0531 \text{ cm}$$

7.2.2. COEFICIENTE ESTRUCTURAL EMPLEANDO MÓDULO RESILIENTE

7.2.2.1. Coeficiente estructural Subbase Clase 1

1.1.2.

**Mina La Chimba**



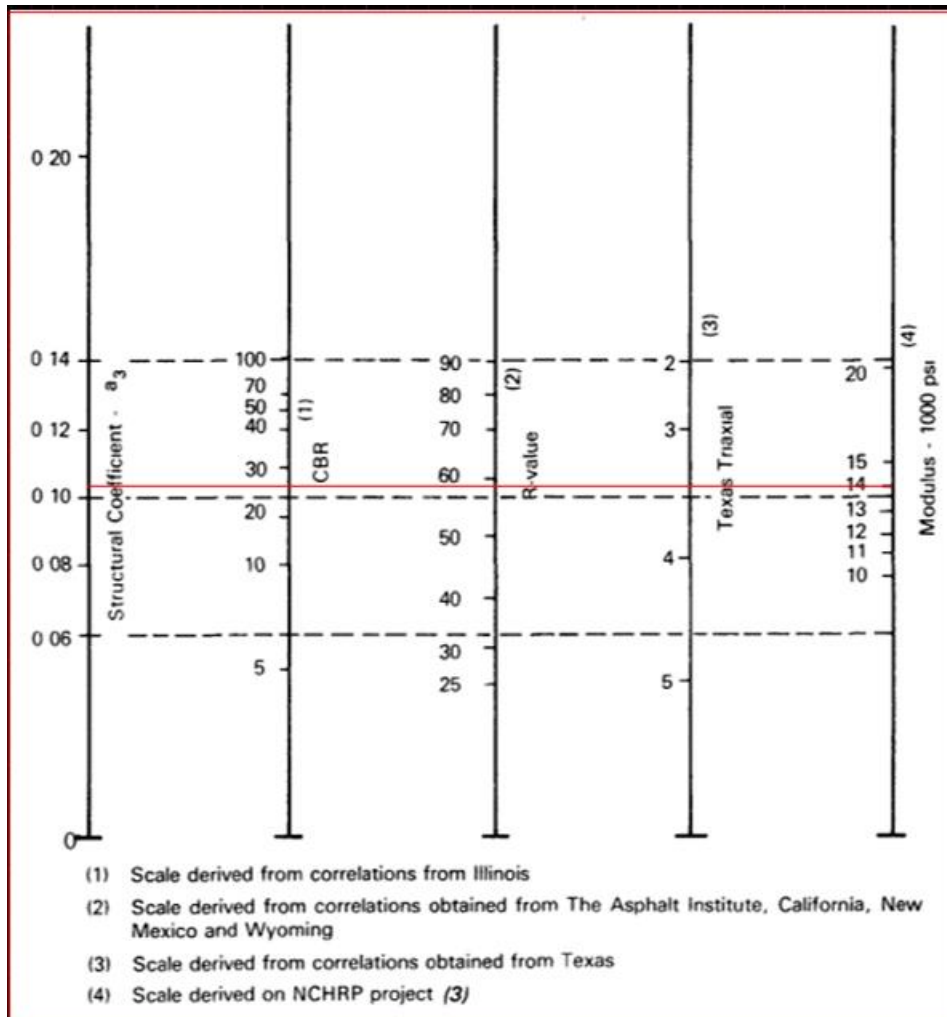
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 1 = 14307 ; a_3 = 0,105$$

$$a_3 = \frac{0,105 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0413 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

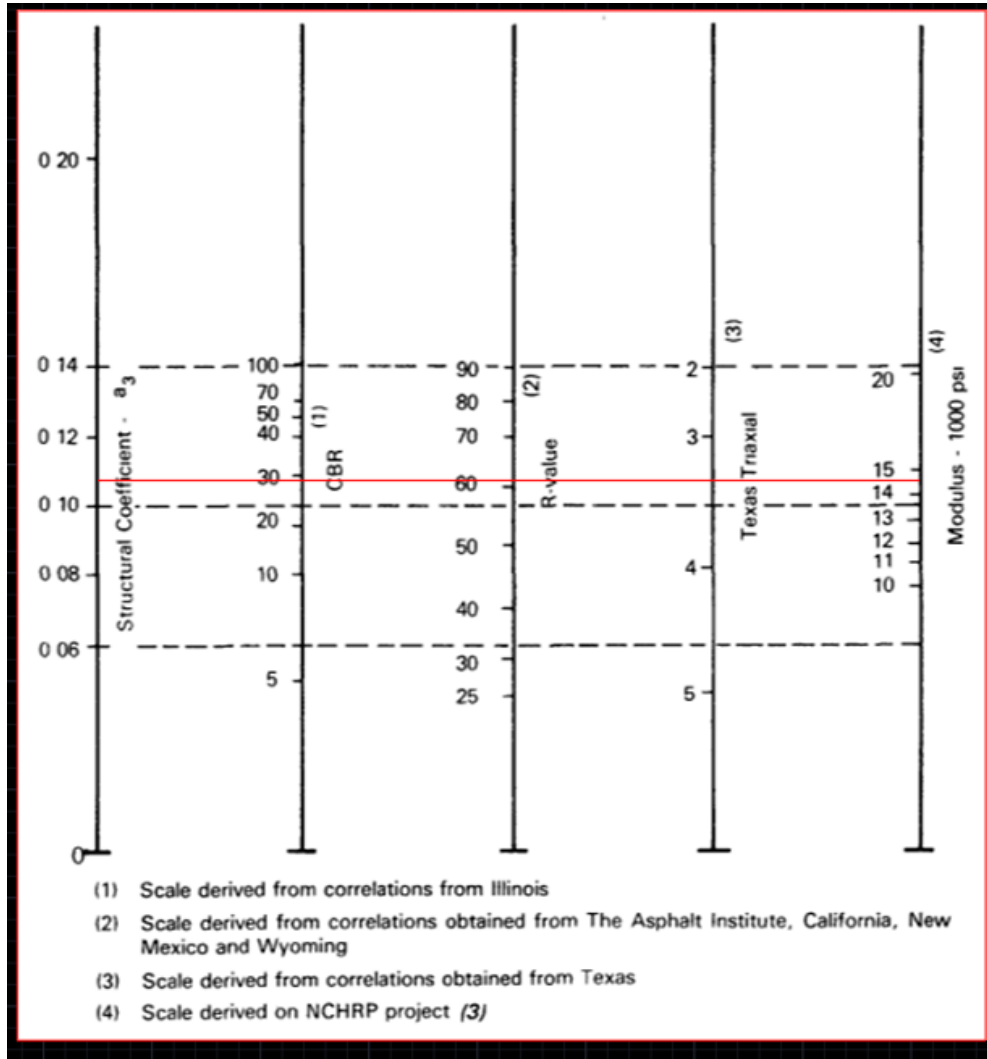
Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 1 = 14016,93 ; a_3 = 0,103$$

$$a_3 = \frac{0,103 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0406 \text{ cm}$$

7.2.2.2. Coeficiente estructural Subbase Clase 2

Mina La Chimba



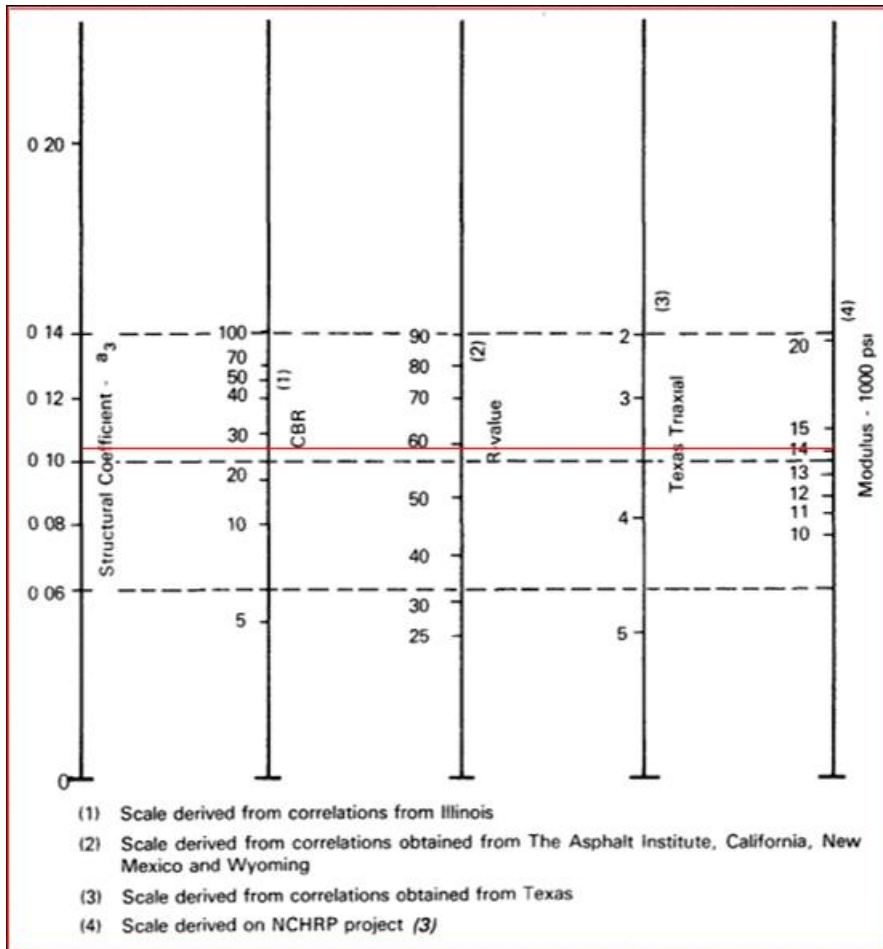
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 2 = 14576,29 ; a_3 = 0,107$$

$$a_3 = \frac{0,107 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0421 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

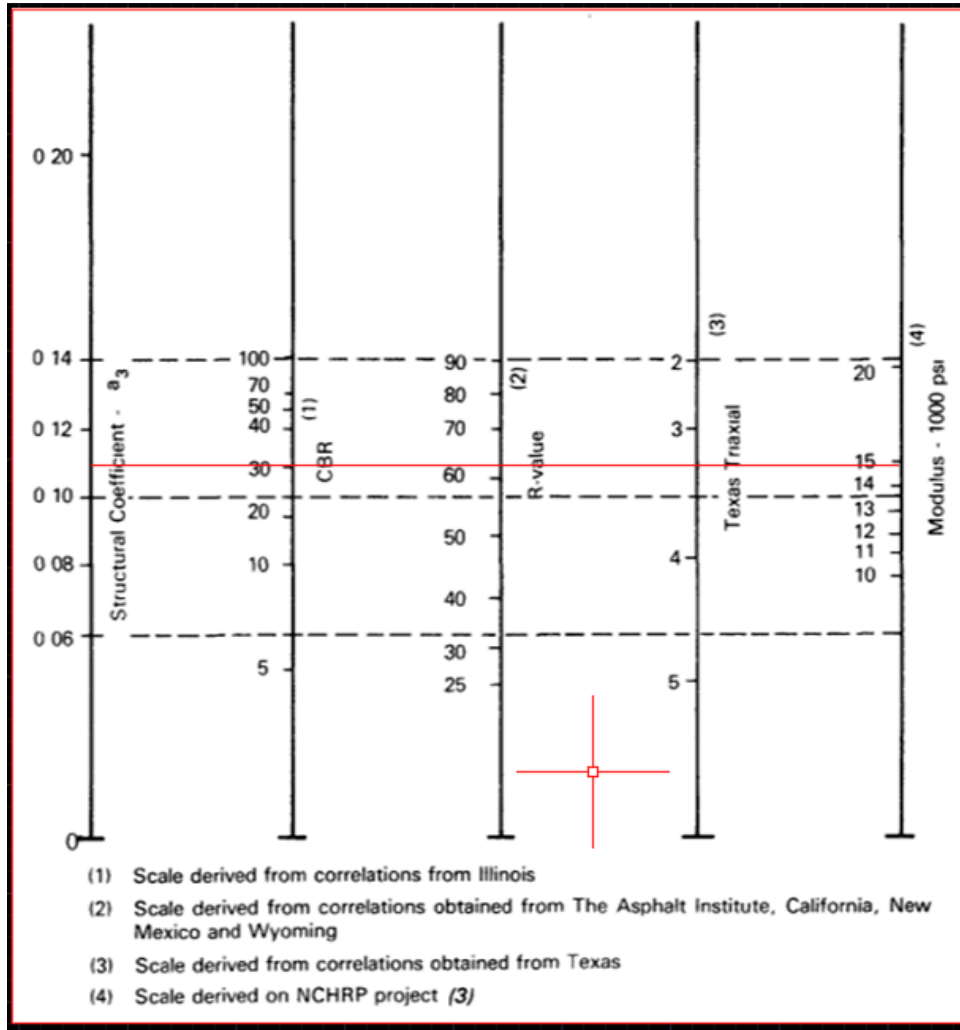
Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 2 = 14185,17 ; a_3 = 0,105$$

$$a_3 = \frac{0,105 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0413 \text{ cm}$$

7.2.2.3. Coeficiente estructural Subbase Clase 3

Mina La Chimba



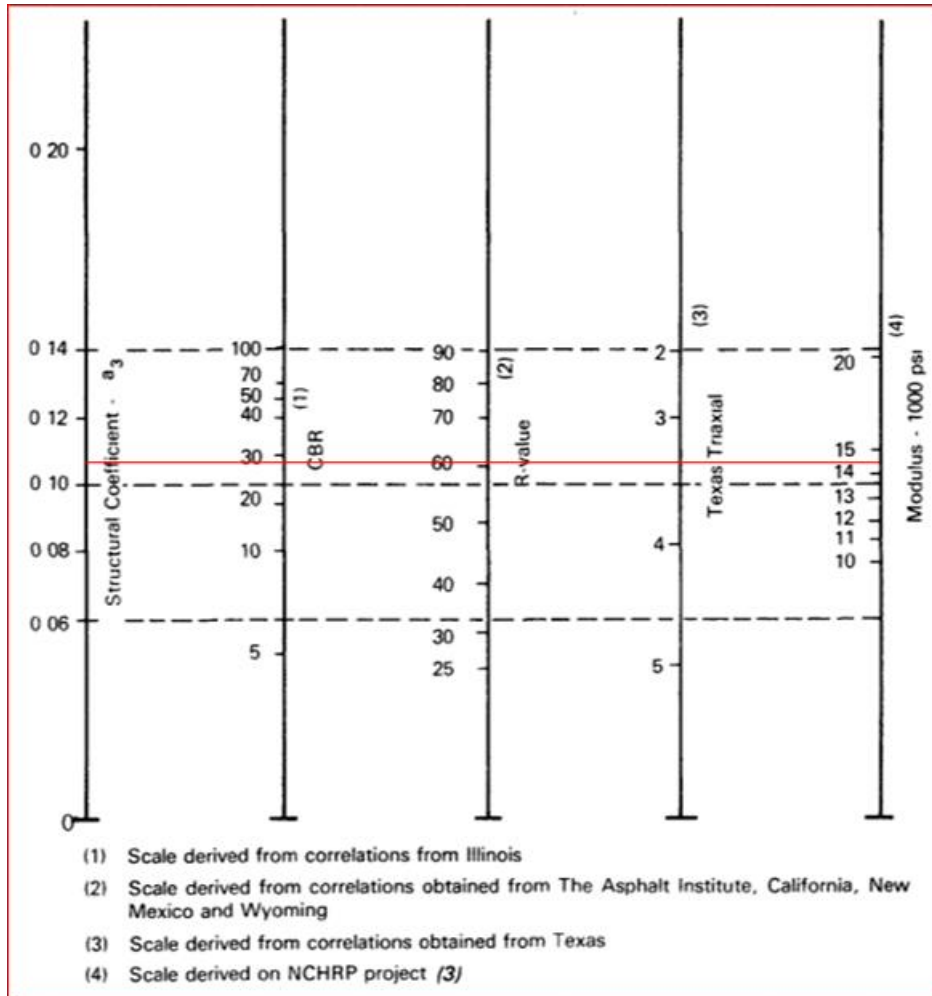
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 3 = 14846,54 ; a_3 = 0,110$$

$$a_3 = \frac{0,110 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0433 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

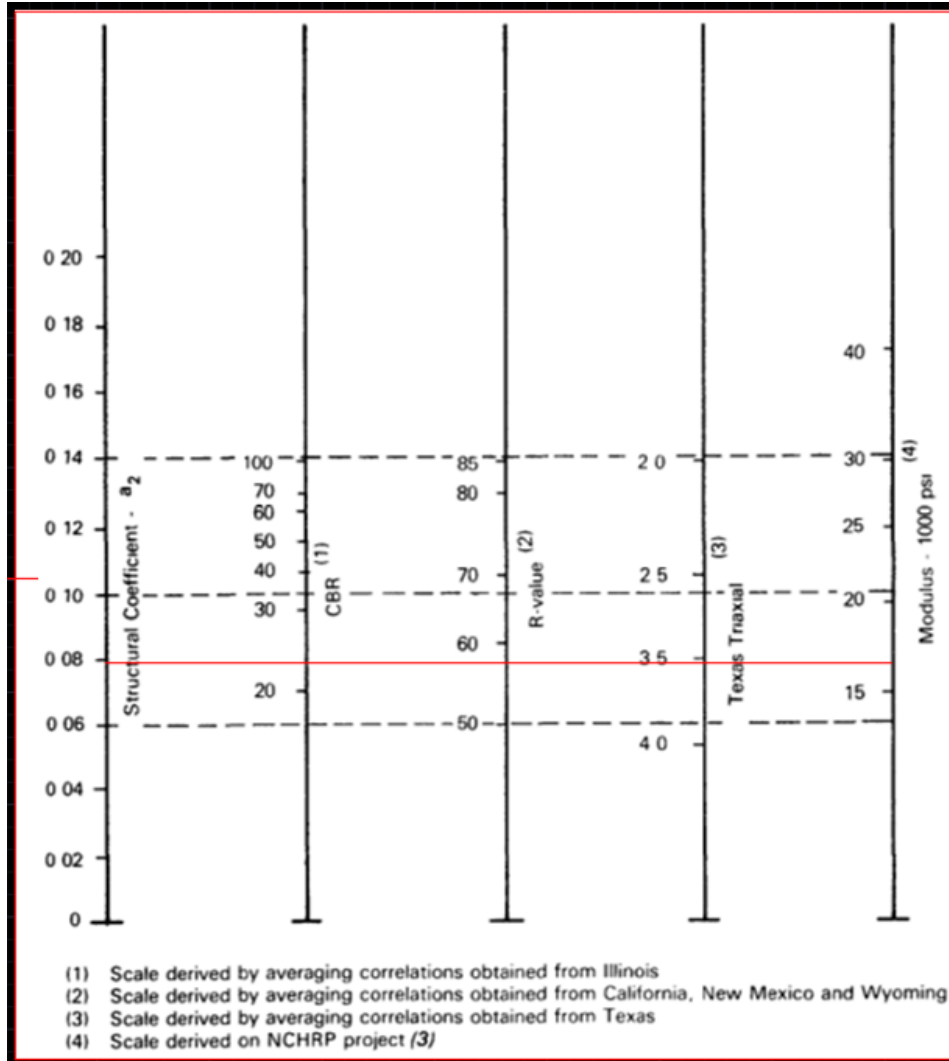
Estados Unidos.)

$$MR \text{ subbase } 3 = 14501,35; a_3 = 0,107$$

$$a_3 = \frac{0,107 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0421 \text{ cm}$$

7.2.2.4. Coeficiente estructural Base Clase 1

Mina La Chimba



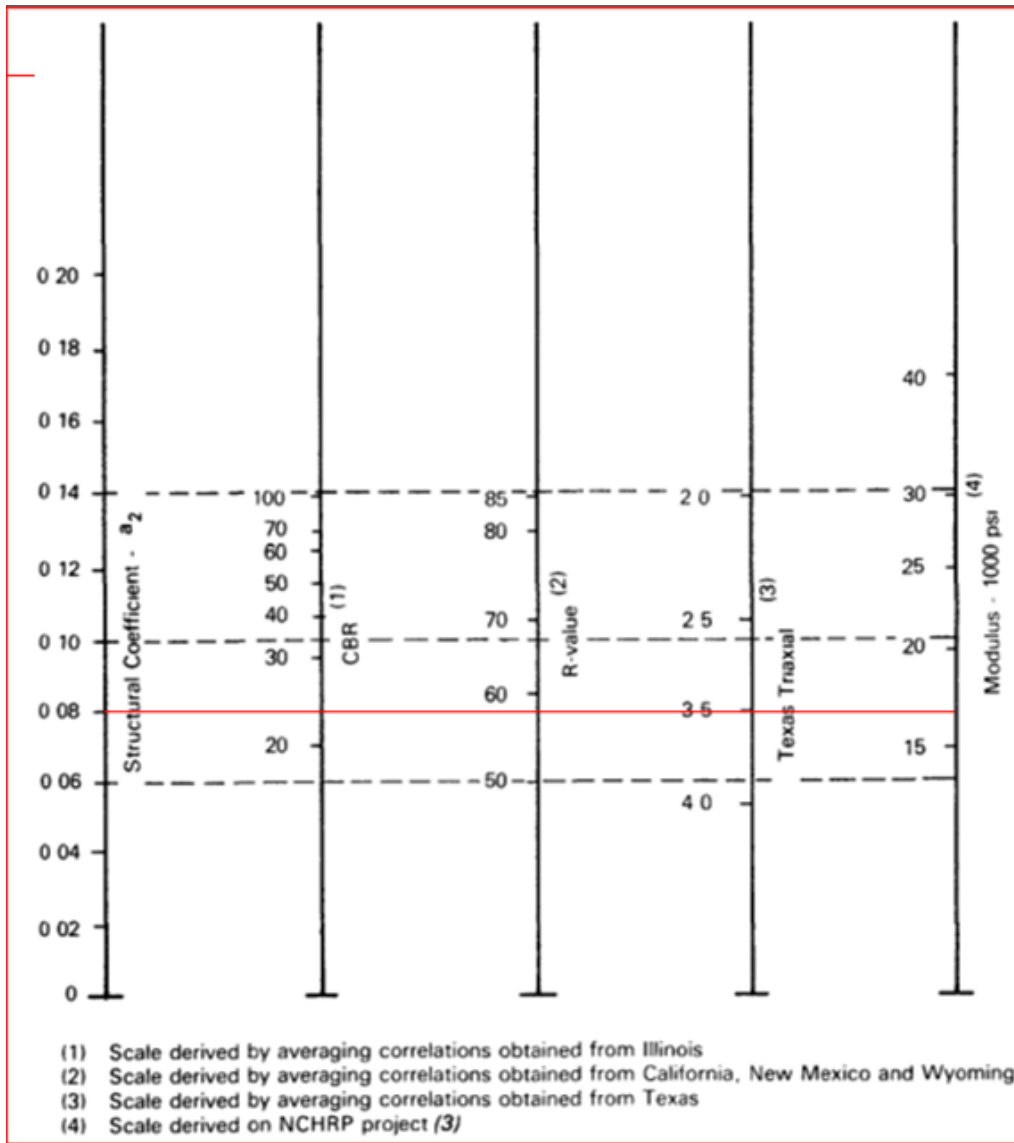
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 1 = 16633,41 ; a_2 = 0,080$$

$$a_2 = \frac{0,080 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0315 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

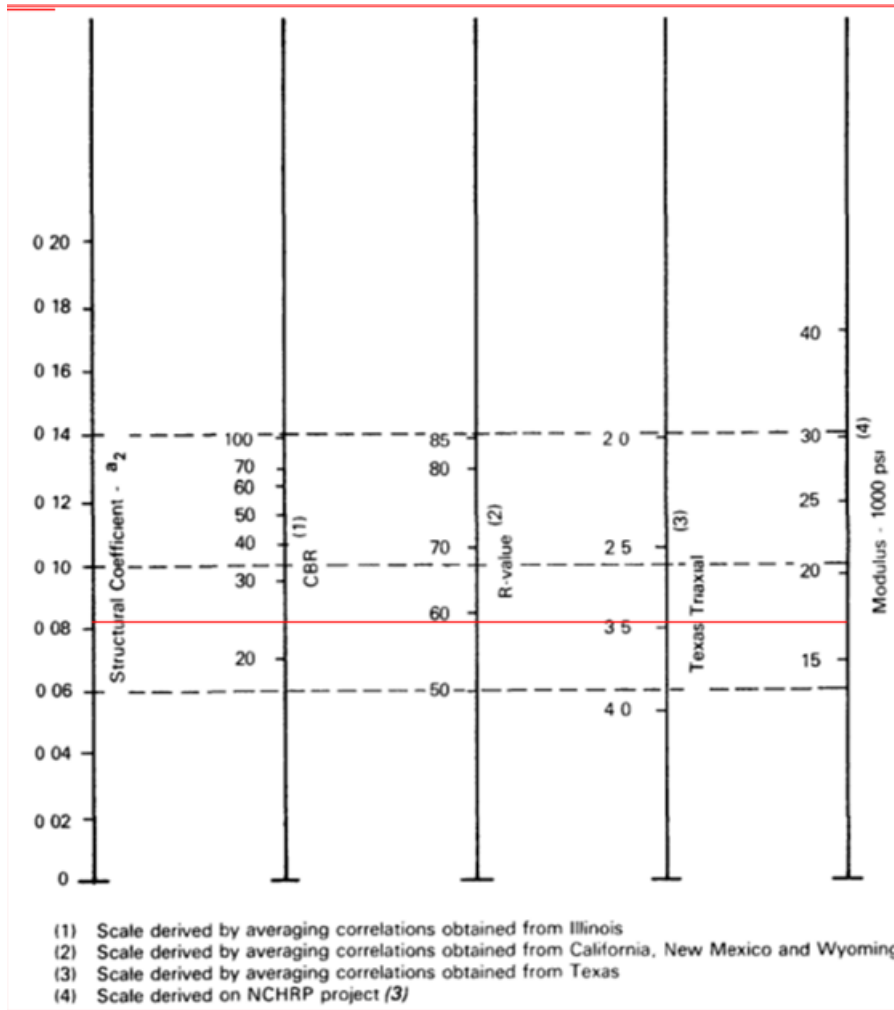
Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 1 = 16689 ; a_2 = 0,080$$

$$a_2 = \frac{0,080 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0315 \text{ cm}$$

7.2.2.5. Coeficiente estructural Base Clase 2

**Mina La Chimba**



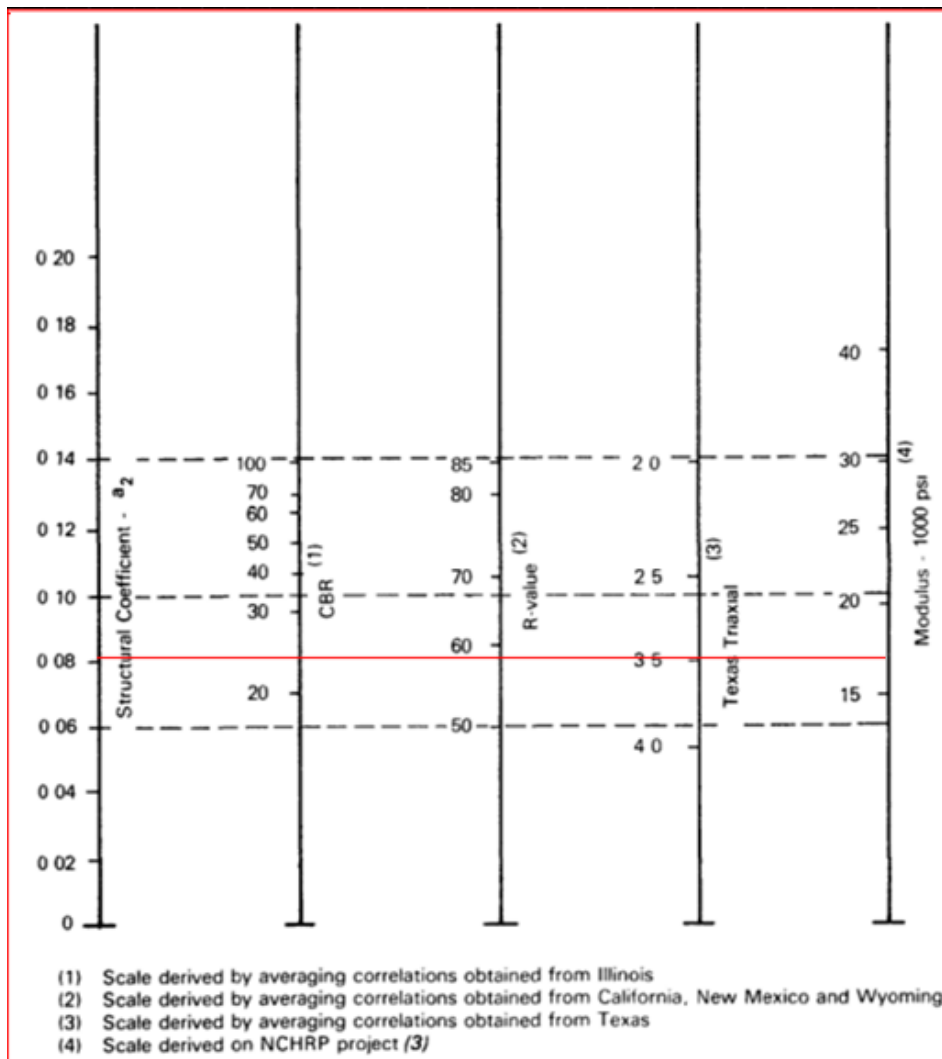
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 2 = 17108,16 ; a_2 = 0,083$$

$$a_2 = \frac{0,083 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0327 \text{ cm}$$

Mina Loma de Cuniburo



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

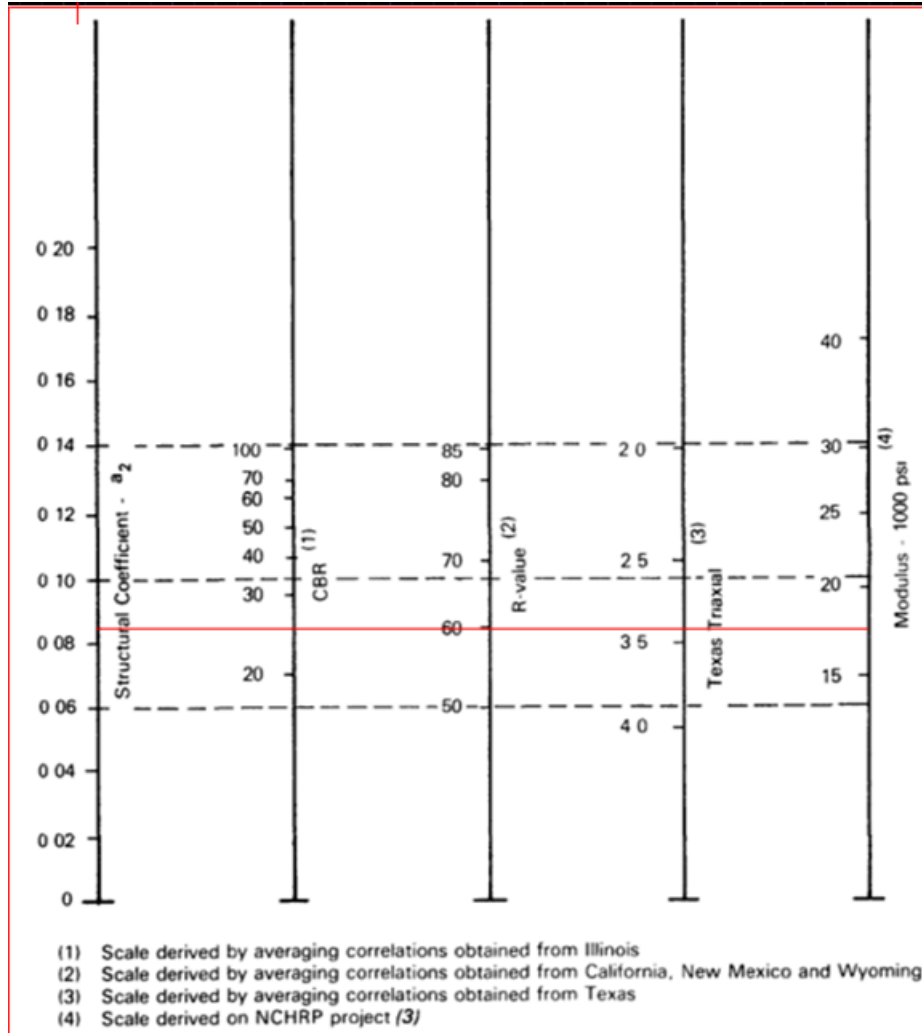
Estados Unidos.)

$$MR_{base\ 2} = 16963,61 ; a_2 = 0,082$$

$$a_2 = \frac{0,082\ pulg}{2,54\ cm} = 0,0323\ cm$$

7.2.2.6. Coeficiente estructural Base Clase 3

**Mina La Chimba**



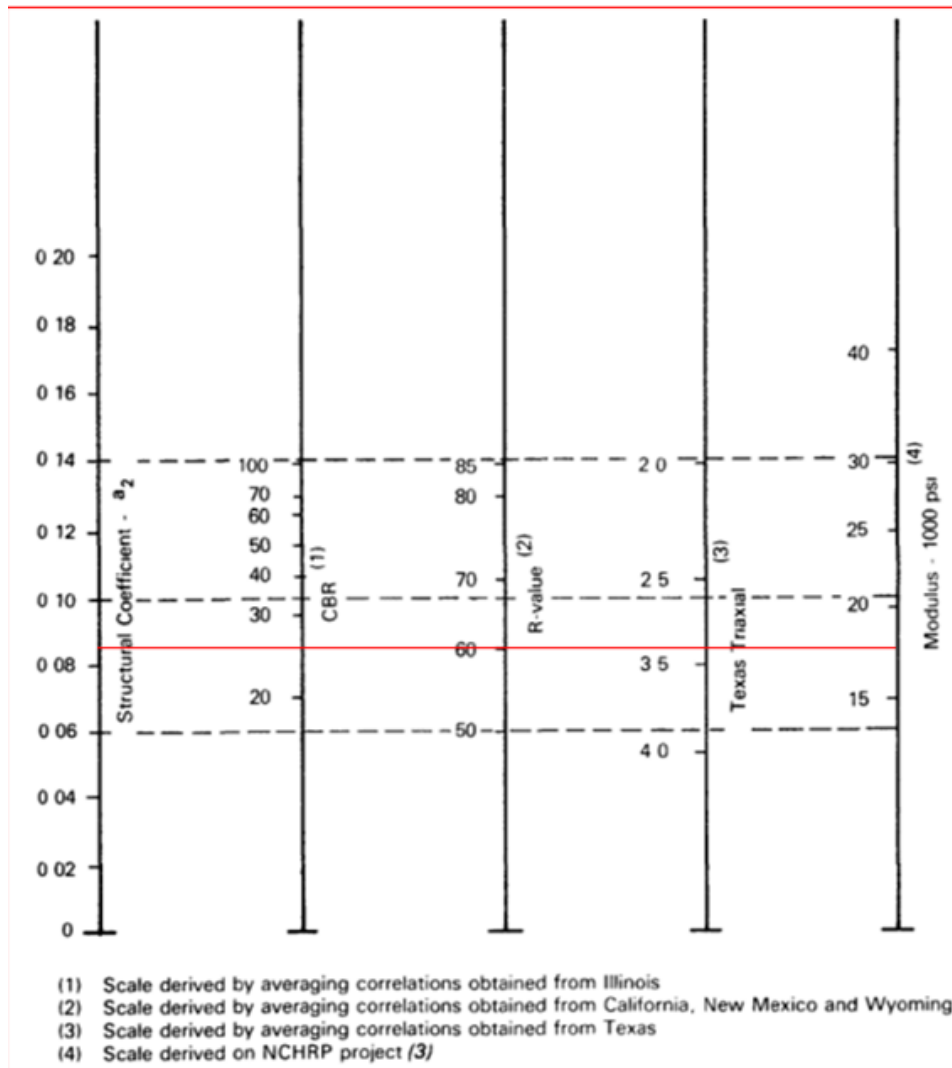
Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition).

Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 3 = 17606,13 ; a_2 = 0,085$$

$$a_2 = \frac{0,085 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0335 \text{ cm}$$

**Mina Loma de Cuniburo**



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

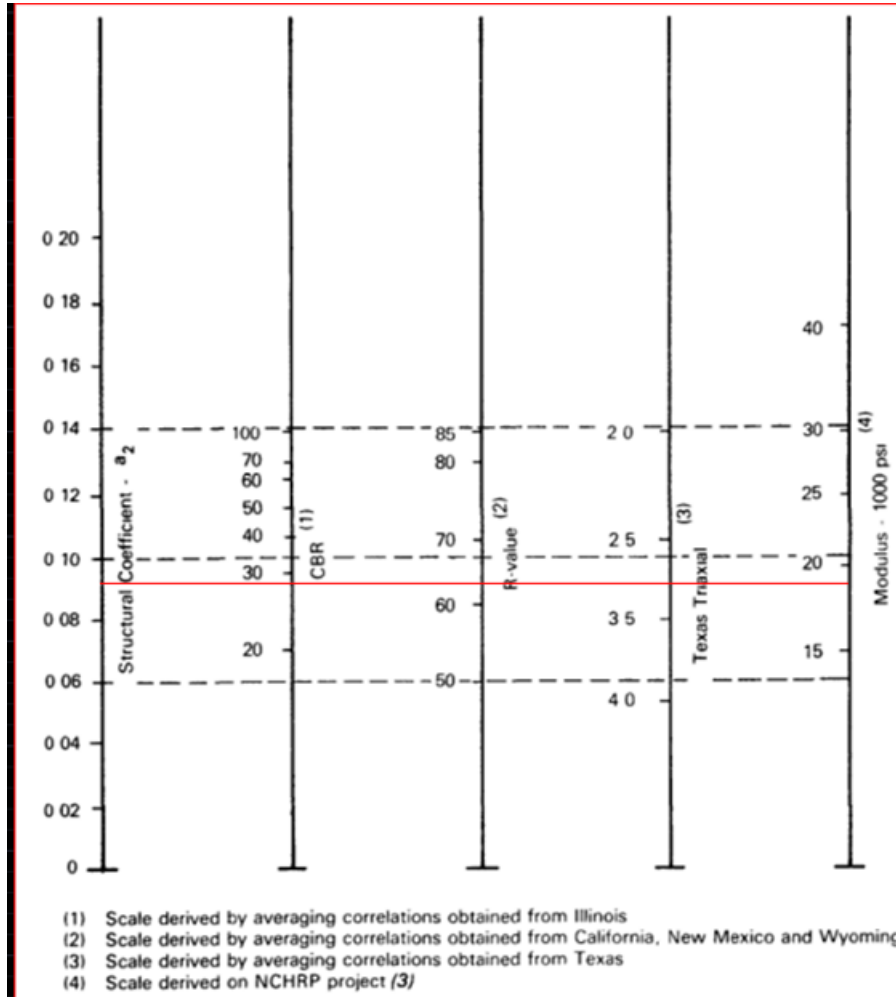
Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 3 = 17746,981 ; a_2 = 0,091$$

$$a_2 = \frac{0,091 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0358 \text{ cm}$$

7.2.2.7. Coeficiente estructural Base Clase 4

Mina La Chimba

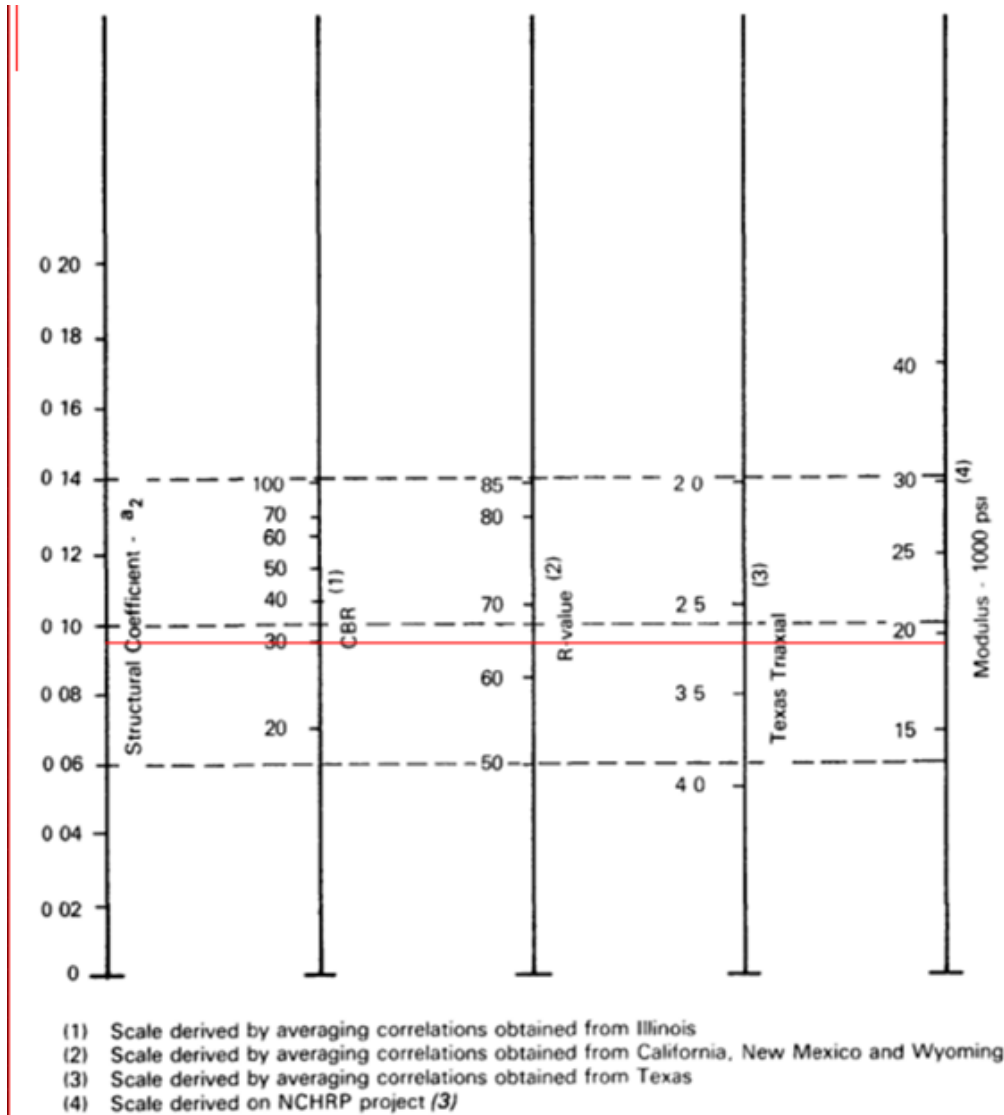


Fuente: (AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 4 = 18982,53 ; a_2 = 0,093$$

$$a_2 = \frac{0,093 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0366 \text{ cm}$$

Mina Loma de Cuniburo



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

Estados Unidos.)

$$MR \text{ base } 4 = 19514,34 ; a_2 = 0,095$$

$$a_2 = \frac{0,095 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 0,0374 \text{ cm}$$

### 7.3. RESUMEN DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES

#### Mina La Chimba

Comparacion de Coeficientes Estructurales					
Muestra	C.E. (CBR) (pulg)	C.E. (Módulo Resiliente) (pulg)	C.E. (CBR) (cm)	C.E. (Módulo Resiliente) (cm)	Coeficiente AASHTO (cm)
Sub base 1	0,136	0,105	0,0535	0,0413	0.032 - 0.043
Sub base 2	0,13	0,107	0,0512	0,0421	0.032 - 0.043
Sub base 3	0,133	0,11	0,0524	0,0433	0.032 - 0.043
Base 1	0,13	0,08	0,0512	0,0315	0.047 - 0.056
Base 2	0,135	0,083	0,0531	0,0327	0.047 - 0.056
Base 3	0,136	0,085	0,0535	0,0335	0.028 - 0.051
Base 4	0,133	0,093	0,0524	0,0366	0.047 - 0.056

#### Mina Loma de Cuniburo

Comparacion de Coeficientes Estructurales					
Muestra	C.E. (CBR) (pulg)	C.E. (Módulo Resiliente) (pulg)	C.E. (CBR) (cm)	C.E. (Módulo Resiliente) (cm)	Coeficiente AASHTO (cm)
Sub base 1	0,136	0,103	0,0535	0,0406	0.032 - 0.043
Sub base 2	0,133	0,105	0,0524	0,0413	0.032 - 0.043
Sub base 3	0,13	0,107	0,0512	0,0421	0.032 - 0.043
Base 1	0,128	0,08	0,0504	0,0315	0.047 - 0.056
Base 2	0,139	0,082	0,0547	0,0323	0.047 - 0.056
Base 3	0,137	0,091	0,0539	0,0358	0.028 - 0.051
Base 4	0,135	0,095	0,0531	0,0374	0.047 - 0.056

### 7.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE C.B.R. MINA LA CHIMBA

C.B.R. subrasante = 11%

Para escoger la base y subbase, verificamos cual fue la que mejor resultado nos dio

Subbase clase 1

Base Clase 3

### 7.5. Diseño de la Subrasante

La ecuación dada a continuación nos ayuda a obtener el Módulo Resiliente de la subrasante; para una vez obtenido este módulo, proceder a ingresar los datos en el programa de la AASHTO.

$$MR = 2555 * CBR^{0.64} \quad (CBR > 7\%)$$

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

$$MR = 11000 \text{ Psi}$$

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 % Zr=-1.282 So 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 11000 psi

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

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

Número Estructural  
**SN = 3.13**

Observaciones

Calcular Salir

**SN Subrasante= 3.13**

## 7.6. DISEÑO DE LA BASE

El Módulo Resiliente que obtuvimos mediante el nomograma es igual a 28600 Psi, con su respectivo coeficiente estructural de 0.0535.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 % Zr=-1.282 So 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 28600 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

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

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

Número Estructural  
**SN = 2.20**

Observaciones

Calcular Salir

SN Base= 2.20

### 7.7. DISEÑO DE LA SUBBASE

El Módulo Resiliente que obtuvimos mediante el nomograma es igual a 19500 Psi., con su respectivo coeficiente estructural de 0.0535.

Ecuación AASHTO 93

## CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

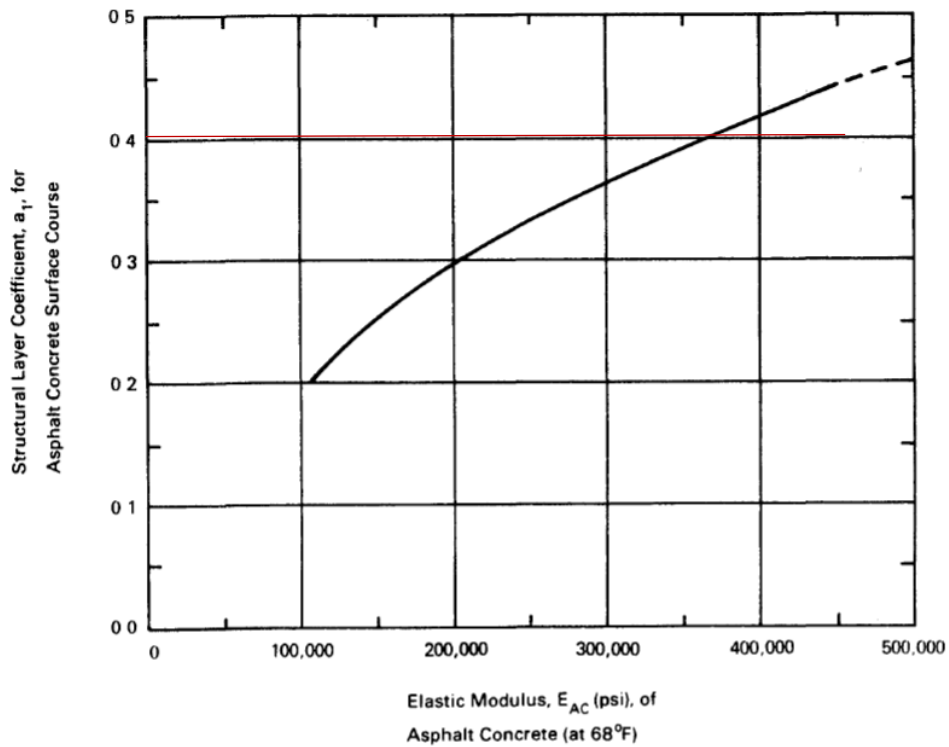
**Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.**

Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value="0.43"/>	
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.2"/>		Módulo resiliente de la subrasante Mr <input type="text" value="19500"/> psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <b>W18 =</b> <input type="text" value="1560000"/> <input type="radio"/> Calcular W18		Número Estructural <b>SN =</b> <input type="text" value="2.54"/>	
Observaciones <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>			
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

SN Subbase= 2.54

## 7.8. DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA

Para diseñar la carpeta asfáltica se asume el Módulo Resiliente, este debe ser el que se use en nuestro medio y es de 400000 Psi., con esto ingresamos a un nomograma y obtenemos el coeficiente estructural.



$$a_1 = \frac{0,43 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}}$$

$$a_1 = 0,1693 \text{ cm}$$

## 7.9. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{2,20}{0,1693 * 1} = 12.99 \text{ cm}$$

$$D_1 \approx 12,5 \text{ cm}$$

$$SN_{real} = 12,5 * 0,1693 * 1 = 2,17$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2,54 - 2,17}{0,0535 * 1} = 6,916 \text{ cm}$$

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

$$SN \text{ real} = 15 * 0,0535 * 1 = 0,80$$

Capa Subbase:

$$D3 = \frac{3,13 - 0,80 - 2,17}{0,0535 * 1} = 2,99 \text{ cm}$$

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

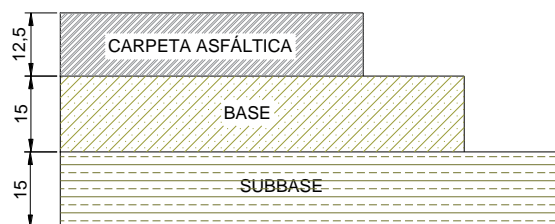
$$SN \text{ real} = 15 * 0,0535 * 1 = 0,825$$

Comprobación:

$$2,17 + 0,80 + 0,825 > 3,13$$

$$3,77 > 3,13 \quad \text{CUMPLE}$$

Figura 7.11 Diseño del Pavimento



## 7.10. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE MINA LA CHIMBA

Para diseñar a partir del Módulo Resiliente, utilizamos los datos que obtuvimos previamente mediante el GeoGauge.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural  
**SN =**

Observaciones

**SN Subrasante= 3.13**

### 7.11. DISEÑO DE LA BASE

El Módulo Resiliente que se obtuvo mediante el ensayo GeoGauge es de 18248,292 Psi.

Ecuación AASHTO 93

#### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial    PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural  
**SN =**

Observaciones

SN Base= 2,60

## 7.12. DISEÑO DE LA SUBBASE

El Módulo Resiliente que se obtuvo mediante el ensayo GeoGauge es de 14714,025 Psi.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 14307 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

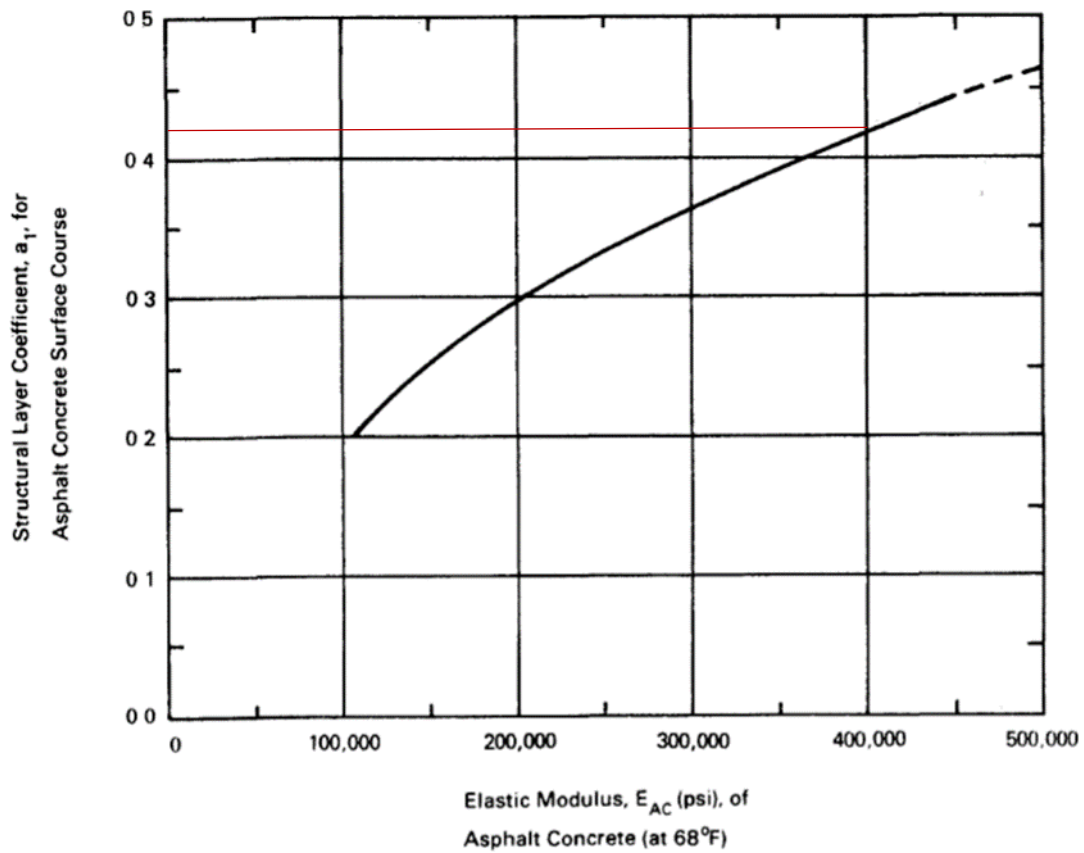
Número Estructural  
**SN = 2,84**

Observaciones

Calcular Salir

SN Subbase= 2,81

### 7.13. DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA



$$a_1 = \frac{0,43 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}}$$

$$a_1 = 0,1693 \text{ cm}$$

### 7.14. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{2,61}{0,1693 * 1} = 15.42 \text{ cm}$$

$$D_1 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN_{real} = 15 * 0,1693 * 1 = 2,54$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2,81 - 2,54}{0,0335 * 1} = 8,0597 \text{ cm}$$

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

$$SN \text{ real} = 15 * 0,0335 * 1 = 0,5025$$

Capa Subbase:

$$D3 = \frac{3,13 - 0,5025 - 2,54}{0,0413 * 1} = 2,12 \text{ cm}$$

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

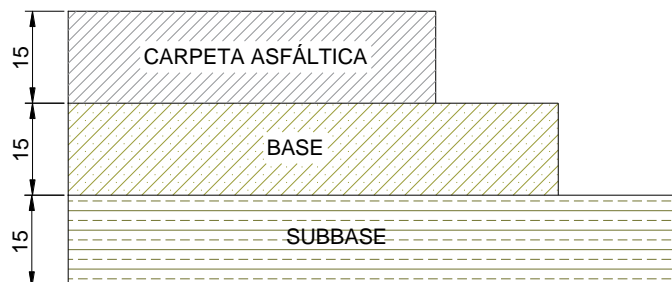
$$SN \text{ real} = 15 * 0,0413 * 1 = 0,620$$

Comprobación:

$$2,54 + 0,5025 + 0,620 > 3,13$$

$$3,66 > 3,13 \quad \text{CUMPLE}$$

Figura 7.15 Diseño del Pavimento



### 7.15. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE C.B.R. MINA LOMA DE CUNIBURO

Para escoger la base y subbase, verificamos cual fue la que mejor resultado nos dio, Subbase clase 2 Y Base Clase 4.

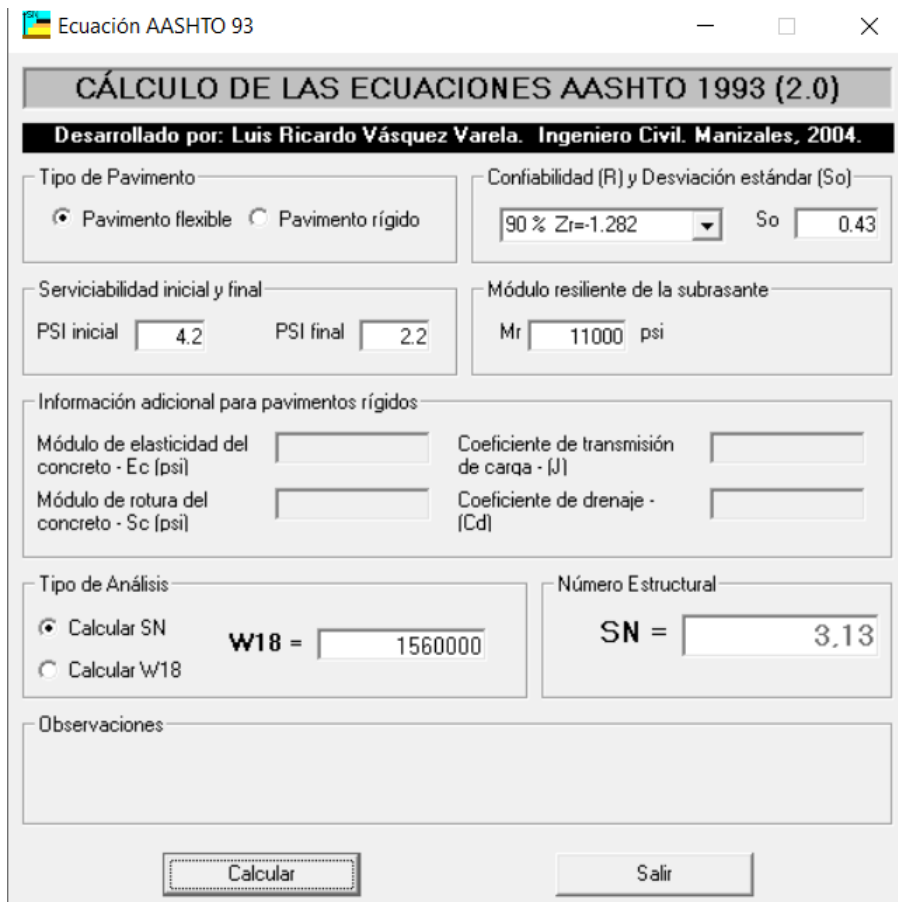
### 7.16. DISEÑO DE LA SUBRASANTE

La ecuación dada a continuación nos ayuda a obtener el Módulo Resiliente de la subrasante; para una vez obtenido este módulo, proceder a ingresar los datos en el programa de la AASHTO.

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

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

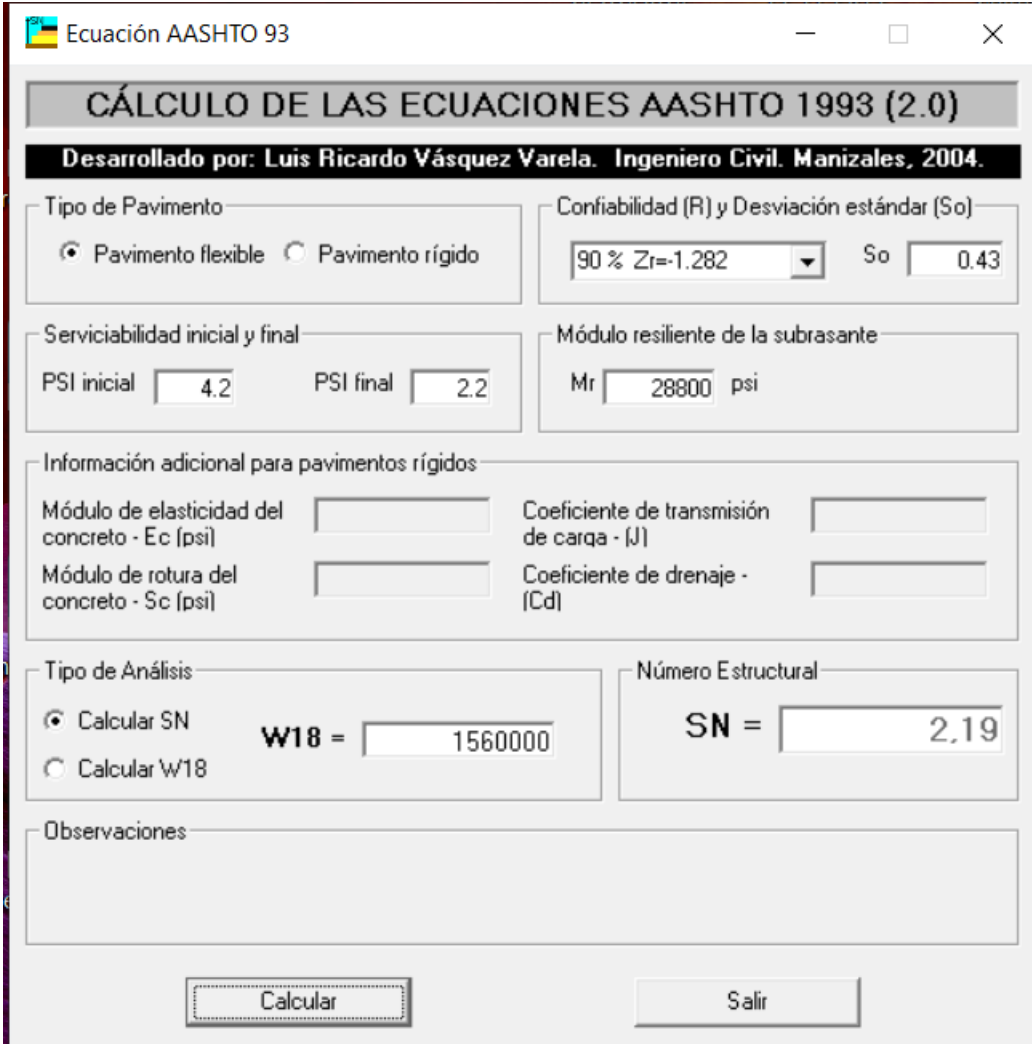
$$MR = 11000 \text{ Psi}$$



**SN Subrasante= 3.13**

### 7.17. DISEÑO DE LA BASE

El Módulo Resiliente que obtuvimos mediante el nomograma es igual a 28800 Psi, con su respectivo coeficiente estructural de 0. 0,0531.



**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 28800 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural  
**SN =**

Observaciones

**Calcular** **Salir**

SN Base= 2.19

### 7.18. DISEÑO DE LA SUBBASE

El Módulo Resiliente que obtuvimos mediante el nomograma es igual a 19000 Psi., con su respectivo coeficiente estructural de 0,0524.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

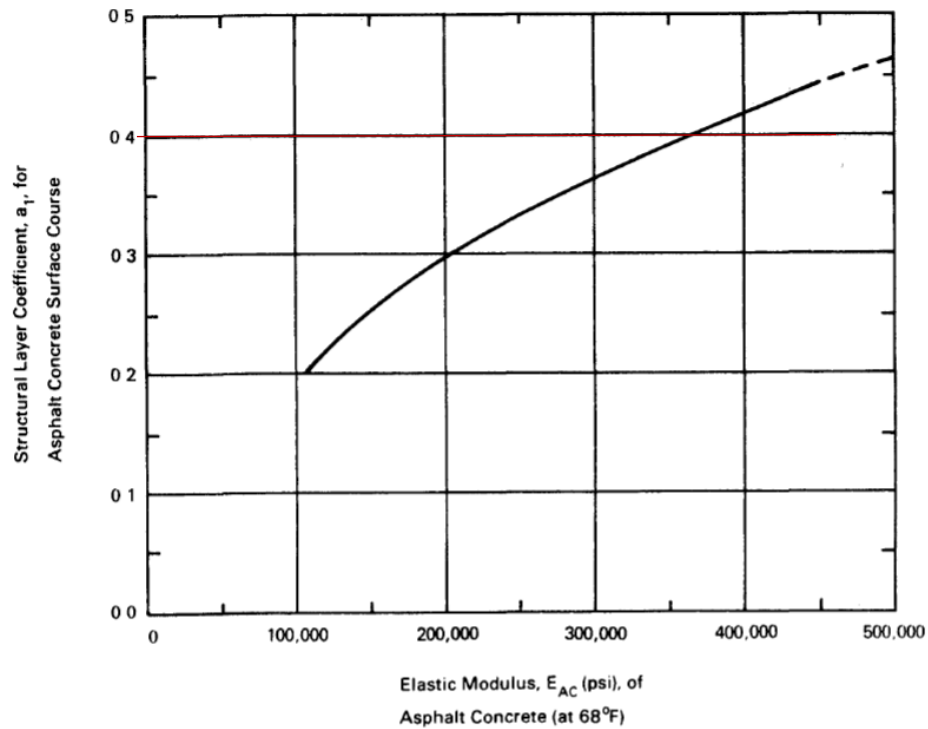
Número Estructural  
**SN =**

Observaciones

SN Subbase= 2.56

### 7.19. DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA

Para diseñar la carpeta asfáltica se asume el Módulo Resiliente, este debe ser el que se use en nuestro medio y es de 400000 Psi., con esto ingresamos a un nomograma y obtenemos el coeficiente estructural.



$$a_1 = \frac{0,43 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}}$$

$$a_1 = 0,1693 \text{ cm}$$

### 7.20. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

Carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{2,19}{0,1693 * 1} = 12.94 \text{ cm}$$

$$D_1 \approx 12,5 \text{ cm}$$

$$SN_{real} = 12,5 * 0,1693 * 1 = 2,17$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2,56 - 2,17}{0,0531 * 1} = 7,34 \text{ cm}$$

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

$$SN \text{ real} = 15 * 0,0531 * 1 = 0,80$$

Capa Subbase:

$$D3 = \frac{3,13 - 0,80 - 2,17}{0,0524 * 1} = 3,05 \text{ cm}$$

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

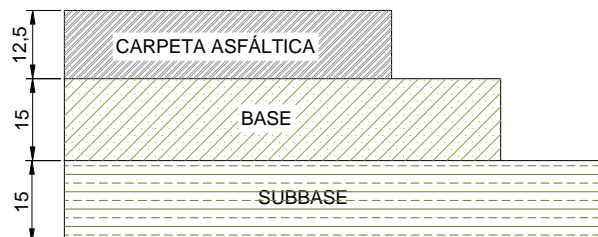
$$SN \text{ real} = 15 * 0,0535 * 1 = 0,825$$

Comprobación:

$$2,17 + 0,80 + 0,825 > 3,13$$

$$3,77 > 3,13 \quad \text{CUMPLE}$$

Figura7.21 Diseño del Pavimento



## 7.21. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE MÓDULO RESILIENTE LOMA DE CUNIBURO

Para diseñar a partir del Módulo Resiliente, utilizamos los datos que obtuvimos previamente mediante el GeoGauge.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural  
**SN =**

Observaciones

**SN Subrasante= 3.13**

## 7.22. DISEÑO DE LA BASE

El Módulo Resiliente que se obtuvo mediante el ensayo GeoGauge es de 19931,9406 Psi.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$    So = 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial = 4.2   PSI final = 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr = 19514.34 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   Coeficiente de transmisión de carga - (J)  
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   Coeficiente de drenaje - (Cd)

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

Número Estructural  
**SN = 2.53**

Observaciones

Calcular   Salir

SN Base= 2,52

### 7.23. DISEÑO DE LA SUBBASE

El Módulo Resiliente que se obtuvo mediante el ensayo GeoGauge es de 14375,128 Psi.

Ecuación AASHTO 93

### CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible    Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 % Zr=-1.282   So 0.43

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2   PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 14185,17 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

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

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

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

Calcular W18

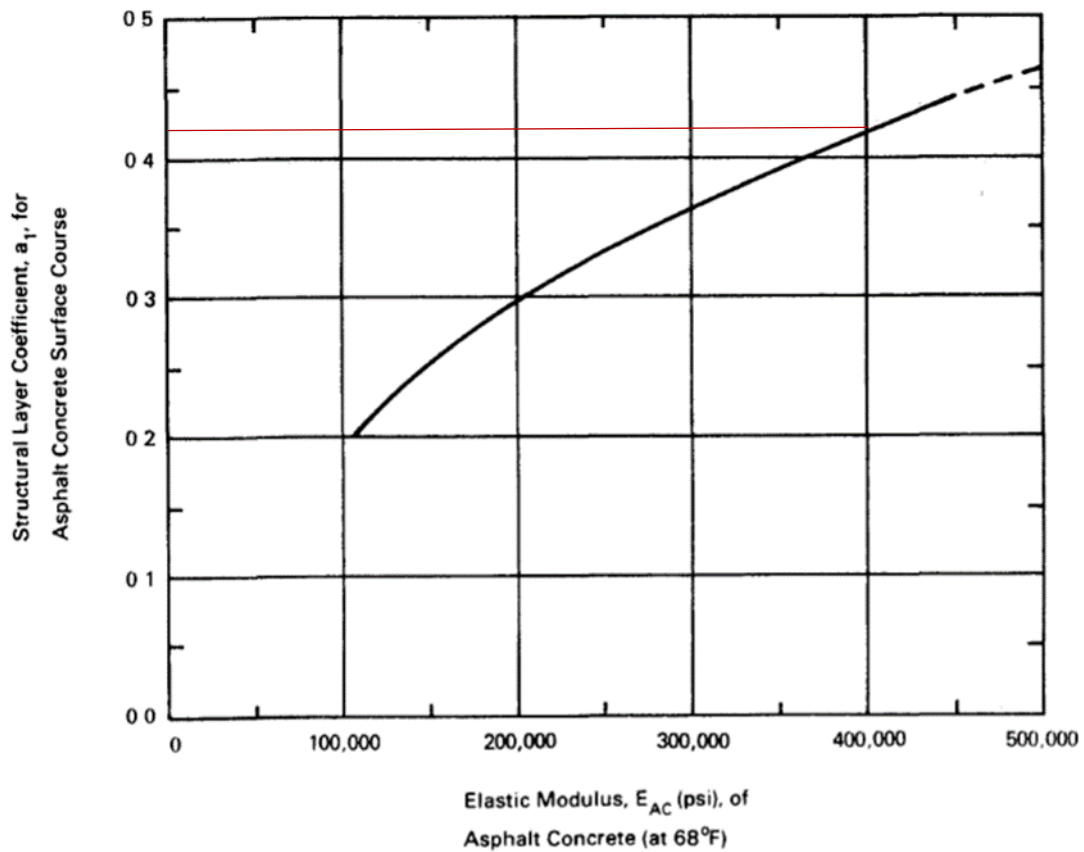
Número Estructural  
**SN = 2,85**

Observaciones

Calcular   Salir

SN Subbase= 2,84

## 7.24. DISEÑO DE LA CARPETA ASFÁLTICA



$$a_1 = \frac{0,43 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}}$$

$$a_1 = 0,1693 \text{ cm}$$

## 7.25. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{2,52}{0,1693 * 1} = 14,88 \text{ cm}$$

$$D_1 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN_{real} = 15 * 0,1693 * 1 = 2,54$$

Capa Base:

$$D2 = \frac{2,84 - 2,54}{0,0374 * 1} = 8.021cm$$

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

$$SN \text{ real} = 15 * 0,0374 * 1 = 0,561$$

Capa Subbase:

$$D3 = \frac{3,13 - 0,561 - 2,54}{0,0413 * 1} = 0.7cm$$

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

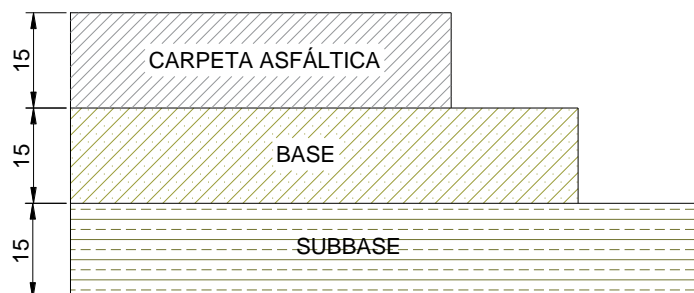
$$SN \text{ real} = 15 * 0.0413 * 1 = 0,620$$

Comprobación:

$$2,54 + 0,561 + 0,620 > 3,13$$

$$3,72 > 3,13 \quad \text{CUMPLE}$$

Figura 7.26 Diseño del Pavimento



## CAPÍTULO 8

### 8.1 CONCLUSIONES

- Una vez realizada la caracterización de las Minas en estudio, se aprobó que la misma es apta para proveer material pétreo para capas estructurales del pavimento, presentando valores mínimos a la norma en los respectivos ensayos de Abrasión en la Máquina de los Ángeles, contenido de material fino que pase el tamiz 200, contenido de terrones de arcilla, desgaste de los agregados a la acción del sulfato y el ensayo Deletéreos.
- Para determinar si el C.B.R. de los materiales usados para el diseño de la estructura del pavimento son aptos, estos deben cumplir según la norma AASHTO que el C.B.R. de las Subbases deben ser mayores al 30% y el C.B.R. de las Bases debe ser mayor al 80%, con lo que podemos concluir que de la Mina La Chimba todas las Subbases cumplen, por otra parte dos de las bases no cumplen con este criterio las cuales son la Base Clase 1 y Base Clase 4 por lo cual no las tomamos en cuenta para el diseño; de la Mina Loma de Cuniburo todas las Subbases cumplen con la especificación y las Bases cumplen todas a excepción de la Base clase 1 la cual su C.B.R. fue menor al 80%, por lo que no fue tomada en cuenta como se aprecia los porcentajes en la Tabla de resumen de resultados 5.1 y Tabla de resumen de resultados 5.3.
- Para la curva de carga vs. Penetración, cabe recalcar que en el caso de que exista una concavidad en la curva correspondiente a los primeros valores de penetración, se debe realizar la corrección de esta, en nuestro caso no fue necesario, debido a que como se observa en las Figuras 4.29, 4.31, 4.33, 4.35, 4.37, 4.39, 4.41, 4.43, 4.45, 4.47, 4.49, 4.51, 4.53, 4.55, nuestra tendencia de curva es adecuada, por lo que no fue necesario realizar correcciones.
- El Módulo Resiliente calculado a partir del ensayo de GeoGauge, es menor al Módulo Resiliente obtenido a través del ensayo de C.B.R., como podemos apreciar las tablas 4.85 y 4.86, esto se debe a las condiciones en las cuales cada ensayo es realizado, por

ejemplo, en el ensayo del C.B.R., este se lo realiza en condiciones óptimas en laboratorio cumpliendo una densidad máxima y una humedad óptima, en cambio en el ensayo de GeoGauge es realizado in-situ (en campo), es decir fuera de un laboratorio con condiciones de temperatura y compactación diferentes a las óptimas.

- Una vez obtenido los espesores de la estructura del pavimento, luego de haber realizado el diseño de este, mediante el diseño por C.B.R. nuestros espesores de la estructura del pavimento son los siguientes: Subbase=15cm., Base=15cm., Carpeta Asfáltica=12,5cm., Figura 7.11, y los espesores obtenidos mediante el ensayo de GeoGauge son los siguientes: Subbase=15cm., Base=15cm., Carpeta Asfáltica=15cm., Figura 7.15, la carpeta asfáltica es mayor mediante al GeoGauge ya que el Módulo Resiliente es menor y la relación entre el espesor de la capa y el coeficiente estructural es inversa, es por ello que existe la diferencia, en este caso de 2.5cm, concluimos entonces que si bien el diseño mediante el ensayo de Geo Gauge es más conservador, también afecta directamente el presupuesto de la obra, en cambio el diseño obtenido mediante el C.B.R. cumple con los requerimientos mínimos.
- Obtuvimos el mismo resultado en el diseño de La Mina La Chimba y La Mina Loma de Cuniburo, esto se debe a que los dos materiales son de minas del Consejo Provincial de Pichincha y ambas están ubicadas en Cayambe, por lo que tienen características similares como apreciamos en los diseños de estas. Figuras 7.11, 7.15, 7.21 y 7.26.
- Podemos observar que el factor  $R^2$  de las diferentes bases y subbases cumplen con los rangos establecidos en la tabla 6,32, como lo indican las tablas 6.31 y 6.61, por lo que podemos concluir que nuestras líneas tendencia pueden ser utilizadas con una gran confiabilidad.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las minas La Chimba (Cayambe – Ecuador) y Loma de Cuniburo (Cayambe- Ecuador), se recomienda el uso del material de estas minas, para Bases y Subbases ya que estos materiales cumplen con todas las características establecidas por la normativa MTOP.
- Para una mayor confiabilidad en los resultados se recomienda tomar material por todo el sitio de extracción de este, para de esta forma conseguir una aproximación a la realidad, acercándonos así a las características in situ de nuestras minas de estudio.
- Para la realización del ensayo de GeoGauge H 4110, es recomendable realizar una excavación de 1m x 1m x 0,30m de profundidad, con el fin de poder compactar de la mejor manera nuestro material a ensayar, así como es recomendable realizar varios ensayos y bajo condiciones que más se acerquen a la realidad, es recomendable que para llegar a la compactación deseada, se utilice el densímetro nuclear, y que este sea maniobrado por equipo especializados para poder obtener módulos de Young y densidades secas más acertadas a la realidad.
- Para poder obtener valores reales dentro del ensayo del GeoGauge, aprobada a inicios del 2002 por la ASTM-D6758, es necesario realizar este ensayo con maquina especializada, así como también debemos usar el densímetro nuclear para llegar a la compactación requerida, materiales cuales fueron facilitados por la PUCE, facultad de Ingeniería, Laboratorio de Suelos y Pavimentos.
- Para que los rangos de confiabilidad del factor  $R^2$  sean más confiables, y las líneas de tendencia puedan ser utilizadas con mayor acierto, se recomienda realizar más ensayos,

con equipos calibrados correctamente y bajo condiciones óptimas, para poder obtener factores  $R^2$  que se aproximen a 1.

## BIBLIOGRAFÍA

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

Estados Unidos.

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

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

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

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

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

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33-Granulometría de agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

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

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

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

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

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

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

Camacho, J. (2013). Determinación de la capacidad de soporte C.B.R. del suelo. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Google Maps. (2019).

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

Méndez Silva, E. A. (2012). Propuesta para sustitución de agregados pétreos por agregados pet. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.

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

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

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

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

Portland Cement Association, P. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Illinois, Estados Unidos: Skokie.

Villalobos Orchard, J. (2016). Departamento de Geología Universidad de Chile. de Las rocas y su proceso de formación: <http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>

Salvador, P., & Salvador, J. (2001). Manual Visualizado de Ensayos para Pavimentos. Quito, Ecuador.

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

Yáñez C, G. (2018). Guía Laboratorio de Pavimentos 2018. Quito, Ecuador.