

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

TEMA DE DISERTACIÓN DE GRADO

“COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y C.B.R. PARA BASE Y SUB BASE. CASOS DE ESTUDIO MINA DE MACAS (MACAS – MORONA SANTIAGO) Y MINA DEL COCA (COCA- ORELLANA)”.

AUTORES:

MILTON RICARDO COX TERÁN

ROBERT ENRIQUE GÓMEZ FLOR

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

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2019

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida; a mis padres Ricardo y Narcisa porque siempre han estado brindándome su apoyo incondicional, siendo una luz cuando me sentía perdido. Agradezco a mi hermana Violeta por estar siempre a mi lado, ayudándome en todo lo que necesitaba.

A mis tíos Angelo y Gladys por siempre estar pendientes de mi como un hijo propio y ser un pilar fundamental para cumplir con esta meta. A mis amigos por darme siempre palabras de aliento Alberto, Monse, Esteban, Abel, Carlita, Pauly, Joselyn, Verónica, Marco, Pierre, etc. y me disculpo con los no mencionados, pero la lista sería interminable. Así mismo doy las gracias a Anaí, José, Melisa, Elena, Mónica, quienes me brindaron su ayuda en situaciones adversas y me aportaron con su granito de arena.

A Robert mi compañero de tesis, por unirse a este reto, que, a pesar de las dificultades presentadas en el camino, logramos culminarlo con éxito. Agradezco a nuestro director de tesis, el Ing. Wilson Cando, quién nos animó a no rendirnos y nos brindó su apoyo incondicional. De igual manera a nuestros correctores, Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Jorge Bucheli.

Finalmente, gracias a todos los profesores de la facultad que me brindaron sus conocimientos y experiencias durante esta trayectoria.

MILTON COX

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, “esto es por y para ustedes”.

A mi abuelita Violeta, por ser ese ejemplo de perseverancia, yo sé que estaría feliz de ver a su nieto como todo un profesional.

A todos mis tíos y tías que, pese a todas las dificultades, no dejaron de creer en mí.

Por último, quiero dedicar la tesis a todas las personas que puedan necesitar del presente.

MILTON COX

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la salud, la fortaleza y la sabiduría para poder alcanzar este objetivo tan importante en mi vida, por haberme mostrado en los tiempos difíciles que todo es posible.

A mi madre Mónica Flor por ser la mejor madre del mundo, aquella mujer emprendedora y valiente que me ha enseñado el valor de la vida, y que ha creído siempre en mí.

A mi hermana Jazmín Gómez por ser el mejor ejemplo de hermana mayor que un ser humano pueda tener, por ese apoyo incondicional, y por creer siempre en mis capacidades.

A mi tía Elena Castillo por saber ser una madre para mí, por haber sembrado en mí aquellos valores que me han hecho alcanzar los objetivos más importantes de la vida.

A mis docentes, Wilson Cando, Gustavo Yáñez, Marcos Jácome, Pablo Iturralde, Fernando Castro, Patricio Castro, por su excelente labor de docentes que a lo largo de la carrera me ha permitido incrementar mi conocimiento, y que gracias a ellos tuve la inspiración de que la academia es indispensable para ser un profesional de alto nivel.

Finalmente agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, que, con su excelente gestión, sigue formando profesionales de calidad, llenos de ética, que serán el ejemplo de las futuras generaciones. Seremos sus testigos.

ROBERT GÓMEZ

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Rober y Mónica, que se merecen el orgullo de sentirse padres del profesional que han formado con el amor y la valentía que han tenido durante toda su vida, gracias a ustedes estoy en el lugar que estoy ahora. Gracias por su confianza, los amo.

ROBERT GÓMEZ

INDICE

CAPÍTULO 1	2
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Justificación	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Formulación del Problema.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance	4
CAPÍTULO 2	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Marco conceptual.....	7
2.2.1. MÓDULO DE YOUNG	7
2.2.2. Ensayo de GeoGauge H-4140	8
2.2.3. Procedimiento del ensayo de GeoGauge H-4140.....	8
2.2.4. Características del Equipo	9
2.3. Zonas de extracción de muestras	9
CAPÍTULO 3	12
3. ENSAYOS DE LABORATORIO	12
3.1. Granulometría (ASTM C33).....	12
3.1.1. Granulometrías de los agregados de las minas.....	12
3.1.2. Granulometrías de Subbases.....	15
3.1.3. Granulometrías de Bases	21
3.2. Contenido de Humedad de los Suelos (ASTM C-566).....	29
3.3. Ensayo de Abrasión en la Máquina de los Ángeles (ASTM C-131)	30
3.4. Desgaste a los Sulfatos (ASTM C-88).....	31
3.4.1. <i>Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Coca</i>	31
3.4.2. <i>Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Coca</i>	31
3.4.3. <i>Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Macas</i>	32
3.4.4. <i>Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Macas</i>	32
3.5. Gravedad Específica (ASTM C-127, ASTM C-128)	32

3.6.	Terrones de Arcilla (ASTM C-142).....	33
3.6.1.	<i>Terrones de Arcilla – Mina Coca</i>	33
3.6.2.	<i>Terrones de Arcilla – Mina Macas</i>	34
CAPITULO 4		34
4.	CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO).....	34
4.1.	Proctor Modificado	34
4.1.1.	<i>Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Coca</i>	35
4.1.2.	<i>Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Coca</i>	36
4.1.3.	<i>Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Coca</i>	37
4.1.4.	<i>Proctor Modificado Base 1 – Mina Coca</i>	38
4.1.5.	<i>Proctor Modificado Base 2 – Mina Coca</i>	39
4.1.6.	<i>Proctor Modificado Base 3 – Mina Coca</i>	40
4.1.7.	<i>Proctor Modificado Base 4 – Mina Coca</i>	41
4.1.8.	<i>Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Macas</i>	42
4.1.9.	<i>Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Macas</i>	43
4.1.10.	<i>Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Macas</i>	44
4.1.11.	<i>Proctor Modificado Base 1 – Mina Macas</i>	45
4.1.12.	<i>Proctor Modificado Base 2 – Mina Macas</i>	46
4.1.13.	<i>Proctor Modificado Base 3 – Mina Macas</i>	47
4.1.14.	<i>Proctor Modificado Base 4 – Mina Macas</i>	48
4.2.	Ensayos de CBR (California Bearing Ratio).....	49
4.2.1.	<i>CBR Subbase 1 – Mina Coca</i>	49
4.2.2.	<i>CBR Subbase 2 – Mina Coca</i>	50
4.2.3.	<i>CBR Subbase 3 – Mina Coca</i>	51
4.2.4.	<i>CBR Base 1 – Mina Coca</i>	52
4.2.5.	<i>CBR Base 2 – Mina Coca</i>	53
4.2.6.	<i>CBR Base 3 – Mina Coca</i>	54
4.2.7.	<i>CBR Base 4 – Mina Coca</i>	55
4.2.8.	<i>CBR Subbase 1 – Mina Macas</i>	56
4.2.9.	<i>CBR Subbase 2 – Mina Macas</i>	57
4.2.10.	<i>CBR Subbase 3 – Mina Macas</i>	58
4.2.11.	<i>CBR Base 1 – Mina Macas</i>	59
4.2.12.	<i>CBR Base 2 – Mina Macas</i>	60

4.2.13.	<i>CBR Base 3 – Mina Macas</i>	61
4.2.14.	<i>CBR Base 4 – Mina Macas</i>	62
4.3.	Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado	63
4.3.1.	<i>Resultados CBR y Proctor Modificado – Mina Coca</i>	63
4.3.2.	<i>Resultados CBR y Proctor Modificado – Mina Macas</i>	63
CAPÍTULO 5		64
5.	CORRELACIÓN DEL CBR CON EL MÓDULO DE YOUNG	64
5.1.	Resultados del Ensayo de Módulo de Young	64
5.2.	Parámetros de diseño de pavimento flexible con C.B.R. y Módulo Resiliente (AASHTO 1993).....	68
5.2.1.	TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual).....	68
5.2.2.	Nivel de Confianza	68
5.2.3.	Desviación Estándar	69
5.2.4.	Distribución del Tráfico.....	69
5.2.5.	Periodo de Diseño.....	69
5.2.6.	Tasa de Crecimiento	69
5.2.7.	Vehículo Tipo	69
5.2.8.	TPDA Final	70
5.2.9.	Factor de Carga.....	70
5.2.10.	Número de Ejes de 8.2 Ton	71
5.2.11.	Subrasante.....	71
5.2.12.	Pérdida por Serviciabilidad	71
5.2.13.	Número estructural por capa.....	72
5.3.	Cálculo de espesores de la estructura del pavimento con CBR	72
5.3.1.	Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Coca.....	75
5.3.2.	Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Macas	75
5.3.3.	Resultados del diseño de la estructura por CBR	76
5.4.	Cálculo de los espesores por medio de la correlación obtenida del ensayo GeoGauge H-4140	77
5.4.1.	Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Coca.....	83
5.4.2.	Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Macas	83
5.4.3.	Espesores por resultados de GeoGauge H-4140 de la estructura	84
5.5.	Comparación de espesores por los dos métodos.....	85
6.	CONCLUSIONES	86

7. RECOMENDACIONES	87
8. BIBLIOGRAFÍA.....	88
9. ANEXOS.....	90
9.1. Fotos de la realización de los ensayos de caracterización	90
9.2. Fotos de la realización de los ensayos del C.B.R.	92
9.3. Fotos de la realización de los ensayos de GeoGauge	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Granulometría Agregado Grueso - Mina Coca	12
Tabla 3.2 Granulometría Agregado Fino - Mina Coca.....	13
Tabla 3.3 Granulometría Agregado Grueso - Mina Macas	13
Tabla 3.4 Granulometría Agregado Fino - Mina Macas	14
Tabla 3.5 Granulometría Subbase 1 - Mina Coca	15
Tabla 3.6 Granulometría Subbase 2 - Mina Coca	16
Tabla 3.7 Granulometría Subbase 3 - Mina Coca	17
Tabla 3.8 Granulometría Subbase 1 - Mina Macas	18
Tabla 3.9 Granulometría Subbase 2 - Mina Macas	19
Tabla 3.10 Granulometría Subbase 3 - Mina Macas	20
Tabla 3.11 Granulometría Base 1 - Mina Coca	21
Tabla 3.12 Granulometría Base 2 - Mina Coca	22
Tabla 3.13 Granulometría Base 3 - Mina Coca	23
Tabla 3.14 Granulometría Base 4 - Mina Coca	24
Tabla 3.15 Granulometría Base 1 - Mina Macas.....	25
Tabla 3.16 Granulometría Base 2 - Mina Macas.....	26
Tabla 3.17 Granulometría Base 3 - Mina Macas.....	27
Tabla 3.18 Granulometría Base 4 - Mina Macas.....	28
Tabla 3.19 Contenido de Humedad Agregado Grueso - Mina Coca.....	29
Tabla 3.20 Contenido de Humedad Agregado Fino - Mina Coca.....	29
Tabla 3.21 Contenido de Humedad Agregado Grueso - Mina Macas	30
Tabla 3.22 Contenido de Humedad Agregado Fino - Mina Macas.....	30
Tabla 3.23 Abrasión en la Máquina de los Ángeles	30
Tabla 3.24 Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Coca.....	31
Tabla 3.25 Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Coca	31
Tabla 3.26 Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Macas.....	32
Tabla 3.27 Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Macas	32
Tabla 3.28 Gravedad Específica Agregados Gruesos	33
Tabla 3.29 Gravedad Específica Agregados Finos.....	33
Tabla 3.30 Terrones de Arcilla – Mina Coca	33
Tabla 3.31 Terrones de Arcilla – Mina Macas	34
Tabla 4.1 Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Coca.....	35

Tabla 4.2 Resumen Proctor Modificado Subbase 1 - Mina Coca	35
Tabla 4.3 Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Coca.....	36
Tabla 4.4 Resumen Proctor Modificado Subbase 2 - Mina Coca	36
Tabla 4.5 Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Coca.....	37
Tabla 4.6 Resumen Proctor Modificado Subbase 3 - Mina Coca	37
Tabla 4.7 Proctor Modificado Base 1 – Mina Coca	38
Tabla 4.8 Resumen Proctor Modificado Base 1 - Mina Coca.....	38
Tabla 4.9 Proctor Modificado Base 2 – Mina Coca	39
Tabla 4.10 Resumen Proctor Modificado Base 2 - Mina Coca.....	39
Tabla 4.11 Proctor Modificado Base 3 – Mina Coca	40
Tabla 4.12 Resumen Proctor Modificado Base 3 - Mina Coca.....	40
Tabla 4.13 Proctor Modificado Base 4 – Mina Coca	41
Tabla 4.14 Resumen Proctor Modificado Base 4 - Mina Coca.....	41
Tabla 4.15 Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Macas	42
Tabla 4.16 Resumen Proctor Modificado Subbase 1 - Mina Macas	42
Tabla 4.17 Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Macas	43
Tabla 4.18 Resumen Proctor Modificado Subbase 2 - Mina Macas	43
Tabla 4.19 Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Macas	44
Tabla 4.20 Resumen Proctor Modificado Subbase 3 - Mina Macas	44
Tabla 4.21 Proctor Modificado Base 1 – Mina Macas	45
Tabla 4.22 Resumen Proctor Modificado Base 1 - Mina Macas.....	45
Tabla 4.23 Proctor Modificado Base 2 – Mina Macas	46
Tabla 4.24 Resumen Proctor Modificado Base 2 - Mina Macas.....	46
Tabla 4.25 Proctor Modificado Base 3 – Mina Macas	47
Tabla 4.26 Resumen Proctor Modificado Base 3 - Mina Macas.....	47
Tabla 4.27 Proctor Modificado Base 4 – Mina Macas	48
Tabla 4.28 Resumen Proctor Modificado Base 4 - Mina Macas.....	48
Tabla 4.29 Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado - Mina Coca.....	63
Tabla 4.30 Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado - Mina Macas	63
Tabla 5.1 Resultados del Ensayo de Módulo de Young - Mina Coca.....	64
Tabla 5.2 Resultados del Ensayo de Módulo de Young - Mina Macas.....	66
Tabla 5.3 Tráfico Promedio Anual	68
Tabla 5.4 Nivel de Confianza.....	68
Tabla 5.5 Desviación Estándar	69

Tabla 5.6 TPDA Final	70
Tabla 5.7 Factor de carga por eje	71

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 Diagrama Esfuerzo - Deformación.....	7
Ilustración 3.1 Granulometría Agregado Grueso - Mina Coca	12
Ilustración 3.2 Granulometría Agregado Fino - Mina Coca.....	13
Ilustración 3.3 Granulometría Agregado Grueso - Mina Macas	14
Ilustración 3.4 Granulometría Agregado Fino - Mina Macas	14
Ilustración 3.5 Granulometría Subbase 1 - Mina Coca	15
Ilustración 3.6 Granulometría Subbase 2 - Mina Coca	16
Ilustración 3.7 Granulometría Subbase 3 - Mina Coca	17
Ilustración 3.8 Granulometría Subbase 1 - Mina Macas	18
Ilustración 3.9 Granulometría Subbase 2 - Mina Macas	19
Ilustración 3.10 Granulometría Subbase 3 - Mina Macas	20
Ilustración 3.11 Granulometría Base 1 - Mina Coca	21
Ilustración 3.12 Granulometría Base 2 - Mina Coca	22
Ilustración 3.13 Granulometría Base 3 - Mina Coca	23
Ilustración 3.14 Granulometría Base 4 - Mina Coca	24
Ilustración 3.15 Granulometría Base 1 - Mina Macas.....	25
Ilustración 3.16 Granulometría Base 2 - Mina Macas.....	26
Ilustración 3.17 Granulometría Base 3 - Mina Macas.....	27
Ilustración 3.18 Granulometría Base 4 - Mina Macas.....	28
Ilustración 4.1 Humedad Óptima Subbase 1- Mina Coca	35
Ilustración 4.2 Humedad Óptima Subbase 2- Mina Coca	36
Ilustración 4.3 Humedad Óptima Subbase 3- Mina Coca	37
Ilustración 4.4 Humedad Óptima Base 1- Mina Coca.....	38
Ilustración 4.5 Humedad Óptima Base 2 - Mina Coca.....	39
Ilustración 4.6 Humedad Óptima Base 3 - Mina Coca.....	40
Ilustración 4.7 Humedad Óptima Base 4 - Mina Coca.....	41
Ilustración 4.8 Humedad Óptima Subbase 1 - Mina Macas	42
Ilustración 4.9 Humedad Óptima Subbase 2 - Mina Macas	43
Ilustración 4.10 Humedad Óptima Subbase 3 - Mina Macas	44
Ilustración 4.11 Humedad Óptima Base 1 - Mina Macas.....	45
Ilustración 4.12 Humedad Óptima Base 2 - Mina Macas.....	46
Ilustración 4.13 Humedad Óptima Base 3 - Mina Macas.....	47

Ilustración 4.14 Humedad Óptima Base 4 - Mina Macas.....	48
Ilustración 4.15 Resultados CBR Subbase 1 - Mina Coca	49
Ilustración 4.16 Resultados CBR Subbase 2 - Mina Coca	50
Ilustración 4.17 Resultados CBR Subbase 3 - Mina Coca	51
Ilustración 4.18 Resultados CBR Base 1 - Mina Coca.....	52
Ilustración 4.19 Resultados CBR Base 2 - Mina Coca.....	53
Ilustración 4.20 Resultados CBR Base 3 - Mina Coca.....	54
Ilustración 4.21 Resultados CBR Base 4 - Mina Coca.....	55
Ilustración 4.22 Resultados CBR Subbase 1 - Mina Macas	56
Ilustración 4.23 Resultados CBR Subbase 2 - Mina Macas	57
Ilustración 4.24 Resultados CBR Subbase 3 - Mina Macas	58
Ilustración 4.25 Resultados CBR Base 1 - Mina Macas	59
Ilustración 4.26 Resultados CBR Base 2 - Mina Macas	60
Ilustración 4.27 Resultados CBR Base 3 - Mina Macas	61
Ilustración 4.28 Resultados CBR Base 4 - Mina Macas	62
Ilustración 5.1 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 1 y 2 - Mina Coca.....	64
Ilustración 5.2 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 3 y Base 1 - Mina Coca	65
Ilustración 5.3 Densidad vs Módulo Resiliente Bases 2, 3 y 4 - Mina Coca	65
Ilustración 5.4 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 1 y 2 - Mina Macas.....	66
Ilustración 5.5 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 3 y Base 1 - Mina Macas	67
Ilustración 5.6 Densidad vs Módulo Resiliente Bases 2, 3 y 4 - Mina Macas	67
Ilustración 5.7 Tipo de Vehículos motorizados, remolques y semirremolques.....	70
Ilustración 5.8 Resultados del diseño de la estructura por CBR	76
Ilustración 5.9 Resultados del diseño de la estructura por GeoGauge	84
Ilustración 5.10 Comparación de espesores por los dos métodos	85

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 2.1 Ubicación mina de Coca (Coca - Orellana)	10
Fotografía 2.2 Mina de Coca	10
Fotografía 2.3 Ubicación mina de Macas (Macas - Morona Santiago).....	11
Fotografía 2.4 Mina de Macas	11
Fotografía 9.1 Tamizado del material.....	90
Fotografía 9.2 Terrones de arcilla.....	90
Fotografía 9.3 Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos	90
Fotografía 9.4 Gravedad Específica	91
Fotografía 9.5 Contenido Orgánico - Mina Macas.....	91
Fotografía 9.6 Contenido Orgánico - Mina Coca	91
Fotografía 9.7 Compactación del Material (Proctor)	92
Fotografía 9.8 Compactación del Material para CBR	92
Fotografía 9.9 Ensayo de CBR	92
Fotografía 9.10 Colocación para saturación de muestras	92
Fotografía 9.11 Excavación del cajón	90
Fotografía 9.12 Compactación de la subrasante con apisonador manual.....	90
Fotografía 9.13 Compactación de la subrasante con vibro apisonador	90
Fotografía 9.14 Vista del cajón para GeoGauge.....	90
Fotografía 9.15 Ensayo del GeoGauge.....	90

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en la determinación de los resultados de los ensayos de C.B.R. (California Bearing Ratio) y de Módulo de Young para base y subbase aplicados a los casos de estudio de la mina de Macas - Morona Santiago y la mina de El Coca – Orellana.

Se inicia la investigación con verificaciones preliminares de las minas en estudio con el propósito de corroborar que son aptas para el estudio a realizarse, esto en cuanto a permisos de explotación y de utilización de los recursos. Se procede a la toma de muestras representativas de los bancos de material disponibles en las zonas mencionadas para su estudio y caracterización.

Posteriormente se realiza un análisis de los datos obtenidos de los ensayos efectuados mediante el uso de herramientas matemáticas principalmente, para poder establecer las relaciones existentes entre los ensayos de C.B.R. y Módulo Resiliente de los agregados extraídos de las minas.

Se presentan además el diseño vial obtenido con el método AASHTO (1993) para determinar los espesores de la estructura de un pavimento que tendría el material en estudio y compararlos con los que resultan de las correlaciones halladas en esta investigación, y así, de esta manera poder observar su contraste y el espesor óptimo que resulta entre estos análisis.

Todo esto con el propósito de encontrar una optimización en la futura utilización del material de estas dos minas que pueden aportar al adecuado diseño y ejecución de los proyectos viales del Ecuador.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Justificación

Esta investigación se realiza debido a la falta de parámetros característicos de los materiales disponibles en las regiones de (El Coca – Orellana) y (Macas – Morona Santiago) que se emplean para la construcción de obras viales en el Ecuador, entre estos parámetros se encuentran los que resultan de realizar el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) y el ensayo de Módulo de Young para los distintos tipos de base y subbase, que nos permiten determinar los espesores de las capas de la estructura de un pavimento que pudiera conformarse de dichos materiales.

Las correlaciones halladas entre los resultados de C.B.R. y de Módulo de Young para bases y subbases de las regiones mencionadas se podrán aprovechar por los constructores viales para incrementar la eficiencia de los estudios viales, además de reducción de costos y tiempo para las fases de estudio y ejecución.

La importancia de esta investigación radica en la optimización en el uso de los recursos pétreos en estudio, tiempo y recursos económicos propiamente. Esta importancia también radica en el beneficio que obtienen los usuarios y los sectores productivos que reciben una infraestructura más óptima y en tiempos más cortos respecto de las que obtendrían sin los resultados de esta investigación.

1.2. Planteamiento del problema

La ineficiencia en la utilización de materiales y recursos en nuestro medio es un hecho que se ha venido suscitando desde hace ya varias décadas, este aspecto, respecto de las obras viales, es preocupante si tomamos en cuenta que son recursos no renovables que seguiremos utilizando en futuras obras de nuestro país y así, de esta manera, llegará un punto en el cual la explotación de estos materiales llegará a los puntos más frágiles generando un impacto desfavorable.

Está claro entonces que la optimización en la cantidad de material a emplearse en obras viales debe incrementarse, ya que en este sector de la construcción existe una alta demanda de tipo de material. Por ello, con este trabajo investigativo se podrá determinar los espesores necesarios que resultan en base a los estudios presentados que son las comparaciones técnicas entre el C.B.R. (California Bearing Ratio) y el Módulo de Young, y así, mediante el procesamiento de estos resultados, obtener valores adecuados para la estructura de un pavimento que cumple con los requerimientos del diseño de las capas de las diferentes bases 1, 2, 3 y 4 así como de las subbases 1, 2 y 3 especificadas en la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), utilizando el material en estudio de las minas de El Coca (Orellana) y Macas (Morona Santiago).

1.3. Formulación del Problema

¿Cómo se relacionan los resultados que se obtienen de realizar los ensayos de C.B.R. (California Bearing Ratio) y de Módulo de Young?

¿De qué manera ayudan en la investigación a realizarse y cómo se pueden aprovecharlos y aplicarlos en las obras a futuro?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Obtener los parámetros de C.B.R. y Módulo de Young para bases y subbases de los casos de estudio de la Mina de Macas y El Coca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener los valores de C.B.R. para base clase 1, 2 y 3 y para subbase clase 1, 2, 3 y 4 para las minas de Macas y El Coca
- Comparar los valores que resultan del ensayo de C.B.R. con los obtenidos del ensayo de Módulo de Young
- Contrastar las dimensiones de la estructura de un pavimento que resultan con C.B.R. y Módulo de Young de las minas en estudio.

1.5. Alcance

En el presente trabajo investigativo se llegará a determinar el grado de relación que existe entre los resultados de los ensayos de laboratorio de C.B.R. y de Módulo de Young por el GeoGauge correspondiente a los dos casos de estudio, Mina de Macas en la provincia de Morona Santiago y Mina del Coca en la provincia de Orellana.

Se inicia con una caracterización previa del material existente en las minas en estudio, para obtener información relevante acerca de la granulometría, equivalente de arena, peso específico, abrasión, resistencia a los sulfatos, clasificación y de contenido orgánico, para con esta información proporcionar una investigación más completa y detallada sobre el tipo de material que está por someterse a los ensayos de interés.

La investigación llevará a cabo los ensayos de C.B.R. para cada uno de los 4 tipos de bases y los 3 tipos de subbases que se extraerán de las minas de Macas y El Coca, lo que resultan en un total de 7 ensayos de C.B.R. por mina, resultando así un total de 14 ensayos de CBR para la investigación.

Posteriormente se efectuarán los ensayos en la máquina del GeoGauge H 4140 para el Módulo de Young, 3 para cada una de las 4 bases y 3 subbases de cada una de las 2 minas, por lo que resulta un total de 42 ensayos de Módulo de Young, los necesarios para establecer una correlación para nuestra investigación.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para la ejecución de vías o carreteras es necesario realizar estudios y caracterización de los agregados naturales, ya que éstos son parte muy importante en las interacciones entre agregados y estructura, en este caso el pavimento.

En nuestro país la metodología utilizada para diseño de pavimento se basa esencialmente en los parámetros encontrados en el ensayo de C.B.R. (California Bearing Ratio), el cual, ofrece muchas ventajas y que se lo ha ratificado como indispensable debido a su simplicidad de ejecución y de interpretación; el aspecto negativo es que las interpretaciones son empíricas y el C.B.R. como parámetro de diseño no es considerado de forma directa.

Como ejemplo, para dar valores a la subrasante se emplean parámetros como el Módulo Resiliente que resulta del ensayo del Módulo de Young y el módulo de reacción “K”,

dichos parámetros provienen de correlaciones empíricas obtenidas del C.B.R.; se realiza de esta manera ya que los valores estándar corresponden a un suelo de una óptima capacidad portante característico de una zona de California, Estados Unidos.

Actualmente, la metodología para el diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera al Módulo Resiliente como propiedad esencial para la caracterización materiales que constituyen una sección de carretera, siendo así, para el diseño, construcción y conservación de las estructuras, se debe conocer lo que el Módulo Resiliente representa.

Debido a que en Ecuador no se tienen estudios previos sobre la correlación existente en el C.B.R. y el Módulo Resiliente que resulta del ensayo del Módulo de Young, la investigación será enfocada en el estudio de agregados de las canteras y así obtener las diferentes clases de bases (base 1, base 2, base 3 y base 4) y subbases (subbase 1, subbase 2 y subbase 3).

Con estos datos obtenidos se procede a comparar y de esta manera, crear un banco de datos completo que será útil para las nuevas metodologías de diseño que requieran el Módulo Resiliente que resulta del Módulo de Young con el objeto de utilizarlo en el dimensionamiento de la estructura y facilitar los estudios de las obras viales futuras que se realicen en el país.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. MÓDULO DE YOUNG

“El Módulo de Young o Módulo de Elasticidad se define como la relación de esfuerzo – deformación en el rango elástico. Este valor puede ser considerado como la pendiente de la porción recta del diagrama esfuerzo – deformación.” (Shanley, 1971)

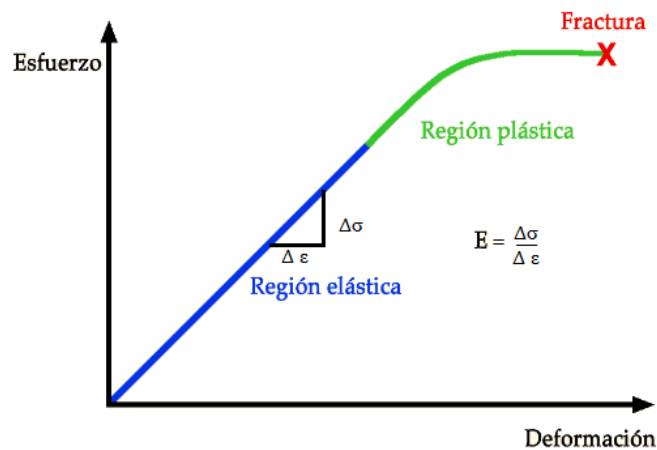


Ilustración 2.1 Diagrama Esfuerzo - Deformación

“Existen dos zonas principales las cuales caracterizan a este diagrama de esfuerzo – deformación. La primera zona es en donde luego que la carga es aplicada, las deformaciones son recuperables en un 100% (rango elástico) y la segunda zona es en donde luego del estado de esfuerzos, el material posee deformaciones permanentes (rango plástico). Este valor es confiable si no hay duda de la precisión de las medidas en la región de esfuerzo y deformación cero. También es considerado una medida de rigidez de un material, esto es, su resistencia a la deformación axial en tensión o compresión.” (Shanley, 1971)

“La forma y magnitud de la curva esfuerzo – deformación depende de su composición, tratamiento térmico, historia de deformación previa, velocidad de deformación, temperatura y estado de esfuerzos impuestos durante el ensayo.” (Güemes & Martín, 2012)

2.2.2. Ensayo de GeoGauge H-4140

El ensayo del GeoGauge, que cumple con la norma ASTM D-6758 es un ensayo no nuclear que permite medir en sitio la rigidez de estructural de la capa de suelo y el Módulo de Young. El GeoGauge aplica a la superficie del suelo una fuerza vibratoria de carga constante, midiendo el desplazamiento resultante. Esta tecnología dinámica simula las condiciones de uso real.

El valor de rigidez se refiere a la resistencia de una capa a la deflexión que corresponde a una propiedad estructural mientras que el Módulo de Young se refiere a la resistencia de un material para cambiar la forma en la dirección de tensión que es una propiedad del material.

2.2.3. Procedimiento del ensayo de GeoGauge H-4140

- Para empezar a realizar el ensayo de GeoGauge se debe preparar el terreno para el ensayo y el material a ensayarse.
- En el terreno se hará la excavación del cajón de medidas que favorezcan y faciliten a la toma de datos por parte de los equipos, para nuestro ensayo se ha determinado una excavación de 1.0m x 1.0m x 50cm.
- Se debe asegurar que las muestras a ensayarse posean la humedad óptima y que cumplan con la granulometría deseada según el tipo de material.
- Se realizarán las compactaciones en capas de 30 cm, logrando este espesor en dos capas de 15 cm, todo esto con la ayuda de un vibro apisonador con el objetivo de obtener el 100% de la densidad obtenida con el ensayo de Proctor Modificado.

- Se tomarán mediciones con el equipo de GeoGauge y con el Densímetro Nuclear para corroborar las densidades del Proctor y las humedades correspondientes a sus densidades máximas.

FACTOR DE CONVERSION Mpa a Psi

1 Mpa	1000000	N	1 Kg	2.205 Lb	1 m ²	2,54 ² cm ²	145.013028
	1 M	Pa * m ²	9.81 N	1 Kg	100 ² cm ²	1 in ²	

2.2.4. Características del Equipo

Rigidez	17 - 400 klb/pulg	3 - 70 MN/m
Módulo de Young	40 - 90 kpsi	26 - 610 Mpa
Profundidad de Medición	9 - 12 pulg	230 - 310 mm
Duración de la medición	60 - 75 seg.	

2.3. Zonas de extracción de muestras

En esta investigación se tomaron muestras de Base y Subbase de la mina de Coca y la mina de Macas, las muestras se tomaron en diferentes sectores de las minas para que de esta manera se puedan considerar muestras representativas.

La ubicación geográfica de la mina de Coca es la siguiente:

Latitud: 0°16'47.7"S

Longitud: 77°03'16"O



Fotografía 2.1 Ubicación mina de Coca (Coca - Orellana)

FUENTE: GOOGLE EARTH (2019)

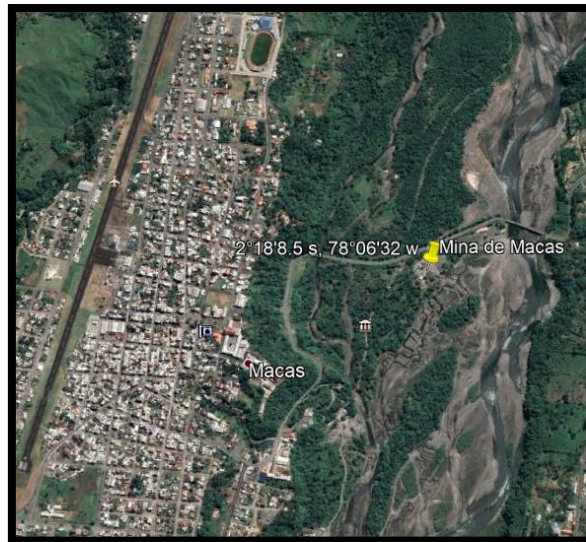


Fotografía 2.2 Mina de Coca

La ubicación geográfica de la mina de Macas es la siguiente:

Latitud: 2°18'8.5"S

Longitud: 78°06'32"O



Fotografía 2.3 Ubicación mina de Macas (Macas - Morona Santiago)

FUENTE: GOOGLE EARTH (2019)



Fotografía 2.4 Mina de Macas

CAPÍTULO 3

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. Granulometría (ASTM C33)

Se realizaron granulometrías para agregados gruesos como para los agregados finos, además de todas las bases y subbases de las dos minas en estudio. Este ensayo consiste en determinar la distribución de los tamaños de las partículas que caracterizan al material, utilizando los tamices correspondientes para cada material y siguiendo los requerimientos indicados en las normas INEN 696, AASHO T-27 y ASTM C33.

3.1.1. Granulometrías de los agregados de las minas

3.1.1.1. Granulometría Agregado Grueso – Mina Coca

Tabla 3.1 Granulometría Agregado Grueso - Mina Coca

Granulometría Agregado Grueso - Mina Coca					
Tamiz	Abert (mm)	Peso Ret. (kg)	% Ret. Parcial	%Ret. Acum.	% Pasa
1"	25	0.03	0.16	0.16	99.84
3/4"	19	5.83	30.36	30.52	69.48
1/2"	12.5	10.26	53.44	83.96	16.04
3/8"	9.5	1.91	9.95	93.91	6.09
4"	4.75	0.62	3.23	97.14	2.86

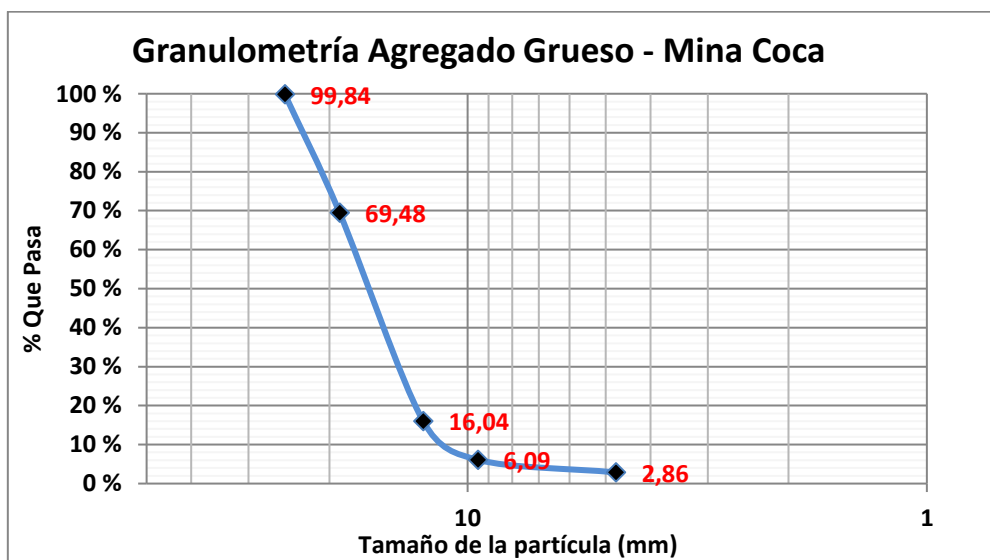


Ilustración 3.1 Granulometría Agregado Grueso - Mina Coca

3.1.1.2. Granulometría Agregado Fino – Mina Coca

Tabla 3.2 Granulometría Agregado Fino - Mina Coca

Granulometría Agregado Fino - Mina Coca					
Tamiz	Abert (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret Parcial	% Ret. Acum	% Pasa
N.4	4.75	2	0.29	0.29	99.71
N.8	2.36	22.4	3.22	3.51	96.49
N.16	1.18	31.1	4.47	7.99	92.01
N.30	0.6	224.8	32.35	40.33	59.67
N.50	0.3	264.8	38.10	78.43	21.57
N.100	0.15	108.4	15.60	94.03	5.97
N.200	0.075	20.1	2.89	96.92	3.08

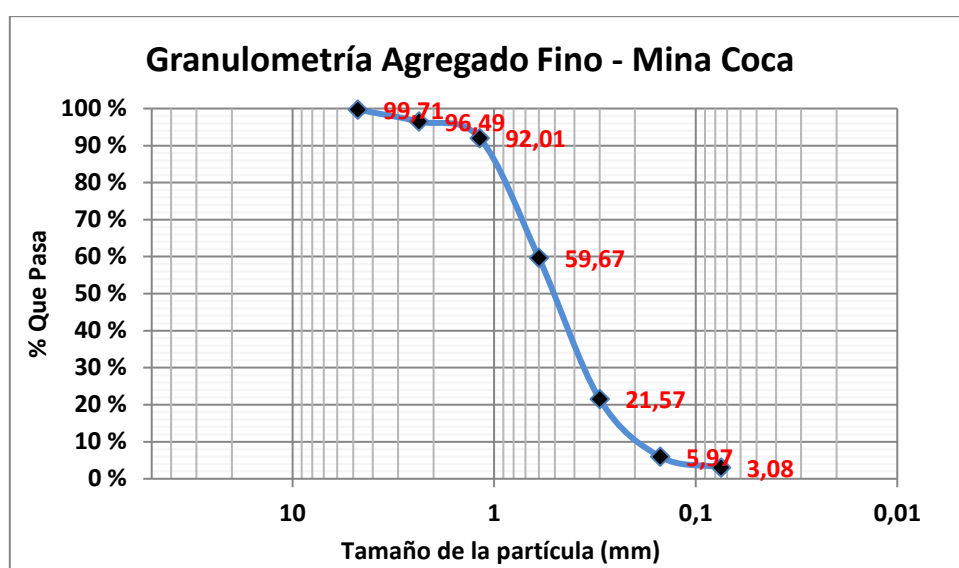


Ilustración 3.2 Granulometría Agregado Fino - Mina Coca

3.1.1.3. Granulometría Agregado Grueso – Mina Macas

Tabla 3.3 Granulometría Agregado Grueso - Mina Macas

Granulometría Agregado Grueso - Mina Macas					
Tamiz N	Abert (mm)	Peso Ret. (kg)	% Ret. Parcial	%Ret. Acum.	% Pasa
1"	25	0.55	2.90	2.90	97.10
3/4"	19	4.49	23.66	26.55	73.45
1/2"	12.5	7.36	38.78	65.33	34.67
3/8"	9.5	2.48	13.07	78.40	21.60
4"	4.75	3.45	18.18	96.58	3.42

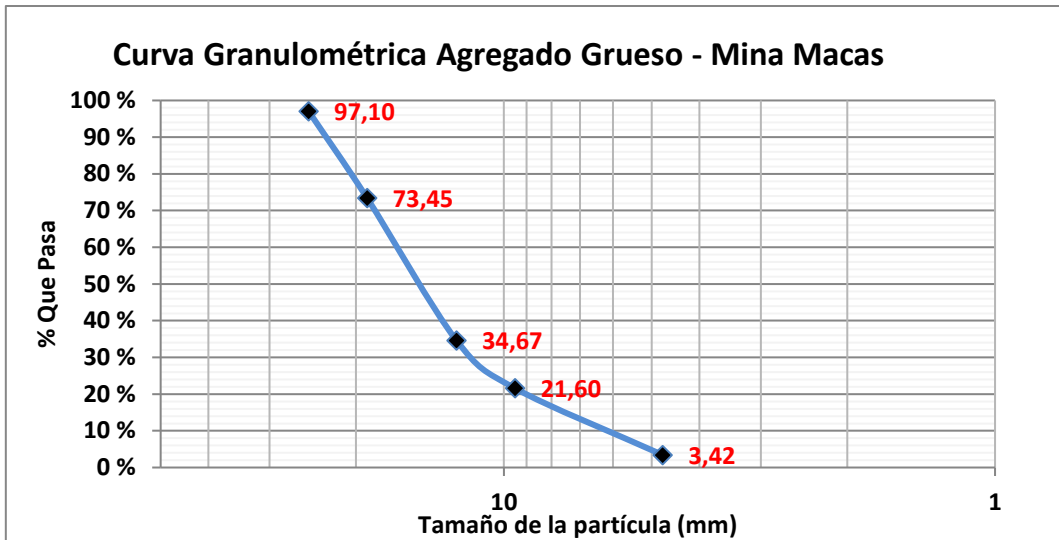


Ilustración 3.3 Granulometría Agregado Grueso - Mina Macas

3.1.1.4. Granulometría Agregado Fino – Mina Macas

Tabla 3.4 Granulometría Agregado Fino - Mina Macas

Granulometría Agregado Fino - Mina Macas					
Tamiz N	Abert (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret Parcial	% Ret. Acum	% Pasa
N.4	4.75	0	0.00	0.00	100.00
N.8	2.36	118.3	15.26	15.26	84.74
N.16	1.18	150.1	19.37	34.63	65.37
N.30	0.6	165.5	21.35	55.99	44.01
N.50	0.3	201.9	26.05	82.04	17.96
N.100	0.15	85.6	11.05	93.08	6.92
N.200	0.075	28.9	3.73	96.81	3.19

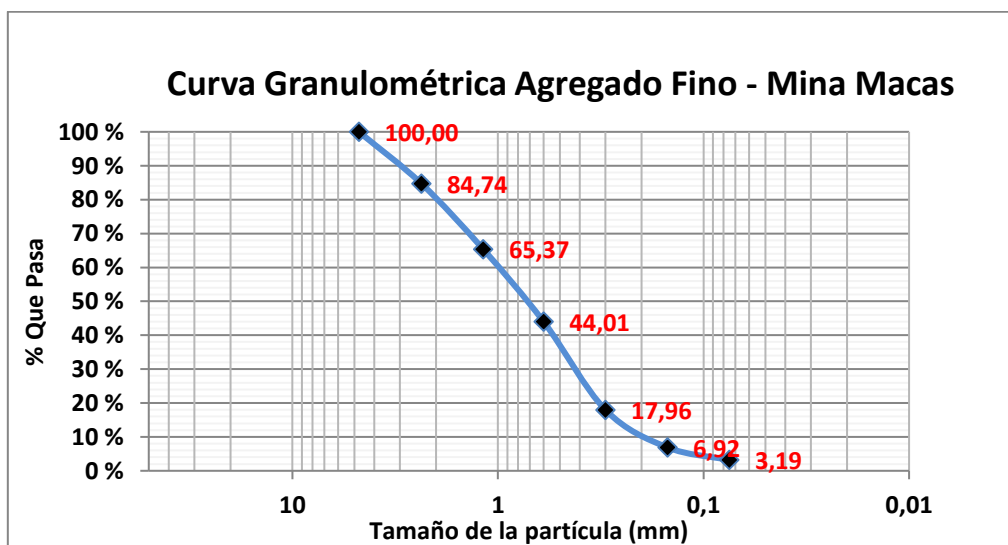


Ilustración 3.4 Granulometría Agregado Fino - Mina Macas

3.1.2. Granulometrías de Subbases

3.1.2.1. Granulometría Subbase 1 – Mina Coca

Tabla 3.5 Granulometría Subbase 1 - Mina Coca

GRANULOMETRÍA SUBBASE 1 COCA				
% Agregado Fino			52	
% Agregado Grueso			48	
ASTM (in)	INEN (mm)	% Pasa	SubBase 1	Evaluación
1"	25	100.00	100	Cumple
3/4"	19	89.25	---	---
1/2"	12.5	67.76	---	---
3/8"	9.5	57.99	---	---
N.4	4.75	54.66	30-70	Cumple
N.8	2.36	50.17	---	---
N.16	1.18	47.85	---	---
N.30	0.6	31.03	N.40 10-35	Cumple
N.50	0.3	11.22		
N.100	0.15	4.48	---	---
N.200	0.075	2.98	0-15	Cumple

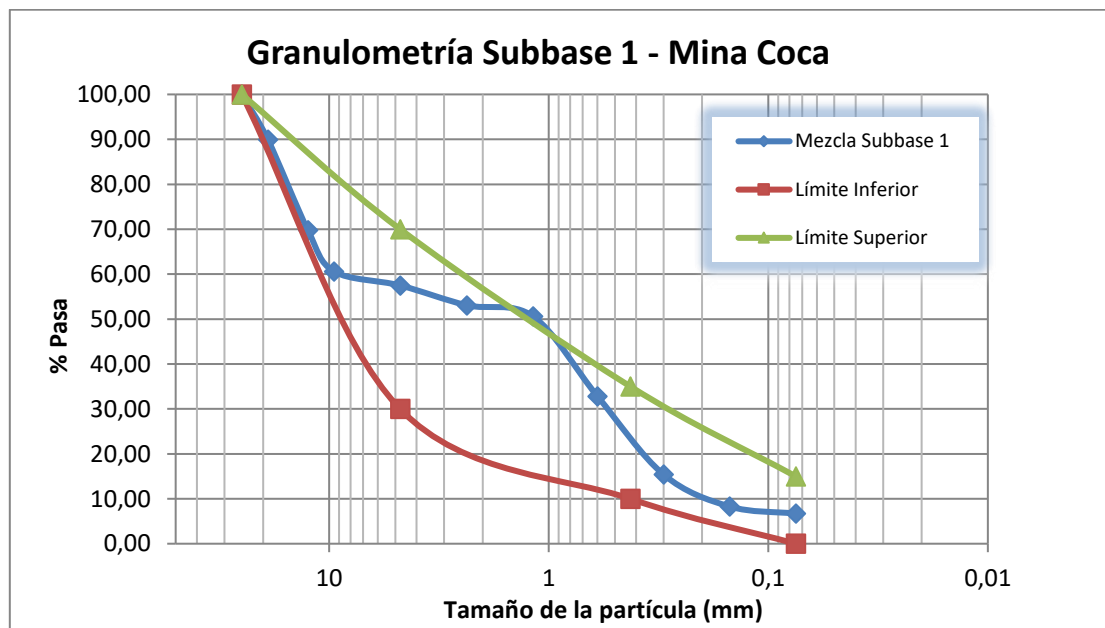


Ilustración 3.5 Granulometría Subbase 1 - Mina Coca

3.1.2.2. Granulometría Subbase 2 – Mina Coca

Tabla 3.6 Granulometría Subbase 2 - Mina Coca

GRANULOMETRÍA SUBBASE 2 COCA				
% Agregado Fino		50		
% Agregado Grueso		50		
ASTM (in)	INEN (mm)	% Pasa	SubBase 1	Evaluación
1"	25	100.00	100	Cumple
3/4"	19	88.81	---	---
1/2"	12.5	66.42	---	---
3/8"	9.5	56.24	---	---
N.4	4.75	52.79	30-70	Cumple
N.8	2.36	48.24	---	---
N.16	1.18	46.01	---	---
N.30	0.6	29.83	N.40 10-35	Cumple
N.50	0.3	14.01		
N.100	0.15	7.53	---	---
N.200	0.075	6.09	0-15	Cumple

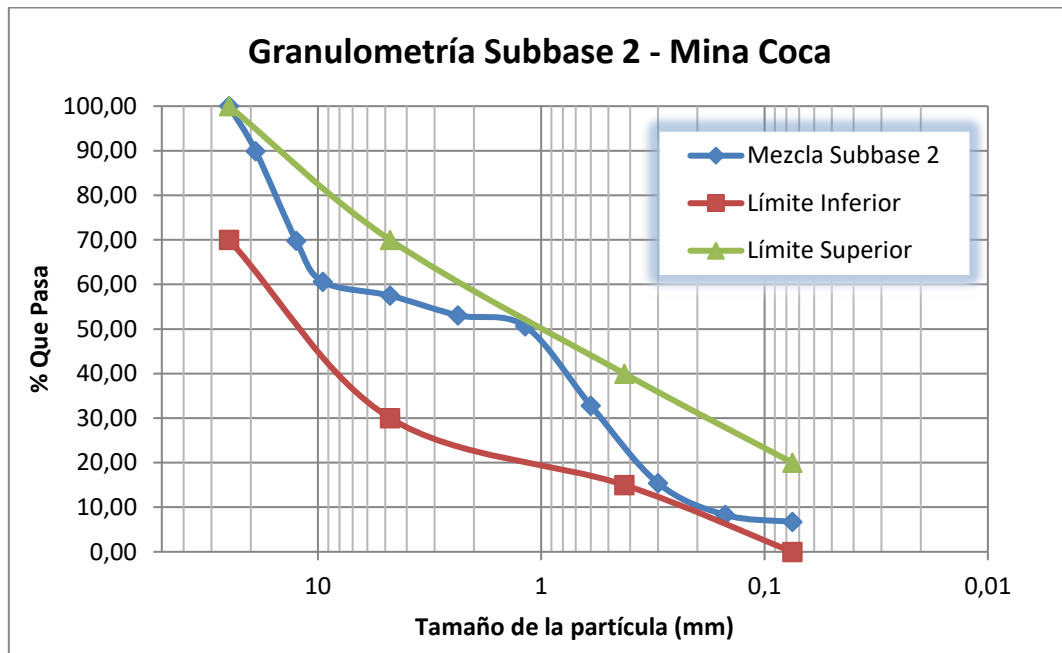


Ilustración 3.6 Granulometría Subbase 2 - Mina Coca

3.1.2.3. Granulometría Subbase 3 – Mina Coca

Tabla 3.7 Granulometría Subbase 3 - Mina Coca

GRANULOMETRÍA SUBBASE 3 COCA				
% Agregado Fino		55		
% Agregado Grueso		45		
ASTM (in)	INEN (mm)	% Pasa	SubBase 1	Evaluación
1"	25	100.00	100	Cumple
3/4"	19	89.93	---	---
1/2"	12.5	69.78	---	---
3/8"	9.5	60.61	---	---
N.4	4.75	57.48	30-70	Cumple
N.8	2.36	53.07	---	---
N.16	1.18	50.61	---	---
N.30	0.6	32.82	N.40 10-35	Cumple
N.50	0.3	15.41		
N.100	0.15	8.29	---	---
N.200	0.075	6.69	0-15	Cumple

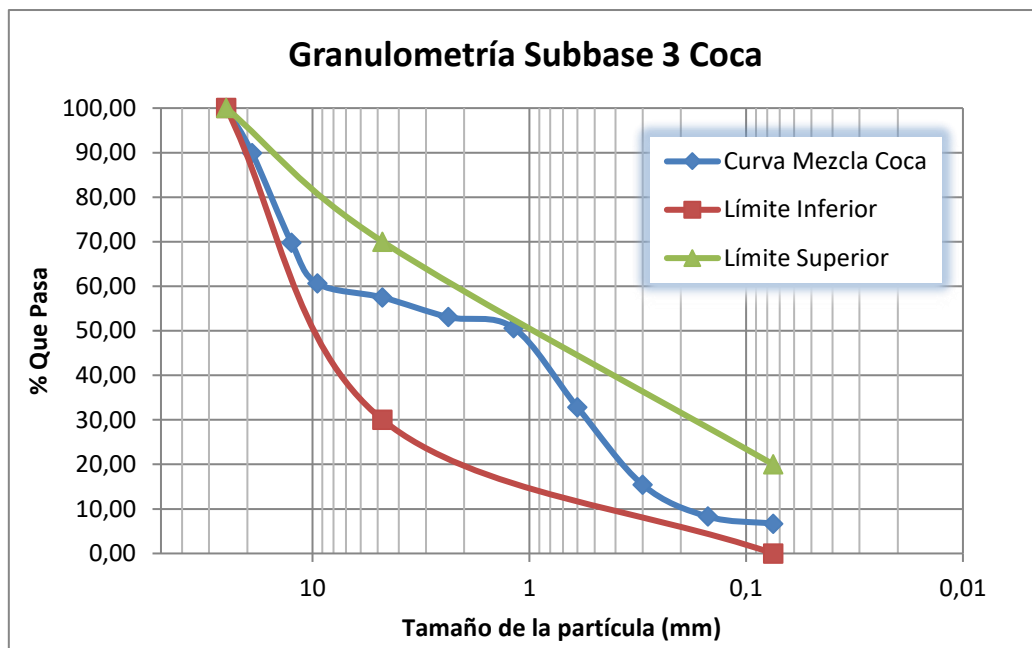


Ilustración 3.7 Granulometría Subbase 3 - Mina Coca

3.1.2.4. Granulometría Subbase 1 – Mina Macas

Tabla 3.8 Granulometría Subbase 1 - Mina Macas

Granulometría Subbase 1 - Mina Macas				
% Agregado Fino		60		
% Agregado Grueso		40		
TAMIZ	INEN (mm)	% Pasa	Subbase 1	Evaluación
2"	50.4	100.00	100	Cumple
1"	25	98.84	---	---
3/4"	19	89.38	---	---
1/2"	12.5	73.87	---	---
3/8"	9.5	68.64	---	---
4	4.75	61.37	30 – 70	Cumple
8	2.36	50.84	---	---
16	1.18	39.22	---	---
30	0.6	26.41	N.40 15 – 40	Cumple
50	0.3	12.47		
100	0.15	5.85	---	---
200	0.075	3.61	0 – 15	Cumple

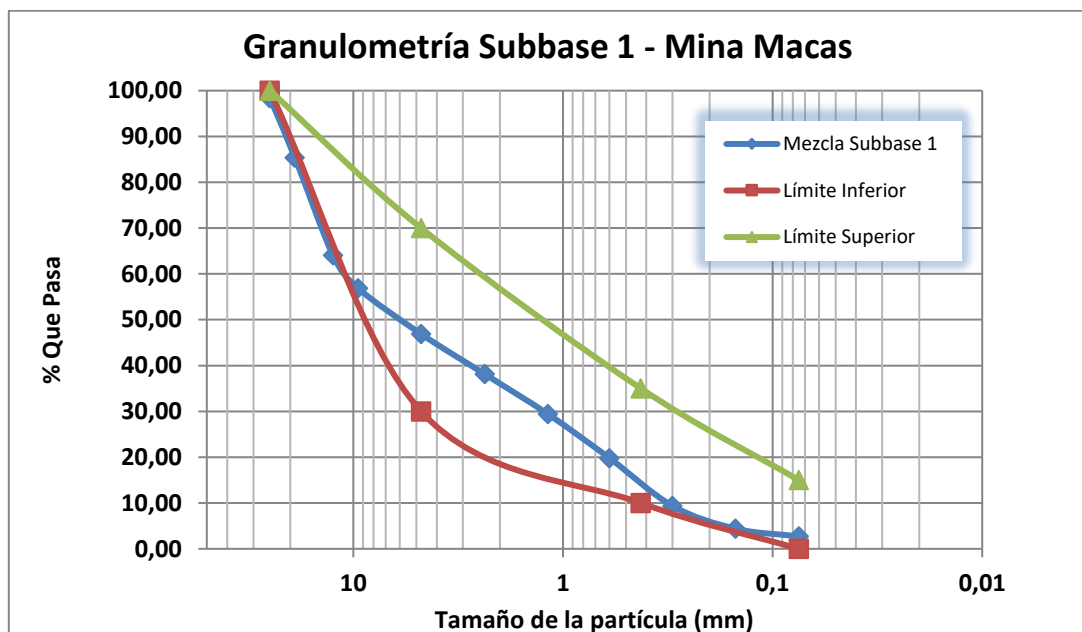


Ilustración 3.8 Granulometría Subbase 1 - Mina Macas

3.1.2.5. Granulometría Subbase 2 – Mina Macas

Tabla 3.9 Granulometría Subbase 2 - Mina Macas

Granulometría Subbase 2 - Mina Macas				
% Agregado Fino		65		
% Agregado Grueso		35		
TAMIZ	INEN (mm)	% Pasa	Subbase 1	Evaluación
2"	50.4	100.00	100	Cumple
1"	25	98.99	---	---
3/4"	19	90.71	---	---
1/2"	12.5	77.13	---	---
3/8"	9.5	72.56	---	---
4	4.75	66.20	30 - 70	Cumple
8	2.36	55.08	---	---
16	1.18	42.49	---	---
30	0.6	28.61	N.40 15 - 40	Cumple
50	0.3	13.51		
100	0.15	6.33	---	---
200	0.075	3.91	0 - 15	Cumple

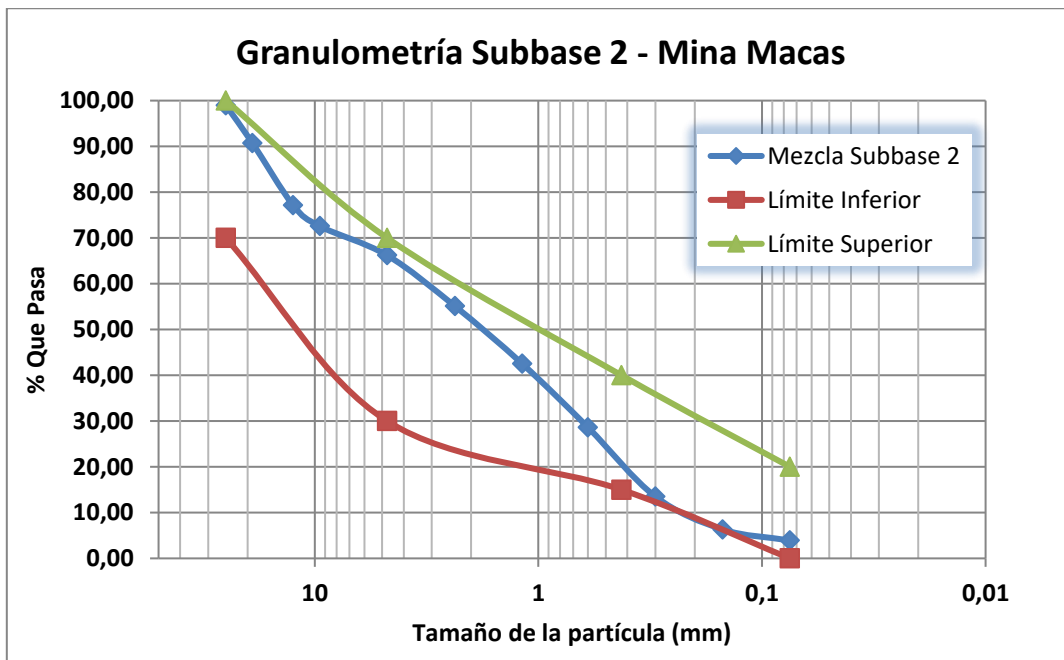


Ilustración 3.9 Granulometría Subbase 2 - Mina Macas

3.1.2.6. Granulometría Subbase 3 – Mina Macas

Tabla 3.10 Granulometría Subbase 3 - Mina Macas

Granulometría Subbase 3 - Mina Macas				
% Agregado Fino		45		
% Agregado Grueso		55		
TAMIZ	INEN (mm)	% Pasa	Subbase 1	Evaluación
2"	50.4	100.00	100	Cumple
1"	25	98.41	---	---
3/4"	19	85.40	---	---
1/2"	12.5	64.07	---	---
3/8"	9.5	56.88	---	---
4	4.75	46.88	30 - 70	Cumple
8	2.36	38.13	---	---
16	1.18	29.42	---	---
30	0.6	19.81	N.40 15 - 40	Cumple
50	0.3	9.35		
100	0.15	4.38	---	---
200	0.075	2.71	0 - 15	Cumple

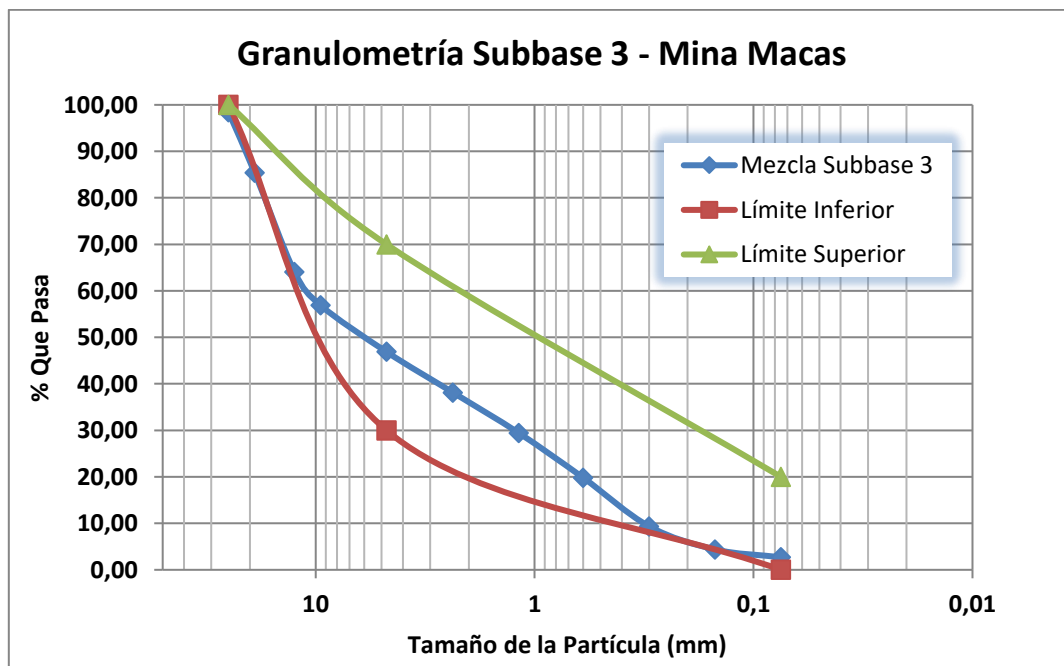


Ilustración 3.10 Granulometría Subbase 3 - Mina Macas

3.1.3. Granulometrías de Bases

3.1.3.1. Granulometría Base 1 – Mina Coca

Tabla 3.11 Granulometría Base 1 - Mina Coca

Granulometría Base 1 - Mina Coca				
% Agregado Fino			37	
% Agregado Grueso			63	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 1	Evaluación
2"	50.8	100.00	100	Cumple
1"	25	84.98	55 - 85	Cumple
3/4"	19	70.39	50-80	Cumple
1/2"	12.5	44.71	---	---
3/8"	9.5	39.93	35 - 60	Cumple
N.4	4.75	38.27	25 - 50	Cumple
N.8	2.36	35.70	N.10 20-40	Cumple
N.16	1.18	34.05		
N.30	0.6	22.08	N.40 10 - 25	Cumple
N.50	0.3	10.90		
N.100	0.15	5.13	---	---
N.200	0.075	4.06	2 - 12	Cumple

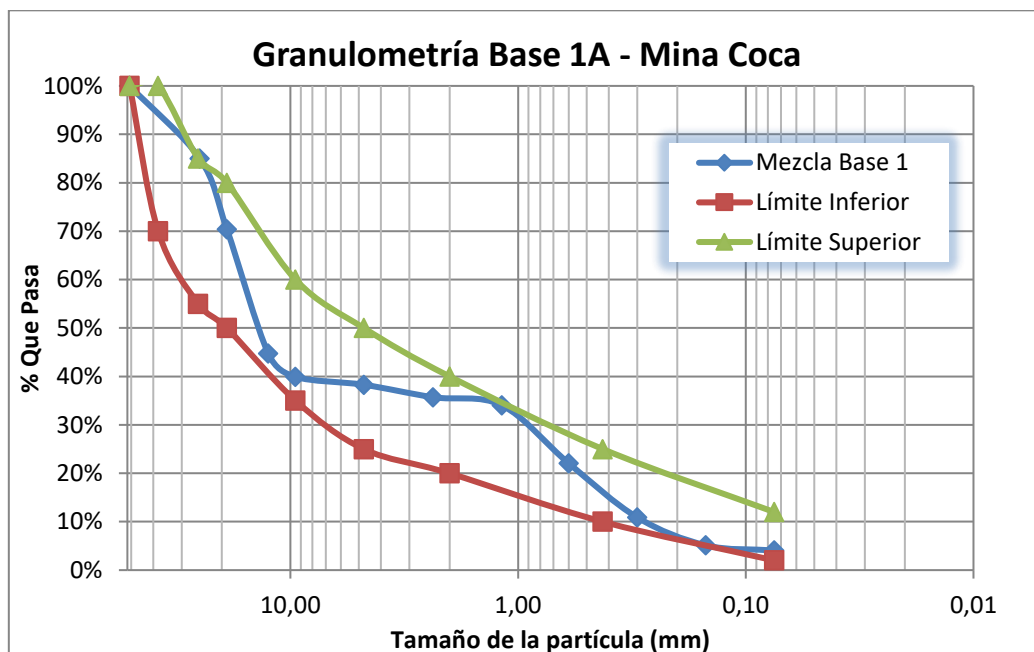


Ilustración 3.11 Granulometría Base 1 - Mina Coca

3.1.3.2. Granulometría Base 2 – Mina Coca

Tabla 3.12 Granulometría Base 2 - Mina Coca

Granulometría Base 2 - Mina Coca				
% Agregado Fino			50	
% Agregado Grueso			50	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 2	Evaluación
1"	25	100.00	100	Cumple
3/4"	19	84.58	70 - 100	Cumple
1/2"	12.5	58.14	---	---
3/8"	9.5	53.09	50 - 80	Cumple
N.4	4.75	51.32	35 - 65	Cumple
N.8	2.36	48.38	N.10 25 - 50	Cumple
N.16	1.18	42.75		
N.30	0.6	27.84	N.40 15 - 30	Cumple
N.50	0.3	14.58		
N.100	0.15	7.41	---	---
N.200	0.075	2.77	3 - 15	Cumple

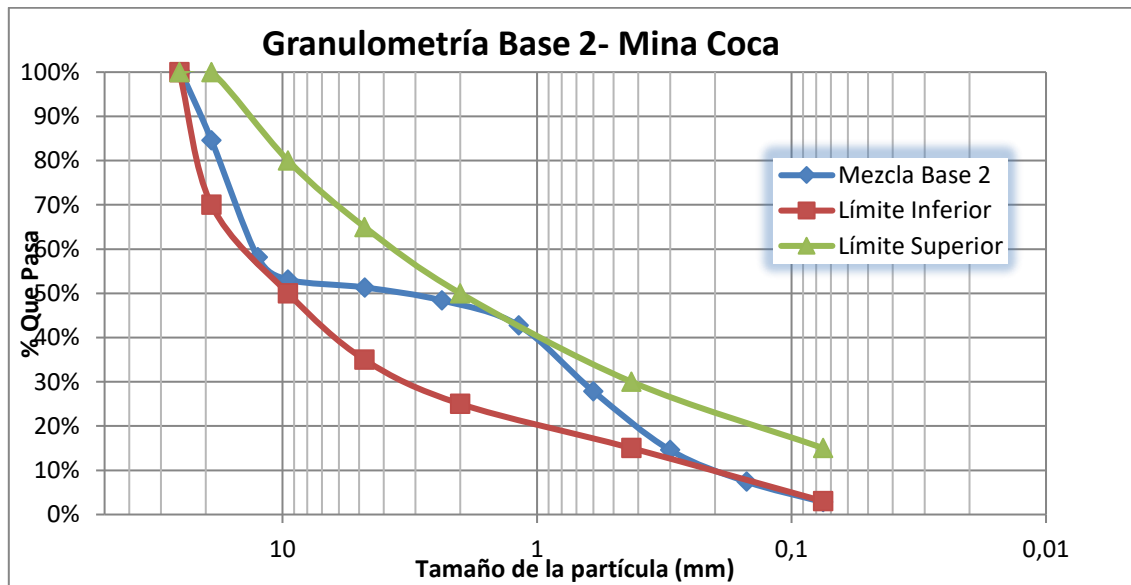


Ilustración 3.12 Granulometría Base 2 - Mina Coca

3.1.3.3. Granulometría Base 3 – Mina Coca

Tabla 3.13 Granulometría Base 3 - Mina Coca

Granulometría Base 3 - Mina Coca				
% Agregado Fino			55	
% Agregado Grueso			45	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 3	Evaluación
3/4"	19	100.00	100	Cumple
1/2"	12.5	84.86	---	---
3/8"	9.5	71.10	---	---
N.4	4.75	62.40	45 - 80	Cumple
N.8	2.36	52.99	N.10 30 - 60	Cumple
N.16	1.18	48.86		
N.30	0.6	30.31	N.40 20 - 35	Cumple
N.50	0.3	17.94		
N.100	0.15	10.10	---	---
N.200	0.075	3.50	3 - 15	Cumple

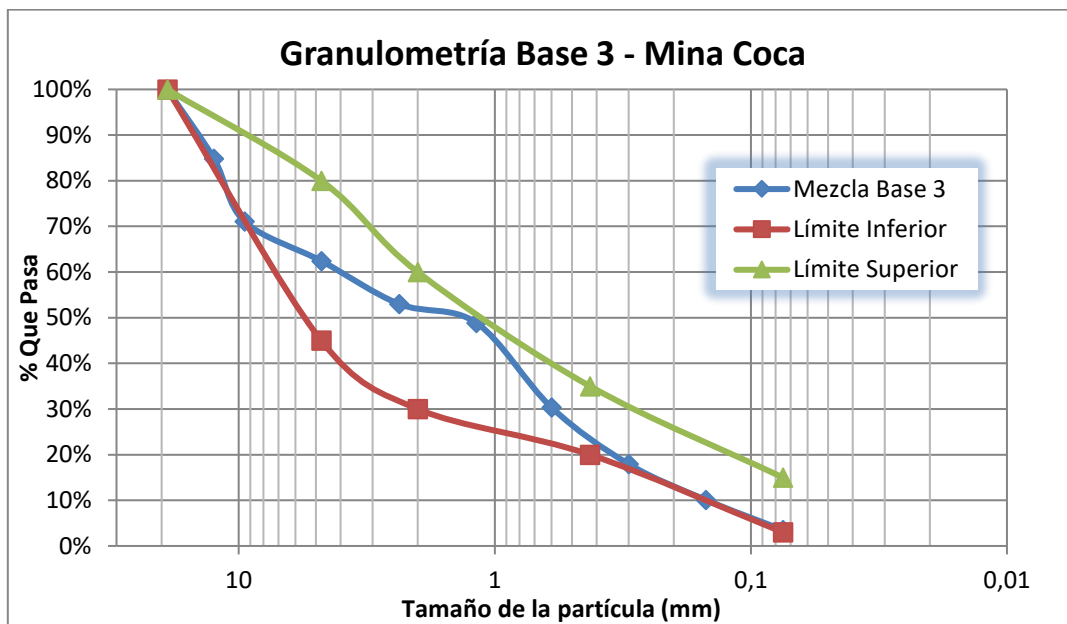


Ilustración 3.13 Granulometría Base 3 - Mina Coca

3.1.3.4. Granulometría Base 4 – Mina Coca

Tabla 3.14 Granulometría Base 4 - Mina Coca

Granulometría Base 4 - Mina Coca				
% Agregado Fino			40	
% Agregado Grueso			60	
TAMIZ	INEN (mm)	% Pasa	Base 4	Evaluación
2"	50.8	100.00	100	Cumple
1"	25	88.75	60 - 90	
3/4"	19	77.51	---	---
1/2"	12.5	48.66	---	---
3/8"	9.5	43.29	---	---
N.4	4.75	41.44	20 - 50	Cumple
N.8	2.36	38.69	---	---
N.16	1.18	35.75	---	---
N.30	0.6	23.72	---	---
N.50	0.3	9.55	---	---
N.100	0.15	3.75	---	---
N.200	0.075	1.87	0 - 15	Cumple

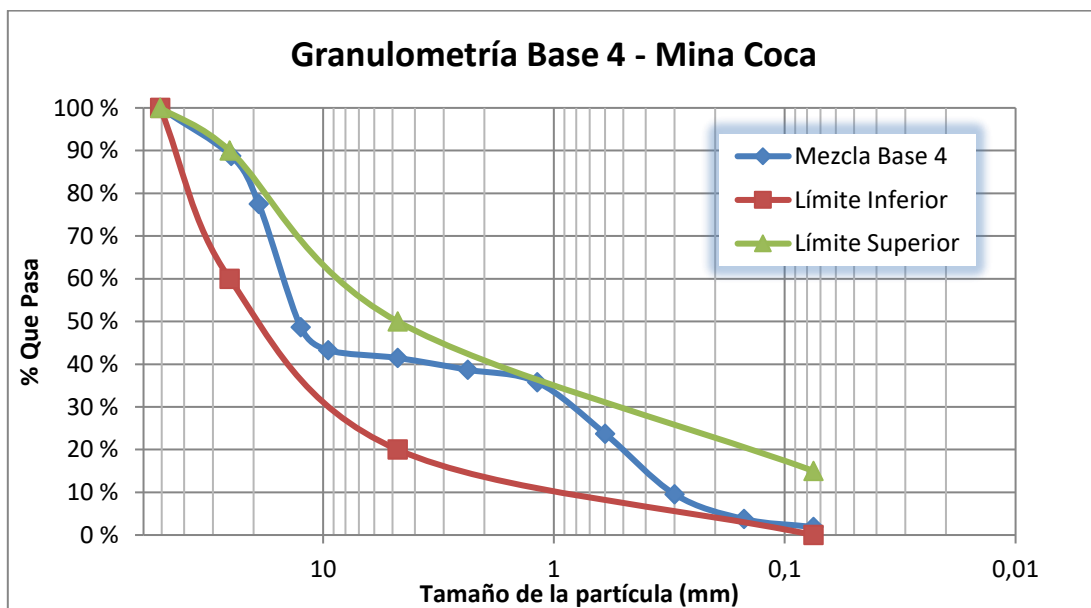


Ilustración 3.14 Granulometría Base 4 - Mina Coca

3.1.3.5. Granulometría Base 1 – Mina Macas

Tabla 3.15 Granulometría Base 1 - Mina Macas

Granulometría Base 1 - Mina Macas				
% Agregado Fino			55	
% Agregado Grueso			45	
TAMIZ	INEN (mm)	% Pasa	Base 1B	Evaluación
1 1/2"	38.1	100.00	100	Cumple
1"	25	98.70	70 - 100	Cumple
3/4"	19	88.05	60 - 90	Cumple
1/2"	12.5	70.60	---	---
3/8"	9.5	64.72	45 - 75	Cumple
N.4	4.75	56.54	30 - 60	Cumple
N.8	2.36	46.60	N.10 20 - 50	Cumple
N.16	1.18	35.95		
N.30	0.6	24.21	N.40 10 - 25	Cumple
N.50	0.3	11.43		
N.100	0.15	5.36	---	---
N.200	0.075	3.31	2 - 12	Cumple

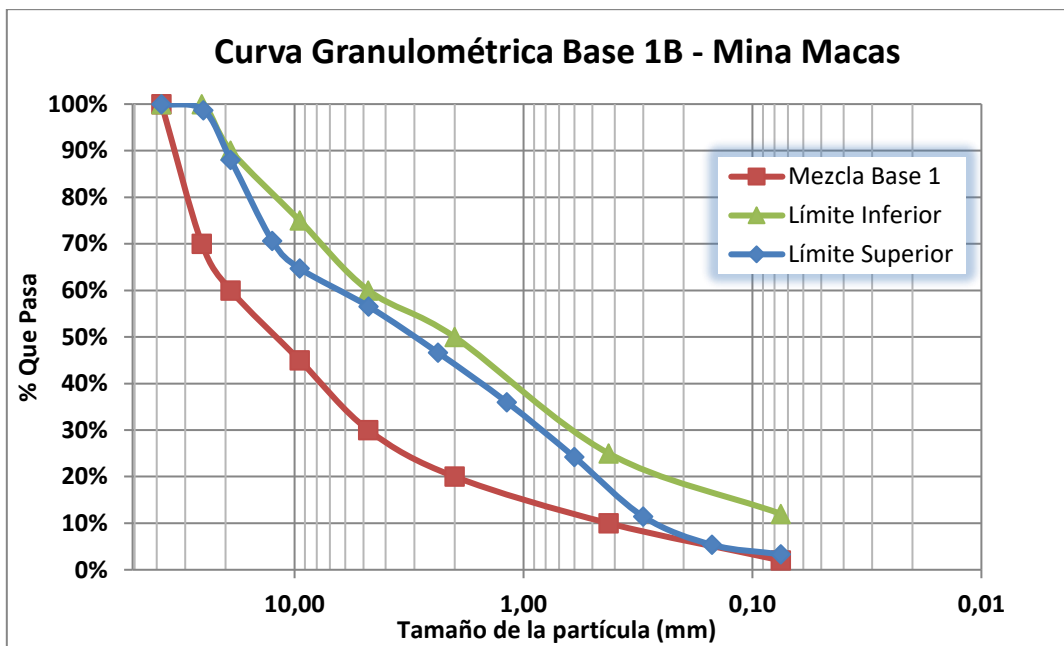


Ilustración 3.15 Granulometría Base 1 - Mina Macas

3.1.3.6. Granulometría Base 2 – Mina Macas

Tabla 3.16 Granulometría Base 2 - Mina Macas

Granulometría Base 2 - Mina Macas				
% Agregado Fino			60	
% Agregado Grueso			40	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 2	Evaluación
1"	25	98.84	100	Cumple
3/4"	19	89.38	70 - 100	Cumple
1/2"	12.5	73.87	---	---
3/8"	9.5	68.64	50 - 80	Cumple
N.4	4.75	61.37	35 - 65	Cumple
N.8	2.36	50.88	N.10 25 - 50	Cumple
N.16	1.18	39.32		
N.30	0.6	30.84		
N.50	0.3	23.90	N.40 15 - 30	Cumple
N.100	0.15	10.02	---	---
N.200	0.075	3.08	3 - 15	Cumple

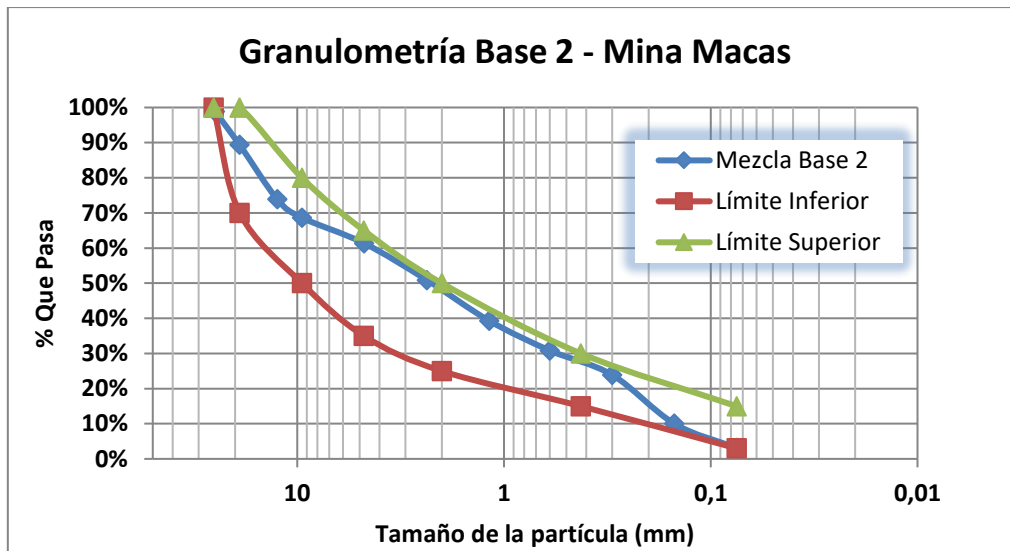


Ilustración 3.16 Granulometría Base 2 - Mina Macas

3.1.3.7. Granulometría Base 3 – Mina Macas

Tabla 3.17 Granulometría Base 3 - Mina Macas

Granulometría Base 3 - Mina Macas				
% Agregado Fino			60	
% Agregado Grueso			40	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 3	Evaluación
3/4"	19	100.00	100	Cumple
1/2"	12.5	83.35	---	---
3/8"	9.5	73.87	---	---
N.4	4.75	57.98	45 - 80	Cumple
N.8	2.36	55.59	N.10 30 - 60	Cumple
N.16	1.18	51.64		
N.30	0.6	35.16	N.40 20 - 35	Cumple
N.50	0.3	21.31		
N.100	0.15	10.62	---	
N.200	0.075	3.79	3 - 15	Cumple

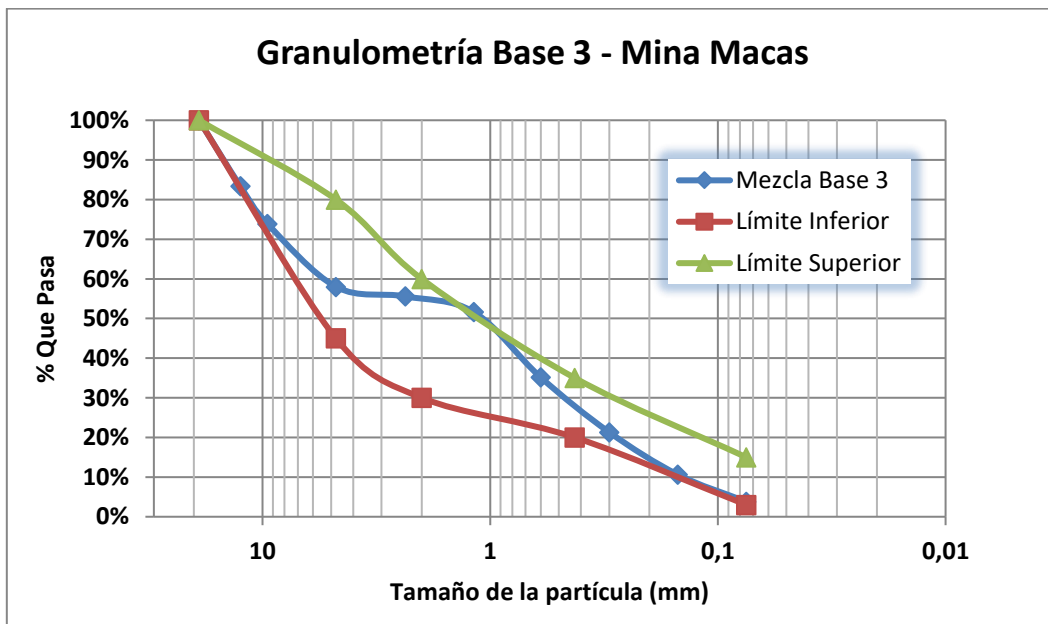


Ilustración 3.17 Granulometría Base 3 - Mina Macas

3.1.3.8. Granulometría Base 4 – Mina Macas

Tabla 3.18 Granulometría Base 4 - Mina Macas

Granulometría Base 4 - Mina Macas				
% Agregado Fino			40	
% Agregado Grueso			60	
Tamiz	INEN (mm)	% Pasa	Base 4	Evaluación
2"	50.8	100.00	100	Cumple
1"	25	89.01	60 - 90	Cumple
3/4"	19	76.97	---	---
1/2"	12.5	57.24	---	---
3/8"	9.5	50.59	---	---
N.4	4.75	41.23	20 - 50	Cumple
N.8	2.36	38.62	---	---
N.16	1.18	36.87	---	---
N.30	0.6	24.18	---	---
N.50	0.3	9.23	---	---
N.100	0.15	3.11	---	---
N.200	0.075	1.98	0 - 15	Cumple

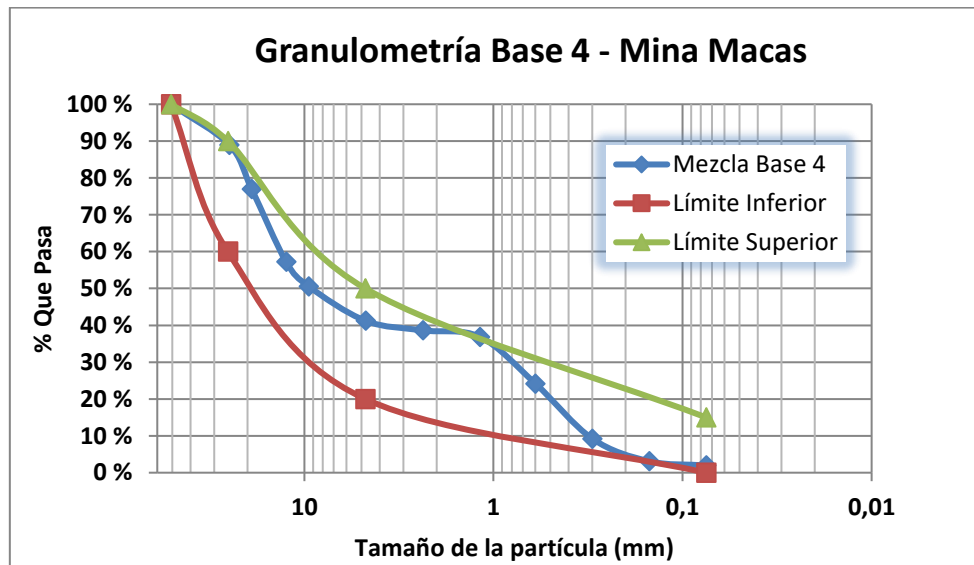


Ilustración 3.18 Granulometría Base 4 - Mina Macas

3.2. Contenido de Humedad de los Suelos (ASTM C-566)

Se realizaron los ensayos de contenido de humedad para los agregados gruesos y finos correspondientes a cada mina. Este ensayo consiste en determinar la cantidad de agua en peso que se encuentra en un suelo determinado bajo condiciones normales o insitu y que es expresada en porcentaje, el procedimiento fue realizado bajo las normas INEN 862, AASHO T-55 y ASTM C-566.

3.2.1. Humedad Agregado Grueso – Mina Coca

Tabla 3.19 Contenido de Humedad Agregado Grueso - Mina Coca

Ensayo de Contenido de Humedad					
Muestra	Agregado Grueso Mina Coca				
Nro Muestra	Masa Suelo Húmedo (gr)	Masa Suelo Seco (gr)	Masa de agua contenida	% Humedad	% Promedio
1	43.13	39.85	3.28	8.23	8.13
2	38.25	35.41	2.84	8.02	

3.2.2. Humedad Agregado Fino – Mina Coca

Tabla 3.20 Contenido de Humedad Agregado Fino - Mina Coca

Ensayo de Contenido de Humedad					
Muestra	Agregado Fino Mina Coca				
Nro Muestra	Masa Suelo Húmedo (gr)	Masa Suelo Seco (gr)	Masa de agua contenida	% Humedad	% Promedio
1	62.51	56.19	6.32	11.25	10.46
2	54.12	49.35	4.77	9.67	

3.2.3. Humedad Agregado Grueso – Mina Macas

Tabla 3.21 Contenido de Humedad Agregado Grueso - Mina Macas

Ensayo de Contenido de Humedad					
Muestra	Agregado Grueso Mina Macas				
Nro Muestra	Masa Suelo Húmedo (gr)	Masa Suelo Seco (gr)	Masa de agua contenida	% Humedad	% Promedio
1	34.15	31.39	2.76	8.79	8.30
2	47.52	44.08	3.44	7.80	

3.2.4. Humedad Agregado Fino – Mina Macas

Tabla 3.22 Contenido de Humedad Agregado Fino - Mina Macas

Ensayo de Contenido de Humedad					
Muestra	Agregado Fino Mina Macas				
Nro Muestra	Masa Suelo Húmedo (gr)	Masa Suelo Seco (gr)	Masa de agua contenida	% Humedad	% Promedio
1	52.91	47.29	5.62	11.88	11.59
2	63.51	57.06	6.45	11.30	

3.3. Ensayo de Abrasión en la Máquina de los Ángeles (ASTM C-131)

Se realizó el ensayo de Abrasión en la Máquina de los Ángeles para los agregados gruesos de las dos minas en estudio, el procedimiento, la cantidad de material y la cantidad de esferas fueron tomados según lo especificado en las normas INEN 861;860, AASHO T-96 y ASTM C-131.

Tabla 3.23 Abrasión en la Máquina de los Ángeles

Ensayo de Abrasión en la Máquina de los Ángeles					
Material	Nro. de esferas	Masa Inicial (gr)	Masa Ret. N.12 (gr)	Masa Restante (gr)	% Desgaste
Agregado Grueso Mina Coca	11	5000	3505	1495	29.90
Agregado Grueso Mina Macas	11	5000	3450	1550	31.00

3.4. Desgaste a los Sulfatos (ASTM C-88)

Se realizó el ensayo de desgaste a los sulfatos para agregados finos y gruesos de ambas minas en estudio, ya que nos ayudará a juzgar la resistencia de los agregados sujetos a la acción climática. El procedimiento fue efectuado bajo las normas INEN 863, AASHTO T-104 y ASTM C-88.

3.4.1. Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Coca

Tabla 3.24 Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Coca

Desgaste a los Sulfatos						
Agregado Grueso - Mina del Coca						
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% Ret. Parcial	% Que pasa	% Desgaste
1"	3/4"	503	485	27.80	3.58	0.99
3/4"	1/2"	672.6	642	37.17	4.55	1.69
1/2"	3/8"	331.4	285	18.32	14.00	2.56
3/8"	4	302.4	260	16.71	14.02	2.34
Total		1809.4				7.59

3.4.2. Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Coca

Tabla 3.25 Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Coca

Desgaste a los Sulfatos						
Agregado Fino - Mina del Coca						
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% Ret. Parcial	% Que pasa	% Desgaste
4	8	100	95	25.00	5.00	1.25
8	16	100	98	25.00	2.00	0.50
16	30	100	95	25.00	5.00	1.25
30	50	100	96	25.00	4.00	1.00
Total		400				4.00

3.4.3. Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Macas

Tabla 3.26 Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso – Mina Macas

Desgaste a los Sulfatos						
Agregado Grueso - Mina de Macas						
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% Ret. Parcial	% Que pasa	% Desgaste
1 1/2"	1"	1009.1	978	55.81	3.08	1.72
1"	3/4"	502.2	485	27.78	3.42	0.95
3/4"	1/2"	671.8	620	37.16	7.71	2.86
1/2"	3/8"	332.4	310	18.38	6.74	1.24
3/8"	4	301.6	275	16.68	8.82	1.47
Total		1808				6.52

3.4.4. Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Macas

Tabla 3.27 Desgaste a los Sulfatos Agregado Fino – Mina Macas

Desgaste a los Sulfatos						
Agregado Fino - Mina de Macas						
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% Ret. Parcial	% Que pasa	% Desgaste
4	8	100	98	25.00	2.00	0.50
8	16	100	98	25.00	2.00	0.50
16	30	100	95	25.00	5.00	1.25
30	50	100	98	25.00	2.00	0.50
Total		400				2.75

3.5. Gravedad Específica (ASTM C-127, ASTM C-128)

Se realizaron los ensayos de gravedad específica para agregados finos y gruesos de ambas minas, el cual nos permitirá obtener la relación entre la masa de un volumen de sólidos a una temperatura y la masa del mismo volumen de agua destilada a la misma temperatura. Los procedimientos se los realizó bajo las normas INEN 856, INEN 857, AASHO T-84, AASHO T-85 y ASTM C-127 y ASTM C-128.

Tabla 3.28 Gravedad Específica Agregados Gruesos

Ensayo de Gravedad Específica			
Material	Ge	Ges	Gea
Agregado Grueso - Mina Coca	2.26	2.47	2.85
Agregado Grueso - Mina Macas	2.33	2.49	2.75

Tabla 3.29 Gravedad Específica Agregados Finos

Ensayo de Gravedad Específica						
Material	Masa del Matraz (gr)	Matraz + Agua + Muestra (gr)	Masa SSS (gr)	Muestra Seca	Masa Agua extra	Gravedad Específica Bulk (Kg / dm3)
Agregado Fino Mina Coca	155	955	500	477.5	300	2.41
Agregado Fino Mina Macas	155	989	500	488.1	334	2.47

3.6. Terrones de Arcilla (ASTM C-142)

Se realizó el ensayo de terrones de arcilla para los materiales de las dos minas, para así poder determinar el porcentaje de partículas deleznable existentes en los agregados; la cantidad de material, procedimientos y cálculos se realizaron bajo las normas INEN 698, AASHO T-112 y ASTM C-142.

3.6.1. Terrones de Arcilla – Mina Coca

Tabla 3.30 Terrones de Arcilla – Mina Coca

TERRONES DE ARCILLA			
Mina del Coca			
Tamiz	1" - 3/4"	1/2" - 3/8"	4
Masa inicial (gr)	5000	2000	1000
Peso Recip. (gr)	512	619	498
Masa Seca + Recip. (gr)	5497.9	2617	1495.5
Masa muestra seca (gr)	4985.9	1998	997.5
% Terrones Arcilla	0.28	0.10	0.25

3.6.2. Terrones de Arcilla – Mina Macas

Tabla 3.31 Terrones de Arcilla – Mina Macas

TERRONES DE ARCILLA	Mina de Macas		
	Tamiz	1" - 3/4"	1/2" - 3/8"
Masa inicial (gr)	5000	2000	1000
Peso Recip. (gr)	458	532	438
Masa Seca + Recip. (gr)	5430.99	2531.4	1435.9
Masa muestra seca (gr)	4972.99	1999.4	997.9
% Terrones Arcilla	0.54	0.03	0.21

CAPITULO 4

4. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

4.1. Proctor Modificado

Una vez terminada la caracterización de los materiales de las minas, procedemos a realizar el proctor modificado tomando la cantidad de material de acuerdo con la granulometría realizada anteriormente.

Realizamos el ensayo con cada material de subbases y bases de cada mina y con diferentes humedades (4%, 6%, 8% y 10%), compactamos con el número de golpes correspondientes (56 – 25 – 12) el material en los moldes.

Con este ensayo podremos obtener la humedad óptima de los materiales de subbases y bases de cada mina y así poder realizar el CBR.

4.1.1. Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Coca

Tabla 4.1 Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 1 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10688		11312		12298		11000	
Peso Molde gr	7888		7681		7888		7681	
Peso suelo húmedo gr	2800		3631		4410		3319	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,313		1,702		2,068		1,556	
Identificación Cápsula	A4	4A3	AA3	7Z	MS124	MS118	MS123	MS53
Peso Cápsula gr	16,76	18,16	17,92	17,99	76,75	80,94	76,23	84,18
Peso cap. + suelo húmedo gr	89,24	93,93	67,1	75,81	207,5	255,29	282,98	320,91
Peso Suelo Húmedo gr	72,48	75,77	49,18	57,82	130,75	174,35	206,75	236,73
Peso cap. + suelo seco gr	86,24	90,12	64,49	72,14	195,26	243,12	263,02	298,66
Peso suelo seco gr	69,48	71,96	46,57	54,15	118,51	162,18	186,79	214,48
Peso del agua gr	3	3,81	2,61	3,67	12,24	12,17	19,96	22,25
% Humedad	4,32	5,29	5,60	6,78	10,33	7,50	10,69	10,37
% Humedad Promedio	4,81		6,19		8,92		10,53	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,250		1,597		1,883		1,392	

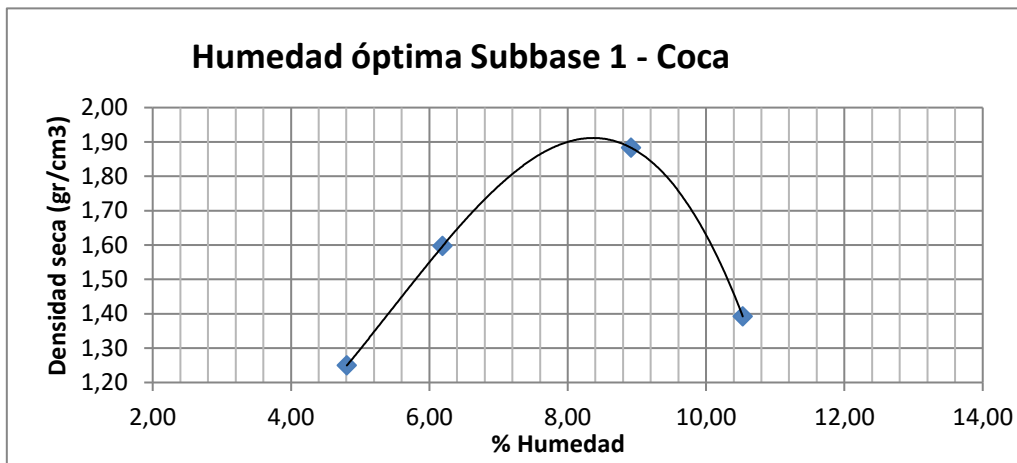


Tabla 4.2 Resumen Proctor Modificado Subbase 1 - Mina Coca

% Humedad Óptima	8,50
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,910

4.1.2. Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Coca

Tabla 4.3 Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 2 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10805		11735		11614		11078	
Peso Molde gr	7888		7681		7681		7888	
Peso suelo húmedo gr	2917		4054		3933		3190	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,368		1,901		1,844		1,496	
Identificación Cápsula	M506	CQ231	MS10	MS211	M521	27ZA	12XX	MS41
Peso Cápsula gr	33,21	31,86	33,36	22,61	33,74	49,94	49,48	32,71
Peso cap. + suelo húmedo gr	183,37	146,1	158,77	117,62	152,62	182,39	168,88	141,14
Peso Suelo Húmedo gr	150,16	114,24	125,41	95,01	118,88	132,45	119,4	108,43
Peso cap. + suelo seco gr	177	140,64	151,72	111,24	142,51	171,12	157,87	131,14
Peso suelo seco gr	143,79	108,78	118,36	88,63	108,77	121,18	108,39	98,43
Peso del agua gr	6,37	5,46	7,05	6,38	10,11	11,27	11,01	10
% Humedad	4,43	5,02	5,96	7,20	9,29	9,30	10,16	10,16
% Humedad Promedio	4,72		6,58		9,30		10,16	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,303		1,776		1,672		1,344	

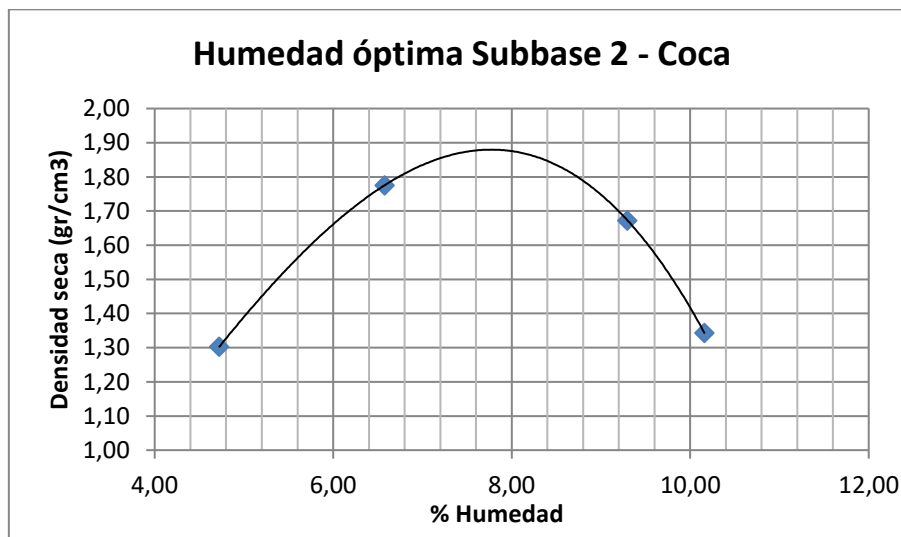


Ilustración 4.2 Humedad Óptima Subbase 2- Mina Coca

Tabla 4.4 Resumen Proctor Modificado Subbase 2 - Mina Coca

% Humedad Óptima	8,00
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,880

4.1.3. Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Coca

Tabla 4.5 Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 3 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	9901		10250		10320		10053	
Peso Molde gr	6025		6025		6025		6025	
Peso suelo húmedo gr	3876		4225		4295		4028	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,817		1,981		2,014		1,888	
Identificación Cápsula	MS11	MS124	MS10	CQ231	MS506	AA3	CG23	MS123
Peso Cápsula gr	22,62	76,75	33,3	31,86	33,17	17,92	31,79	76,23
Peso cap. + suelo húmedo gr	107,94	106,8	163,69	164,69	134,12	133,87	146,28	141,48
Peso Suelo Húmedo gr	86	30,05	130,39	132,83	100,95	115,95	114,49	65,25
Peso cap. + suelo seco gr	102,93	105,1	153,96	154,54	124,51	123,1	132,08	133,41
Peso suelo seco gr	80,31	28,35	120,66	122,68	91,34	105,18	103,09	58,57
Peso del agua gr	5,69	1,7	9,73	10,15	9,61	10,77	11,4	6,68
% Humedad	7,09	6,00	8,06	8,27	10,52	10,24	11,06	11,41
% Humedad Promedio	6,54		8,17		10,38		11,23	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,698		1,819		1,805		1,676	

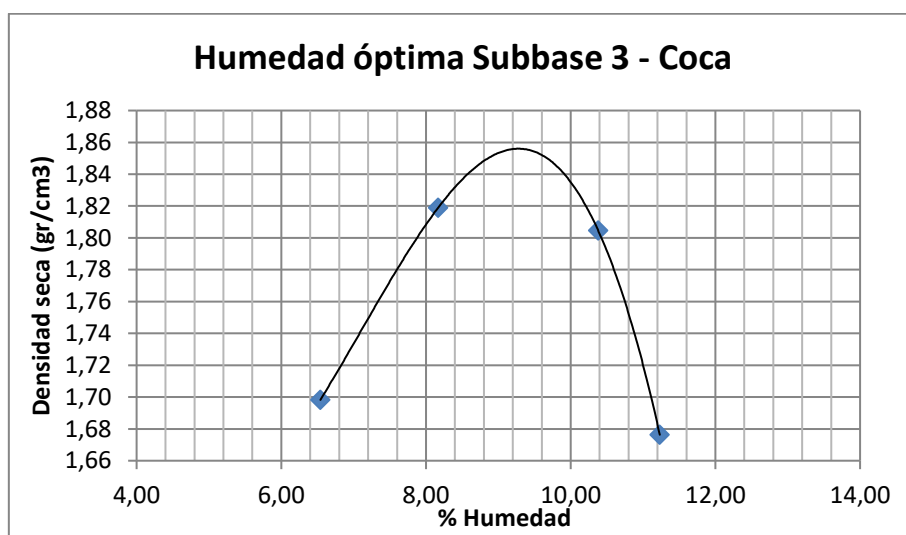


Ilustración 4.3 Humedad Óptima Subbase 3- Mina Coca

Tabla 4.6 Resumen Proctor Modificado Subbase 3 - Mina Coca

% Humedad Óptima	9,20
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,850

4.1.4. Proctor Modificado Base 1 – Mina Coca

Tabla 4.7 Proctor Modificado Base 1 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - BASE 1 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	9428		10428		10398		9520	
Peso Molde gr	6025		6025		6025		6025	
Peso suelo húmedo gr	3403		4403		4373		3495	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,595		2,064		2,050		1,639	
Identificación Cápsula	MS10	MS123	MS118	AA3	MS11	MS506	AA3	7Z
Peso Cápsula gr	33,3	76,23	80,94	17,92	22,62	33,17	17,92	17,99
Peso cap. + suelo húmedo gr	181,87	178,71	201,48	160,79	158,36	151,1	145,37	153,8
Peso Suelo Húmedo gr	148,57	102,48	120,54	142,87	135,74	117,93	127,45	135,81
Peso cap. + suelo seco gr	175,19	173,82	195,03	150,99	146,7	141,33	133,04	140,77
Peso suelo seco gr	141,89	97,59	114,09	133,07	124,08	108,16	115,12	122,78
Peso del agua gr	6,68	4,89	6,45	9,8	11,66	9,77	12,33	13,03
% Humedad	4,71	5,01	5,65	7,36	9,40	9,03	10,71	10,61
% Humedad Promedio	4,86		6,51		9,22		10,66	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,518		1,930		1,861		1,464	

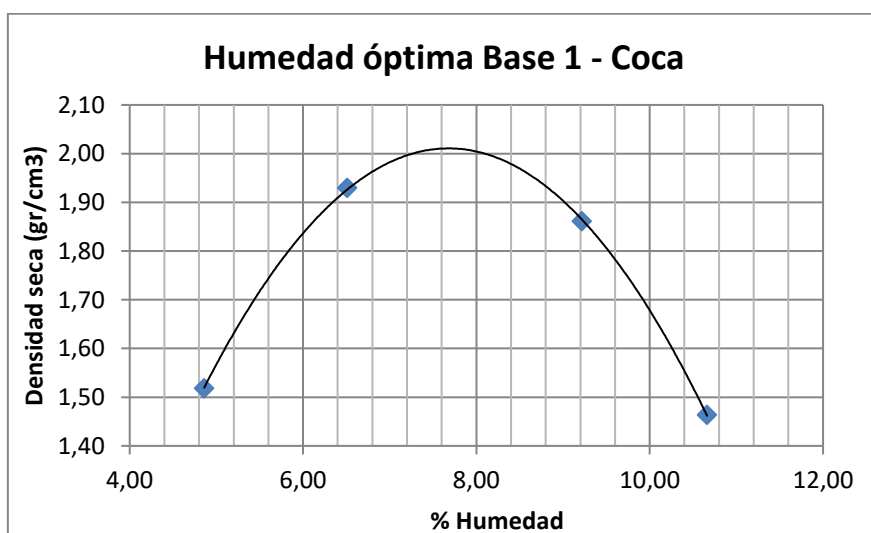


Ilustración 4.4 Humedad Óptima Base 1- Mina Coca

Tabla 4.8 Resumen Proctor Modificado Base 1 - Mina Coca

% Humedad Óptima	7,80
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,010

4.1.5. Proctor Modificado Base 2 – Mina Coca

Tabla 4.9 Proctor Modificado Base 2 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - BASE 2 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	11320		12045		12182		11498	
Peso Molde gr	7681		7681		7681		7681	
Peso suelo húmedo gr	3639		4364		4501		3817	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,706		2,046		2,110		1,789	
Identificación Cápsula	M506	CQ231	MS10	MS211	M521	27ZA	12XX	MS41
Peso Cápsula gr	65,3	69,99	34,07	31,1	29,69	28,88	32,4	32,92
Peso cap. + suelo húmedo gr	240,18	259,05	191,88	163,13	186,65	165,55	189,24	177,48
Peso Suelo Húmedo gr	174,88	189,06	157,81	132,03	156,96	136,67	156,84	144,56
Peso cap. + suelo seco gr	233,4	251,53	178,21	150,1	172,62	155,27	173,04	163,84
Peso suelo seco gr	168,1	181,54	148,12	125	142,93	126,39	140,64	130,92
Peso del agua gr	6,78	7,52	9,69	7,03	14,03	10,28	16,2	13,64
% Humedad	4,03	4,14	6,54	5,62	9,82	8,13	11,52	10,42
% Humedad Promedio	4,09		6,08		8,97		10,97	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,636		1,921		1,921		1,593	

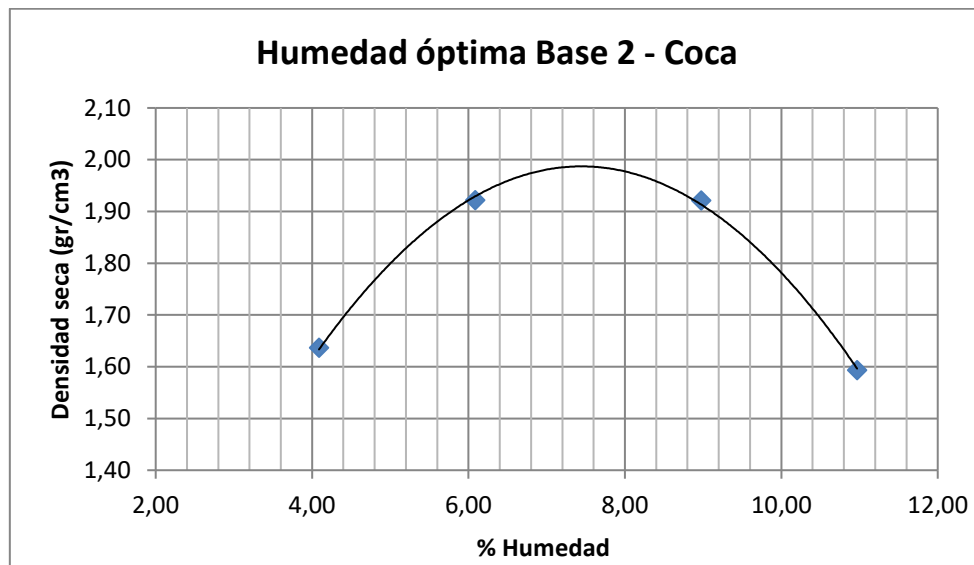


Ilustración 4.5 Humedad Óptima Base 2 - Mina Coca

Tabla 4.10 Resumen Proctor Modificado Base 2 - Mina Coca

% Humedad Óptima	9,00
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,980

4.1.6. Proctor Modificado Base 3 – Mina Coca

Tabla 4.11 Proctor Modificado Base 3 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - BASE 3 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	11058		11982		12093		11100	
Peso Molde gr	7888		7681		7888		7681	
Peso suelo húmedo gr	3170		4301		4205		3419	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,486		2,016		1,971		1,603	
Identificación Cápsula	M506	CQ231	MS10	MS211	M521	27ZA	12XX	MS41
Peso Cápsula gr	33,21	31,86	33,36	22,61	33,74	49,94	49,48	32,71
Peso cap. + suelo húmedo gr	183,37	146,1	158,77	117,62	152,62	182,39	168,88	141,14
Peso Suelo Húmedo gr	150,16	114,24	125,41	95,01	118,88	132,45	119,4	108,43
Peso cap. + suelo seco gr	177	140,64	151,72	111,24	142,85	170,86	156,79	131,59
Peso suelo seco gr	143,79	108,78	118,36	88,63	109,11	120,92	107,31	98,88
Peso del agua gr	6,37	5,46	7,05	6,38	9,77	11,53	12,09	9,55
% Humedad	4,43	5,02	5,96	7,20	8,95	9,54	11,27	9,66
% Humedad Promedio	4,72		6,58		9,24		10,46	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,416		1,884		1,789		1,435	

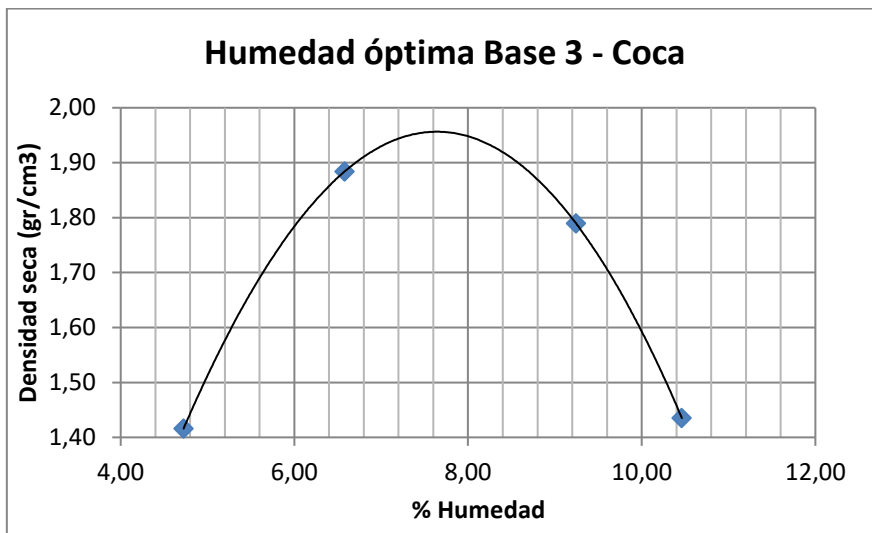


Ilustración 4.6 Humedad Óptima Base 3 - Mina Coca

Tabla 4.12 Resumen Proctor Modificado Base 3 - Mina Coca

% Humedad Óptima	7,80
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,960

4.1.7. Proctor Modificado Base 4 – Mina Coca

Tabla 4.13 Proctor Modificado Base 4 – Mina Coca

PROCTOR MODIFICADO - BASE 4 COCA								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	11183		12045		12312		11082	
Peso Molde gr	7888		7888		7888		7888	
Peso suelo húmedo gr	3295		3985		4212		3194	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,545		1,949		2,074		1,497	
Identificación Cápsula	M506	CQ231	MS10	MS211	M521	27ZA	12XX	MS41
Peso Cápsula gr	33,61	23,12	18,27	32,67	67,34	68,43	65,78	65,85
Peso cap. + suelo húmedo gr	191,31	209,76	238,81	169,24	250,42	164,47	238,5	205,7
Peso Suelo Húmedo gr	157,7	186,64	220,54	136,57	183,08	96,04	172,72	139,85
Peso cap. + suelo seco gr	185,15	201,12	227,58	161,78	234,08	155	219,14	190,15
Peso suelo seco gr	151,54	178	209,31	129,11	166,74	86,57	153,36	124,3
Peso del agua gr	6,16	8,64	11,23	7,46	16,34	9,47	19,36	15,55
% Humedad	4,06	4,85	5,37	5,78	9,80	10,94	12,62	12,51
% Humedad Promedio	4,46		5,57		10,37		12,57	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,476		1,764		1,770		1,309	

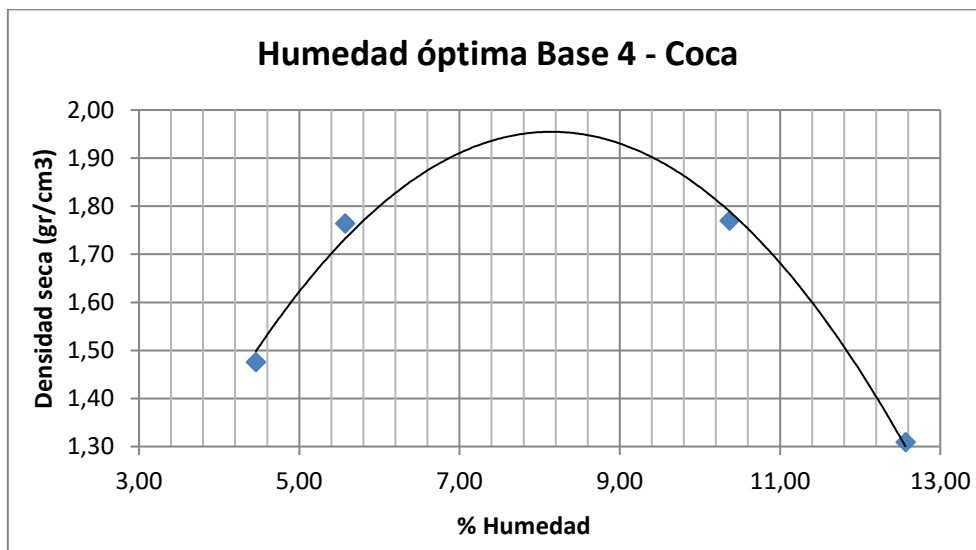


Ilustración 4.7 Humedad Óptima Base 4 - Mina Coca

Tabla 4.14 Resumen Proctor Modificado Base 4 - Mina Coca

% Humedad Óptima	8,10
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,940

4.1.8. Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Macas

Tabla 4.15 Proctor Modificado Subbase 1 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 1 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	9865		10354		10699		9957	
Peso Molde gr	6213		6213		6213		6213	
Peso suelo húmedo gr	3652		4141		4486		3744	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,712		1,941		2,103		1,755	
Identificación Cápsula	M506	MS34	MS22	12XX	MS41	27ZA	4	2B
Peso Cápsula gr	33,18	33,45	33,77	49,42	32,69	50,03	32,62	23,08
Peso cap. + suelo húmedo gr	156,44	127,26	151,97	153,84	187,72	164,86	187,72	145,87
Peso Suelo Húmedo gr	123,26	93,81	118,2	104,42	155,03	114,83	184,25	122,79
Peso cap. + suelo seco gr	151,8	122,88	145,83	148,06	174,86	154,75	174,86	133,54
Peso suelo seco gr	118,62	89,43	112,06	98,64	142,17	104,72	165,24	110,46
Peso del agua gr	4,64	4,38	6,14	5,78	12,86	10,11	19,01	12,33
% Humedad	3,91	4,90	5,48	5,86	9,05	9,65	11,50	11,16
% Humedad Promedio	4,40		5,67		9,35		11,33	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,637		1,831		1,906		1,556	

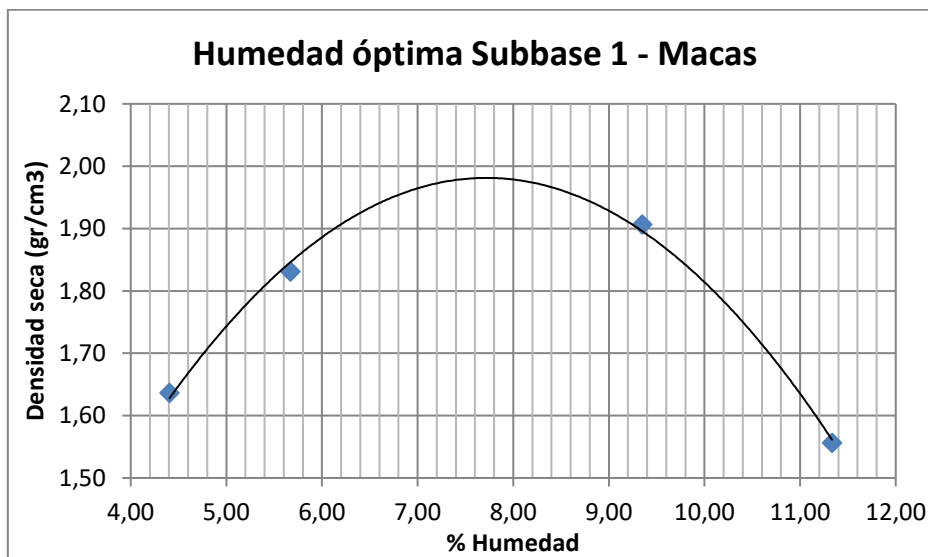


Ilustración 4.8 Humedad Óptima Subbase 1 - Mina Macas

Tabla 4.16 Resumen Proctor Modificado Subbase 1 - Mina Macas

% Humedad Óptima	7,80
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1,980

4.1.9. Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Macas

Tabla 4.17 Proctor Modificado Subbase 2 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 2 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10524		10786		10765		10514	
Peso Molde gr	6402		6402		6402		6402	
Peso suelo húmedo gr	4122		4384		4363		4112	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,932		2,055		2,045		1,928	
Identificación Cápsula	MS34	4	H8	12XX	2B	M521	MS41	27ZA
Peso Cápsula gr	33,45	32,62	31,69	31,79	23,08	33,17	31,79	50,03
Peso cap. + suelo húmedo gr	183,37	146,1	158,77	117,62	152,62	182,39	168,88	141,14
Peso Suelo Húmedo gr	149,92	113,48	127,08	85,83	129,54	149,22	137,09	91,11
Peso cap. + suelo seco gr	177	140,64	151,72	111,24	139,89	170,14	156,84	132,54
Peso suelo seco gr	143,55	108,02	120,09	80,5	118,47	136,97	125,05	82,51
Peso del agua gr	6,37	5,46	6,99	5,33	11,07	12,25	12,04	8,6
% Humedad	4,44	5,05	5,82	6,62	9,34	8,94	9,63	10,42
% Humedad Promedio	4,75		6,22		9,14		10,03	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,841		1,927		1,858		1,735	

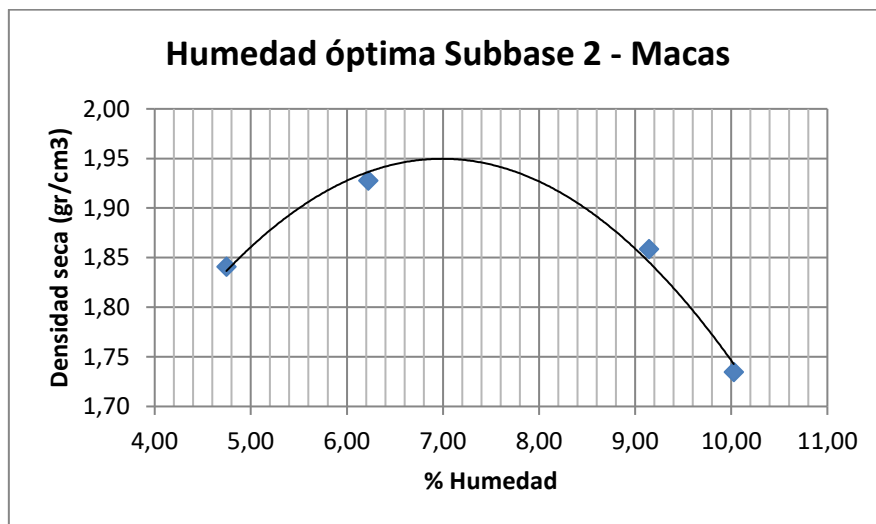


Ilustración 4.9 Humedad Óptima Subbase 2 - Mina Macas

Tabla 4.18 Resumen Proctor Modificado Subbase 2 - Mina Macas

% Humedad Óptima	7,10
Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1,950

4.1.10. Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Macas

Tabla 4.19 Proctor Modificado Subbase 3 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - SUBBASE 3 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10398		10599		10762		10677	
Peso Molde gr	6213		6213		6213		6213	
Peso suelo húmedo gr	4185		4386		4549		4464	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,962		2,056		2,133		2,093	
Identificación Cápsula	CQ231	M521	27ZA	12XX	MS10	MS211	MS41	M506
Peso Cápsula gr	31,86	29,69	28,88	31,79	33,3	31,1	32,92	33,18
Peso cap. + suelo húmedo gr	107,94	107,94	163,69	163,69	134,12	134,12	146,28	146,28
Peso Suelo Húmedo gr	76,08	78,25	134,81	131,9	100,82	103,02	113,36	113,1
Peso cap. + suelo seco gr	102,93	102,93	153,96	153,96	125,47	125,19	135,07	135,13
Peso suelo seco gr	71,07	73,24	125,08	122,17	92,17	94,09	102,15	101,95
Peso del agua gr	5,01	5,01	9,73	9,73	8,65	8,93	11,21	11,15
% Humedad	7,05	6,84	7,78	7,96	9,38	9,49	10,97	10,94
% Humedad Promedio	6,94		7,87		9,44		10,96	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,826		1,894		1,931		1,864	

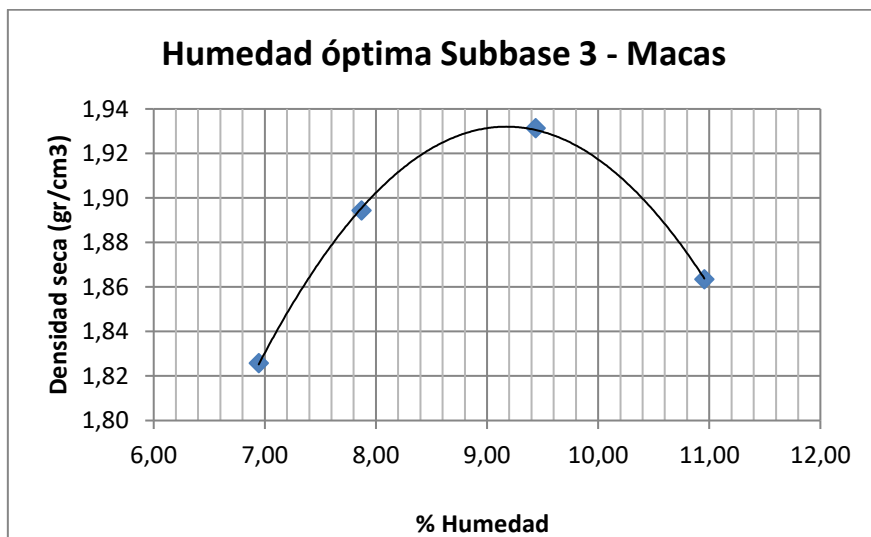


Ilustración 4.10 Humedad Óptima Subbase 3 - Mina Macas

Tabla 4.20 Resumen Proctor Modificado Subbase 3 - Mina Macas

% Humedad Óptima	9,20
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,930

4.1.11. Proctor Modificado Base 1 – Mina Macas

Tabla 4.21 Proctor Modificado Base 1 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - BASE 1 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10577		11140		11421		10960	
Peso Molde gr	6402		6402		6402		6402	
Peso suelo húmedo gr	4175		4738		5019		4558	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,957		2,221		2,353		2,137	
Identificación Cápsula	MS124	MS2	H16	H8	H2	H30	H9	H11
Peso Cápsula gr	76,76	65,79	36,66	31,69	28,32	30,54	29,94	32,99
Peso cap. + suelo húmedo gr	169,95	150,49	216,71	207,94	288,92	219,54	288,92	219,54
Peso Suelo Húmedo gr	93,19	84,7	180,05	176,25	260,6	189	258,98	186,55
Peso cap. + suelo seco gr	166,09	147,24	205,97	198,45	268,28	203,91	262,12	200,48
Peso suelo seco gr	89,33	81,45	169,31	166,76	239,96	173,37	232,18	167,49
Peso del agua gr	3,86	3,25	10,74	9,49	20,64	15,63	26,8	19,06
% Humedad	4,32	3,99	6,34	5,69	8,60	9,02	11,54	11,38
% Humedad Promedio	4,16		6,02		8,81		11,46	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,876		2,088		2,146		1,892	

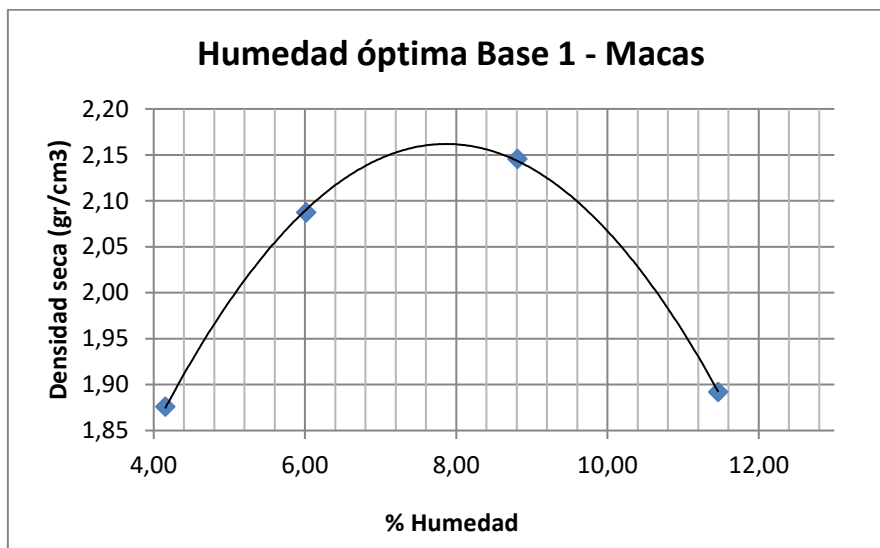


Ilustración 4.11 Humedad Óptima Base 1 - Mina Macas

Tabla 4.22 Resumen Proctor Modificado Base 1 - Mina Macas

% Humedad Óptima	8,00
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,200

4.1.12. Proctor Modificado Base 2 – Mina Macas

Tabla 4.23 Proctor Modificado Base 2 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - BASE 2 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10519		11158		11300		10890	
Peso Molde (gr)	6402		6402		6402		6402	
Peso suelo húmedo gr	4117		4756		4898		4488	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,930		2,230		2,296		2,104	
Identificación Cápsula	M506	CQ231	MS10	MS211	M521	27ZA	12XX	MS41
Peso Cápsula gr	65,3	69,99	34,07	31	29,69	28,88	32,4	32,92
Peso cap. + suelo húmedo gr	240,18	259,05	191,88	163,13	186,65	165,55	189,24	177,48
Peso Suelo Húmedo gr	174,88	189,06	157,81	132,13	156,96	136,67	156,84	144,56
Peso cap. + suelo seco gr	233,4	251,53	182,17	154,32	172,62	155,27	170,28	163,84
Peso suelo seco gr	168,1	181,54	148,1	123,32	142,93	126,39	137,88	130,92
Peso del agua gr	6,78	7,52	9,71	8,81	14,03	10,28	18,96	13,64
% Humedad	4,03	4,14	6,56	7,14	9,82	8,13	13,75	10,42
% Humedad Promedio	4,09		6,85		8,97		12,08	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,851		2,077		2,090		1,850	

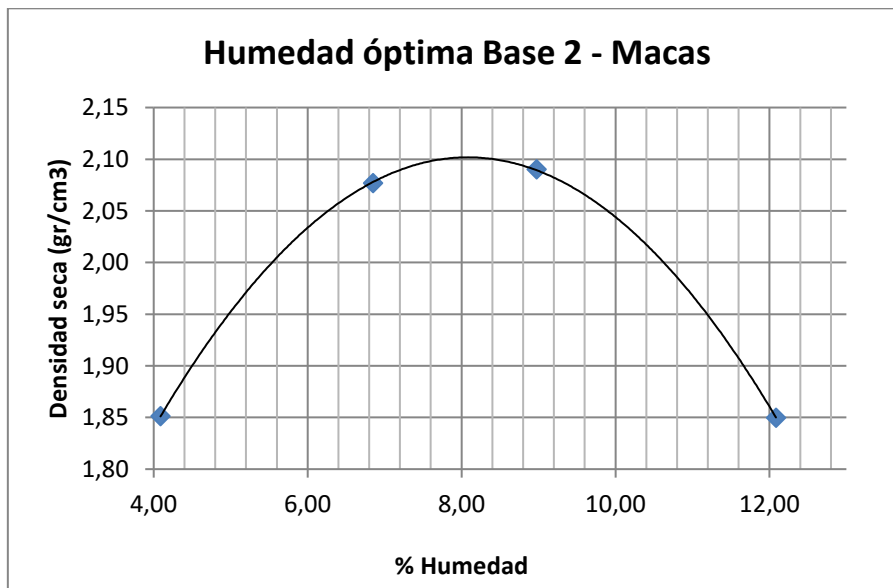


Ilustración 4.12 Humedad Óptima Base 2 - Mina Macas

Tabla 4.24 Resumen Proctor Modificado Base 2 - Mina Macas

% Humedad Óptima	8,10
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,100

4.1.13. Proctor Modificado Base 3 – Mina Macas

Tabla 4.25 Proctor Modificado Base 3 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - BASE 3 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10619		11105		11379		10839	
Peso Molde gr	6403		6403		6403		6403	
Peso suelo húmedo gr	4216		4702		4976		4436	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	1,977		2,204		2,333		2,080	
Identificación Cápsula	PT	X11	B7	MS09	P11	5	MS23	CG23
Peso Cápsula gr	47,35	47,81	49,29	33,77	48,15	43,51	34,1	31,52
Peso cap. + suelo húmedo gr	141,79	160,74	164,1	159,66	192,17	155,67	121,44	109,32
Peso Suelo Húmedo gr	94,44	112,93	114,81	125,89	144,02	112,16	87,34	77,8
Peso cap. + suelo seco gr	138,17	155,9	157,12	152,25	179,77	145,73	112,21	100,78
Peso suelo seco gr	90,82	108,09	107,83	118,48	131,62	102,22	78,11	69,26
Peso del agua gr	3,62	4,84	6,98	7,41	12,4	9,94	9,23	8,54
% Humedad	3,99	4,48	6,47	6,25	9,42	9,72	11,82	12,33
% Humedad Promedio	4,23		6,36		9,57		12,07	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,893		2,064		2,051		1,881	

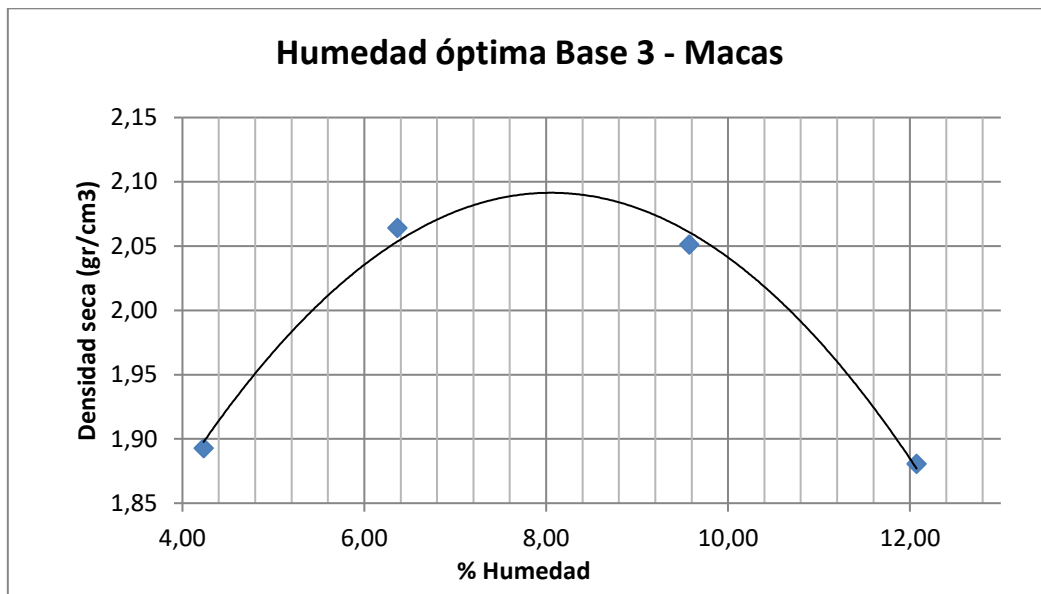


Ilustración 4.13 Humedad Óptima Base 3 - Mina Macas

Tabla 4.26 Resumen Proctor Modificado Base 3 - Mina Macas

% Humedad Óptima	8,10
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,090

4.1.14. Proctor Modificado Base 4 – Mina Macas

Tabla 4.27 Proctor Modificado Base 4 – Mina Macas

PROCTOR MODIFICADO - BASE 4 MACAS								
Nro Prueba	1		2		3		4	
Peso suelo Húmedo + molde gr	10728		10961		11075		10895	
Peso Molde gr	6402		6402		6402		6402	
Peso suelo húmedo gr	4326		4559		4673		4493	
Volumen Molde cm ³	2133		2133		2133		2133	
densidad húmeda (gr/cm ³)	2,028		2,137		2,191		2,106	
Identificación Cápsula	MS06	MS19	27ZA	MS14	13	MS2	M1	M55
Peso Cápsula gr	33,22	33,37	49,44	33,39	23,28	65,89	49,3	66,03
Peso cap. + suelo húmedo gr	138,12	171,77	161,42	163,84	149,87	182,04	214,69	277,2
Peso Suelo Húmedo gr	104,9	138,4	111,98	130,45	126,59	116,15	165,39	211,17
Peso cap. + suelo seco gr	133,15	166,17	155	155,83	141,14	173,79	203,85	262,57
Peso suelo seco gr	99,93	132,8	105,56	123,14	117,86	107,9	150,14	192,21
Peso del agua gr	4,97	5,6	6,42	7,31	8,73	8,25	15,25	18,96
% Humedad	4,97	4,22	6,08	5,94	7,41	7,65	10,16	9,86
% Humedad Promedio	4,60		6,01		7,53		10,01	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1,935		2,009		2,026		1,896	

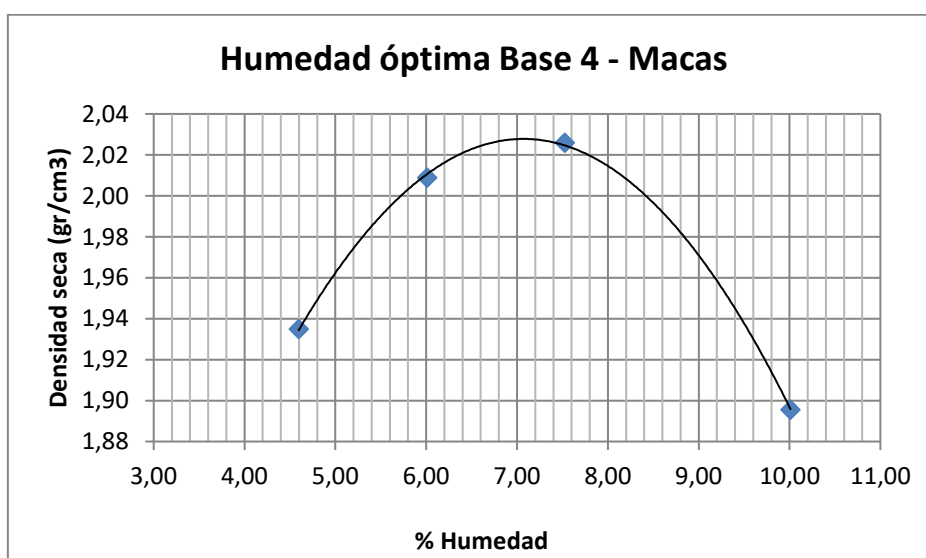


Ilustración 4.14 Humedad Óptima Base 4 - Mina Macas

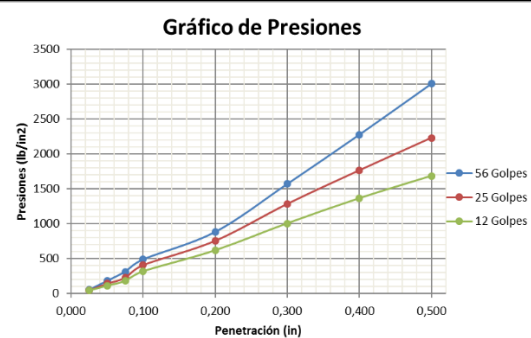
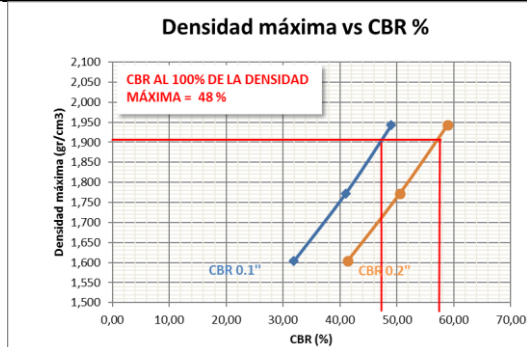
Tabla 4.28 Resumen Proctor Modificado Base 4 - Mina Macas

% Humedad Óptima	7,20
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,030

4.2. Ensayos de CBR (California Bearing Ratio)

4.2.1. CBR Subbase 1 – Mina Coca

CBR SUBBASE 1 - MINA COCA												
Molde No.	7				21				M6			
No. Capas	5				5				5			
No. de Golpes por Capas	56				25				12			
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.
Peso molde (gr)	7154		7154		7217		7217		9620		9620	
Peso muestra húm. + molde (gr)	12098		12347		11740		14496		13710		14113	
Peso muestra húmeda (gr)	4944		5193		4523		7279		4090		4493	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2,104		2,210		1,925		3,097		1,740		1,912	
Densidad Seca (kg/cm ³)	1,943		1,954		1,772		2,718		1,603		1,648	
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	
Recipiente No.	2B	M55	5	H30	P11	X11	M1	27ZA	MS06	4	H2	PK5
Peso recipiente (gr)	23,1	65,93	32,64	28,42	48,14	47,79	49,14	50,06	33,2	32,64	28,42	43,52
Peso muestra húm. + recip. (gr)	122,33	124,8	138,04	175,13	152,48	172,72	153,49	175,62	125,47	123,54	189,78	176,95
Peso muestra seca + recip. (gr)	114,52	120,41	126	157,89	144,08	163,01	140,45	160,54	118,12	116,47	167,06	158,92
Peso agua (gr)	7,81	4,39	12,04	17,24	8,4	9,71	13,04	15,08	7,35	7,07	22,72	18,03
Peso muestra seca (gr)	91,42	54,48	93,36	129,47	95,94	115,22	91,31	110,48	84,92	83,83	138,64	115,4
Contenido de humedad	8,54	8,06	12,90	13,32	8,76	8,43	14,28	13,65	8,66	8,43	16,39	15,62
Humedad Promedio	8,3		13,1		8,6		14,0		8,5		16,0	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	7				21				M6			
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	13647				13478				12147			
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	14198				14388				12624			
Peso de agua absorbida (gr)	551				910				477			
% de Agua Absorbida	8,5				14,5				18,9			
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 7			MOLDE 21			MOLDE M6			
			Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%		
28/1/2019	15:00	1	2	0,002	0,041	1	0,001	0,020	1	0,001	0,020	
29/1/2019	15:00	2	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061	3	0,003	0,061	
30/1/2019	15:00	3	3	0,003	0,061	4	0,004	0,081	3	0,003	0,061	
31/1/2019	15:00	4	3	0,003	0,061	4	0,004	0,081	4	0,004	0,081	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 7			Molde 21			Molde M6			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0,025	0,5		58	52,8438		52	47,377		48	43,733		
0,050	1		200	182,22		158	143,95		125	113,89		
0,075	1,5		345	314,33		251	228,69		198	180,4		
0,100	2	1000	538	490,172	49,02	450	410	41,00	350	318,89	31,89	
0,200	4	1500	970	883,767	58,92	832	758,04	50,54	680	619,55	41,30	
0,300	6		1724	1570,74		1412	1286,5		1103	1004,9		
0,400	8		2500	2277,75		1940	1767,5		1497	1363,9		
0,500	10		3300	3006,63		2450	2232,2		1847	1682,8		

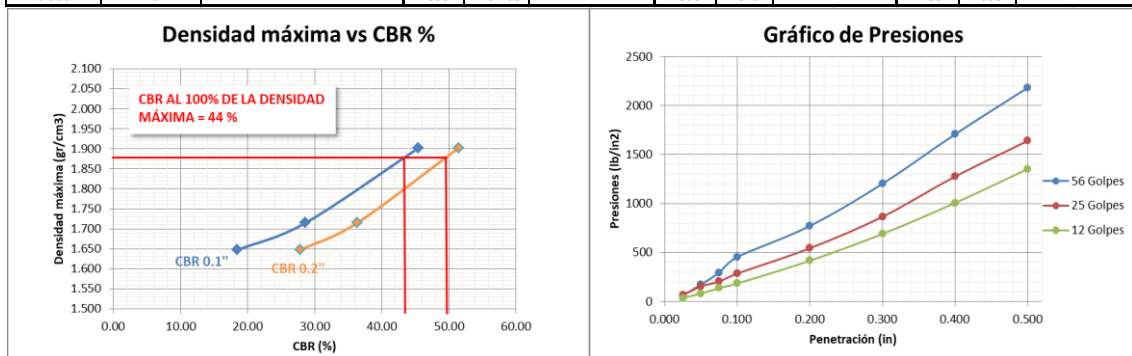


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8,5
Densidad máxima (gr/cm ³)	1,910
C.B.R. 0.1"	48
C.B.R. 0.2"	58

Ilustración 4.15 Resultados CBR Subbase 1 - Mina Coca

4.2.2. CBR Subbase 2 – Mina Coca

CBR SUBBASE 2 - MINA COCA												
Molde No.	Z9				M8				M5			
No. Capas	5				5				5			
No. de Golpes por Capas	56				25				12			
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	9618		9618		9626		9626		8082		8082	
Peso muestra húm. + molde (gr)	14450		14596		13985		14582		12257		13035	
Peso muestra húmeda (gr)	4832		4978		4359		4956		4175		4953	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.056		2.118		1.855		2.109		1.777		2.108	
Densidad Seca (kg/cm ³)	1.902		1.905		1.715		1.839		1.647		1.774	
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	12XX	H11	M541	M52	MS22	MS516	M1	H2	4	MS10	2B	M518
Peso recipiente (gr)	49.44	33.01	32.65	65.81	33.73	34.35	49.05	28.42	32.67	65.78	23.12	65.85
Peso muestra húm. + recip. (gr)	154.45	118.48	138.75	119.45	148.54	131.25	249.48	238.58	162.48	128.45	175.56	205.17
Peso muestra seca + recip. (gr)	146.8	111.89	128.45	113.85	140.09	123.75	223.45	212.12	152.85	123.98	152.14	182.44
Peso agua (gr)	7.65	6.59	10.3	5.6	8.45	7.5	26.03	26.46	9.63	4.47	23.42	22.73
Peso muestra seca (gr)	97.36	78.88	95.8	48.04	106.36	89.4	174.4	183.7	120.18	58.2	129.02	116.59
Contenido de humedad	7.86	8.35	10.75	11.66	7.94	8.39	14.93	14.40	8.01	7.68	18.15	19.50
Humedad Promedio	8.1		11.2		8.2		14.7		7.8		18.8	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	Z9				M8				M5			
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	11340				11649				11014			
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	11543				12087				11772			
Peso de agua absorbida (gr)	203				438				758			
% de Agua Absorbida	4.2				10.0				18.2			
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE Z9			MOLDE M8			MOLDE M5			
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	
28/01/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	3	0.003	0.061	2	0.002	0.041	
29/01/2019	15:00	2	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	
30/01/2019	15:00	3	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	4	0.004	0.081	
31/01/2019	15:00	4	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	4	0.004	0.081	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde Z9			Molde M8			Molde M5			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		70	63.777		72	65.599		40	36.444		
0.050	1		191	174.02		171	155.8		91	82.91		
0.075	1.5		325	296.108		224	204.09		151	137.58		
0.100	2	1000	499	454.639	45.46	314	286.09	28.61	203	184.95	18.50	
0.200	4	1500	847	771.702	51.45	598	544.84	36.32	458	417.28	27.82	
0.300	6		1320	1202.65		950	865.55		758	690.61		
0.400	8		1874	1707.4		1400	1275.5		1104	1005.9		
0.500	10		2395	2182.08		1800	1640		1485	1353		

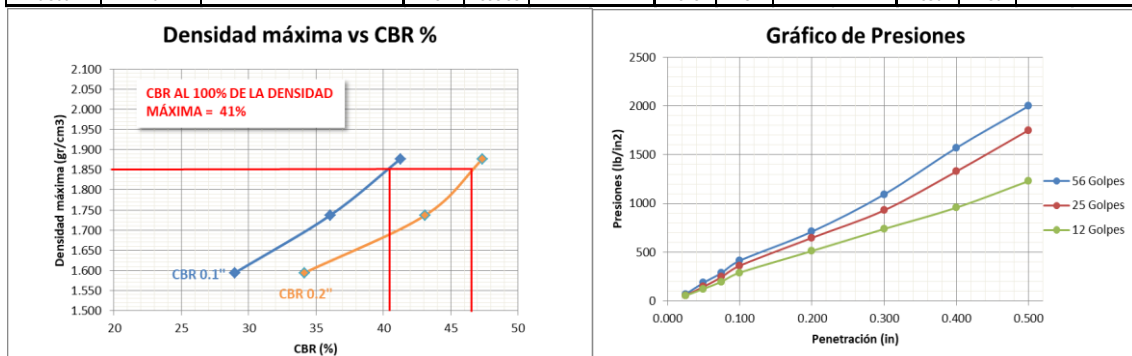


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8
Densidad máxima (gr/cm ³)	1.880
C.B.R. 0.1"	44
C.B.R. 0.2"	50

Ilustración 4.16 Resultados CBR Subbase 2 - Mina Coca

4.2.3. CBR Subbase 3 – Mina Coca

CBR SUBBASE 3 - MINA COCA												
Molde No.	21				M6				M8			
No. Capas	5				5				5			
No. de Golpes por Capas	56				25				12			
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	7217		7217		9620		9620		9621		9621	
Peso muestra húm. + molde (gr)	12024		12103		14072		14496		13710		14113	
Peso muestra húmeda (gr)	4807		4886		4452		4876		4089		4492	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.046		2.079		1.894		2.075		1.740		1.911	
Densidad Seca (kg/cm ³)	1.877		1.830		1.737		1.817		1.594		1.659	
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	MS09	MS23	2B	MS16	MS06	4	MS06	27ZA	H16	M55	H30	H2
Peso recipiente (gr)	33.77	34.11	23.1	34.35	33.2	32.64	33.18	50.06	36.67	65.93	30.67	28.42
Peso muestra húm. + recip. (gr)	122.33	124.8	138.04	175.13	152.48	172.72	153.49	175.62	125.47	123.54	189.78	176.95
Peso muestra seca + recip. (gr)	115.08	117.28	124.58	157.89	142.57	161.11	136.7	162.01	118.01	118.69	167.06	158.92
Peso agua (gr)	7.25	7.52	13.46	17.24	9.91	11.61	16.79	13.61	7.46	4.85	22.72	18.03
Peso muestra seca (gr)	81.31	83.17	101.48	123.54	109.37	128.47	103.52	111.95	81.34	52.76	136.39	130.5
Contenido de humedad	8.92	9.04	13.26	13.95	9.06	9.04	16.22	12.16	9.17	9.19	16.66	13.82
Humedad Promedio	9.0		13.6		9.0		14.2		9.2		15.2	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	21				M6				M8			
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	11183				13904				13710			
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	11348				14287				14389			
Peso de agua absorbida (gr)	165				383				679			
% de Agua Absorbida	4.2				8.9				16.6			
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 21			MOLDE M6			MOLDE M8			
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	
28/01/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	4	0.004	0.081	
29/01/2019	15:00	2	2	0.002	0.041	5	0.005	0.102	7	0.007	0.142	
30/01/2019	15:00	3	3	0.003	0.061	7	0.007	0.142	8	0.008	0.163	
31/01/2019	15:00	4	3	0.003	0.061	7	0.007	0.142	9	0.009	0.183	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 21			Molde M6			Molde M8			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		75	68.3325		61	55.577		59	53.755		
0.050	1		204	185.864		159	144.86		136	123.91		
0.075	1.5		315	286.997		268	244.17		216	196.8		
0.100	2	1000	453	412.728	41.27	396	360.8	36.08	318	289.73	28.97	
0.200	4	1500	780	710.658	47.38	710	646.88	43.13	562	512.04	34.14	
0.300	6		1199	1092.41		1020	929.32		810	737.99		
0.400	8		1723	1569.83		1458	1328.4		1050	956.66		
0.500	10		2194	1998.95		1923	1752		1350	1230		

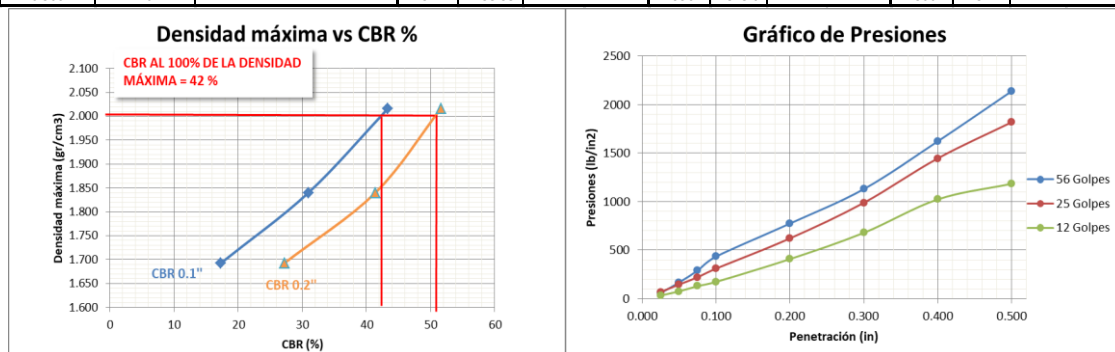


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	9,2
Densidad máxima (gr/cm ³)	1,850
C.B.R. 0.1''	41
C.B.R. 0.2''	47

Ilustración 4.17 Resultados CBR Subbase 3 - Mina Coca

4.2.4. CBR Base 1 – Mina Coca

CBR BASE 1 - MINA COCA														
Molde No.	29				21				10					
No. Capas	5				5				5					
No. de Golpes por Capas	56				25				12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		
Peso molde (gr)	8082		8082		7198		7198		7216		7216			
Peso muestra húm. + molde (gr)	13189		13314		11867		12367		11502		11772			
Peso muestra húmeda (gr)	5107		5232		4669		5169		4286		4556			
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.173		2.226		1.987		2.200		1.824		1.939			
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.016		2.000		1.840		1.907		1.693		1.649			
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.		INF.		SUP.		INF.		SUP.		INF.		
Recipiente No.	2B		MS211		H16		H11		MS34		12XX		M55	
Peso recipiente (gr)	23.09		22.6		36.67		33.01		36.55		49.44		65.93	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	152.64		120		241.23		221.01		150.96		129.44		251.37	
Peso muestra seca + recip. (gr)	143.54		112.78		217.8		204.42		142.57		123.5		225.45	
Peso agua (gr)	9.1		7.22		23.43		16.59		8.39		5.94		25.92	
Peso muestra seca (gr)	120.45		90.18		181.13		171.41		106.02		74.06		159.52	
Contenido de humedad	7.56		8.01		12.94		9.68		7.91		8.02		16.25	
Humedad Promedio	7.8		11.3		8.0		15.3		7.8		17.6			
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN														
Molde No.	29				21				10					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	11340				11649				11014					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	11785				12248				11772					
Peso de agua absorbida (gr)	445				599				758					
% de Agua Absorbida	8.7				12.8				17.7					
DATOS DE LA EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 29			MOLDE 21			MOLDE 10					
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%			
28/01/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061			
29/01/2019	15:00	2	1	0.001	0.020	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081			
30/01/2019	15:00	3	2	0.002	0.041	4	0.004	0.081	5	0.005	0.102			
31/01/2019	15:00	4	2	0.002	0.041	4	0.004	0.081	5	0.005	0.102			
DATOS DE LA PENETRACIÓN														
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 29			Molde 21			Molde 10					
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.			
0.025	0.5		63	57.3993		76	69.244		36	32.8				
0.050	1		183	166.731		160	145.78		83	75.621				
0.075	1.5		318	289.73		242	220.49		142	129.38				
0.100	2	1000	476	433.684	43.37	340	309.77	30.98	190	173.11				
0.200	4	1500	850	774.435	51.63	682	621.37	41.42	448	408.17				
0.300	6		1240	1129.76		1085	988.54		745	678.77				
0.400	8		1780	1621.76		1587	1445.9		1123	1023.2				
0.500	10		2347	2138.35		1996	1818.6		1300	1184.4				

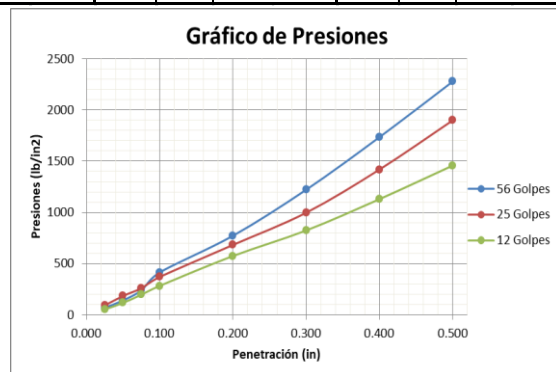
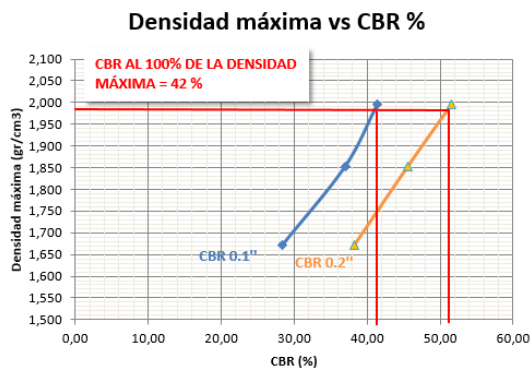


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	7.8
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.010
C.B.R. 0.1"	42
C.B.R. 0.2"	51

Ilustración 4.18 Resultados CBR Base 1 - Mina Coca

4.2.5. CBR Base 2 – Mina Coca

CBR BASE 2 - MINA COCA												
Molde No.	18				7				18M			
No. Capas	5				5				5			
No. de Golpes por Capas	56				25				12			
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	6951		6951		7154		7154		8155		8155	
Peso muestra húm. + molde (gr)	12058		12544		11893		12365		12443		13240	
Peso muestra húmeda (gr)	5107		5593		4739		5211		4288		5085	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.173		2.380		2.017		2.217		1.825		2.164	
Densidad Seca (kg/cm ³)	1.997		2.171		1.853		2.003		1.672		1.879	
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	CG23	272A	MS14	18	H11	H2	CG10	12XX	H30	H9	4	MS34
Peso recipiente (gr)	31.81	33.33	34.12	22.86	32.97	28.38	51.06	49.43	30.51	29.95	32.63	33.45
Peso muestra húm. + recip. (gr)	166.12	138.52	206.46	179.34	186.37	178.97	180.51	204.77	137.99	174.74	176.47	201.7
Peso muestra seca + recip. (gr)	154.85	130.25	191.6	165.41	174.14	166.5	167.69	190.12	128.82	162.82	159.32	177.55
Peso agua (gr)	11.27	8.27	14.86	13.93	12.23	12.47	12.82	14.65	9.17	11.92	17.15	24.15
Peso muestra seca (gr)	123.04	96.92	157.48	142.55	141.17	138.12	116.63	140.69	98.31	132.87	126.69	144.1
Contenido de humedad	9.16	8.53	9.44	9.77	8.66	9.03	10.99	10.41	9.33	8.97	13.54	16.76
Humedad Promedio	8.8		9.6		8.8		10.7		9.1		15.1	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	18				7				18M			
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	12058				11893				12443			
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	12544				12365				13240			
Peso de agua absorbida (gr)	486				472				797			
% de Agua Absorbida	9.5				10.0				18.6			
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 18			MOLDE 7			MOLDE 18M			
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	
28/01/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	
29/01/2019	15:00	2	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	
30/01/2019	15:00	3	2	0.002	0.041	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	
31/01/2019	15:00	4	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	3	0.003	0.061	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 18			Molde 7			Molde 18M			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		75	68.3325		102	92.932		58	52.844		
0.050	1		156	142.132		203	184.95		129	117.53		
0.075	1.5		263	239.619		286	260.57		217	197.71		
0.100	2	1000	455	414.551	41.46	406	369.91	36.99	311	283.35	28.34	
0.200	4	1500	848	772.613	51.51	750	683.33	45.56	631	574.9	38.33	
0.300	6		1341	1221.79		1095	997.65		905	824.55		
0.400	8		1904	1734.73		1557	1418.6		1240	1129.8		
0.500	10		2500	2277.75		2084	1898.7		1600	1457.8		

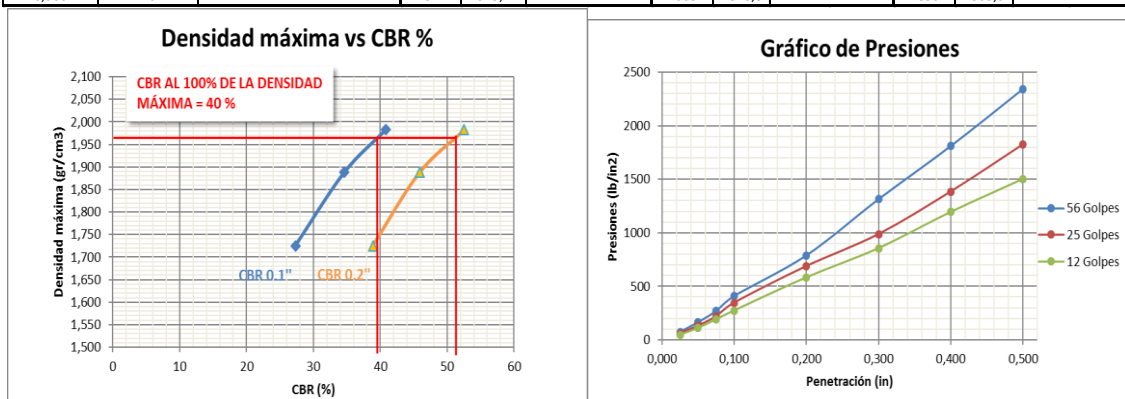


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	9
Densidad máxima (gr/cm ³)	1.980
C.B.R. 0.1"	42
C.B.R. 0.2"	52

Ilustración 4.19 Resultados CBR Base 2 - Mina Coca

4.2.6. CBR Base 3 – Mina Coca

CBR BASE 3 - MINA COCA														
Molde No.	16				M5				Z9					
No. Capas	5				5				5					
No. de Golpes por Capas	56				25				12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		
Peso molde (gr)	7247		7247		9629		9629		8082		8082			
Peso muestra húm. + molde (gr)	12267		12544		14399		14621		12443		13240			
Peso muestra húmeda (gr)	5020		5297		4770		4992		4361		5158			
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2,136		2,254		2,030		2,124		1,856		2,195			
Densidad Seca (kg/cm ³)	1,983		2,025		1,888		1,869		1,725		1,863			
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	
Recipiente No.	H30		7Z		A4		4		H9		272A		18	
Peso recipiente (gr)	30,51		19,99		16,76		32,67		29,95		33,33		22,86	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	154,45		142,55		198,45		175,15		175,12		180,65		160,87	
Peso muestra seca + recip. (gr)	145,25		134,02		180,54		160,23		165,24		170,04		143,51	
Peso agua (gr)	9,2		8,53		17,91		14,92		9,88		10,61		17,36	
Peso muestra seca (gr)	114,74		114,03		163,78		127,56		135,29		136,71		120,65	
Contenido de humedad	8,02		7,48		10,94		11,70		7,30		7,76		14,39	
Humedad Promedio	7,7		7,7		11,3		7,5		13,6		7,6		17,8	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN														
Molde No.	16				M5				Z9					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	12267				14399				12443					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	12544				14621				13240					
Peso de agua absorbida (gr)	277				222				797					
% de Agua Absorbida	5,5				4,7				18,3					
DATOS DE LA EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 16			MOLDE M5			MOLDE Z9					
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%			
4/2/2019	15:00	1	1	0,001	0,020	2	0,002	0,041	1	0,001	0,020			
5/2/2019	15:00	2	2	0,002	0,041	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061			
6/2/2019	15:00	3	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061	3	0,003	0,061			
7/2/2019	15:00	4	3	0,003	0,061	3	0,003	0,061	4	0,004	0,081			
DATOS DE LA PENETRACIÓN														
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 16			Molde M5			Molde Z9					
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.			
0,025	0,5		80	72,888		65	59,222		51	46,466				
0,050	1		179	163,087		144	131,2		121	110,24				
0,075	1,5		294	267,863		241	219,58		210	191,33				
0,100	2	1000	448	408,173	40,82	380	346,22	34,62	300	273,33				
0,200	4	1500	865	788,102	52,54	755	687,88	45,86	640	583,1				
0,300	6		1442	1313,81		1084	987,63		940	856,43				
0,400	8		1988	1811,27		1521	1385,8		1312	1195,4				
0,500	10		2574	2345,17		2005	1826,8		1650	1503,3				

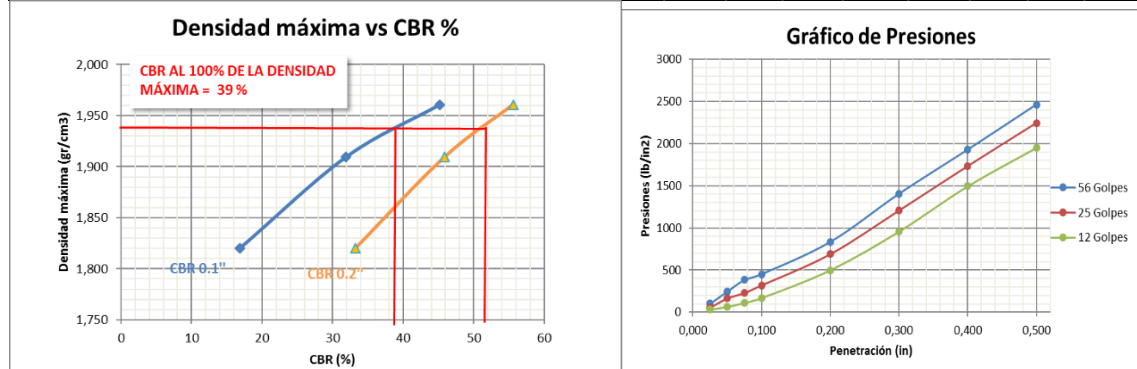


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	7,8
Densidad máxima (gr/cm ³)	1,960
C.B.R. 0.1"	40
C.B.R. 0.2"	52

Ilustración 4.20 Resultados CBR Base 3 - Mina Coca

4.2.7. CBR Base 4 – Mina Coca

CBR BASE 4 - MINA COCA														
Molde No.	M5				23				16					
No. Capas	5				5				5					
No. de Golpes por Capas	56				25				12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA			No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	9629		9629		7135		7135		7247		7247			
Peso muestra húm. + molde (gr)	14605		14958		11994		12647		11870		12965			
Peso muestra húmeda (gr)	4976		4986		4859		5512		4623		5718			
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2,117		2,122		2,068		2,346		1,967		2,433			
Densidad Seca (kg/cm ³)	1,961		1,944		1,910		2,095		1,820		2,148			
CONTENIDO DE HUMEDAD			SUP.		INF.		SUP.		INF.		SUP.		INF.	
Recipiente No.	P11 5		13 M505		B7 PT		C68 MS33		M1 X11		C62 MS19			
Peso recipiente (gr)	48,13		43,49		23,23		33,26		49,28		47,32		50,64 34,37	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	179		180,31		166,61		206,13		173,31		203,35		191,8 188,14	
Peso muestra seca + recip. (gr)	169,03		170,5		154,29		191,98		164,07		191,12		177,56 170,84	
Peso agua (gr)	9,97		9,81		12,32		14,15		9,24		12,23		14,24 17,3	
Peso muestra seca (gr)	120,9		127,01		131,06		158,72		114,79		143,8		126,92 136,47	
Contenido de humedad	8,25		7,72		9,40		8,92		8,05		8,50		11,22 12,68	
Humedad Promedio	8,0		8,0		9,2		8,3		8,3		11,9		8,1 13,3	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN														
Molde No.	M5				23				16					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	14605				11994				11870					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	14958				12647				12965					
Peso de agua absorbida (gr)	353				653				1095					
% de Agua Absorbida	7,1				13,4				23,7					
DATOS DE LA EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE M5			MOLDE 23			MOLDE 16					
			Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento				
			Pulg.	%	%	Pulg.	%	%	Pulg.	%	%			
4/2/2019	15:00	1	1	0,001	1,000	1	0,001	0,020	1	0,001	0,020			
5/2/2019	15:00	2	1	0,001	0,020	2	0,002	0,041	1	0,001	0,020			
6/2/2019	15:00	3	2	0,002	0,041	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061			
7/2/2019	15:00	4	2	0,002	0,041	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061			
DATOS DE LA PENETRACIÓN														
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde M5			Molde 23			Molde 16					
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.			
0,025	0,5		111	101,132		60	54,666		34	30,977				
0,050	1		269	245,086		180	164		70	63,777				
0,075	1,5		421	383,573		250	227,78		122	111,15				
0,100	2	1000	496	451,906	45,19	350	318,89	31,89	185	168,55	16,86			
0,200	4	1500	915	833,657	55,58	755	687,88	45,86	547	498,37	33,22			
0,300	6		1540	1403,09		1322	1204,5		1050	956,66				
0,400	8		2114	1926,07		1900	1731,1		1640	1494,2				
0,500	10		2700	2459,97		2460	2241,3		2140	1949,8				

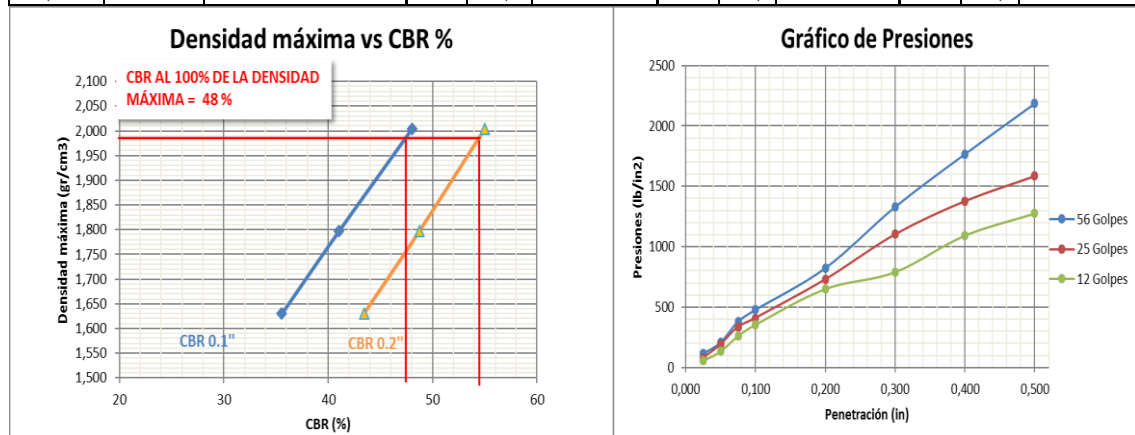


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8,1
Densidad máxima (gr/cm ³)	1,940
C.B.R. 0.1''	39
C.B.R. 0.2''	52

Ilustración 4.21 Resultados CBR Base 4 - Mina Coca

4.2.8. CBR Subbase 1 – Mina Macas

CBR SUBBASE 1 - MINA MACAS													
Molde No.	21				16				18				
No. Capas	5				5				5				
No. de Golpes por Capas	56				25				12				
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	7190		7190		7244		7244		8154		8154		
Peso muestra húm. + molde (gr)	12267		12501		11798		12421		12271		13181		
Peso muestra húmeda (gr)	5077		5311		4554		5177		4117		5027		
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350		
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2,160		2,260		1,938		2,203		1,752		2,139		
Densidad Seca (kg/cm ³)	2,003		2,030		1,797		1,919		1,630		1,844		
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.		INF.		SUP.		INF.		SUP.		INF.	
Recipiente No.	272A	MS23	MS33	MS26	MS05	MS26	M501	S64	S64	1Q	PT	PK5	
Peso recipiente (gr)	50,01	34,08	34,24	33,02	33,26	33,02	33,49	48,68	48,67	49,39	47,33	43,52	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	170,88	125,24	185,19	198,3	111,76	143,04	165,15	189,64	138,25	148,48	163,34	173	
Peso muestra seca + recip. (gr)	162,14	118,57	169,31	182,11	106,04	135,01	148,26	171,32	132,04	141,57	147,25	155,21	
Peso agua (gr)	8,74	6,67	15,88	16,19	5,72	8,03	16,89	18,32	6,21	6,91	16,09	17,79	
Peso muestra seca (gr)	112,13	84,49	135,07	149,09	72,78	101,99	114,77	122,64	83,37	92,18	99,92	111,69	
Contenido de humedad	7,79	7,89	11,76	10,86	7,86	7,87	14,72	14,94	7,45	7,50	16,10	15,93	
Humedad Promedio	7,8		11,3		7,9		14,8		7,5		16,0		
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN													
Molde No.	21				16				18				
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	12267				11798				12271				
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	12501				12421				13181				
Peso de agua absorbida (gr)	234				623				910				
% de Agua Absorbida	4,6				13,7				22,1				
DATOS DE LA EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 21			MOLDE 16			MOLDE 18				
			Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento			
			Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%			
11/2/2019	15:00	1	2	0,002	0,041	3	0,003	0,061	1	0,001	0,020		
12/2/2019	15:00	2	3	0,003	0,061	3	0,003	0,061	5	0,005	0,102		
13/2/2019	15:00	3	5	0,005	0,102	4	0,004	0,081	7	0,007	0,142		
14/2/2019	15:00	4	5	0,005	0,102	6	0,006	0,122	7	0,007	0,142		
DATOS DE LA PENETRACIÓN													
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 21			Molde 16			Molde 18				
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.		
0,025	0,5		128	116,621		85	77,444		62	56,488			
0,050	1		230	209,553		209	190,42		148	134,84			
0,075	1,5		420	382,662		370	337,11		287	261,49			
0,100	2	1000	527	480,15	48,01	450	410	41,00	390	355,33	35,53		
0,200	4	1500	905	824,546	54,97	802	730,7	48,71	715	651,44	43,43		
0,300	6		1460	1330,21		1212	1104,3		868	790,83			
0,400	8		1940	1767,53		1514	1379,4		1200	1093,3			
0,500	10		2398	2184,82		1742	1587,1		1400	1275,5			

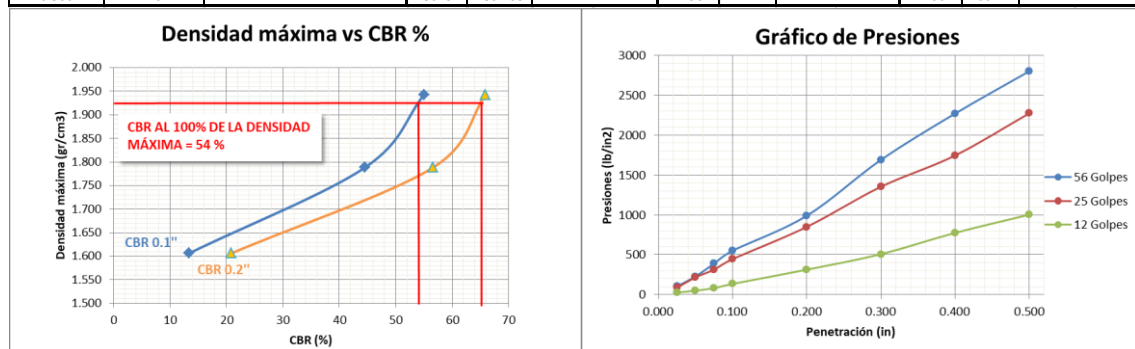


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	7,8
Densidad máxima (gr/cm ³)	1,980
C.B.R. 0.1''	48
C.B.R. 0.2''	54

Ilustración 4.22 Resultados CBR Subbase 1 - Mina Macas

4.2.9. CBR Subbase 2 – Mina Macas

CBR SUBBASE- MINA MACAS												
Molde No.	21			M6			7					
No. Capas	5			5			5					
No. de Golpes por Capas	56			25			12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.	Sat.	No Sat.	Sat.	No Sat.	Sat.						
Peso molde (gr)	7198	7198	9620	9620	7154	7154						
Peso muestra húm. + molde (gr)	12089	12754	14112	14721	11200	12107						
Peso muestra húmeda (gr)	4891	5556	4492	5101	4046	4953						
Volumen (cm ³)	2350	2350	2350	2350	2350	2350						
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.081	2.364	1.911	2.171	1.722	2.108						
Densidad Seca (kg/cm ³)	1.943	2.138	1.788	1.927	1.606	1.802						
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.						
Recipiente No.	M1	MS41	14	18	H16	MS22	4	H11	CG10	12XX	PU2	28ZA
Peso recipiente (gr)	49.05	32.7	22.48	22.86	36.67	33.73	32.63	33.01	51.06	49.43	22.68	49.83
Peso muestra húm. + recip. (gr)	137.46	182.54	241.23	221.01	154.21	116.26	251.37	236.11	129.8	77.58	178.97	216.44
Peso muestra seca + recip. (gr)	131.85	172.14	217.8	204.42	146.5	111.04	225.45	214.64	124.51	75.7	159.48	189
Peso agua (gr)	5.61	10.4	23.43	16.59	7.71	5.22	25.92	21.47	5.29	1.88	19.49	27.44
Peso muestra seca (gr)	82.8	139.44	195.32	181.56	109.83	77.31	192.82	181.63	73.45	26.27	136.8	139.17
Contenido de humedad	6.78	7.46	12.00	9.14	7.02	6.75	13.44	11.82	7.20	7.16	14.25	19.72
Humedad Promedio	7.1		10.6		6.9		12.6		7.2		17.0	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	21			M6			7					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	12089			14112			11200					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	12754			14721			12107					
Peso de agua absorbida (gr)	665			609			907					
% de Agua Absorbida	13.6			13.6			22.4					
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 21			MOLDE M6			MOLDE 7			
			Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		Lectura del indicador	Esponjamiento		
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%	
11/02/2019	15:00	1	2	0.002	0.041	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	
12/02/2019	15:00	2	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	
13/02/2019	15:00	3	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	6	0.006	0.122	
14/02/2019	15:00	4	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	6	0.006	0.122	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 21			Molde M6			Molde 7			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		114	103.865		95	86.555		27	24.6		
0.050	1		250	227.775		238	216.84		55	50.111		
0.075	1.5		428	389.951		344	313.42		89	81.088		
0.100	2	1000	604	550.304	55.03	489	445.53	44.55	147	133.93		
0.200	4	1500	1085	988.544	65.90	932	849.15	56.61	344	313.42		
0.300	6		1855	1690.09		1485	1353		557	507.48		
0.400	8		2492	2270.46		1915	1744.8		850	774.44		
0.500	10		3075	2801.63		2496	2274.1		1100	1002.2		

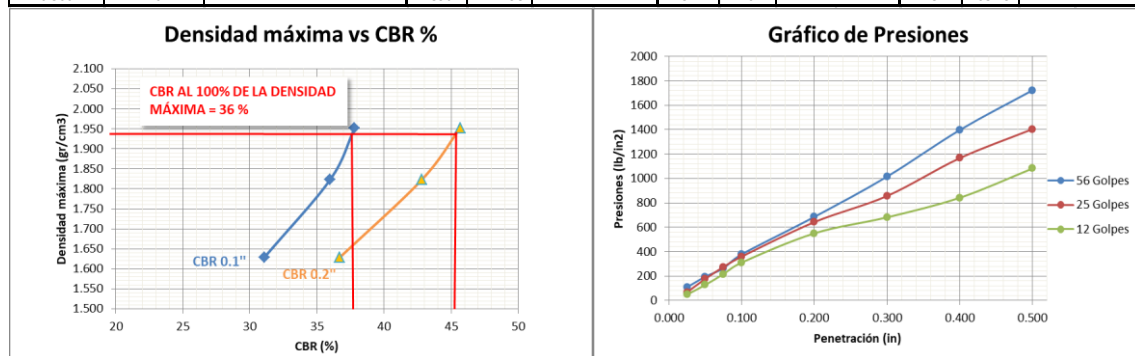


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	7.1
Densidad máxima (gr/cm ³)	1.930
C.B.R. 0.1''	54
C.B.R. 0.2''	65

Ilustración 4.23 Resultados CBR Subbase 2 - Mina Macas

4.2.10. CBR Subbase 3 – Mina Macas

CBR SUBBASE 2 - MINA MACAS												
Molde No.	Z9				M8				M5			
No. Capas	5				5				5			
No. de Golpes por Capas	56				25				12			
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	9618		9618		9626		9626		8082		8082	
Peso muestra húm. + molde (gr)	14624		14865		14297		14582		12257		13035	
Peso muestra húmeda (gr)	5006		5247		4671		4956		4175		4953	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.130		2.233		1.988		2.109		1.777		2.108	
Densidad Seca (kg/cm ³)	1.952		2.008		1.823		1.839		1.628		1.774	
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	12XX	H11	MS41	M52	MS22	MS516	M1	H2	4	MS10	2B	M518
Peso recipiente (gr)	49.44	33.01	32.65	65.81	33.73	34.35	49.05	28.42	32.67	65.78	23.12	65.85
Peso muestra húm. + recip. (gr)	154.45	118.48	138.75	119.45	148.54	131.25	249.48	238.58	162.48	128.45	175.56	205.17
Peso muestra seca + recip. (gr)	145.5	111.47	128.45	113.85	139.14	123.14	223.45	212.12	151.58	123.24	152.14	182.44
Peso agua (gr)	8.95	7.01	10.3	5.6	9.4	8.11	26.03	26.46	10.9	5.21	23.42	22.73
Peso muestra seca (gr)	96.06	78.46	95.8	48.04	105.41	88.79	174.4	183.7	118.91	57.46	129.02	116.59
Contenido de humedad	9.32	8.93	10.75	11.66	8.92	9.13	14.93	14.40	9.17	9.07	18.15	19.50
Humedad Promedio	9.1		11.2		9.0		14.7		9.1		18.8	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	Z9				M8				M5			
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	14624				14297				12257			
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	14865				14582				13035			
Peso de agua absorbida (gr)	241				285				778			
% de Agua Absorbida	4.8				6.1				18.6			
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE Z9			MOLDE M8			MOLDE M5			
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	
11/02/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	
12/02/2019	15:00	2	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	
13/02/2019	15:00	3	4	0.004	0.081	6	0.006	0.122	4	0.004	0.081	
14/02/2019	15:00	4	4	0.004	0.081	6	0.006	0.122	6	0.006	0.122	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde Z9			Molde M8			Molde M5			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		120	109.332		75	68.333		54	49.199		
0.050	1		214	194.975		195	177.66		140	127.55		
0.075	1.5		290	264.219		302	275.15		238	216.84		
0.100	2	1000	415	378.107	37.81	395	359.88	35.99	341	310.69	31.07	
0.200	4	1500	752	685.147	45.68	705	642.33	42.82	604	550.3	36.69	
0.300	6		1114	1014.97		940	856.43		748	681.5		
0.400	8		1533	1396.72		1280	1166.2		924	841.86		
0.500	10		1890	1721.98		1541	1404		1187	1081.5		

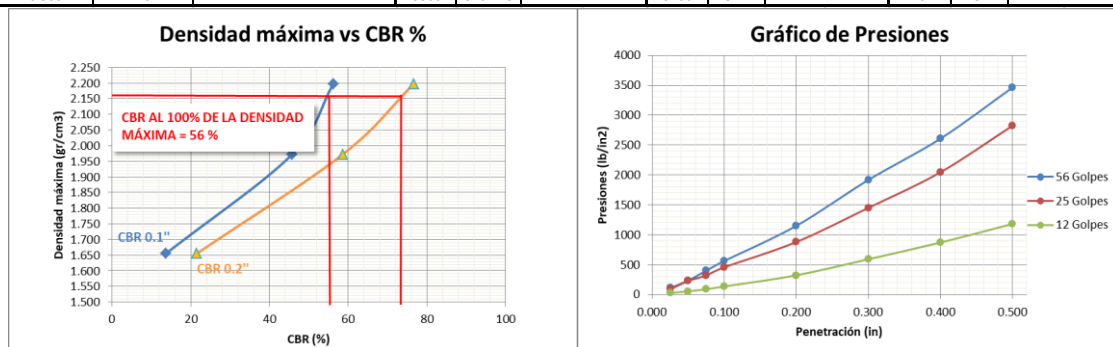


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	9.2
Densidad máxima (gr/cm ³)	1.940
C.B.R. 0.1"	36
C.B.R. 0.2"	45

Ilustración 4.24 Resultados CBR Subbase 3 - Mina Macas

4.2.11. CBR Base 1 – Mina Macas

CBR BASE 1 - MINA MACAS														
Molde No.	M6				9				10					
No. Capas	5				5				5					
No. de Golpes por Capas	56				25				12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		
Peso molde (gr)	9621		9621		7033		7033		7217		7217			
Peso muestra húm. + molde (gr)	15200		15512		12040		12647		11414		12301			
Peso muestra húmeda (gr)	5579		5891		5007		5614		4197		5084			
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.374		2.507		2.131		2.389		1.786		2.163			
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.198		2.252		1.972		2.071		1.655		1.840			
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.		INF.		SUP.		INF.		SUP.		INF.		
Recipiente No.	PU2		282A		H16		H11		14		MS22		M55	
Peso recipiente (gr)	22.68		49.83		36.67		33.01		22.48		33.73		65.93	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	137.46		182.54		241.23		221.01		33.27		116.26		251.37	
Peso muestra seca + recip. (gr)	128.78		172.85		217.8		204.42		32.45		110.26		225.45	
Peso agua (gr)	8.68		9.69		23.43		16.59		0.82		6.004		25.92	
Peso muestra seca (gr)	106.1		123.02		181.13		171.41		9.97		76.526		159.52	
Contenido de humedad	8.18		7.88		12.94		9.68		8.22		7.85		16.25	
Humedad Promedio	8.0		11.3		8.0		15.3		7.9		17.6			
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN														
Molde No.	M6				9				10					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	15200				12040				11414					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	15512				12647				12301					
Peso de agua absorbida (gr)	312				607				887					
% de Agua Absorbida	5.6				12.1				21.1					
DATOS DE LA EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE M6			MOLDE 9			MOLDE 10					
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%			
11/02/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061			
12/02/2019	15:00	2	1	0.001	0.020	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081			
13/02/2019	15:00	3	2	0.002	0.041	4	0.004	0.081	5	0.005	0.102			
14/02/2019	15:00	4	2	0.002	0.041	4	0.004	0.081	5	0.005	0.102			
DATOS DE LA PENETRACIÓN														
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde M6			Molde 9			Molde 10					
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.			
0.025	0.5		122	111.154		100	91.11		30	27.333				
0.050	1		260	236.886		250	227.78		60	54.666				
0.075	1.5		439	399.973		353	321.62		98	89.288				
0.100	2	1000	617	562.149	56.21	502	457.37	45.74	150	136.67				
0.200	4	1500	1262	1149.81	76.65	965	879.21	58.61	354	322.53				
0.300	6		2105	1917.87		1593	1451.4		650	592.22				
0.400	8		2862	2607.57		2245	2045.4		955	870.1				
0.500	10		3800	3462.18		3100	2824.4		1297	1181.7				

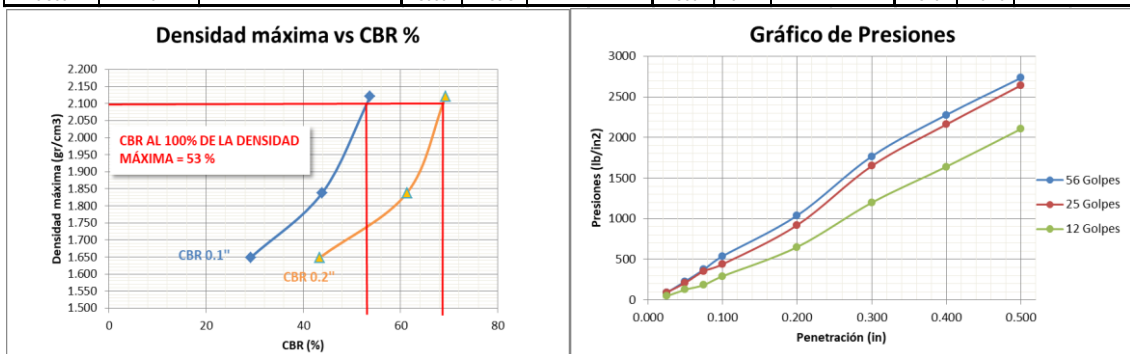


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8
Densidad máxima (gr/cm³)	2,160
C.B.R. 0.1"	56
C.B.R. 0.2"	73

Ilustración 4.25 Resultados CBR Base 1 - Mina Macas

4.2.12. CBR Base 2 – Mina Macas

CBR BASE 2 - MINA MACAS														
Molde No.	18				10				9					
No. Capas	5				5				5					
No. de Golpes por Capas	56				25				12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		
Peso molde (gr)	9651		9651		7217		7217		7033		7033			
Peso muestra húm. + molde (gr)	15040		15472		11887		12624		11209		12104			
Peso muestra húmeda (gr)	5389		5821		4670		5407		4176		5071			
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350			
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.293		2.477		1.987		2.301		1.777		2.158			
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.121		2.245		1.839		2.040		1.649		1.827			
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.		INF.		SUP.		INF.		SUP.		INF.		
Recipiente No.	M1		B7		RR		CG5		MS34		MS09		P11	
Peso recipiente (gr)	49.08		49.31		46.69		49.69		33.58		33.77		48.14	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	149.67		139.4		180.52		162.93		161.29		199.3		175.27	
Peso muestra seca + recip. (gr)	142.14		132.59		167.89		152.44		152.13		186.43		158.69	
Peso agua (gr)	7.53		6.81		12.63		10.49		9.16		12.87		16.58	
Peso muestra seca (gr)	93.06		83.28		121.2		102.75		118.55		152.66		110.55	
Contenido de humedad	8.09		8.18		10.42		10.21		7.73		8.43		15.00	
Humedad Promedio	8.1		10.3		8.1		12.8		7.8		18.1			
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN														
Molde No.	18				10				9					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	15040				11887				11209					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	15472				12624				12104					
Peso de agua absorbida (gr)	432				737				895					
% de Agua Absorbida	8.0				15.8				21.4					
DATOS DE LA EXPANSIÓN														
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 18			MOLDE 10			MOLDE 9					
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%			
11/02/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061			
12/02/2019	15:00	2	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061			
13/02/2019	15:00	3	1	0.001	0.020	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061			
14/02/2019	15:00	4	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081			
DATOS DE LA PENETRACIÓN														
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 18			Molde 10			Molde 9					
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.			
0.025	0.5		95	86.5545		100	91.11		50	45.555				
0.050	1		250	227.775		231	210.46		138	125.73				
0.075	1.5		410	373.551		390	355.33		201	183.13				
0.100	2	1000	590	537.549	53.75	482	439.15	43.92	320	291.55	29.16			
0.200	4	1500	1140	1038.65	69.24	1010	920.21	61.35	714	650.53	43.37			
0.300	6		1940	1767.53		1810	1649.1		1314	1197.2				
0.400	8		2500	2277.75		2370	2159.3		1800	1640				
0.500	10		3000	2733.3		2900	2642.2		2310	2104.6				

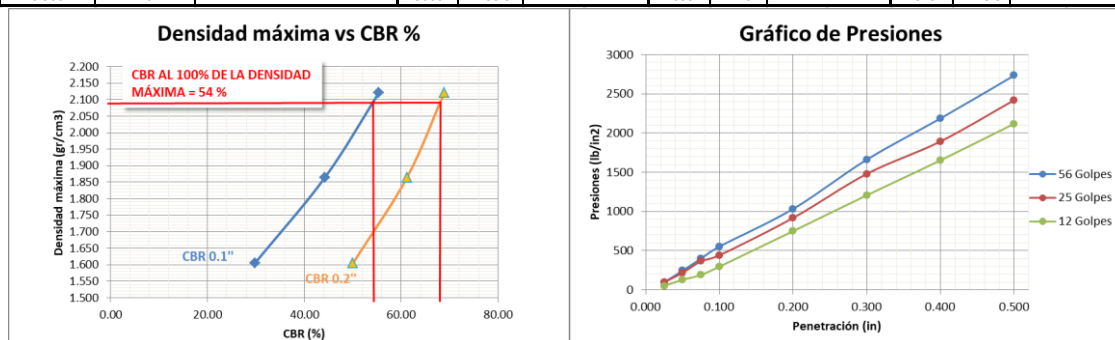


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.100
C.B.R. 0.1''	53
C.B.R. 0.2''	68

Ilustración 4.26 Resultados CBR Base 2 - Mina Macas

4.2.13. CBR Base 3 – Mina Macas

CBR BASE 3 - MINA MACAS													
Molde No.	23				7				18				
No. Capas	5				5				5				
No. de Golpes por Capas	56				25				12				
CONDICIÓN DE LA MUESTRA		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	7134		7134		7154		7154		6952		6952		
Peso muestra húm. + molde (gr)	12514		12804		11887		12624		11075		11865		
Peso muestra húmeda (gr)	5380		5670		4733		5470		4123		4913		
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350		
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.289		2.413		2.014		2.328		1.754		2.091		
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.121		2.179		1.865		2.063		1.605		1.787		
CONTENIDO DE HUMEDAD		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	12XX	MS211	CG23	282A	MS19	CG14	4	C68	PU1	MS09	18	C62	
Peso recipiente (gr)	49.56	22.59	31.8	49.83	33.31	31.41	32.82	50.66	22.89	33.79	22.92	49.53	
Peso muestra húm. + recip. (gr)	149.67	139.4	180.52	162.93	161.29	199.3	175.27	162.72	139.77	131.56	169.97	205.86	
Peso muestra seca + recip. (gr)	142.14	130.96	165.45	152.44	152.13	186.43	158.69	150.3	131.07	122.17	148.57	183.2	
Peso agua (gr)	7.53	8.44	15.07	10.49	9.16	12.87	16.58	12.42	8.7	9.39	21.4	22.66	
Peso muestra seca (gr)	92.58	108.37	133.65	102.61	118.82	155.02	125.87	99.64	108.18	88.38	125.65	133.67	
Contenido de humedad	8.13	7.79	11.28	10.22	7.71	8.30	13.17	12.46	8.04	10.62	17.03	16.95	
Humedad Promedio	8.0		10.7		8.0		12.8		9.3		17.0		
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN													
Molde No.	23				7				18				
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	12514				11887				11075				
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	12804				12624				11865				
Peso de agua absorbida (gr)	290				737				790				
% de Agua Absorbida	5.4				15.6				19.2				
DATOS DE LA EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE 23			MOLDE 7			MOLDE 18				
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%		
04/02/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	1	0.001	0.020	1	0.001	0.020		
05/02/2019	15:00	2	1	0.001	0.020	3	0.003	0.061	2	0.002	0.041		
06/02/2019	15:00	3	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081		
07/02/2019	15:00	4	2	0.002	0.041	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081		
DATOS DE LA PENETRACIÓN													
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde 23			Molde 7			Molde 18				
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.		
0.025	0.5		106	96.5766		110	100.22		57	51.933			
0.050	1		270	245.997		242	220.49		143	130.29			
0.075	1.5		440	400.884		402	366.26		210	191.33			
0.100	2	1000	608	553.949	55.39	486	442.79	44.28	327	297.93	29.79		
0.200	4	1500	1134	1033.19	68.88	1008	918.39	61.23	824	750.75	50.05		
0.300	6		1824	1661.85		1624	1479.6		1325	1207.2			
0.400	8		2400	2186.64		2078	1893.3		1814	1652.7			
0.500	10		3000	2733.3		2655	2419		2325	2118.3			

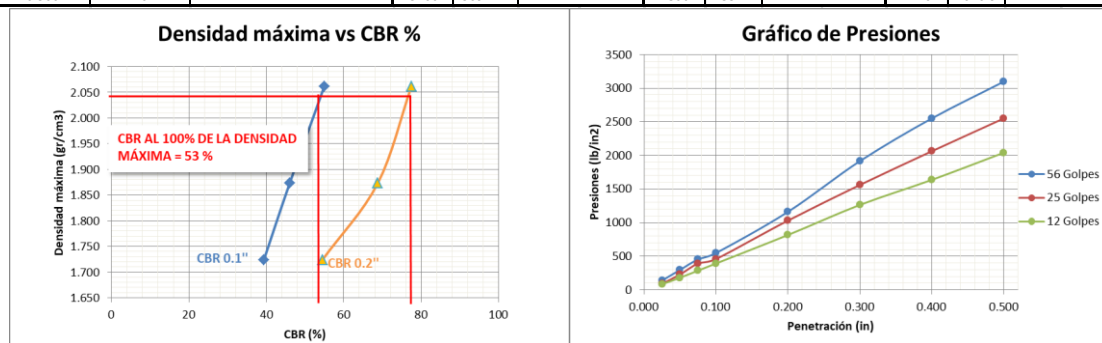


Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	8.1
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.090
C.B.R. 0.1"	54
C.B.R. 0.2"	68

Ilustración 4.27 Resultados CBR Base 3 - Mina Macas

4.2.14. CBR Base 4 – Mina Macas

CBR BASE 4 - MINA MACAS												
Molde No.	M8			M5			Z9					
No. Capas	5			5			5					
No. de Golpes por Capas	56			25			12					
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.		No Sat.		Sat.	
Peso molde (gr)	9618		9618		9626		9626		8082		8082	
Peso muestra húm. + molde (gr)	14798		15123		14350		14869		12413		13247	
Peso muestra húmeda (gr)	5180		5505		4724		5243		4331		5165	
Volumen (cm ³)	2350		2350		2350		2350		2350		2350	
Densidad Húmeda (kg/cm ³)	2.204		2.343		2.010		2.231		1.843		2.198	
Densidad Seca (kg/cm ³)	2.061		2.119		1.873		1.960		1.724		1.878	
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Recipiente No.	P11	PK5	MS34	CG5	PT	X11	M1	RR	B7	MS19	A200	12XX
Peso recipiente (gr)	48.14	43.52	33.58	49.69	47.31	47.79	49.08	46.69	49.29	33.31	43.71	49.56
Peso muestra húm. + recip. (gr)	193.15	176.39	141.57	154.93	169.69	181.02	217.56	172.85	214.45	160.77	155.73	215.14
Peso muestra seca + recip. (gr)	184.54	167.07	130.13	146.05	160.82	172.46	197.54	157.23	202.61	153.48	140.82	189
Peso agua (gr)	8.61	9.32	11.44	8.88	8.87	8.56	20.02	15.62	11.84	7.29	14.91	26.14
Peso muestra seca (gr)	136.4	123.55	96.55	96.36	113.51	124.67	148.46	110.54	153.32	120.17	97.11	139.44
Contenido de humedad	6.31	7.54	11.85	9.22	7.81	6.87	13.49	14.13	7.72	6.07	15.35	18.75
Humedad Promedio	6.9		10.5		7.3		13.8		6.9		17.1	
AGUA ABSORBIDA LUEGO DE LA SATURACIÓN												
Molde No.	M8			M5			Z9					
Peso muestra húm. + molde (gr) no sat.	14798			14350			12413					
Peso muestra húm. + molde (gr) sat.	15123			14869			13247					
Peso de agua absorbida (gr)	325			519			834					
% de Agua Absorbida	6.3			11.0			19.3					
DATOS DE LA EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo en días	MOLDE M8			MOLDE M5			MOLDE Z9			
			Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	Lectura del indicador	Esponjamiento Pulg.	%	
04/02/2019	15:00	1	1	0.001	0.020	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	
05/02/2019	15:00	2	3	0.003	0.061	3	0.003	0.061	4	0.004	0.081	
06/02/2019	15:00	3	4	0.004	0.081	3	0.003	0.061	5	0.005	0.102	
07/02/2019	15:00	4	4	0.004	0.081	4	0.004	0.081	5	0.005	0.102	
DATOS DE LA PENETRACIÓN												
Penetración en pulg.	Tiempo en minutos	Carga Standard (Lb / pulg ²)	Molde M8			Molde M5			Molde Z9			
			Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	Dial	lb/in ²	CBR Corr.	
0.025	0.5		154	140.309		100	91.11		93	84.732		
0.050	1		328	298.841		253	230.51		200	182.22		
0.075	1.5		500	455.55		433	394.51		315	287		
0.100	2	1000	603	549.393	54.94	505	460.11	46.01	432	393.6	39.36	
0.200	4	1500	1275	1161.65	77.44	1132	1031.4	68.76	897	817.26	54.48	
0.300	6		2103	1916.04		1714	1561.6		1388	1264.6		
0.400	8		2800	2551.08		2264	2062.7		1797	1637.2		
0.500	10		3400	3097.74		2800	2551.1		2240	2040.9		



Valor de C.B.R.	
% Humedad óptima	7.2
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.040
C.B.R. 0.1''	53
C.B.R. 0.2''	76

Ilustración 4.28 Resultados CBR Base 4 - Mina Macas

4.3. Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado

4.3.1. Resultados CBR y Proctor Modificado – Mina Coca

Tabla 4.29 Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado - Mina Coca

Resumen de Proctor Modificado y CBR - Mina Coca					
Material	Densidad Máxima (gr/cm ³)	% H. óptima	% CBR 0.1''	% CBR 0.2''	% CBR PROMEDIO
Subbase 1	1,910	8,5	48	58	53
Subbase 2	1,880	8,0	44	50	47
Subbase 3	1,850	9,2	41	47	44
Base 1	2,010	7,8	42	51	46,5
Base 2	1,980	9,0	42	52	47
Base 3	1,960	7,8	40	52	46
Base 4	1,940	8,1	39	52	45,5

4.3.2. Resultados CBR y Proctor Modificado – Mina Macas

Tabla 4.30 Resumen de Resultados de CBR y Proctor Modificado - Mina Macas

Resumen de Proctor Modificado y CBR - Mina Macas					
Material	Densidad Máxima (gr/cm ³)	% H. óptima	% CBR 0.1''	% CBR 0.2''	% CBR PROMEDIO
Subbase 1	1,980	7,8	48	54	51
Subbase 2	1,930	7,1	54	65	59,5
Subbase 3	1,940	9,2	36	45	40,5
Base 1	2,160	8,0	56	73	64,5
Base 2	2,100	8,0	53	68	60,5
Base 3	2,090	8,1	54	68	61
Base 4	2,040	7,2	53	76	64,5

CAPÍTULO 5

5. CORRELACIÓN DEL CBR CON EL MÓDULO DE YOUNG

5.1. Resultados del Ensayo de Módulo de Young

Tabla 5.1 Resultados del Ensayo de Módulo de Young - Mina Coca

GeoGauge H 4140 - Mina Coca					
Material	Ensayo	Módulo de Young (Mpa)	% de Compactación	Densidad (gr/cm3)	Módulo Resiliente (Psi)
Subbase 1	1	100.47	91.2	1.74192	14569.46
	2	109.85	97.3	1.85843	15929.68
	3	113.57	100	1.91	16469.13
Subbase 2	1	101.75	92.4	1.73712	14755.08
	2	107.10	97.8	1.83864	15530.90
	3	111.08	100	1.88	16108.05
Subbase 3	1	98.68	92	1.702	14309.89
	2	103.85	96.7	1.78895	15059.60
	3	108.95	100	1.85	15799.17
Base 1	1	112.57	93.6	1.88136	16324.12
	2	118.79	96.8	1.94568	17226.10
	3	124.22	100	2.01	18013.52
Base 2	1	108.65	92.1	1.82358	15755.67
	2	112.30	95	1.881	16284.96
	3	119.20	100	1.98	17285.55
Base 3	1	110.08	93.3	1.82868	15963.03
	2	116.38	98.1	1.92276	16876.62
	3	120.11	100	1.96	17417.51
Base 4	1	108.29	91.2	1.76928	15703.46
	2	118.44	98.4	1.90896	17175.34
	3	120.63	100	1.94	17492.92

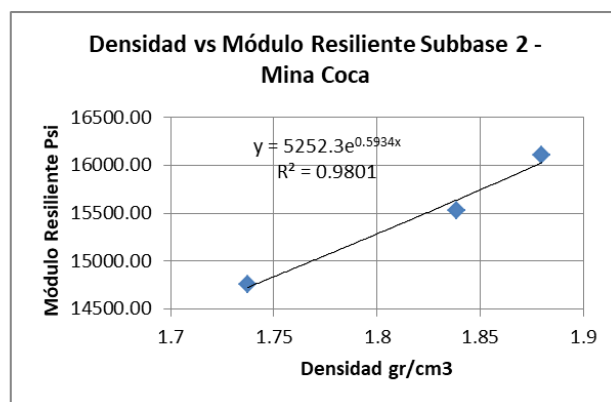
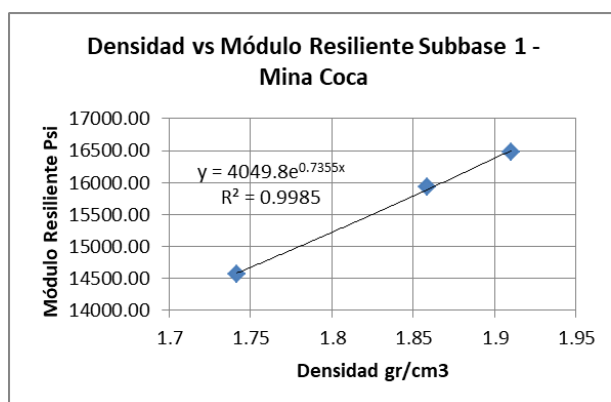


Ilustración 5.1 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 1 y 2 - Mina Coca

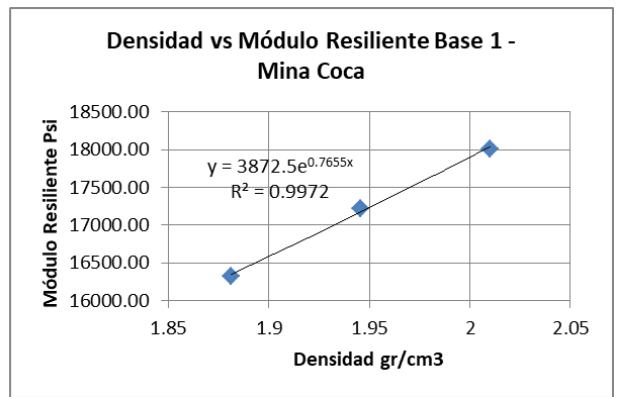
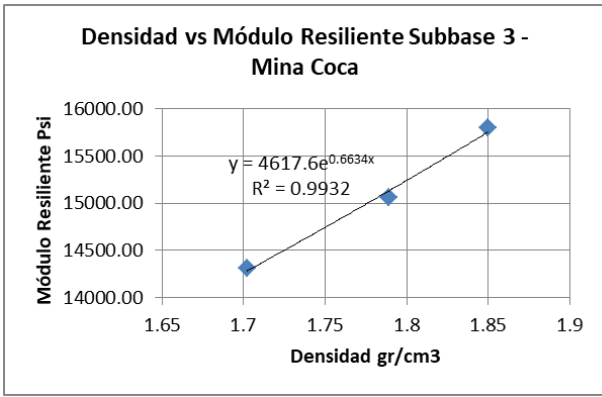


Ilustración 5.2 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 3 y Base 1 - Mina Coca

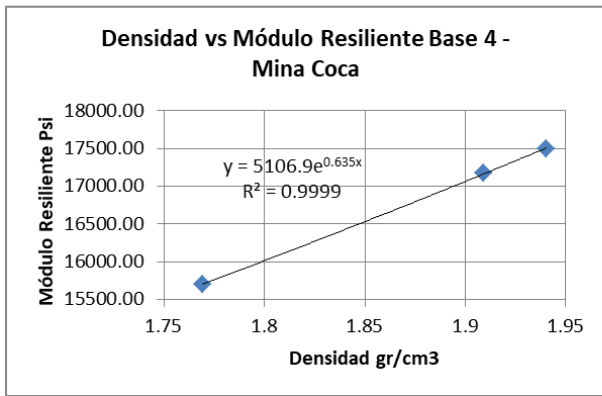
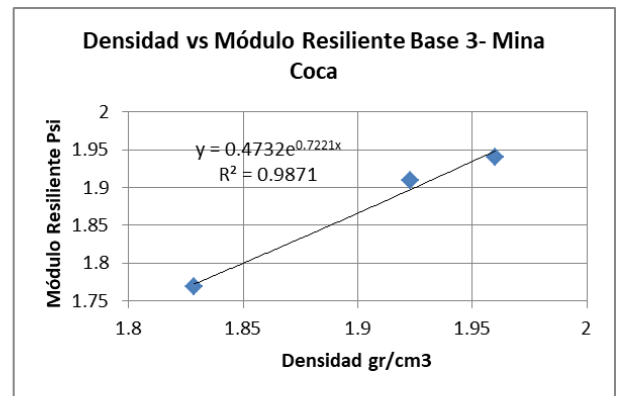
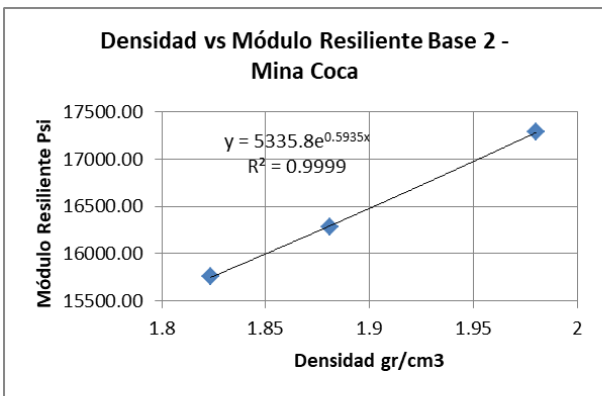


Ilustración 5.3 Densidad vs Módulo Resiliente Bases 2, 3 y 4 - Mina Coca

Tabla 5.2 Resultados del Ensayo de Módulo de Young - Mina Macas

GeoGauge H 4140 - Mina Macas					
Material	Ensayo	Módulo de Young (Mpa)	% de Compactación	Densidad (gr/cm3)	Módulo Resiliente (Psi)
Subbase 1	1	95.47	93.4	1.78394	13844.39
	2	97.25	96.8	1.84888	14102.52
	3	103.29	100	1.91	14978.40
Subbase 2	1	96.27	92.1	1.73148	13960.40
	2	102.39	98.6	1.85368	14847.88
	3	105.47	100	1.88	15294.52
Subbase 3	1	92.09	93.2	1.7242	13354.25
	2	98.36	97.8	1.8093	14263.48
	3	101.58	100	1.85	14730.42
Base 1	1	117.85	91.5	1.83915	17089.79
	2	124.92	95.8	1.92558	18115.03
	3	130.88	100	2.01	18979.31
Base 2	1	114.07	93.7	1.85526	16541.64
	2	117.62	96.2	1.90476	17056.43
	3	122.87	100	1.98	17817.75
Base 3	1	121.03	94.7	1.85612	17550.93
	2	122.78	96	1.8816	17804.70
	3	129.84	100	1.96	18828.49
Base 4	1	112.94	90.4	1.75376	16377.77
	2	120.44	97.5	1.8915	17465.37
	3	125.02	100	1.94	18129.53

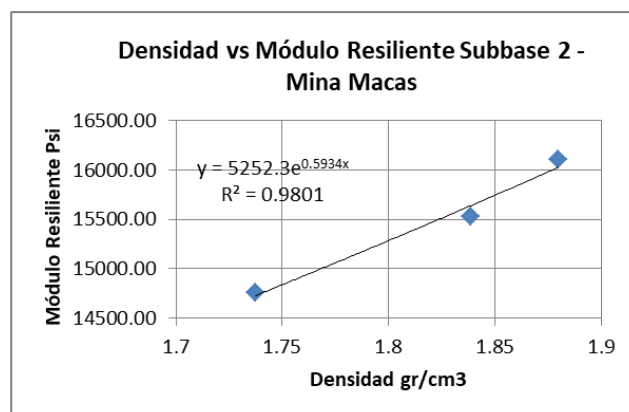
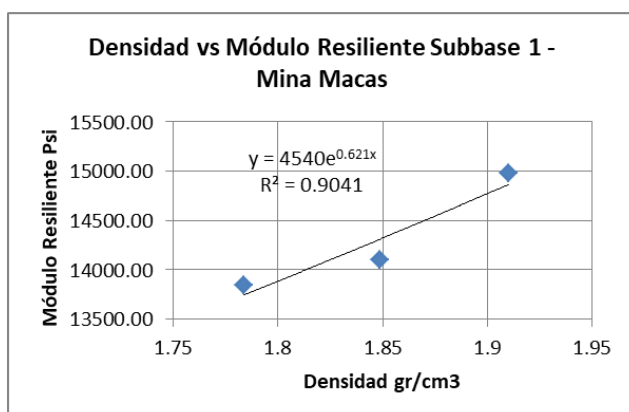


Ilustración 5.4 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 1 y 2 - Mina Macas

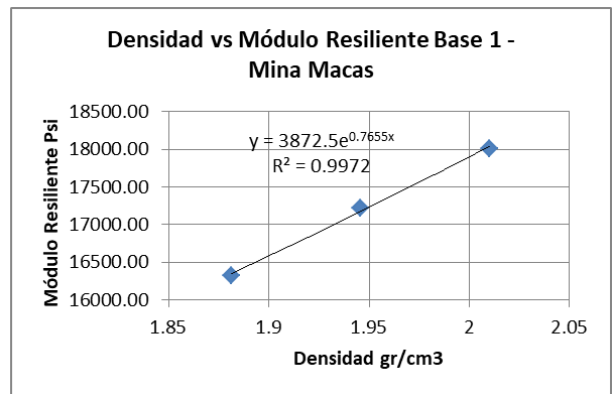
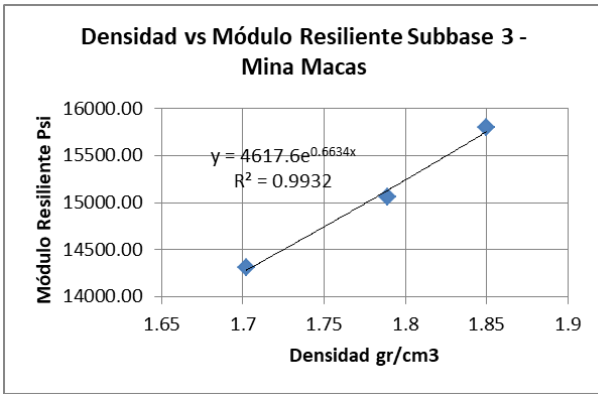


Ilustración 5.5 Densidad vs Módulo Resiliente Subbases 3 y Base 1 - Mina Macas

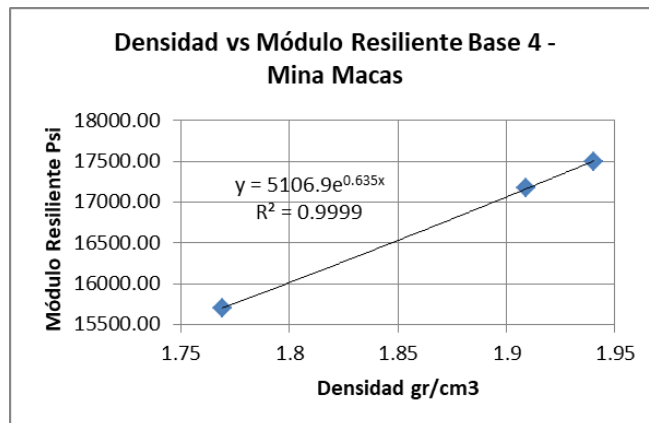
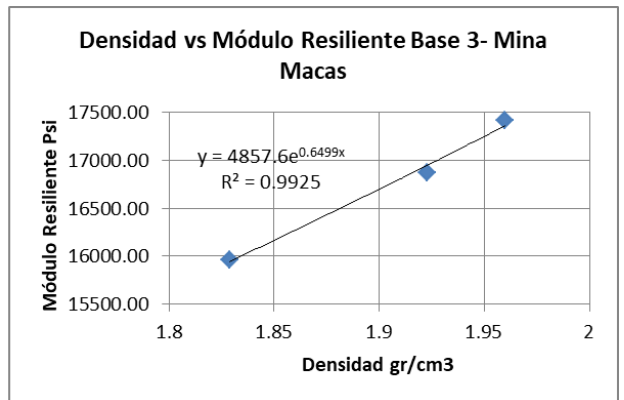
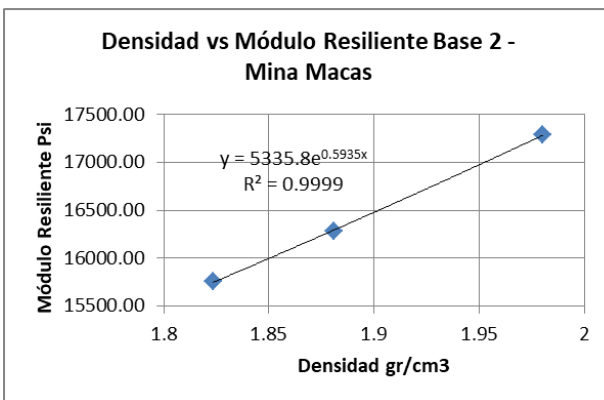


Ilustración 5.6 Densidad vs Módulo Resiliente Bases 2, 3 y 4 - Mina Macas

5.2. Parámetros de diseño de pavimento flexible con C.B.R. y Módulo Resiliente (AASHTO 1993)

En el presente estudio se han adoptado los siguientes valores respecto del diseño del pavimento, vistos en los siguientes puntos.

5.2.1. TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual)

Los valores presentados se obtienen en base a un conteo.

Tabla 5.3 Tráfico Promedio Anual

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

FUENTE: VILLAFUERTE BERMÚDEZ, L. E., & ORTEGA CALLE, K. G. (2015). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA SUELOS DE TIPO LIMO ARENOSO. QUITO, ECUADOR.

5.2.2. Nivel de Confianza

Tabla 5.4 Nivel de Confianza

Clasificación Funcional	Nivel de confianza recomendados	
	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

En base a la tabla presentada se adoptará un $C = 90\%$

5.2.3. Desviación Estándar

Tabla 5.5 Desviación Estándar

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

El valor de S_0 adoptado es 0.44

5.2.4. Distribución del Tráfico

“Se determina la distribución de tráfico de la vía. Para esto se necesita conocer el valor del TPDA y tener en cuenta el número de contadores, al tener un solo contador para ambos sentidos se toma el 50% del TPDA, y si se tiene dos contadores uno para cada sentido se toma el 100% del mayor TPDA entre los dos sentidos.” (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015)

Distribución de tráfico (D_t) = 50%

$D_t = 0.5$

5.2.5. Periodo de Diseño

Este aspecto es definido por el contratante, para el presente estudio se ha adoptado el valor de $n = 10$ años

5.2.6. Tasa de Crecimiento

Valor adoptado $i = 3\%$

5.2.7. Vehículo Tipo

Se han asignado los siguientes de la tabla adjunta

CUADRO DEMOSTRATIVO DEL TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)				
				Largo	Ancho	Alto		
2 D			7	5,00	2,60	3,00		
2DA			10	7,50	2,60	3,50		
2DB			18	12,20	2,60	4,10		
3-A			27	12,20	2,60	4,10		
4-C			31	12,20	2,60	4,10		
4-D			32	12,20	2,60	4,10		
V2DB			18	12,20	2,60	4,10		

Ilustración 5.7 Tipo de Vehículos motorizados, remolques y semirremolques

FUENTE: 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.

5.2.8. TPDA Final

$$TPDA \text{ final} = TPDAo \times (1 + i)^n$$

Tabla 5.6 TPDA Final

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

5.2.9. Factor de Carga

Para eje simple: $F_{ss} = \left(\frac{L_{ss}}{6.6}\right)^4$

Para eje doble: $F_{sd} = \left(\frac{L_{sd}}{8.2}\right)^4$

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

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Tabla 5.7 Factor de carga 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
			FCE	2.22

5.2.10. Número de Ejes de 8.2 Ton

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

$$N(8.2T) = 1.56 \times 10^6$$

5.2.11. Subrasante

Se asume un valor de CBR = 11%

$$Mr\ (psi) = 2555 \times C.B.R.^{0.64}$$

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

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

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

5.2.12. Pérdida por Serviciabilidad

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

Pt valores entre: 5 – 4 Muy bueno

4 – 3 Bueno

3 – 2 Regular----- **Pt = 2.2**

2 – 1 Malo

1 – 0 Muy malo

$$PSI = Po - PT$$

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

5.2.13. Número estructural por capa

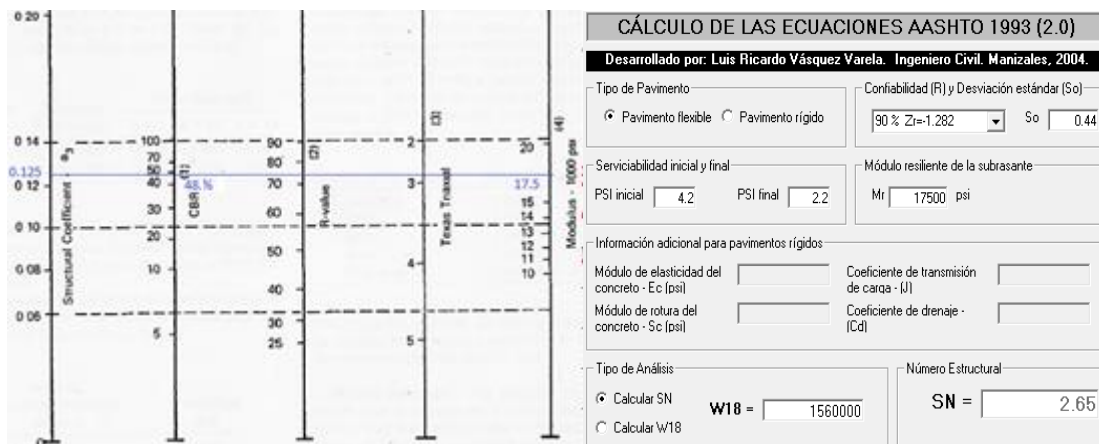
$$SN = 3.14$$

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

5.3. Cálculo de espesores de la estructura del pavimento con CBR

Subbase Clase 1 – Mina Coca

% CBR = 48

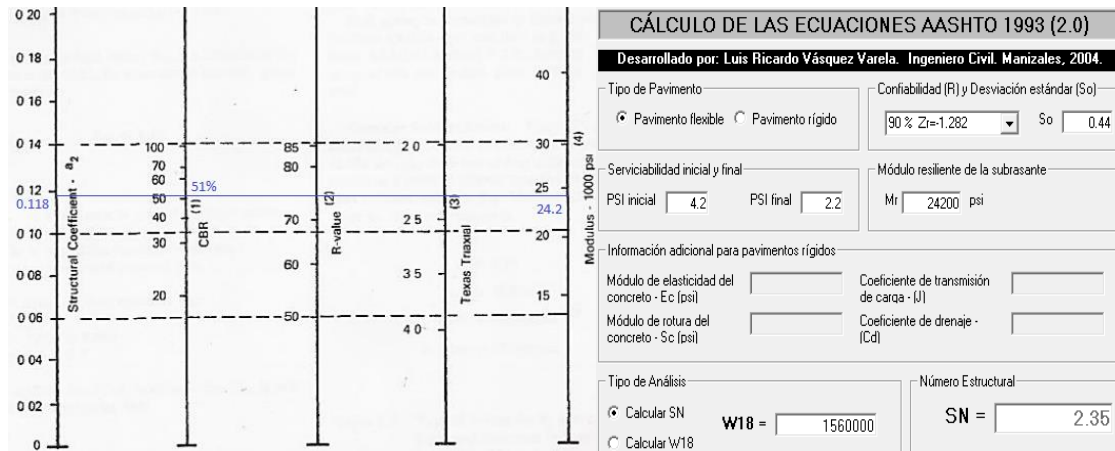


$$Mr = 17500 ; a_3 = 0.125 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.049 \text{ cm} ; SN = 2.65 ; m = 1$$

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Base Clase 1 – Mina Coca

% CBR = 51%

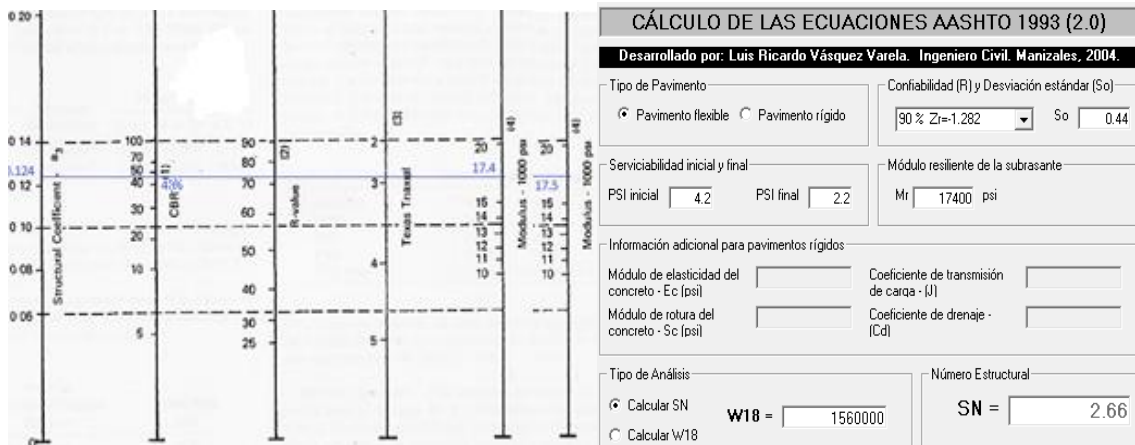


Mr = 24200 ; a₂ = 0.118 pulg / 2.54 cm = 0.0465 cm ; SN = 2.35 ; m = 1

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Subbase Clase 1 – Mina Macas

% CBR = 48%

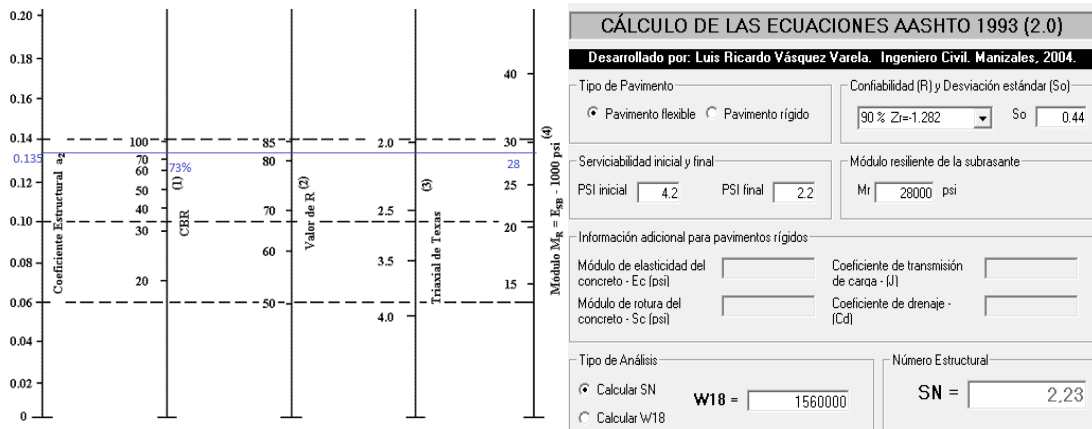


Mr = 17400 ; a₃ = 0.124 pulg / 2.54 cm = 0.0488 cm ; SN = 2.66 ; m = 1

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Base Clase 1 – Mina Macas

% CBR = 73%

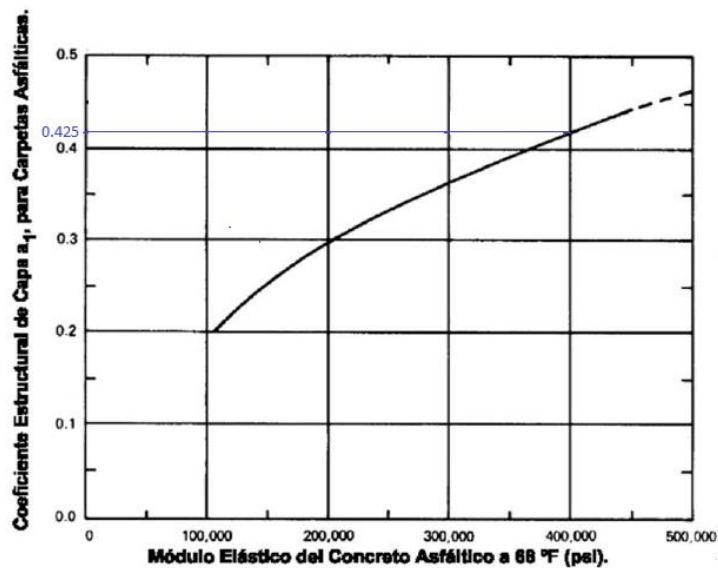


Mr = 28000 ; a2 = 0.135 pulg / 2.54 cm = 0.053 cm ; SN = 2.23 ; m = 1

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Carpeta Asfáltica

En nuestro país, el Módulo Resiliente para la carpeta debe ser de 400,000 Psi



a1 = 0.43 pulg / 2.54 cm = 0.169 cm

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

5.3.1. Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Coca

Carpeta Asfáltica

$$D1 = \frac{2.35}{0.169 * 1} = 13.91 \approx \mathbf{12.5\ cm}$$

$$SN\ real = 12.5 * 0.169 * 1 = \mathbf{2.113}$$

Base Clase 1 – Mina Coca

$$D2 = \frac{2.65 - 2.113}{0.0465 * 1} = 11.54 \approx \mathbf{10\ cm}$$

$$SN\ real = 10 * 0.0465 * 1 = \mathbf{0.465}$$

Subbase Clase 1 – Mina Coca

$$D3 = \frac{3.14 - 2.113 - 0.465}{0.049 * 1} = 11.47 \approx \mathbf{15\ cm}$$

$$SN\ real = 15 * 0.049 * 1 = \mathbf{0.735}$$

$$2.113 + 0.465 + 0.735 > 3.14$$

$$\mathbf{3.31 > 3.14\ OK}$$

5.3.2. Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Macas

Carpeta Asfáltica

$$D1 = \frac{2.23}{0.169 * 1} = 13.19 \approx \mathbf{12.5\ cm}$$

$$SN\ real = 12.5 * 0.169 * 1 = \mathbf{2.113}$$

Base Clase 1 – Mina Macas

$$D2 = \frac{2.66 - 2.113}{0.053 * 1} = 10.32 \approx \mathbf{10\ cm}$$

$$SN\ real = 10 * 0.053 * 1 = \mathbf{0.53}$$

Subbase Clase 1 – Mina Macas

$$D3 = \frac{3.14 - 2.113 - 0.53}{0.0488 * 1} = 10.18 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN_{real} = 15 * 0.0488 * 1 = 0.732$$

$$2.113 + 0.53 + 0.732 > 3.14$$

$$3.38 > 3.14 \text{ OK}$$

5.3.3. Resultados del diseño de la estructura por CBR

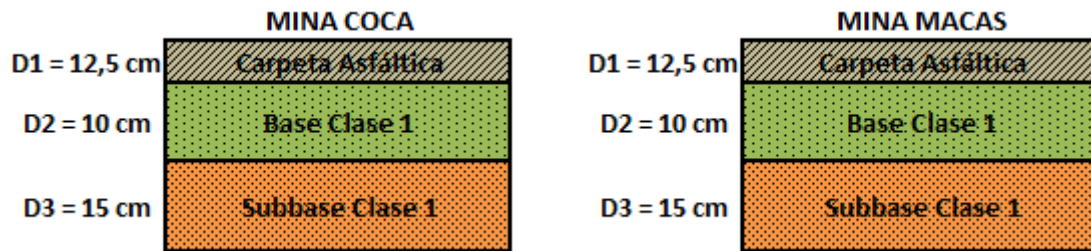
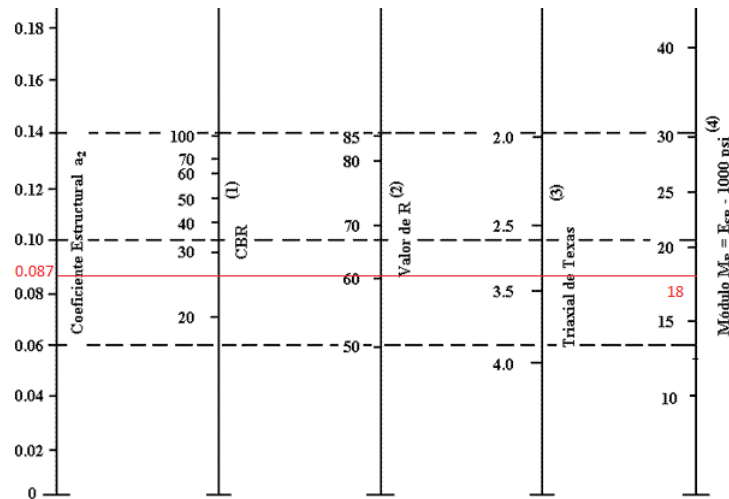


Ilustración 5.8 Resultados del diseño de la estructura por CBR

5.4. Cálculo de los espesores por medio de la correlación obtenida del ensayo GeoGauge H-4140

Base Clase 1 – Mina Coca

MR =1800



$$a_2 = 0.087 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.0342$$

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

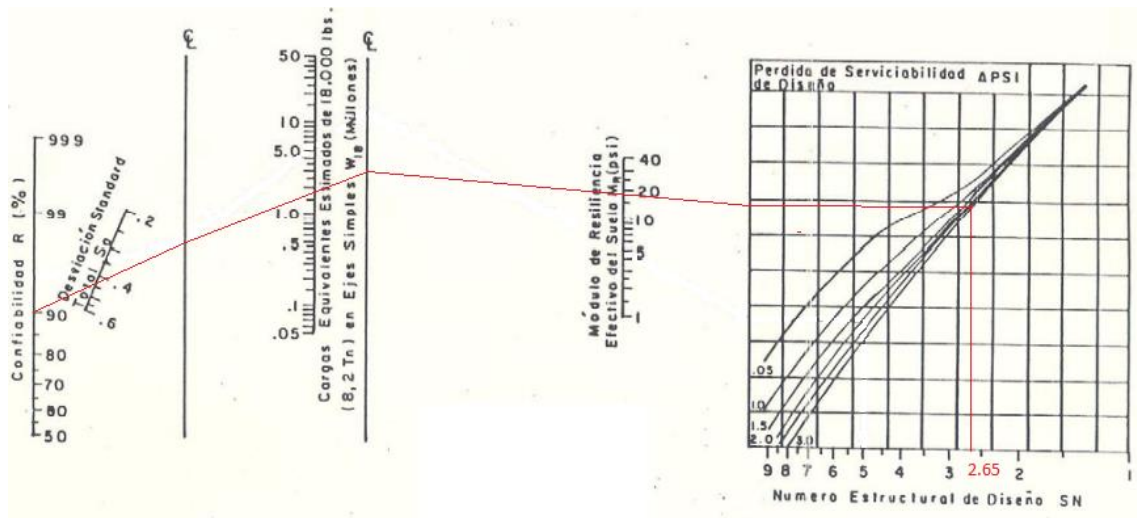
CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)	
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value="0.44"/>
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.0"/>	Módulo resiliente de la subrasante Mr <input type="text" value="18000"/> 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 W18 = <input type="text" value="1560000"/> <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural SN = <input type="text" value="2.60"/>

$$SN = 2.60$$

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Datos para el Nomograma:

$C = 90\%$; $S_o = 0.44$; $N(8,2)T = 1.56 \times 10^6$; $M_r 18000$; Pérdida Serv. = 2

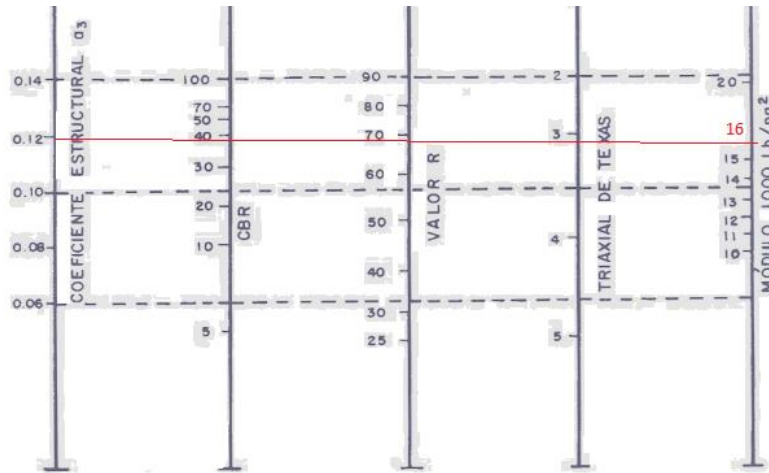


SN = 2.65

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Subbase Clase 1 – Mina Coca

MR= 16500



a3 = 0.12 pulg / 2.54 cm = 0.0472 cm

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

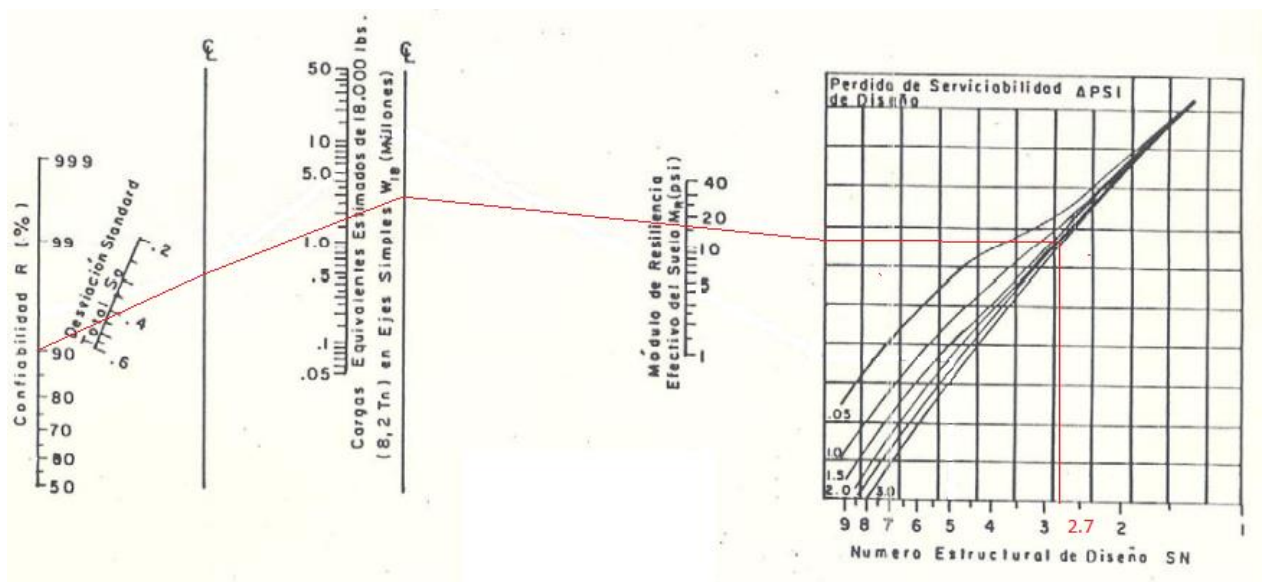
CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)	
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiability (R) y Desviación estándar (So) 90 % $Z_r = -1.282$ So <input type="text" value="0.44"/>
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.0"/>	Módulo resiliente de la subrasante Mr <input type="text" value="16500"/> psi
Información adicional para pavimentos rígidos	
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) <input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/>
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = <input type="text" value="1560000"/>	Número Estructural SN = <input type="text" value="2.68"/>
<input type="radio"/> Calcular W18	

SN = 2.68

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Datos para el Nomograma:

C = 90 % ; So = 0.44 ; N(8,2)T = 1.56 x 10⁶ ; Mr 16500 ; Pérdida Serv. = 2

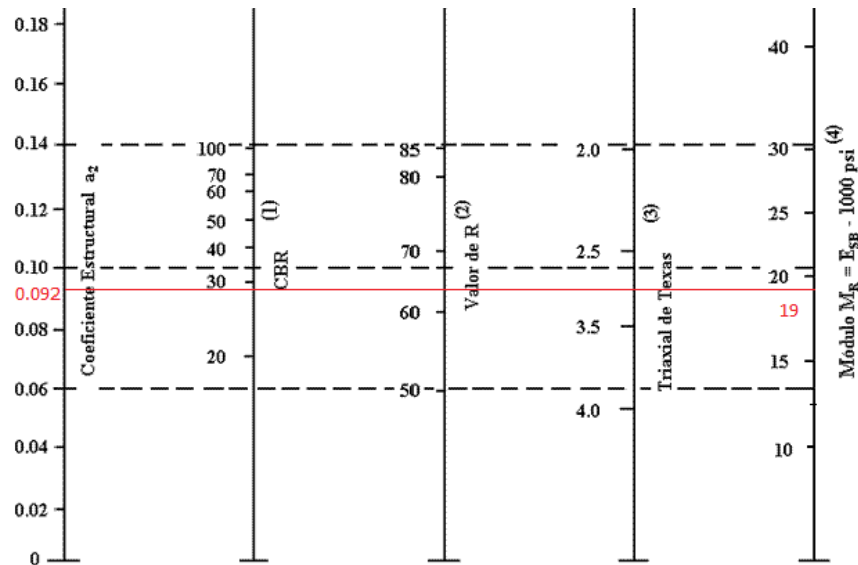


SN = 2.7

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Base Clase 1 – Mina Macas

MR = 19000



$.a_2 = 0.092 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.036 \text{ cm}$

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)

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

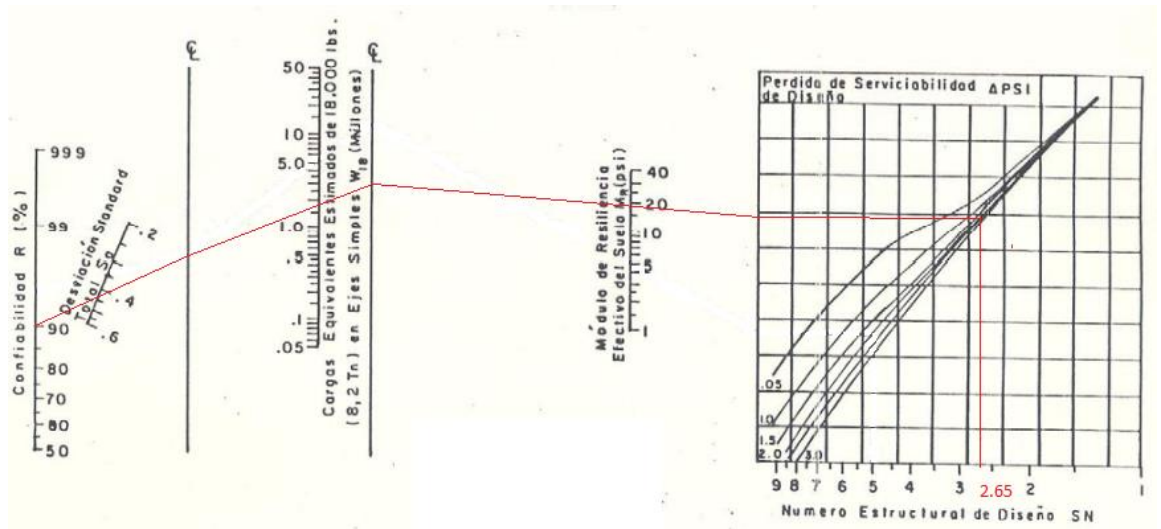
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 90 % $Z_r = -1.282$ $S_o = 0.44$
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial <input type="text" value="4.2"/> PSI final <input type="text" value="2.0"/>	Módulo resiliente de la subrasante Mr <input type="text" value="19000"/> psi
Información adicional para pavimentos rígidos Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) <input type="text"/> Coeficiente de transmisión de carga - (J) <input type="text"/> Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) <input type="text"/> Coeficiente de drenaje - (Cd) <input type="text"/>	
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = <input type="text" value="1560000"/> <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural SN = <input type="text" value="2.55"/>

SN = 2.55

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Datos para el Nomograma:

$C = 90\%$; $S_o = 0.44$; $N(8,2)T = 1.56 \times 10^6$; $M_r 19000$; Pérdida Serv. = 2

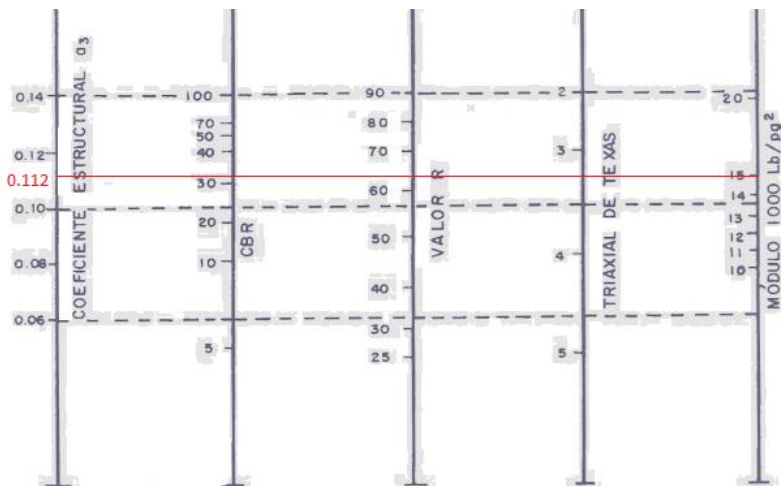


SN = 2.65

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Subbase Clase 1 – Mina Macas

MR = 15000



a₃ = 0.0112 pulg / 2.54 cm = 0.044 cm

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

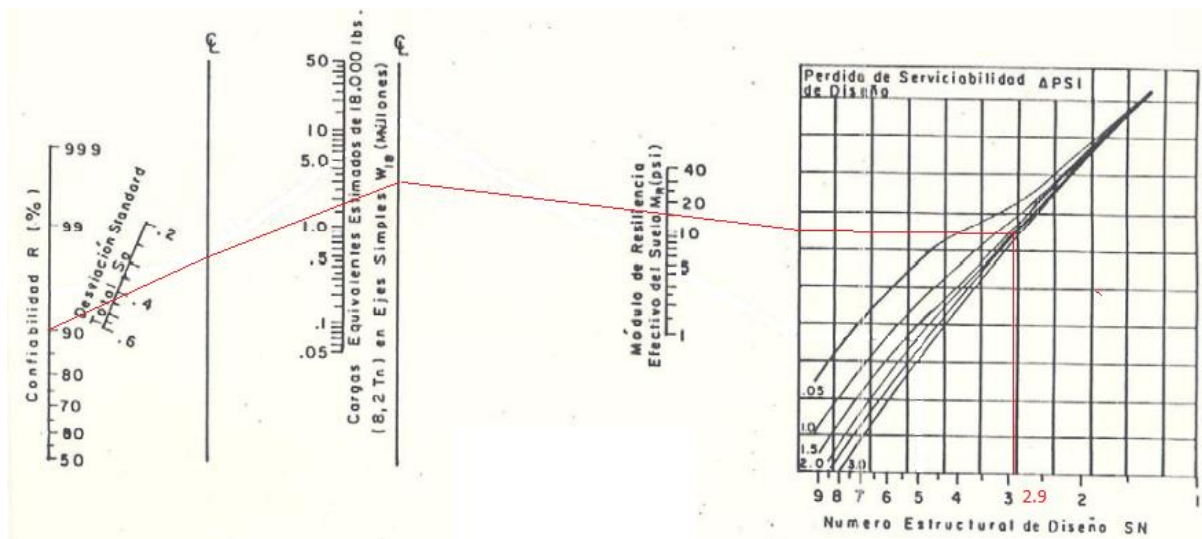
CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)	
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 90 % Zr=-1.282 So 0.44
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2.0	Módulo resiliente de la subrasante Mr 15000 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 <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = 1560000 <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural SN = 2.78

SN = 2.78

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

Datos para el Nomograma:

C = 90 % ; So = 0.44 ; N(8,2)T = 1.56 x 10⁶ ; Mr 15000 ; Pérdida Serv. = 2



SN = 2.9

FUENTE: AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (4TH EDITION). ESTADOS UNIDOS.

5.4.1. Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Coca

Carpeta Asfáltica

$$D1 = \frac{2.6}{0.169 * 1} = 15.38 \approx 12.5 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 12.5 * 0.169 * 1 = 2.113$$

Base Clase 1 – Mina Coca

$$D2 = \frac{2.68 - 2.113}{0.0342 * 1} = 16.57 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 15 * 0.0342 * 1 = 0.513$$

Subbase Clase 1 – Mina Coca

$$D3 = \frac{3.14 - 2.113 - 0.513}{0.0472 * 1} = 10.88 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 15 * 0.0472 * 1 = 0.708$$

$$2.113 + 0.513 + 0.94 > 3.14$$

$$3.33 > 3.14 \text{ OK}$$

5.4.2. Espesores de la Capa del Pavimento – Mina Macas

Carpeta Asfáltica

$$D1 = \frac{2.55}{0.169 * 1} = 15.09 \approx 12.5 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 12.5 * 0.169 * 1 = 2.113$$

Base Clase 1 – Mina Macas

$$D2 = \frac{2.66 - 2.113}{0.036 * 1} = 15.19 \approx 15 \text{ cm}$$

$$SN \text{ real} = 15 * 0.036 * 1 = 0.54$$

Subbase Clase 1 – Mina Macas

$$D3 = \frac{3.14 - 2.113 - 0.54}{0.044 * 1} = 11.06 \approx 15\text{cm}$$

$$SN \text{ real} = 15 * 0.044 * 1 = 0.66$$

$$2.113 + 0.54 + 0.66 > 3.14$$

$$3.31 > 3.14 \text{ OK}$$

5.4.3. Espesores por resultados de GeoGauge H-4140 de la estructura

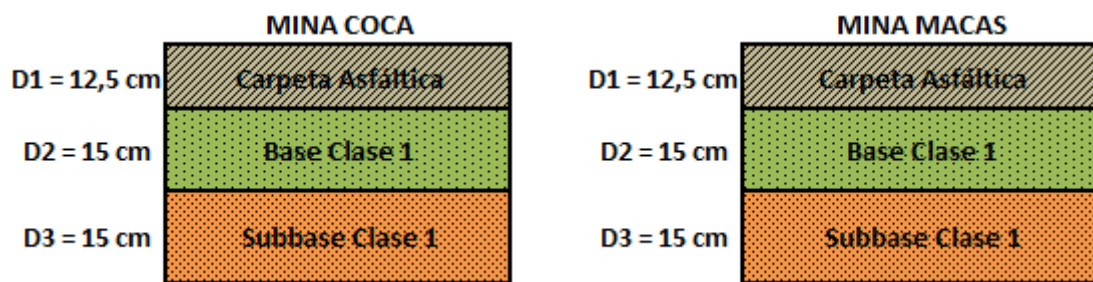
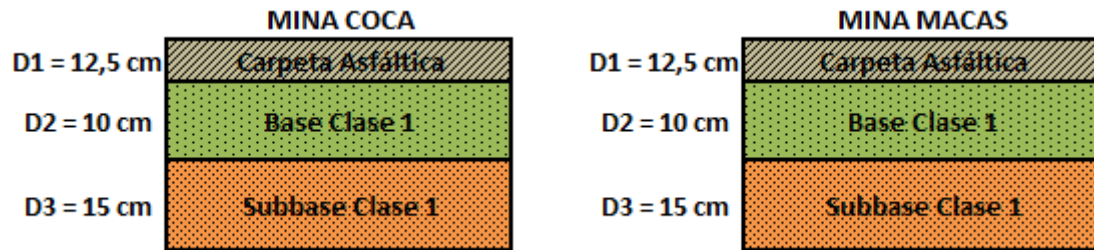


Ilustración 5.9 Resultados del diseño de la estructura por GeoGauge

5.5. Comparación de espesores por los dos métodos.

A partir de CBR



A partir de Módulo Resiliente (GeoGauge H-4140)

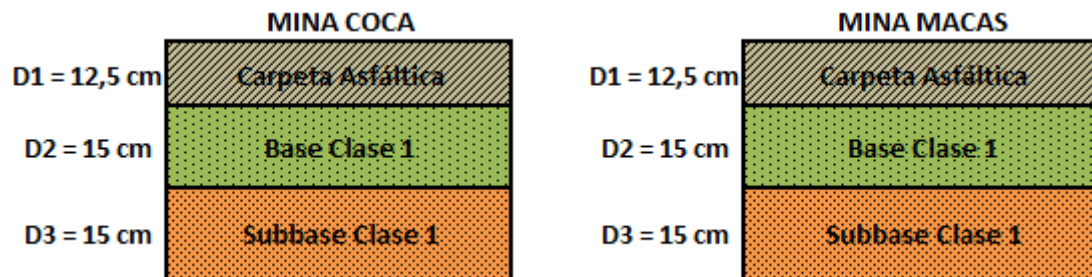


Ilustración 5.10 Comparación de espesores por los dos métodos

6. CONCLUSIONES

- Para diseño de la estructura del pavimento por el método AASHTO 1993 se relaciona el C.B.R. con el Módulo Resiliente por medio de fórmulas empíricas para la obtención de los espesores de las capas que conforman el pavimento, estas correlaciones para las minas en estudio resultan en espesores menores con diferencia de 5 centímetros para la mina de Macas y 5 centímetros para la mina del Coca , con lo cual se puede concluir que por este método se obtienen espesores que están acordes a las características del material, pudiéndose así ejecutar proyectos viales con menor costo y tiempo de entrega.
- Los espesores de la estructura del pavimento obtenidos por la correlación Módulo de Young y Módulo Resiliente resultan mayores que los obtenidos por el método AASHTO 1993, esto significa que a pesar de haber cumplido las condiciones para el ensayo de GeoGauge la correlación entre el Módulo Resiliente y el Módulo de Young no resulta tan precisa puesto que el ensayo de Módulo Resiliente le imprime cargas en 3 direcciones a la muestra, mientras que GeoGauge nos da un valor en una sola dirección.
- La correlación existente entre el Módulo Resiliente y el CBR nos permite de manera rápida y eficaz obtener espesores capas de la estructura, evitando así, hacer ensayos de Módulo Resiliente que en nuestro medio tienen un alto costo y se debe realizar con máquinas y personal especializado.
- Los valores de CBR para subbases de la mina del Coca están entre 47% y 50%, valores los cuales son aceptables para el CBR mínimo para subbases que permite el MTOP que es de 35% para todas las subbases. Mientras que para bases los valores están entre 47% y 52%, lo cual nos permite concluir que para bases este material no sería apto puesto que el MTOP establece que el mínimo

CBR para todas las bases es de 65%, esto se puede corroborar ya que en el agregado fino hay presencia de limos que le restan resistencia al material.

- Los valores de CBR para subbases de la mina del Macas están entre 40% y 59%, valores los cuales son aceptables para el CBR mínimo para subbases que permite el MTOP que es de 35% para todas las subbases. Mientras que para bases los valores están entre 68% y 76%, lo cual nos permite concluir que para bases este material sí es apto puesto que el MTOP establece que el mínimo CBR para todas las bases es de 65%.
- Para el diseño de la estructura del pavimento se han tomado los valores promedio de los CBR reportados a 0.1 y 0.2 pulgadas de deformación, esto debido a que el material pasa los ensayos de caracterización obteniendo resultados favorables para la utilización de estos materiales en proyectos viales.
- Los resultados de la caracterización de los materiales nos muestran que para la mina del Coca y para la mina de Macas se tienen valores de desgaste del 29% y 31% respectivamente los cuales son valores muy aceptables ya que la norma ASTM C-131 y la INEN 861-860 establecen un mínimo del 50%.

7. RECOMENDACIONES

- Para la extracción de muestras se recomienda hacer una inspección de la mina y determinar el lugar más representativo puesto que el material puede variar dependiendo de la zona de extracción, factores climáticos de la zona, forma de acopio del material, entre otros aspectos que puedan afectar a la correcta caracterización de la mina.
- Será necesario realizar una estimación de la cantidad de material que se va a necesitar para realizar todos los ensayos de caracterización, Proctor Modificado,

CBR, y de GeoGauge para evitar un segundo abastecimiento que ocasione que los resultados posteriores difieran de los iniciales.

- Para el ensayo de Proctor Modificado es necesario que durante el ensayo se controle que la densidad baje de valor en la última compactación ya que sin este aspecto no se podrá dibujar bien la curva de compactación.
- Se recomienda que antes de realizar la compactación para en ensayo de GeoGauge se compacte la subrasante existente con el fin de evitar que los valores proporcionados por la máquina estén influenciados por una subrasante con menor módulo elástico.

8. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C142-97 - Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados. West Conshocken, 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 C702 - Reducción de muestras a tamaños de ensayo. West Conshohocken, Estados Unidos.
- ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88 - Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.
- ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D1557 - Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctro Modificado). West Conshohocken, Estados Unidos.
- ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D1883 - Standard Test Method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken, Estados Unidos.
- ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D2487-17 - Standar Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, Estados Unidos.
- ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D75 - Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo. West Conshohocken, Estados Unidos.
- Güemes, A., & Martín, N. (2012). *Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Shanley, F. (1971). *Mechanics of Materials*. Buenos Aires: McGraww-Hill Book Company, Inc. .
- Villafuerte Bermúdez, L., & Ortega Calle, K. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso*. Quito.

9. ANEXOS

9.1. Fotos de la realización de los ensayos de caracterización



Fotografía 9.1 Tamizado del material



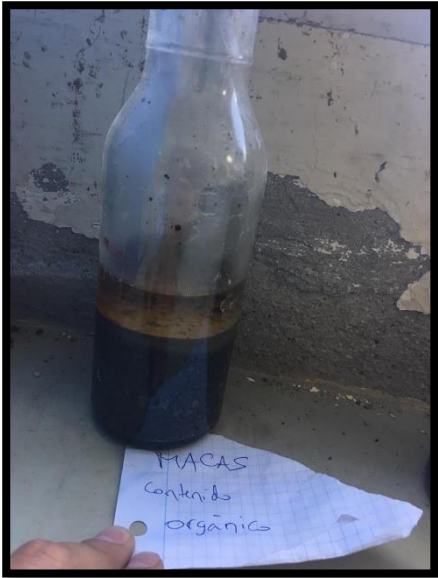
Fotografía 9.2 Terrones de arcilla



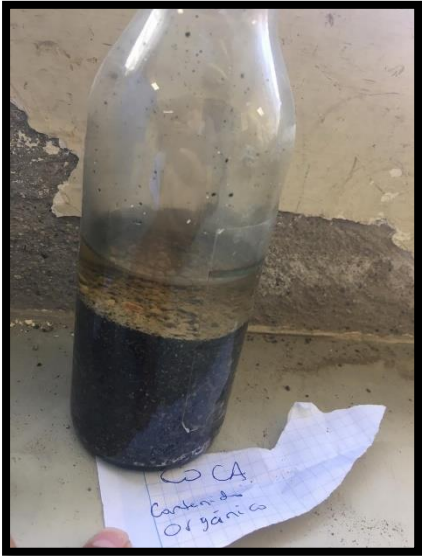
Fotografía 9.3 Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos



Fotografía 9.4 Gravedad Especifica



Fotografía 9.5 MACAS



9.2. Fotos de la realización de los ensayos del C.B.R.



Fotografía 9.7 Compactación del



Fotografía 9.8 Compactación del Material para CBR



Fotografía 9.9 Ensayo de CBR



Fotografía 9.10 Colocación para saturación de muestras

9.3. Fotos de la realización de los ensayos de GeoGauge



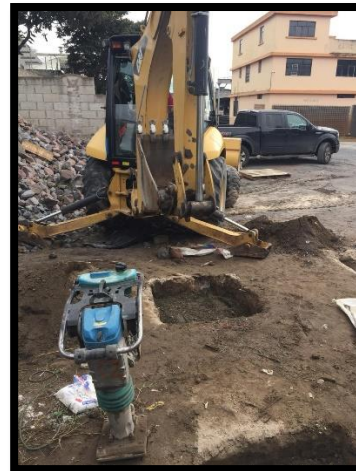
Fotografía 9.11 Excavación del cajón



Fotografía 9.12 Compactación de la subrasante con apisonador manual



Fotografía 9.13 Compactación de la subrasante con vibro apisonador



Fotografía 9.14 Vista del cajón para GeoGauge



Fotografía 9.15 Ensayo del GeoGauge