



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA Y
CEMENTO PORTLAND EN SUELOS DE SUBBASE CLASE 3”

AUTORA: Mara Alexandra Flores Curay

TUTORA: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

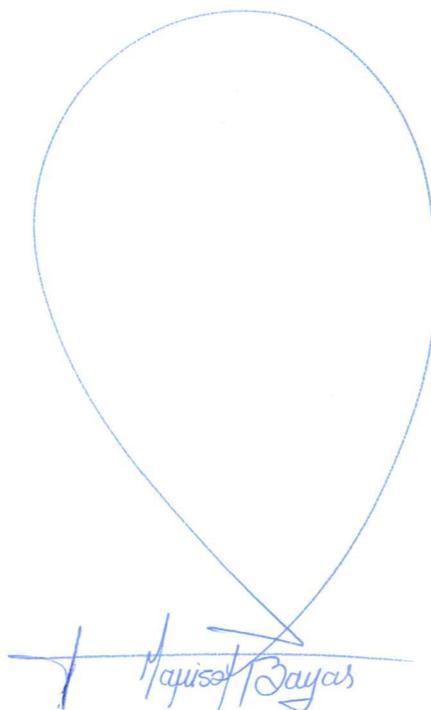
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema “ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND EN SUELOS DE SUBBASE CLASE 3”, elaborado por la Srta. Mara Alexandra Flores Curay, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 0503004467, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....
Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mara Alexandra Flores Curay, con C.I. 0503004467 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND EN SUELOS DE SUBBASE CLASE 3”**, así como también las ideas, criterios, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Mara Alexandra Flores Curay

C.I. 0503004467

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



Mara Alexandra Flores Curay

C.I. 0503004467

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por la estudiante Mara Alexandra Flores Curay, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND EN SUELOS DE SUBBASE CLASE 3”**

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:

Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres José Flores y Targelia Curay que supieron entregar todo su apoyo y sacrificio durante 23 años. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A toda mi familia en especial mis tíos Enrique y Blanca Flores este logro no solo es mío, sino también de ustedes, que esta dedicación sea un pequeño reconocimiento a la importancia de su presencia en mi vida y a la profunda gratitud que siento por cada uno de ustedes.

A mis padres postizos como los suelo llamar Marco Alarcón y Martha Zapata, quienes ha dejado una huella imborrable en mi vida, guiándome con su sabiduría, alentándome con su amor incondicional y brindándome fuerzas en los momentos de desafío.

A ustedes, mis amigos esta tesis es tanto mía como suya, porque cada uno de ustedes ha dejado una marca indeleble en mi corazón y en mi trayectoria académica. Que esta dedicatoria sea un pequeño homenaje a la amistad que nos une y a la gratitud eterna que siento hacia cada uno de ustedes.

Con amor y agradecimiento infinito,

Mara Flores

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por ser la fuente de sabiduría y experiencia que siempre he admirado, gracias por inspirarme con su ejemplo de perseverancia y determinación.

A mis tíos, tías, primos y demás familiares, por su cariño, sus palabras de aliento y sus buenos deseos, gracias por formar parte de este camino y por celebrar conmigo cada pequeño logro.

A mis queridos amigos que han estado a mi lado desde el principio, desde los días de clases hasta las largas noches de estudio, Oscar, Jairo, Bryan y Mateo quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su constante apoyo y ánimo durante este emocionante pero desafiante viaje académico. Sus palabras de aliento, su comprensión y su compañerismo han sido un verdadero bálsamo en los momentos de estrés y agobio. Además, un agradecimiento especial a Giannella, Lesly y Emilio cada uno de ustedes, por estar siempre dispuestos a escuchar mis preocupaciones, a compartir mis alegrías y a brindarme su inquebrantable amistad, les agradezco de corazón por formar parte de este camino hacia la culminación de esta tesis.

Quiero expresar mi gratitud a mi docente tutor, la Ing. Marisol Bayas muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite; por estar allí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas. Gracias por sus orientaciones.

También me gustaría agradecer al Ing. Favio Portilla por su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado tan fácil. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan.

Mara Flores

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	6
2.1. Materiales	6
2.2. Métodos.....	8
2.2.1 Fase I: Determinación de propiedades físicas – mecánicas del suelo....	8
2.2.2 Fase II: Análisis de valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR	19

2.2.3	Fase III: Comparación de las características de las subbases clase 3 con los métodos de estabilización.....	21
2.2.4	Fase VI: Diseño de pavimento flexible.....	22
2.2.5	Fase V: Análisis Económico	30
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
3.1.	Análisis y discusión de los resultados	31
3.1.1.	Determinación de propiedades físicas – mecánicas del suelo.....	31
3.1.2.	Análisis de valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR	34
3.1.3.	Comparación de las características de las subbases clase 3 con los métodos de estabilización	41
3.1.4.	Diseño de pavimento flexible.....	43
3.1.5.	Análisis económico	56
3.2.	Verificación de hipótesis	58
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		59
4.1.	Conclusiones.....	59
4.2.	Recomendaciones.....	60
MATERIAL DE REFERENCIA		61
Referencia bibliográfica		61
Anexos		65
Anexo A Ensayos de Laboratorio		65
Anexo B Análisis Económico		105
Anexo C Registro Fotográfico		114
Anexo D Fichas Técnicas.....		123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Mina "Las Viñas"	6
Figura N° 2. Empresa Impetk – Chova	6
Figura N° 3. Peso de muestra en la balanza.....	8
Figura N° 4. Muestra en el horno de 110°C.....	8
Figura N° 5. Granulometría (árido grueso).....	9
Figura N° 6. Granulometría (árido fino).....	9
Figura N° 7. Límite Líquido	12
Figura N° 8. Límite Plástico	12
Figura N° 9. Gravedad específica (árido fino).....	13
Figura N° 10. Árido grueso y fino secos (horno).....	13
Figura N° 11. Muestras a ensayar	15
Figura N° 12. Clasificación visual	15
Figura N° 13. Árido (ensayo de abrasión)	16
Figura N° 14. Cribado por el tamiz N°12	16
Figura N° 15. Proctor Modificado	19
Figura N° 16. Ensayo de CBR	19
Figura N° 17. Peso del suelo para 5%EM.....	20
Figura N° 18. Suelo mezclado con EM	20
Figura N° 19. Suelo con cemento portland.....	21
Figura N° 20. Suelo + CP + EM	21
Figura N° 21. Ábaco para el coeficiente estructural – carpeta asfáltica (a ₁)	26
Figura N° 22. Ábaco para el coeficiente estructural – base granular (a ₂).....	27
Figura N° 23. Ábaco para el coeficiente estructural – subbase granular (a ₃)	27
Figura N° 24. Muestras de CP+EM saturadas después del ensayo de CBR.....	39
Figura N° 25. Número estructural requerido por la vía	46
Figura N° 26. Coeficiente estructural – carpeta asfáltica (a ₁)	47
Figura N° 27. Coeficiente estructural – base granular (a ₂)	48
Figura N° 28. Coeficientes estructurales – subbase (a ₃).....	48
Figura N° 29. Estructura del pavimento flexible (Diseño 1)	51
Figura N° 30. Estructura del pavimento flexible (Diseño 2)	53
Figura N° 31. Estructura del pavimento flexible (Diseño 3)	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Límites granulométricos para subbases	10
Tabla N° 2. Cantidades necesarias para el porcentaje de partículas fracturadas.....	14
Tabla N° 3. Límite de los ensayos para la subbase clase 3	19
Tabla N° 4. Porcentajes en peso con emulsión asfáltica	20
Tabla N° 5. Uso del suelo de acuerdo al valor de CBR	21
Tabla N° 6. Parámetros de diseño para el pavimento flexible	23
Tabla N° 7. Datos de tráfico.....	23
Tabla N° 8. Tasa de crecimiento vehicular	24
Tabla N° 9. Factor de daño en base al tipo de camión	25
Tabla N° 10. Criterios de diseño de mezclas Marshall	26
Tabla N° 11. Capacidad de drenaje.....	28
Tabla N° 12. Coeficientes de drenaje.....	28
Tabla N° 13. Espesores mínimos en función del tráfico	29
Tabla N° 14. Gravedad específica y capacidad de absorción de los agregados.....	32
Tabla N° 15. Propiedades mecánicas del suelo.....	34
Tabla N° 16. CBR del porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica (3%).....	36
Tabla N° 17. TPDA futuro (20años de proyección)	44
Tabla N° 18. Ejes equivalentes (W18) para el 2044	45
Tabla N° 19. Coeficientes estructurales para la subbase con y sin estabilizadores ..	49
Tabla N° 20. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 1	49
Tabla N° 21. Pavimento Flexible (Diseño 1)	50
Tabla N° 22. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 2.....	51
Tabla N° 23. Pavimento Flexible (Diseño 2)	52
Tabla N° 24. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 3	53
Tabla N° 25. Pavimento Flexible (Diseño 3)	54
Tabla N° 26. Espesores de las capas del pavimento	55
Tabla N° 27. Presupuesto (Diseño 1).....	56
Tabla N° 28. Presupuesto (Diseño 2).....	56
Tabla N° 29. Presupuesto (Diseño 3).....	57

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1. Curva de escurrimiento.....	11
Gráfica N° 2. Curva de compactación	17
Gráfica N° 3. Curvas de esfuerzo – penetración del ensayo de CBR.....	18
Gráfica N° 4. Análisis granulométrico del material de la mina “Las Viñas”	31
Gráfica N° 5. Porcentaje de caras fracturadas	33
Gráfica N° 6. Densidad seca máxima vs porcentaje de emulsión asfáltica	35
Gráfica N° 7. Proctor modificado de emulsión asfáltica	36
Gráfica N° 8. Proctor modificado de cemento portland (CP) + emulsión asfáltica (EM).....	37
Gráfica N° 9. Diagrama de esfuerzo vs penetración a 56 golpes de muestras saturadas.....	38
Gráfica N° 10. CBR del porcentaje de cemento portland (CP) + emulsión asfáltica (EM).....	40
Gráfica N° 11. Relación óptima CBR (5.7%CP+3%EM)	41
Gráfica N° 12. Humedad óptima con el porcentaje de estabilizador	42
Gráfica N° 13. Densidad seca máxima con el porcentaje de estabilizador.....	42
Gráfica N° 14. CBR con el porcentaje de estabilizador.....	43
Gráfica N° 15. Análisis económico	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Contenido de humedad	66
Anexo N° 2. Análisis granulométrico.....	67
Anexo N° 3. Límites de Atterberg - Límite Líquido	68
Anexo N° 4. Límites de Atterberg – Límite Plástico.....	69
Anexo N° 5. Gravedad específica del agregado fino.....	70
Anexo N° 6. Gravedad específica del agregado grueso.....	71
Anexo N° 7. Porcentaje de caras fracturadas.....	72
Anexo N° 8. Resistencia al desgaste a los áridos	72
Anexo N° 9. Proctor Modificado de la Subbase (estado natural).....	73
Anexo N° 10. Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica	74
Anexo N° 11. Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica	75
Anexo N° 12. Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica	76
Anexo N° 13. Proctor Modificado con 8% de Emulsión Asfáltica	77
Anexo N° 14. Proctor Modificado con 1,5% CP + 3% EM	78
Anexo N° 15. Proctor Modificado con 3% CP + 3% EM	79
Anexo N° 16. Proctor Modificado con 6% CP + 3% EM	80
Anexo N° 17. Proctor Modificado con 9% CP + 3% EM	81
Anexo N° 18. Proctor Modificado con 12% CP + 3% EM	82
Anexo N° 19. CBR con 0% CP + 0%EM (Con Saturación)	83
Anexo N° 20. CBR con 3% CP + 3%EM (Con Saturación)	85
Anexo N° 21. CBR con 6% CP + 3%EM (Con Saturación)	87
Anexo N° 22. CBR con 9% CP + 3%EM (Con Saturación)	89
Anexo N° 23. CBR con 0% CP + 0%EM.....	91
Anexo N° 24. CBR con 0% CP + 3%EM.....	93
Anexo N° 25. CBR con 1,5% CP + 3%EM.....	95
Anexo N° 26. CBR con 3% CP + 3%EM.....	97
Anexo N° 27. CBR con 6% CP + 3%EM.....	99
Anexo N° 28. CBR con 9% CP + 3%EM.....	101
Anexo N° 29. CBR con 12% CP + 3%EM.....	103
Anexo N° 30. Precio unitario de la carpeta asfáltica	106
Anexo N° 31. Precio unitario de la base granular.....	107

Anexo N° 32. Precio unitario de la subbase granular	108
Anexo N° 33. Precio unitario de la subbase más emulsión asfáltica.....	109
Anexo N° 34. Precio unitario de la subbase más emulsión asfáltica y cemento	110
Anexo N° 35. Cantidades requeridas	111
Anexo N° 36. Ficha técnica de emulsión asfáltica CSS-1h.....	124
Anexo N° 37. Ficha técnica de cemento portland	125

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio analizó el efecto que tiene un material granular como la subbase clase 3 al adicionar Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta tipo CSS-1h y Cemento Portland, con el objetivo de mejorar la capacidad portante de la subbase. Todo proyecto de ingeniería se asienta sobre el suelo, por lo cual este debe cumplir con parámetros mínimos, surgiendo la necesidad de estabilizar los suelos.

Se realizó el análisis de las propiedades físicas – mecánicas del material granular mediante ensayos de laboratorio, verificando que cumplen los criterios de aceptación del MTOP para una subbase clase 3; se analizaron los valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR de las muestras al agregar el 1, 3, 5 y 8 por ciento de emulsión asfáltica, determinando el porcentaje óptimo, se repitió el análisis de los valores, pero con porcentaje óptimo de emulsión asfáltica más los porcentajes de cemento portland de 3, 6, 9 y 12 por ciento. Con los resultados obtenidos, se desarrolló el diseño de pavimentos flexibles para el suelo en estado natural como para el estabilizado, con el fin de analizar y contrastar costos los cuales son afectados por los espesores de cada capa que constituye la estructura del pavimento.

Finalmente, la combinación de emulsión asfáltica en un 3 por ciento más el 5.7 por ciento de cemento portland, brindan hasta un 61.70 por ciento de estabilización del suelo mejorando notablemente su capacidad portante, comparando los resultados con los estabilizantes agregados.

Palabras clave: emulsión asfáltica, subbases, cemento portland, pavimento, suelos granulares.

ABSTRACT

This study analyzed the effect that a granular material such as class 3 subbase has when adding Slow Break Cationic Asphalt Emulsion type CSS-1h and Portland Cement, with the objective of improving the bearing capacity of the subbase. Every engineering project is based on the soil, which is why it must comply with minimum parameters, resulting in the need to stabilize the soil.

The analysis of the physical-mechanical properties of the granular material was carried out through laboratory tests, verifying that they meet the acceptance criteria of the MTOP for a class 3 subbase; The values obtained for maximum dry density, optimal humidity and CBR support capacity of the samples were analyzed by adding 1, 3, 5 and 8 percent of asphalt emulsion, determining the optimal percentage, the analysis of the values was repeated, but with optimal percentage of asphalt emulsion plus Portland cement percentages of 3, 6, 9 and 12 percent. With the results obtained, the design of flexible pavements was developed for the soil in its natural state as well as for the stabilized one, in order to analyze and contrast costs which are affected by the thicknesses of each layer that constitutes the structure of the pavement.

Finally, the combination of 3 percent asphalt emulsion plus 5.7 percent Portland cement provides up to 61.70 percent stabilization of the soil, notably improving its bearing capacity, comparing the results with the added stabilizers.

Keywords: asphalt emulsion, subbases, Portland cement, pavement, granular soils.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

En el área de ingeniería el suelo como material fundamental juega diversos papeles en la construcción, dependiendo del tipo de suelo varia su resistencia, por lo que si el suelo presenta una baja resistencia se debe mejorar mediante técnicas de estabilización. La estabilización requiere de evaluación de las propiedades del material para seleccionar el tipo y la cantidad apropiada de estabilizadores. Mencionado proceso logra alterar más de una propiedad del suelo como: controlar la expansión, disminuir la plasticidad, aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad, prevenir la pérdida de la capa superficial, entre otras. Cabe mencionar, que existen diferentes tipos de estabilizaciones son los siguientes: mecánicos, físicos, químicos y biológicos. [1], [2]

Un ejemplo de estabilizador es el cemento que brinda resultados satisfactorios a bajo precio con un incremento de capacidad portante y disminución de la permeabilidad, dado que, en algunas ocasiones los materiales granulares demandan un costo elevado. El cemento es un blanco fácil del retraso de los procesos de hidratación y sobre todo fraguado lo que no puede evitar la fisuración de la mezcla. Por consiguiente, otro tipo de estabilizador es la emulsión asfáltica que en ciertas ocasiones se pueden emplear en conjunto con el cemento con el fin de reducir la susceptibilidad [3]. Por otro lado, está la emulsión existen una clasificación de emulsiones por lo general para el tema de estabilizaciones se emplea la catiónica que es de fraguado lento (CSS) con una composición de 39% de agua, contiene un 61% de diferencia por la carga de agregado y el tiempo para colocarla, aunque la dispersión lo suficiente en la mezcla es un parámetro esencial a considerar. Ligante asfáltico hasta una perforación de 80/100 conjunto con la viscosidad de 0.42, cabe señalar, que la emulsión asfáltica está expuesta a varias pruebas para su empleo. Con dicha información Kamran et al. [4], mediante el cálculo de un método para la composición de mezclas trabajó con un porcentaje de 4.89% por mezcla total, los cuales van en intervalos de 1% de tal manera obtener el contenido óptimo de la emulsión con respecto a su estabilidad, además el uso de agua en conjunto de los agregados secos en el horno que enfrió a una temperatura ambiente y se mezcló hasta que el agua se distribuyó uniformemente.

El tipo de suelo a evaluar es una subbase Clase 3 que está formada según la MTOP [5], por áridos gruesos, los cuales pueden ser obtenidos mediante el cribado de gravas, roca mezclada con arena natural o un material finamente triturado, con la finalidad de alcanzar la granulometría especificada. Por otra parte, los agregados deberán tener límite líquido máximo de 25, un índice de plasticidad menor que 6 y una capacidad de soporte (CBR) igual o mayor a 30%.

Las bases o subbases de los pavimentos flexibles en ciertas ocasiones sus materiales carecen de características exigidas por prescripciones técnicas en carreteras, principalmente en composición granulométrica, plasticidad y en su resistencia. Por esta razón Zambrano et al. [6], realizó una investigación en la ciudad de Portoviejo con la finalidad de proponer el empleo de emulsiones asfálticas en el procesamiento de materiales granulares facilitando el comportamiento de las bases y subbases de forma económica y prolongando la vida útil de los pavimentos, los porcentajes de emulsión añadida fueron de 5, 7 y 9% con relación al peso de los áridos, los cuales superan el 50% de resistencia conservada, sin embargo, con el menor valor de porcentaje (5%) de emulsión obtiene el 66.7% que cumple con la resistencia de una subbase o de una base de circulación media.

Un año después, Zambrano et al. [7], con la intención de analizar el efecto de la emulsión asfáltica catiónica (polaridad positiva) en un material granular de dureza adecuada y estructura granulométrica buena, en porcentajes de 4, 5, 6 y 7% de emulsión la resistencia disminuye apreciablemente, concluye que supera el 50% de CBR siendo mayor al valor de 30% según lo especificado para una subbase. El material no cumplía las especificaciones para ser emplea como una subbase debido a su límite líquido e índice de plasticidad alto, en todo caso con el porcentaje de emulsión (5%) cumple principalmente con los requisitos para una subbase coincidiendo con su anterior investigación.

Por otra parte, la estabilización no solo se basa en suelos granulares se aplica en suelos que tengan carencias de propiedades como es el estudio experimental realizado por Shubber [8] de una subrasante de propiedades ingenieriles no tan buenas (arena mal graduada) con porcentajes de 3, 6, 9, 12 y 15% de los dos tipos de estabilizadores que es la emulsión asfáltica y el cemento portland, por consiguiente, agrego que la

densidad seca máxima del suelo incrementa al emplear un 9% de cemento portland a un 38% de densidad y al agregar un 12% en peso de la adición de emulsión asfáltica incrementa a un 19%, incrementando el contenido óptimo con el cemento y disminuye con la emulsión asfáltica, es decir, el comportamiento se debe al efecto de la hidratación del cemento que requiere de gran cantidad de agua; al contrario el contenido de agua de emulsión aporta una cantidad de agua a la mezcla, entonces, el clima juega un papel fundamental al estabilizar con emulsión asfáltica. Finalmente, añade que la emulsión solo mejoraría en una vez a comparación del cemento que su resistencia se duplica al corte del suelo natural.

Actualmente en Perú, Surita et al. [9], llevó a cabo una comparación del aporte estructural de una base granular con dos tipos de estabilizantes, de acuerdo a los resultados de laboratorio el material granular cumple condiciones para la aplicación de emulsión asfáltica el límite líquido (LL) <30 e índice de plasticidad (IP) <10, del mismo modo para el cemento el límite líquido (LL) <40 e índice de plasticidad (IP) <18 parámetros que han sido necesarios para la aplicación de mencionados estabilizantes en porcentajes de 3, 5 y 7%, alcanza una resistencia de 96.90% con el 7% de emulsión asfáltica de tipo catiónica (rompimiento lento) que no están lejos de los rangos para bases entre el 80% y 100%, del mismo modo con el cemento portland tipo I con el 7% alcanza un 150.37% de resistencia que es más que suficiente de los requisitos, sin embargo, para el CBR utilizó el menor valor de porcentaje (5%) que contiene valores mínimos pero respeta la especificación para bases (>80). El CBR incrementa conforme aumenta el porcentaje tanto de emulsión como de cemento portland tipo I. Aunque en términos económicos el cemento resulta ser un agente estabilizador con un comportamiento adecuado pese a las bajas dosificaciones, dando lugar una capa de esperar menor a la de la emulsión asfáltica catiónica.

Aunque, Gálvez [10] realizó su estudio con porcentajes de 3, 6, 9, 13 y 18% de emulsión asfáltica (catiónica de rotura lenta aplicada en fría) mejoró en un 84.21% el suelo natural, se alcanza con el mínimo porcentaje de los aplicados (3%) con el cual obtiene un CBR de 3.5% de su densidad máxima seca al 95%, sin embargo, con el valor del 13% alcanzo mejorar considerablemente el CBR con un valor de 6.4 de la densidad seca máxima de igual forma al 95% con mencionados valores se culmina

reduciendo a 19cm de capa base y 30cm de capa subbase. Cabe señalar que empleó otro tipo de estabilizante para su análisis comparativo siendo la emulsión más económica por su dosificación (considerar el contenido de agua y residuo de asfalto) menor en comparación de las limaduras de acero. Por añadidura, se enfoca en la caracterización de la mezcla con el aditivo mediante la obtención del límite líquido, límite plástico e índice plástico, pruebas de proctor y finalmente del ensayo de CBR.

También, el factor económico juega un papel fundamental en el área de vías, considerando que el empleo de materiales de calidad es necesario según la investigación de Quevedo et al. [11], el tipo de cemento que empleó para la estabilización de una vía en la provincia del Cañar está compuesto de carbono neutro (MH) con un porcentaje de 6% tomando como referencia estudios realizados que detallan que incrementa las características mecánicas del suelo. Determinó que el cemento adicionado al suelo de una capa con un espesor de 25 cm para 5 años de vida útil, pero el costo de mantenimiento por año es de USD\$7.644,40.

Las ventajas de lograr estabilizar con cemento es primero que se aplica en casi todos los suelos sin perder el ritmo de su objetivo que es ganar resistencia a edades muy tempranas y el aumento constante de la durabilidad, también, se emplea en el área vial en la reducción de espesores de las capas de rodadura de tal manera reducir costos en obra, son fáciles de conseguir y existe una amplia información de los procesos de producción para desarrollarlos y controlarlos. Para mezclas de 3% y 6% de cemento, Celi et al. [12], aplicado a una subrasante muy pobre en base a la investigación realizada el CBR es menor al 3%, lo que requiere de una estabilización química para cumplir con los parámetros correspondientes, no obstante, no consideró ideal el tipo de estabilizante (cemento), dado que posee un índice de plasticidad del suelo de 17% y disminuye con el incremento del aditivo. El incremento del porcentaje de cemento (6%) aumenta el CBR a un valor considerable (62.9%), en todo caso, no es recomendable el suelo para vías por el desborde increíble de rigidez.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3 para determinar que estabilización proporciona mayor valor relativo de soporte CBR.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer las propiedades físico – mecánicas de los suelos de subbase clase 3 con y sin adición de cemento portland y emulsión asfáltica mediante ensayos de laboratorio como son granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y Relación de soporte california CBR.
- Analizar los valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR de las muestras de subbase clase 3 con y sin adición de emulsión asfáltica y porcentajes de cemento portland (0%, 3%, 6%, 9%, 12%).
- Comparar las características de las subbases clase 3 con los dos métodos de estabilización para seleccionar cual da mejores resultados para su aplicación.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

A continuación, se describe los materiales y métodos empleados en la ejecución del presente Trabajo Experimental:

2.1. Materiales

Para la elaboración de los ensayos respectivos se obtuvo en primer lugar, el tipo de suelo denominado Subbase Clase 3 en la cantera “Las Viñas”, ubicada a 3km de la vía Principal Paso Lateral – Panamericana Norte – Sector Las Viñas, después, el cemento portland de marca HOLCIM y finalmente la emulsión asfáltica CSS-1h de rotura lenta adquirida en la empresa Impetk – Chova del Ecuador S.A situada en el sector El Inga Km 14 vía a Pifo E – 35. Se trasladaron y almacenaron los materiales en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Figura N° 1. Mina "Las Viñas"



Fuente: Autor

Figura N° 2. Empresa Impetk – Chova



Fuente: Autor

Por consiguiente, se estableció las propiedades físico – mecánicas de los suelos de subbase clase 3 con y sin adición de cemento portland y emulsión asfáltica mediante ensayos que se detallan a continuación con sus respectivos materiales y equipos: en el análisis granulométrico se utilizó juego de tamices de agregado grueso de geometría cuadrada de 30×30 cm de dimensión, además, de tamices de agregado fino de geométrica circular aproximadamente de 25 cm de diámetro las mallas de los respectivos tamices son cuadradas que cumple con la norma ASTM E – 1 y una tamizadora eléctrica de marca Controls; por otra parte, en el ensayo de gravedad específica y absorción del árido grueso y fino se empleó una canastilla metálica de malla de acero inoxidable con una abertura N°6 (3.35 mm), un tamiz N°4 (4.75mm),

un tanque de agua, un picnómetro de 500 cm³ de capacidad, un embudo de superficie lisa que se ajustaba al diámetro del cuello del picnómetro, un cono truncado con un diámetro interno (parte superior) de 40 mm y un diámetro externo (parte inferior) de 75 mm, además, de un apisonador metálico de 340 ± 15 gr de masa.

Hay que mencionar, además que en los Límites de Atterberg se trabajó con el aparato de Casagrande (dispositivo de Límite Líquido), un tamiz N°40 (0.425 mm), una cápsula de porcelana y una placa de vidrio templado de 15×20 cm de dimensión, más aún, en el ensayo al Desgaste de los agregados se empleó esferas de acero de aproximadamente 1 27/32" (46.8 mm) de diámetro y con una masa entre 440 ± 50 gr, así mismo, la Máquina de los Ángeles (dimensiones especificadas en la norma ASTM C – 131) y un tamiz N°12 (1.70 mm). En cuanto al porcentaje de partículas fracturadas de los agregados se empleó juego de tamices de 1 ½" (37.5 mm), 1" (25 mm), ¾" (19 mm), ½" (12.5 mm) y 3/8" (9.5 mm).

Todavía cabe señalar, que tanto para los ensayos de Proctor modificado y Relación de Soporte California (CBR) se usó moldes de 6" (152.4 mm) de diámetro, un martillo compactador cilíndrico de 10 lbf (44.5 N) y un tamiz ¾" (19.0 mm), sin embargo, para CBR se trabajó con más materiales y equipos como son los discos espaciadores metálicos de 150.8 mm de diámetro con una altura de 61.37 ± 0.127 mm, pesas metálicas anulares (para cada muestra) de un diámetro que está entre 149.23 a 150.81 mm con un agujero en el centro de 53.98 mm de diámetro, también, la máquina electromecánica Multispeed (S/M) de una capacidad de 50 kN aplica una carga uniformemente a una velocidad de 0.2 a 50 mm/min. [13]

2.2. Métodos

El presente trabajo de investigación se emplea tres etapas, que se detallan a continuación con sus respectivos métodos aplicados:

2.2.1 Fase I: Determinación de propiedades físicas – mecánicas del suelo

En la primera fase se empleó el método experimental, considerando que es la ejecución de los ensayos en los laboratorios, a continuación, se detalla cada uno de los estudios ejecutados.

2.2.1.1. Propiedades físicas

a) Contenido de humedad

Primero, para el *contenido de humedad* se realizó conforme a la normativa NTE INEN – 690, ASTM D – 2216 y AASHTO T – 265, que detallan como se logró determinar la cantidad de agua presente en relación con el peso total del suelo, se tomó tres muestras de suelo natural en recipientes considerando que no deben ser menor a 20 gr el espécimen para que sea representativo, luego, se pesaron en la balanza y llevaron al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, después de 24 horas se retiran los recipientes con las muestras para pesarlas nuevamente.

Figura N° 3. Peso de muestra en la balanza **Figura N° 4.** Muestra en el horno de 110°C



Fuente: Autor



Fuente: Autor

El contenido de humedad es expresando en porcentaje y se determinó mediante la siguiente ecuación: [14]

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

W_{ω} : Peso del agua (gr)

W_s : Peso de sólidos (gr)

b) Análisis granulométrico

Acerca del *análisis granulométrico* del tamaño de partículas del suelo se ejecutó acorde con la normativa NTE INEN – 696 y ASTM D – 422, que detallan cómo se logró determinar el porcentaje de partículas de diferentes tamaños del suelo, por lo cual, se colocó 10 kg de suelo subbase clase 3 (muestra previamente secada al horno) en la columna de tamices cuadrados (2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4) luego, se sacudió de manera manual por el tamaño de los tamices, de tal manera, que todo el material que pasa por cada tamiz se transfiere al siguiente tamiz de la columna, finalmente, se pesó el material retenido en cada tamiz. Sin embargo, de la muestra que pasa el tamiz N°4 se tomó 1 kg de suelo para colocarlo en la columna de tamices circulares (#8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200) y en este caso se agitó de manera mecánica siguiendo el mismo proceso anteriormente mencionado, cada fracción retenida se debe pesar en una balanza. [15].

Figura N° 5. Granulometría (árido grueso)



Fuente: Autor

Figura N° 6. Granulometría (árido fino)



Fuente: Autor

Se debe agregar que, para la interpretación de los datos se empleó una gráfica semilogarítmica denominada *curva granulométrica*, en el eje de las ordenadas (escala aritmética) se colocó al porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas (escala logarítmica) se ubicó la dimensión de la abertura del tamiz, por otra parte, se consideró ciertos parámetros como son: el tamaño nominal máximo (TNM), el diámetro efectivo (D10), el diámetro equivalente (D30), el diámetro dimensional (D60), el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc) [16].

Lo más importante, es que se verificó mediante los criterios especificados por el Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE) para la granulometría de la subbase correspondiente a la clase 3 mediante la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Límites granulométricos para subbases

TAMIZ		Porcentajes en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
(pulgadas)	(mm)	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3"	76.2	–	–	100
2"	50.4	–	100	–
1 ½	38.1	100	70 – 100	–
N°4	4.75	30 – 70	30 – 70	30 – 70
N°40	0.425	10 – 35	15 – 40	–
N°200	0.075	0 – 15	0 – 20	0 – 20

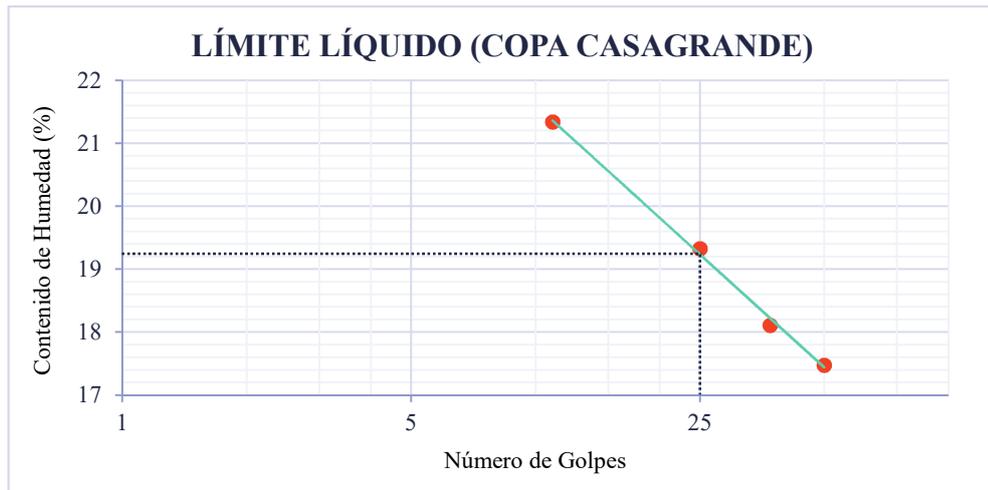
Fuente: Norma ecuatoriana vial, NEVI – 12 –MTOPE (Volumen N°3) [17].

c) Límites de Atterberg

Hay que mencionar, además que se ejecutó los *Límites de Atterberg* acorde a la normativa ASTM D – 4318, en primer lugar, el *límite líquido* (LL) se ejecutó conforme a la normativa NTE INEN – 691, por lo tanto el procedimiento seleccionado es el método A (método multipunto) con el que se definió el nivel de humedad empleando cierta cantidad de muestra que pasa el tamiz N°40 (0.425 mm) en el aparato de Casagrande en cinco rangos de golpes (0-15; 15-30; 30-45; 45-60) de los cuales se tomó dos muestras por cada golpe, muestras que son llevadas al horno y después de 24 horas se toma el valor de su peso así se determinó el límite entre su comportamiento semilíquido y plástico.

Se debe agregar que, para la interpretación de los datos se empleó una gráfica semilogarítmica denominada *curva de escurrimiento* (Gráfica N°1), en el eje de las ordenadas (escala aritmética) se colocó el contenido de agua y en el eje de las abscisas (escala logarítmica) se ubicó el número de golpes y se tomó el contenido de humedad a la intersección de la línea con 25 golpes (eje de las abscisas) como el valor del límite líquido del suelo.

Gráfica N° 1. Curva de escurrimiento



Fuente: Autor

Mientras, que para el *límite plástico* (LP) según la normativa NTE INEN – 692, se calculó igual que el contenido de humedad, aunque, se realizó pequeñas muestras de 3 mm de diámetros con la muestra sobrante del ensayo del límite líquido cuando contienen tanta agua que empiezan a agrietarse, así se determinó el límite entre su comportamiento plástico y semisólido.

Lo más importante, es que, mediante la sustracción numérica entre el límite líquido y el límite plástico, el *índice plástico* se expresa mediante la Ec. 4. [18]

$$IP = LL - LP \quad (\text{Ec. 2})$$

Una vez obtenido los valores de la distribución del tamaño de las partículas del suelo (*granulometría*) y la plasticidad (*límites de Atterberg*), el siguiente aspecto trata de la identificación del suelo mediante los dos sistemas primordiales que en la actualidad se aplican como son: primero se empleó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) siendo el más aceptable del mundo, cuyo uso se ha ido potenciando con el

tiempo, seguidamente, se utilizó el sistema American Association of State Highway and Transportaion (AASHTO) que evalúa cualitativamente la idoneidad del suelo. [16]

Figura N° 7. Límite Líquido



Fuente: Autor

Figura N° 8. Límite Plástico



Fuente: Autor

d) Gravedad específica y capacidad de absorción de los agregados

Por otro lado, para determinar la *gravedad específica y absorción* de los áridos se ejecutó en dos etapas, siendo la primera etapa para el material grueso conforme con la normativa NTE INEN – 857 y ASTM C – 127, se utilizó el agregado retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm), es necesario resaltar, que el material estaba inicialmente sumergido en agua por un período de 24 ± 4 horas, después, se retiró la muestra para secar el agua superficial visible frotándolas con un paño absorbente. A continuación, se pesó la muestra saturada parcialmente seca (SSS), luego, se colocó en la canastilla metálica que está sumergida y se pesó su masa aparente en agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$. La muestra se ubicó en el horno a temperatura constante, después de 24 horas se retiró la muestra seca para pesarla nuevamente. [19]

Hay que mencionar, además que la segunda etapa es para el material fino correspondiente con la normativa NTE INEN – 856 y ASTM C – 128, se sumergió alrededor de 1000 gr de muestra fina durante 24 ± 4 horas, posteriormente, se decantó el agua evitando la pérdida del agregado fino, además, que se determinó la humedad superficial colocando una porción de muestra parcialmente seca en el cono truncado

(diámetro más grande hacia abajo) para luego ser compactado con 25 golpes con ayuda del pistón, es importante destacar, que el material alcanzo el estado (SSS) cuando un lado del agregado apenas se desmoronó al retirar el cono. En consecuencia, 500 gr de la muestra SSS se colocó en el picnómetro con agua previamente pesado y se completó al 90% de su capacidad con agua adicional, continuado con el proceso se eliminó las burbujas de aire dando vueltas al frasco. Después, se vertió el contenido del frasco a un recipiente para ser llevado al horno durante 24 horas y finalmente se retiró la muestra seca y se pesó. [20]

Figura N° 9. Gravedad específica (árido fino)



Fuente: Autor

Figura N° 10. Árido grueso y fino secos (horno)



Fuente: Autor

La gravedad específica del árido grueso se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{A}{B - C} \quad (\text{Ec. 3})$$

Sin embargo, la gravedad específica del árido fino se calculó con la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{A}{B + S - C} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca al horno (gr)

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)

C: Peso aparente sumergida en agua (gr)

S: Peso del agregado fino saturada parcialmente seca (gr)

e) Porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso

También, se ejecutó el ensayo para el porcentaje de *partículas fracturadas* en el árido grueso acorde a la normativa ASTM D – 5821, inicialmente se separó mediante el cribado de las muestras que están entre los tamices de 1 ½” (37.5 mm) y 3/8” (9.5 mm) el sobrante retenido y pasado en mencionados tamices se descartan, precisamente, en base a la Tabla N°2 se tomó el peso total de acuerdo al tamaño del agregado.

Tabla N° 2. Cantidades necesarias para el porcentaje de partículas fracturadas

Tamaño del agregado	Peso (gr)
1 ½” a 1”	2000
1” a 3/4”	1500
3/4” a 1/2”	1200
1/2” a 3/8”	300

Fuente: Autor

Luego, en un área limpia bastante amplia se inspecciono visualmente cada partícula y separaron en dos categorías: la primera es las partículas fracturadas, que un 25% o más parecen fragmentadas, y la segunda es la partícula de agregado que no cumple con el requisito expuso anteriormente. No fue necesario lavar la muestra porque el material estaba expuesto a diferentes cambios climáticos y se aprecian notablemente las partículas fracturadas. Finalmente, se pesa las partículas de cada categoría y se anotó su respectivo valor.

Mediante la relación de la cantidad de partículas fragmentadas, no fragmentadas y la muestra total se determina el porcentaje de caras fracturadas, por lo tanto, se expresa de la siguiente manera: [21]

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

F: Peso de partículas fracturadas

N: Peso de partículas que no son fracturadas

Figura N° 11. Muestras a ensayar



Fuente: Autor

Figura N° 12. Clasificación visual



Fuente: Autor

f) Resistencia al desgaste de los áridos

Se debe agregar que, se determinó la *resistencia al desgaste de los áridos* por el método de abrasión acorde con la normativa NTE INEN – 860 y ASTM C – 131, primero, se consideró el método aplicarse, en este caso es el método A que se eligió de acuerdo a la granulometría obtenida del suelo, por lo tanto se usó cuatro fracciones de muestra de 1250 ± 10 gr retenida en los tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8"), es decir, se trabajó con un peso total de 5000 ± 10 gr el material estaba inicialmente lavado y secado al horno, después, se adiciono a la máquina de Los Ángeles doce esferas metálicas de acuerdo al método mencionado y la muestra. De manera que, se hizo girar la máquina 500 revoluciones a una velocidad comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto, posteriormente, se descargó el material y se realizó la separación mediante el tamiz N°12 (1.70 m), el material grueso no se lavó luego del ensayo dado que no se consideró necesario. [22]

Consideramos ahora que para el respectivo cálculo del valor de la pérdida de masa del espécimen expresado en porcentaje se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

B: Peso inicial de la muestra (antes del ensayo) (gr)

C: Peso de la muestra retenida en el tamiz N°12 (después del ensayo) (gr)

Figura N° 13. Árido (ensayo de abrasión)



Fuente: Autor

Figura N° 14. Cribado por el tamiz N°12



Fuente: Autor

2.2.1.2. Propiedades mecánicas

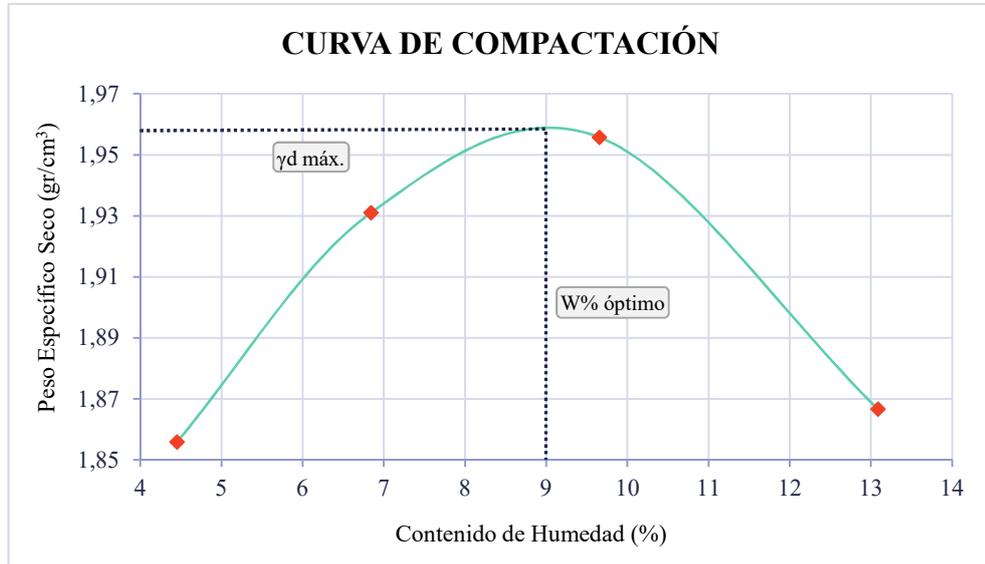
a) *Proctor Modificado*

El siguiente aspecto trata del ensayo de *Proctor Modificado* para el cual se consideró principalmente el tipo de método aplicarse en base a la granulometría del suelo obtenido, en este caso es el método D, una vez seleccionado el tipo de método se procedió a tamizar el espécimen por el tamiz 3/4", además, se tomó las medidas necesarias de los cilindros, como la altura, diámetro y peso del molde con la retorta, pero sin el collarín. Luego, se colocó 6000 gr de muestra de suelo en una bandeja metálica para la mezcla adicionándole agua mediante una probeta, luego, se compacto en el molde con ayuda del martillo aplicándole 56 golpes por cada capa, hay que mencionar que se adiciono en 5 capas iguales la muestra.

Después, se retiró el collarín prescindiendo de no fragmentar la muestra compactada y se enrazo para pesar el molde con la muestra (sin retorta). También, se tomaron dos muestras del suelo la parte superior como inferior del molde para determinar el contenido de humedad, y se realizó como mínimo cuatro puntos de humedad, para generar de esta manera los puntos en la *gráfica de compactación* (Gráfica N°2) y se

observó su línea de tendencia, el pico de la curva indico la mayor densidad seca máxima.

Gráfica N° 2. Curva de compactación



Fuente: Autor

Por otra parte, el peso volumétrico seco (Densidad seca) se calculó mediante la siguiente ecuación: [23]

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

W_s : Peso de sólidos (gr)

V_m : Volumen de la masa del suelo (cm³)

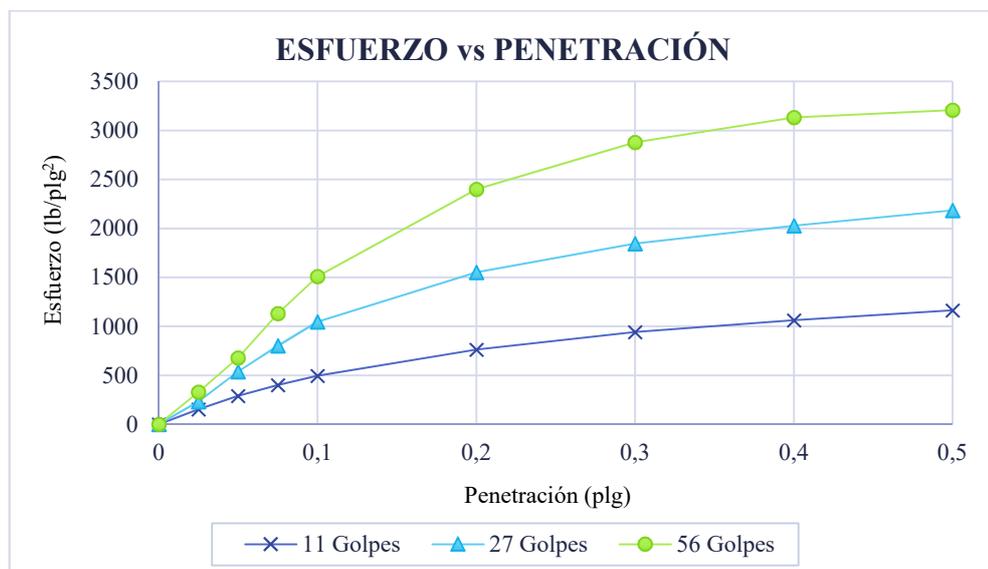
b) Relación de Soporte California (CBR)

Por último, es conveniente acotar, acerca de *Relación de Soporte California CBR* acorde a la normativa ASTM D – 1883 y AASHTO T – 193, a continuación, se detalla el procedimiento para el respectivo ensayo primero, se tomó la muestra pasante del tamiz 3/4”, luego se preparó tres moldes metálicos y tres muestras de 6000 gr cada una para ser mezclada con la humedad óptima determinada a través del ensayo de Pactor Modificado. Después, se compacto los moldes para 11, 27 y 56 golpes considerando que se colocó 5 capas en cada uno. Enseguida, se tomó muestras del enrasado y del suelo sobrante en la bandeja, mientras tanto se voltea los moldes para colocar las pesas para sobrecarga. Además, el contenido de humedad y densidad seca máxima debe ser

mayor o igual al determinado en el ensayo de portor modificado. El siguiente punto trata del ensayo de penetración donde se colocó el molde en la prensa asentando el pistón de penetración sobre esta con las pesas de sobrecarga de tal manera se evita el desplazamiento del suelo.

En efecto, se aplicó la carga a una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05 in) por minuto y se realizó el registro a distintas penetraciones (0.025, 0.05, 0.07, 0.10, 0.20, 0.30, 0.4, 0.50) dichos valores son expresados en pulgadas, finalmente se desmontó el molde y se tomó muestras de la parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración y de la parte inferior para mayor precisión, con el objetivo de obtener su contenido de humedad. Se debe agregar que, para la interpretación de los datos se empleó un gráfico que represente los tres moldes (11, 27 y 56 golpes) ensayados de penetración (Gráfica N°3), en el eje de las ordenadas se colocó el esfuerzo (lb/plg²) y en el eje de las abscisas se ubicó la penetración (plg).

Gráfica N° 3. Curvas de esfuerzo – penetración del ensayo de CBR



Fuente: Autor

Precisamente, los valores del CBR se estableció para penetraciones (deformaciones) de 0.1 plg (2.5cm) y 0.2 plg (5cm) según la norma lo establece. La relación expresada en porcentaje (%), se determinó mediante la ecuación: [24]

$$\text{CBR} = \frac{\text{Esfuerzo del suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo del suelo patrón}} * 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Figura N° 15. Proctor Modificado



Fuente: Autor

Figura N° 16. Ensayo de CBR



Fuente: Autor

Lo más importante, es que se verifico los límites de los ensayos como son los límites de Atterberg, desgaste de abrasión y Relación de Soporte California (CBR) mediante los criterios especificados por el Ministerio de Transportes y Obras Publicas del Ecuador (MTOPE), resumida en la Tabla N°3.

Tabla N° 3. Límite de los ensayos para la subbase clase 3

Tipo de Subbase	Límite líquido	Índice plástico	Desgaste por abrasión (%)	CBR (%)
Clase 3	≤ 25	< 6	< 50	≤ 30

Fuente: Norma ecuatoriana vial, NEVI – 12 –MTOPE (Volumen N°3) [17].

2.2.2 Fase II: Análisis de valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR

En la segunda fase se implementó el método experimental, dado que se adiciona la emulsión asfáltica (EM) y cemento portland (CP) al mismo tiempo. Pero antes, se determinó el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en distintos porcentajes en peso de emulsión (1%, 3%, 5% y 8%) mediante el ensayo de Proctor Modificado aplicando la metodología mencionada en la fase I. A continuación, en la Tabla N°4 se aprecia los pesos totales de cada material que se debe agregar para completar un total de 6000gr de muestra necesaria para el respectivo ensayo.

Tabla N° 4. Porcentajes en peso con emulsión asfáltica

Peso Inicial deseado (gr)	Ensayo Número	% de emulsión asfáltica añadida	Peso suelo (subbase) (gr)	Peso emulsión asfáltica (gr)
6000	1	1	5940	60
	2	3	5820	180
	3	5	5700	300
	4	8	5520	480

Fuente: Autor

Figura N° 17. Peso del suelo para 5%EM



Fuente: Autor

Figura N° 18. Suelo mezclado con EM



Fuente: Autor

Luego, se mezcló todas las muestras de suelo con el porcentaje óptimo de emulsión y se añadió los porcentajes de cemento (3%, 6%, 9% y 12%) en las muestras de suelo natural con relación a su peso seco para los ensayos de Próctor Modificado con cuatro porcentajes mínimos de agua y con los resultados que se obtienen de dichos ensayos se estableció la densidad máxima del suelo y su contenido de humedad óptimo al ser mezclada con emulsiones asfálticas y cemento portland siendo éste un dato primordial para el ensayo del CBR. Se determinó la capacidad de soporte para las distintas combinaciones mencionadas según la Fase I. En este caso, también se aplica la misma metodología de los porcentajes en peso de emulsión asfáltica para la muestra total en función de los porcentajes de cemento agregado.

Figura N° 19. Suelo con cemento portland



Fuente: Autor

Figura N° 20. Suelo + CP + EM



Fuente: Autor

Cabe mencionar, el valor de CBR se empleó para establecer una relación tanto entre el comportamiento de los suelos principales con la finalidad de clasificarlos para usos como base, subbase y subrasante, la siguiente tabla detalla dicha clasificación:

Tabla N° 5. Uso del suelo de acuerdo al valor de CBR

CBR (%)	Clasificación General	Usos
0 – 5	Muy mala	Subrasante
5 – 10	Mala	Subrasante
10 – 20	Regular a buena	Subrasante
20 – 30	Muy buena	Subrasante
30 – 50	Buena	Subbase
50 – 80	Buena	Base
80 – 100	Muy buena	Base

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones, Villalaz [25].

2.2.3 Fase III: Comparación de las características de las subbases clase 3 con los métodos de estabilización

En la tercera fase se aplicó dos tipos de métodos el primero es descriptivo, debido a que una vez culminados los ensayos se tabuló, detalló, analizó e interpretó los resultados obtenidos los cuales fueron se interpretaron, también se detalló las

características y propiedades con los porcentajes correspondientes y el suelo natural seleccionado. El segundo método es explicativo, ya que se expone el efecto de la adición de los dos tipos de estabilizadores en la subbase clase 3 que depende de los resultados.

2.2.4 Fase VI: Diseño de pavimento flexible

El diseño de pavimentos es un proceso integral y continuo, debido a que requiere de datos importantes como las propiedades de la carga, ambiente, suelo y la composición del material del pavimento. Por otra parte, un diseño óptimo de pavimento considera costos, ciclo de vida, confiabilidad y hasta valoraciones políticas [26].

En esta fase se diseñó tres pavimentos flexibles según la normativa AASHTO – 93, el primero corresponde a la subbase clase 3 (estado natural), el segundo diseño al suelo más el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, finalmente, el tercero pertenece a la subbase más los porcentajes óptimos de emulsión asfáltica y cemento portland en los que se ocuparon los valores de CBR determinados en las fases anteriores. Para el diseño de los espesores de cada una de las capas constituyentes de la estructura del pavimento la AASHTO – 93 propone la siguiente fórmula de diseño:

$$\log_{10}W_{18} = Z_r \times S_o \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}M_r - 0,87$$

(Ec. 9)

Donde:

W₁₈: Número de cargas de 80kN

Z_R: Desviación estándar normal en función de la confiabilidad

S_o: Desviación estándar de las variables

M_r: Módulo de resiliencia (Subrasante)

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad de la vía

SN: Número estructural

Por tanto, para el respectivo diseño de ha tomado los datos de tráfico y propiedades de la subrasante de la parroquia Montalvo, cantón Ambato del Trabajo Experimental realizado por Gavilanes [27], bajo el tema: “Estudio del efecto de la adición de

emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles”, con la finalidad de determinar valores de costo y beneficio al realizar los diseños de pavimentos.

Tabla N° 6. Parámetros de diseño para el pavimento flexible

Parámetros de diseño	Valores
Zona	Rural
Período de diseño	20 años
Clasificación funcional de la vía	Arteria principal
Factor de distribución por dirección (Fd)	50%
Número de carriles (Dc)	100%
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.037
Desviación estándar global (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad final (Pf)	2.5
CBR de la Subrasante	14.70%
Módulo resiliente de la subrasante “Mr”	17.21 ksi

Fuente: Gavilanes Erika [25].

2.2.4.1. Parámetros de diseño

a) Tráfico futuro – TPDA_f

Para proyectar la vida útil de la vía se realizó de acuerdo al TPDA, en base a la Tabla N°7 en este caso se consideró el TPDA₂₀₂₄ como el tráfico actual.

Tabla N° 7. Datos de tráfico

Año	Livianos	Buses	Pesados						TPDA Total
			2DA	2DB	3A	4C	3S2	3S3	
2021	5 666	234	168	94	18	10	10	18	6218
2022	5842	237	172	96	18	10	10	18	6404
2023	6023	239	182	102	19	11	11	19	6604
2024	6209	241.4	186	110	19	11	11	19	6807

Fuente: Gavilanes Erika [25].

Por tanto se determina el tráfico futuro mediante la siguiente ecuación:

$$TPDA_{\text{futuro}} = Ta * (1 + i)^n \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

Ta: Tráfico actual

i: Tasa de crecimiento del tráfico

n: Número de años proyectados

Además, se utilizó la Tabla N°8 que contiene los índices de crecimiento desde el 2015 hasta el 2045 según le tipo de vehículo.

Tabla N° 8. Tasa de crecimiento vehicular

Período	Tipos de vehículos		
	Livianos	Buses	Camiones
2015 – 2020	3.44	1.17	2.90
2020 – 2025	3.10	1.05	2.61
2025 – 2030	2.82	0.96	2.38
2030 – 2035	2.82	0.96	2.38
2035 – 2040	2.82	0.96	2.38
2040 – 2045	2.82	0.96	2.38

Fuente: MTOP, 2015

b) Ejes equivalentes (W18)

Con el objetivo de convertir el volumen vehicular a una carga se lo realizó mediante el cálculo del número de ejes equivalentes parcial de 8.2 Ton (18 kips) que se expresa de la siguiente manera:

$$W18_{\text{PARCIAL}} = [(TPDA_{\text{Bus}} * FD_{\text{Bus}}) + (TPDA_{2D} * FD_{2D}) + \dots] * 365 \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

TPDA_{veh.}: Tráfico promedio diario anual de cada tipo de vehículo

FD: Factor de daño correspondiente a cada tipo de vehículo

El deterioro que puede sufrir la estructura del pavimento a causa del tránsito vehicular se expresa mediante el factor de daño (FD) de la Tabla N°9.

Tabla N° 9. Factor de daño en base al tipo de camión

Tipo	Simple		Simple Doble		Tandem		Tridem		FD
	Ton	(P/6.6) ⁴	Ton	(P/8.2) ⁴	Ton	(P/15) ⁴	Ton	(P/23) ⁴	
BUS	4	0,13	8	0,91					1,04
2D	3	0,04							0,17
	4	0,13							
2DA	3	0,04	7	0,53					0,57
2DB	7	0,04	11	3,24					4,51
3A	7	1,27			20	3,16			4,43
4C	7	1,27					24	1,19	2,46
3S2	7	1,27			20	6,32			7,59
3S3	7	1,27			20	3,16	24	1,19	5,62

Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

Luego, se calculó el número de ejes equivalentes acumulados mediante la ecuación:

$$W18_{Acumulado} = W18_{Parcial\ ante.} + W18_{Parcial\ Actual} \quad (Ec. 12)$$

Después, se determinó el número de ejes equivalentes por sentido tomando en cuenta el factor de distribución vehicular por sentido mediante la siguiente ecuación:

$$W18_{Por\ sentido} = W18_{Acumulado} * Dd \quad (Ec. 13)$$

Donde:

W18_{Acumulado}: Numero de ejes equivalentes acumulado

Dd: Factor de distribución por sentido

Finalmente, el eje equivalente necesario para el diseño de los pavimentos es importante para el mismo el factor de distribución por carril se calculó mediante la ecuación:

$$W18_{Carril\ de\ diseño} = W18_{por\ sentido} * Dc \quad (Ec. 14)$$

Donde:

W18_{Carril de diseño}: Numero de ejes equivalentes de diseño

DC: Factor de distribución por carril

c) Coeficientes estructurales

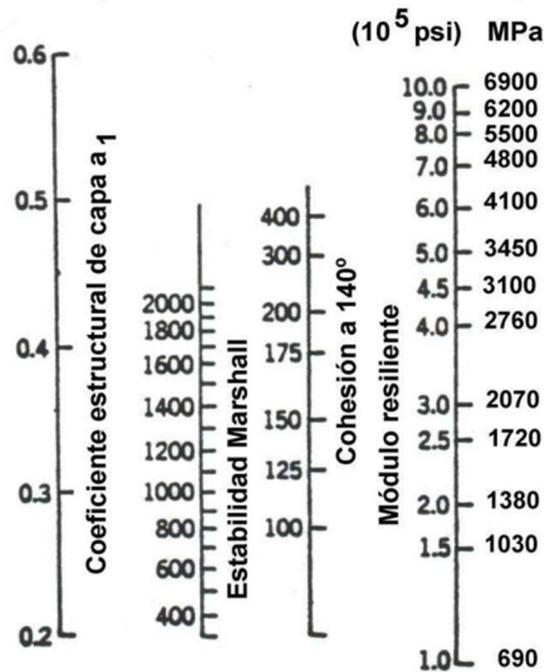
Después, se determinó los coeficientes estructurales que tienen las capas granulares que conforman el pavimento flexible. Primero, se estableció la estabilidad Marshall, luego el valor se introduce en el ábaco y se definió el *coeficiente estructural* (a_1).

Tabla N° 10. Criterios de diseño de mezclas Marshall

Ensayos de acuerdo al método Marshall	TRÁFICO					
	Alto		Medio		Bajo	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Número de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1800	---	1200	---	750	--
Flujo, 0.25 mm	8	14	8	16	8	18
Vacios de aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacios agregado mineral, %	Ver tabla 3.812-07					
Vacios llenos de asfalto, %	65	75	65	78	70	80

Fuente: Norma ecuatoriana vial, NEVI – 12 –MTO (Volumen N°3) [17].

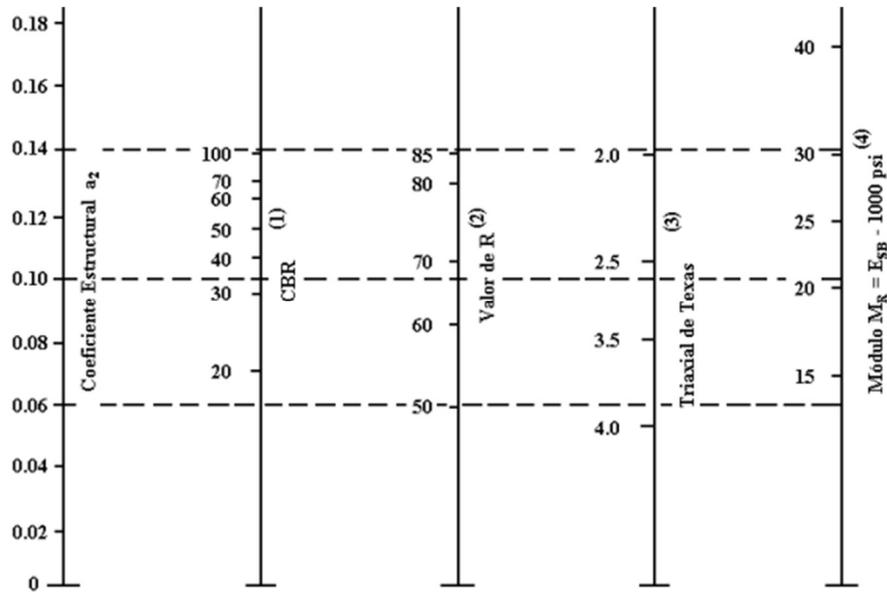
Figura N° 21. Ábaco para el coeficiente estructural – carpeta asfáltica (a_1)



Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

Después, se estima un valor de CBR para la base granular, según las especificaciones del MTOP detalla que el $CBR \geq 80\%$ y se determina en el ábaco de la Figura N°22 el *coeficiente estructural* (a_2) y el módulo resiliente.

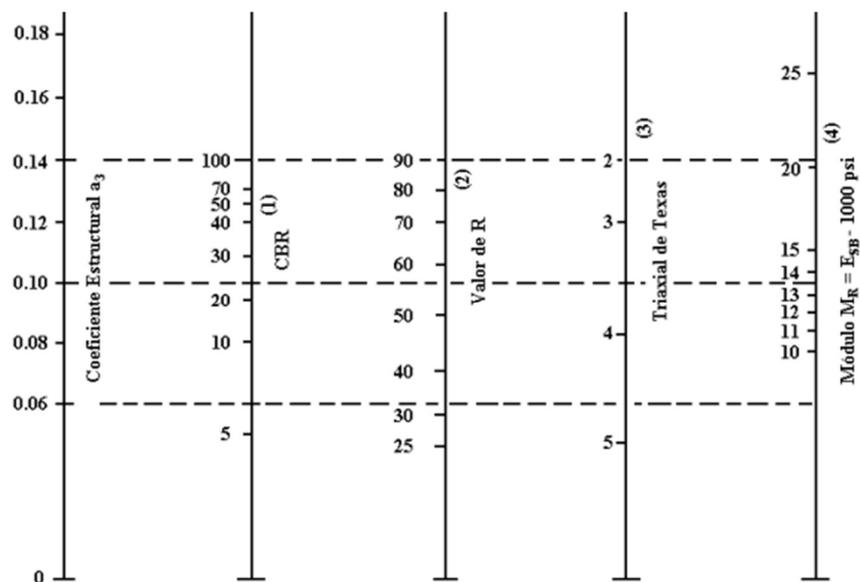
Figura N° 22. Ábaco para el coeficiente estructural – base granular (a_2)



Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

Todavía cabe señalar, que con los valores obtenidos de CBR de la subbase clase 3 y sin estabilizadores se determinar en el ábaco de la Figura N°23 el *coeficiente estructural* (a_3) y el módulo resiliente.

Figura N° 23. Ábaco para el coeficiente estructural – subbase granular (a_3)



Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

d) Coeficiente de drenaje

El tiempo que tarde el agua en drenar en las capas de base y subbase en la Tabla N°11 se cataloga los siguientes valores.

Tabla N° 11. Capacidad de drenaje

Calidad de drenaje	Agua eliminada en
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	No drena

Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

Dependiendo la calidad del drenaje, se determina el coeficiente de drenaje en base a los niveles de humedad que está expuesta en este caso se consideró la zona también como es la parroquia Montalvo, aunque, también ciertas propiedades de la capa con los estabilizantes.

Tabla N° 12. Coeficientes de drenaje

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad			
	Menos 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Buena	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Deficiente	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93

e) Número estructural (SN)

Una vez obtenido los módulos resilientes y coeficientes estructurales de cada capa del pavimento, se determina el número estructural mediante el programa “Ecuación AASHTO – 93” ingresando todos los parámetros establecidos anteriormente para así obtener los espesores teóricos de cada capa mediante las siguientes ecuaciones:

- Carpeta asfáltica

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (\text{Ec. 15})$$

- Base granular

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 \times D_1}{a_2 \times m_2} \quad (\text{Ec. 16})$$

- Subbase granular

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - a_1 \times D_1 - a_2 \times D_2 \times m_2}{a_3 \times m_3} \quad (\text{Ec. 17})$$

- Comprobación

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN_{REQ.} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

a_n: Coeficientes estructurales de las capas

SN_n: Números estructurales de las capas

D_n: Espesores de las capas

m_n: Coeficientes de drenaje de las capas

Es importante destacar, que se debe tomar en cuenta el valor mínimo del espesor para la carpeta asfáltica y la base granular (Tabla N°13) que está en función del total de ejes equivalentes calculado para el año proyectado.

Tabla N° 13. Espesores mínimos en función del tráfico

Número de W18	Concreto asfáltico (D ₁)	Base granular (D ₂)
Menos de 50 000	2.5 cm	10 cm
50 001 – 150 000	5.0 cm	10 cm
150 001 – 500 000	6.5 cm	10 cm
500 001 – 2' 000 000	7.5 cm	15 cm
2' 000 001 – 7' 000 000	9.0 cm	15 cm
Mayor a 7' 000 000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

2.2.5 Fase V: Análisis Económico

Para realizar el análisis económico se considera los rubros de la carpeta asfáltica, base y subbase para los tres diseños de pavimentos flexibles, así que, se empleó una investigación bibliográfica para los precios unitarios y se ha tomado como referencia los APUS del proyecto “Diseño geométrico de la vía comprendida desde la Y de San José Ejido hasta el centro de Píchalo, de la parroquia Juan Montalvo, provincia de Cotopaxi”, además, la revista de la cámara de la construcción, procesos desarrollados que son extraídos del portal de compras públicas y la tabla de salarios mínimos según la última actualización en el país [28] , [29], [30].

Una vez obtenidos los presupuestos referenciales para cada diseño se realizó una comparación de los mismos.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

La presente sección se aborda los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio que se establecieron, es decir, se muestran mediante tablas y gráficas que están resumidas. Razón por la cual, se cumplió con las fases mencionadas en el Capítulo II.

3.1.1. Determinación de propiedades físicas – mecánicas del suelo

3.1.1.1. Propiedades físicas

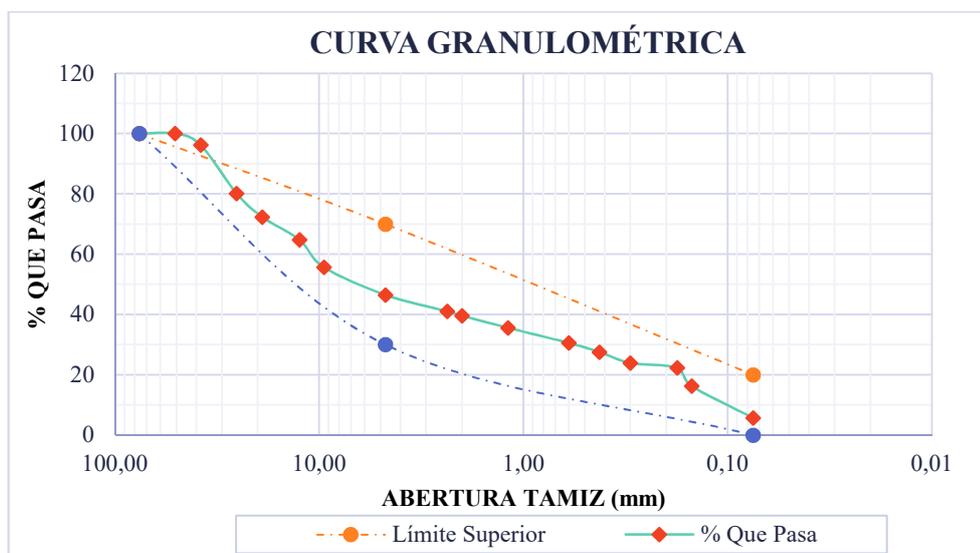
a) Contenido de humedad

El suelo granular extraído de la cantera “Las Viñas” de la provincia de Tungurahua, mediante el ensayo de tres muestras del suelo se determinó una de las propiedades índice más significativas, como es el *contenido de humedad* que tiene un valor de 3.30%, se entiende que posee un valor bajo de humedad, dado que, al tratarse de un suelo granular su comportamiento debe enfatizar una baja retención de agua.

b) Análisis granulométrico

Mediante la Gráfica N°4 se muestra el resultado del *análisis granulométrico* realizado, además, se le agregó los límites especificados por el MTOP (Tabla N°1) para materiales de subbase clase 3.

Gráfica N° 4. Análisis granulométrico del material de la mina “Las Viñas”



Fuente: Autor

La curva granulometría del suelo se encuentra dentro de los límites, dado que el 100% pasa por el tamiz de 3", el 46.47% pasa el tamiz N°40 y el 5.65% pasa el tamiz N°200, por lo tanto, es aceptable como una subbase clase 3.

En cuanto, a su granulometría se determinó que presenta un coeficiente de uniformidad (Cu) de 130 y un coeficiente de curvatura (Cc) de 0.28, por tanto, el Cu al ser mayor que 3 infiere que tiene una buena distribución de sus partículas mientras que, el Cc al no estar entre 1 y 3 se concluye que no posee una distribución adecuada.

A continuación, se tratara con respecto a la cantidad de material, según la SUCS, contiene 53.93% de grava, 40.47% de arena y 5.60% de limo y arcilla. Sin embargo, de acuerdo a la AASHTO es un suelo de material granular (A-1-a) que posee 58.31% de grava, 36.09% de arena y 5.60% de limo y arcilla. Los porcentajes mencionados según la clasificación sobre grava y arena en el suelo existe un 4.39% de diferencia, aunque, tienen iguales contenidos de limo y arcillas en cantidades pequeñas que pueden actuar como un agente cementante.

c) Límites de Atterberg

Con respecto a los **Límites de Atterberg** el suelo presenta un Límite Líquido (LL) de 19.23% y un Límite Plástico (LP) de 13.30%, por lo cual, su Índice de Plasticidad (IP) es de 5.93%. Definitivamente, el valor del LL es menor al 25% y el IP es menor al 6%, esto quiere decir, que cumple con las especificaciones detalladas en la Tabla N°3. Además, el suelo tiene una baja plasticidad y compresibilidad.

d) Gravedad específica y capacidad de absorción de los agregados

Tabla N° 14. Gravedad específica y capacidad de absorción de los agregados

Agregado	Gravedad específica (gr/cm ³)	Capacidad de absorción (%)
Grueso	2.529	2.821
Fino	2.532	1.071

Fuente: Autor

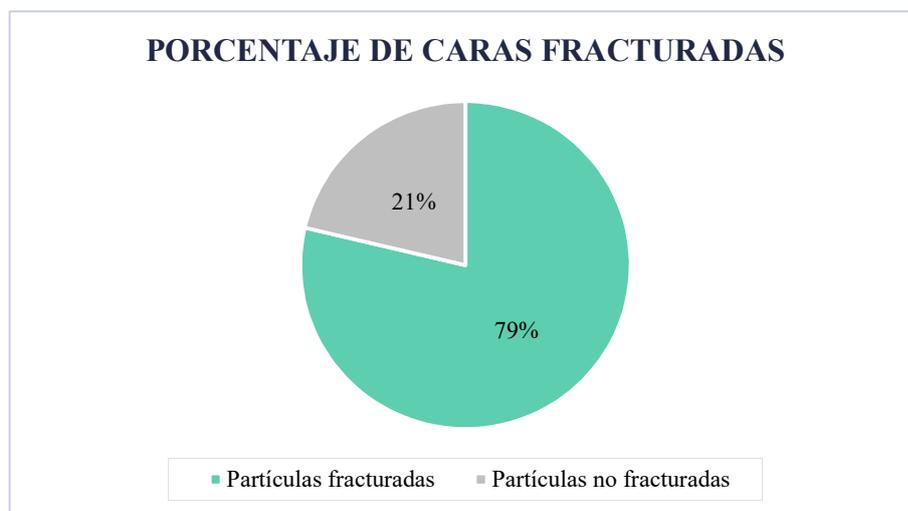
A continuación, en la Tabla N°14 se presenta un resumen de la **gravedad específica y capacidad de absorción** correspondiente al material granular, en el que se obtiene que el agregado grueso tiene un valor menor al agregado fino en lo que se refiere a la

gravedad específica, sin embargo, en la capacidad de absorción del agregado grueso incrementa en 1.750% en comparación al agregado fino. Estos resultados no están sujetos a comprobación para subbase, en vista de que el Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE), no define valores mínimos ni rangos específicos.

e) Porcentaje de caras fracturadas

En la Gráfica N°5, se aprecia que los porcentajes al realizar el ensayo visual de una muestra total de 5000 gr del agregado grueso.

Gráfica N° 5. Porcentaje de caras fracturadas



Fuente: Autor

Se evidencia la mayoría del suelo está constituido por partículas fracturadas, equivalentes al 79%, pero solo el 21% no posee dicha característica. Por otra parte, los resultados no están sujetos a comprobación para subbase, pero se puede inferir por su alto porcentaje de caras fracturas que al estar en contacto con partículas finas proporciona una buena fricción y, por lo tanto, una alta resistencia al corte del suelo.

f) Resistencia al desgaste a los áridos

Por otro lado, el ensayo de *resistencia al desgaste a los áridos*, se obtuvo un coeficiente de desgaste de 30.92%, el cual, cumple de manera óptima con la especificación que no puede ser mayor a 50% de desgaste.

3.1.1.2. Propiedades mecánicas

Tabla N° 15. Propiedades mecánicas del suelo

Compactación Proctor		Relación Soporte California (CBR)			
Densidad máxima γ_d	Humedad Óptima ω	Densidad seca	CBR 1''	CBR 2''	CBR DISEÑO
(g/cm ³)	(%)	98%	(%)	(%)	(%)
1.934	10.50	1.895	41.80	44.70	44.70

Fuente: Autor

En la Tabla N°15 se muestra un resumen de las propiedades mecánicas del suelo, primero, se realizó el estudio de compactación mediante el ensayo del Proctor Modificado en el que se añadió agua en cuatro porcentajes (6%, 9%, 12%, 15%), lo que dio resultado que su humedad óptima correspondiente es de 10.50%, razón por la cual, alcanza una densidad máxima de 1.934 gr/cm³. Seguidamente, se observa los resultados de la resistencia de CBR a un 98% de su densidad seca máxima, por tanto, el CBR a 1'' tiene un valor de 41.80% luego incrementa en un 2.90% de resistencia en relación con el CBR a 2'', finalmente, se considera el valor mayor para el CBR de diseño que en este caso tiene un valor de 44.70% de resistencia.

La capacidad de soporte del suelo analizado es mayor al 30% de tal manera que se cumple según lo especificado por el MTOP de la Tabla N°3, una vez analizado cada especificación se establece que el suelo cumple mencionadas propiedades al 100%. Con este material se llevó a cabo las estabilizaciones con los porcentajes establecidos en este trabajo.

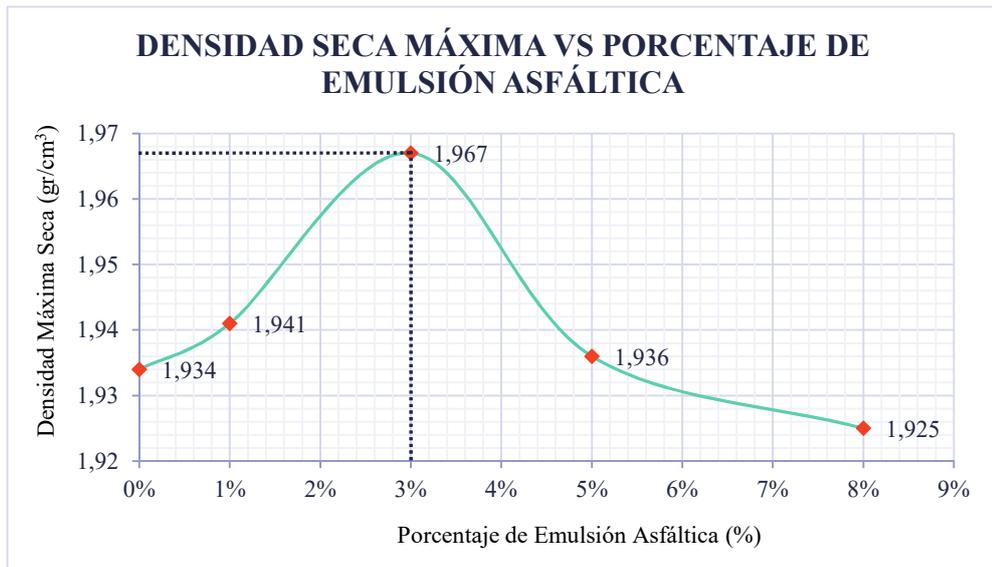
3.1.2. Análisis de valores obtenidos de densidad seca máxima, humedad óptima y capacidad de soporte CBR

3.1.2.1. Suelo estabilizado con emulsión asfáltica

a) *Proctor Modificado*

La Gráfica N°6 simplifica los resultados obtenidos al ejecutar el ensayo de Proctor Modificado constituida por dos ejes que son: densidad seca máxima y el porcentaje de emulsión añadida de 1%, 3%, 5% y 8%.

Gráfica N° 6. Densidad seca máxima vs porcentaje de emulsión asfáltica



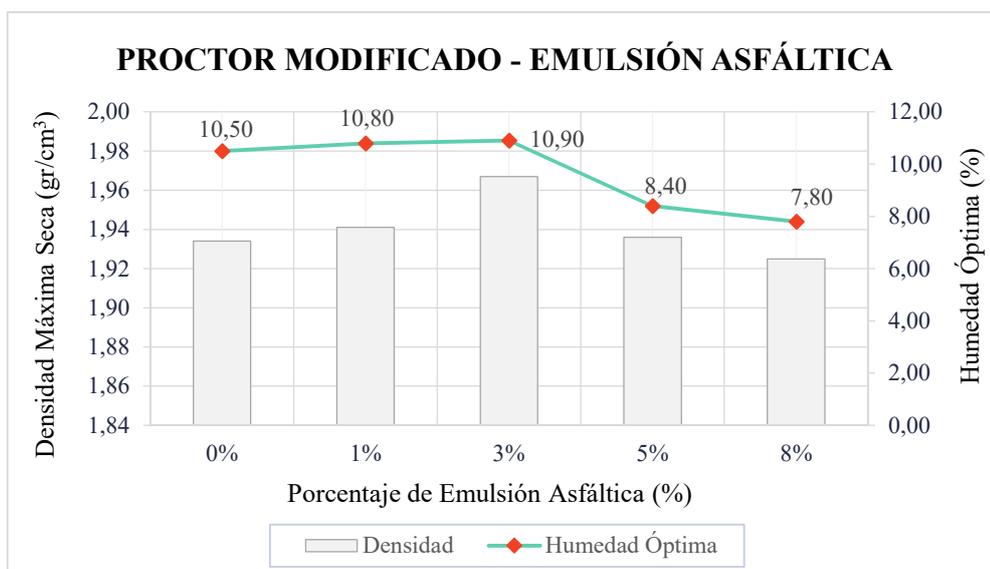
Fuente: Autor

Con respecto, a la gráfica se recapitula que la densidad seca máxima del suelo en estado natural es de 1.934 gr/cm³, que se eleva a 1.941 gr/cm³ al agregar 1% de emulsión, nuevamente sufre un incremento hasta llegar a una densidad de 1.967 gr/cm³ correspondiente al añadir 3% de emulsión asfáltica, es decir, presenta un incremento de 1.71% en relación al suelo en estado natural. También, se considera que la densidad seca máxima desciende a 1.925 gr/cm³ al incorporar 8% de emulsión asfáltica, de otro modo, tiene un decrecimiento de 2.14% respecto al suelo mezclado con 3% de emulsión y un descenso de 0.47% con respecto al suelo en estado natural.

Además, se determina el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica mediante el diseño de una curva densidad máxima vs el porcentaje de emulsión añadida es de 3% con una densidad máxima seca de 1.967 gr/cm³.

Por otra parte, en la Gráfica N°7 se aprecia que la humedad óptima tiene un comportamiento similar como la densidad seca máxima, esto significa que al adicionar emulsión asfáltica su humedad óptima aumenta hasta agregar 3% de emulsión, teniendo un incremento de 0.40% de agua requerida con respecto a la humedad óptima del suelo en estado natural, aunque, tras superar dicho porcentaje, las humedades óptimas empiezan a disminuir a 3.10% de agua necesaria con relación al 3% de emulsión. Por último, la humedad necesaria correspondiente al porcentaje óptimo de emulsión asfáltica (3%) tiene el valor de 10.90%.

Gráfica N° 7. Proctor modificado de emulsión asfáltica



Fuente: Autor

b) Análisis de CBR

La Tabla N°16 se resume los valores del ensayo de CBR (%) que se realizó al porcentaje óptimo de emulsión asfáltica, es decir, al 3% añadido a la subbase.

Tabla N° 16. CBR del porcentaje óptimo de Emulsión Asfáltica (3%)

Relación Soporte California (CBR)			
Densidad seca 98%	CBR 1''	CBR 2''	CBR DISEÑO
gr/cm ³	(%)	(%)	(%)
1,928	42.20	50.00	50.00

Fuente: Autor

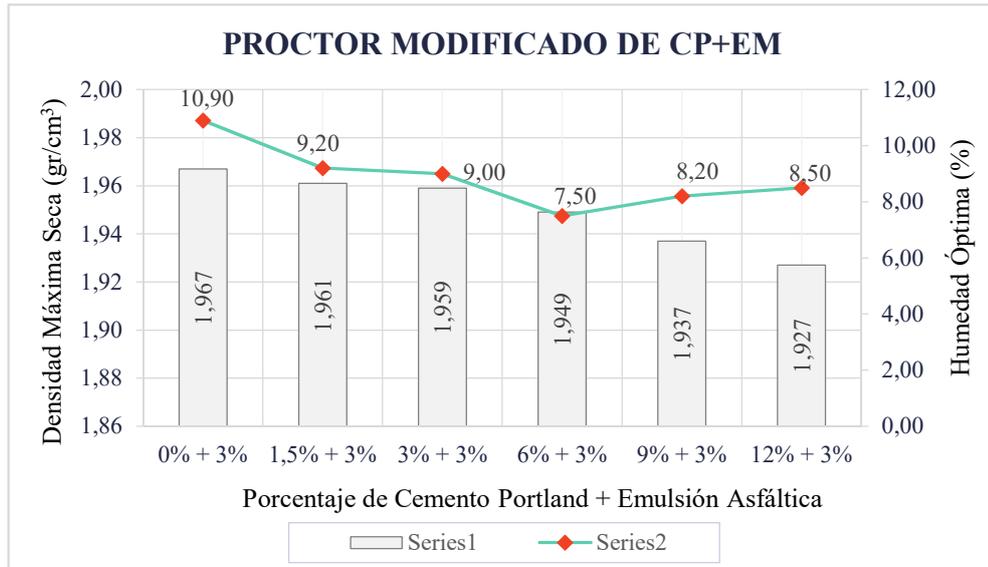
Se observa que la densidad seca máxima al 98% tiene un valor de 1.928 gr/cm³, por lo que se obtiene un CBR 1'' de 42.20% posteriormente tiene un aumento de 7.8% con relación al CBR 2'', finalmente, el CBR de diseño para el 3% de emulsión asfáltica es de 50% de manera que el suelo se clasifica como una buena subbase según Villalaz [25].

3.1.2.2. Suelo estabilizado cemento portland y emulsión asfáltica

a) Proctor Modificado

La Gráfica N°8 resume los resultados obtenidos al elaborar el ensayo de Proctor Modificado del suelo mezclado con cemento portland (CP) y el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica (EM) que es de 3%, es por esto, que está compuesta por tres ejes (densidad seca máxima, humedad óptima y el porcentaje de CP + EM) con sus respectivos valores.

Gráfica N° 8. Proctor modificado de cemento portland (CP) + emulsión asfáltica (EM)



Fuente: Autor

Al analizar la gráfica, se evidencia la densidad seca máxima del suelo al añadir el 3% de emulsión asfáltica, pero sin porcentaje de cemento, como ya se mencionó tiene un valor de 1.967 gr/cm³, que disminuye al agregarle el 1.5%CP + 3%EM teniendo un valor de 1.961 gr/cm³ de igual manera, al añadir el 3%CP + 3%EM reduce su densidad seca máxima a 1.959 gr/cm³, por lo tanto, existe un pequeño decrecimiento de 0.10 % en la densidad al añadir el 1.5%CP + 3%EM. Además, los valores del 6%CP + 3%EM, 9%CP + 3%EM y 12%CP + 3%EM de adición siguen decreciendo a 1.949 gr/cm³, 1.937 gr/cm³ y 1.927 gr/cm³ respectivamente.

Al adicionar el 12%CP + 3%EM, se produce una disminución de 2.03% de densidad seca máxima en relación al suelo con 0%CP + 3%EM, es decir, el valor de la densidad sufre un descenso, por lo que se deduce que son valores inversamente proporcionales, en otras palabras, mientras más porcentaje de cemento se añade menor es el valor de la densidad.

También, se puede apreciar que al añadir el 1.5%CP + 3%EM en la humedad óptima se produce un descenso con respecto al 0%CP + 3%EM de 10.90% a 9.20%, por lo cual, tiene un decrecimiento de 1.70%, luego vuelve a disminuir nuevamente hasta un valor de 7.50% de humedad óptima al agregar el 6%CP + 3%EM, no obstante, comienza a incrementar en un 0.70% al adicionar el 9%CP + 3%EM y asciende a un valor de 8.50% de humedad óptima correspondiente al añadir el 12%CP + 3%EM.

b) Análisis de CBR

En la Gráfica N°9 se puede apreciar los resultados de los moldes compactados a 56 golpes de muestras que han sido saturadas y ensayadas conforme a la normativa ASTM D – 1883 y AASHTO T – 193.

Gráfica N° 9. Diagrama de esfuerzo vs penetración a 56 golpes de muestras saturadas



Fuente: Autor

Con respecto, a la gráfica se puede apreciar que al realizar el ensayo de CBR de las muestras saturadas que contienen cemento portland y emulsión asfáltica en diferentes porcentajes, se observa primero que el suelo natural alcanza una penetración máxima de 0.3 plg y un esfuerzo de 9 781.40 lb/plg², seguidamente el suelo con 3%CP + 3%EM alcanza hasta 0.1 plg de penetración y su esfuerzo se incrementa a un valor de 10 025.10 lb/plg², luego, sigue la misma tendencia el 6%CP + 3%EM logrando una penetración de 0.075 plg y el esfuerzo de 10 523.30 lb/plg², dicho de otra manera, es que a medida que se adicionó cemento portland y emulsión asfáltica su penetración

fue disminuyendo pero el esfuerzo que el equipo de CBR aplica es mayor llegando así a su límite de capacidad de carga.

Por otra parte, al realizar el ensayo del suelo con el 9%CP + 3%EM la penetración máxima fue de 0.025 plg y alcanzo un esfuerzo de 7 332.90 lb/plg², una vez que alcanzo dicho esfuerzo prácticamente la máquina se detuvo porque el suelo estaba muy compacto como se puede apreciar en la Figura N°24 una pequeña huella que dejaba el pistón.

Figura N° 24. Muestras de CP+EM saturadas después del ensayo de CBR



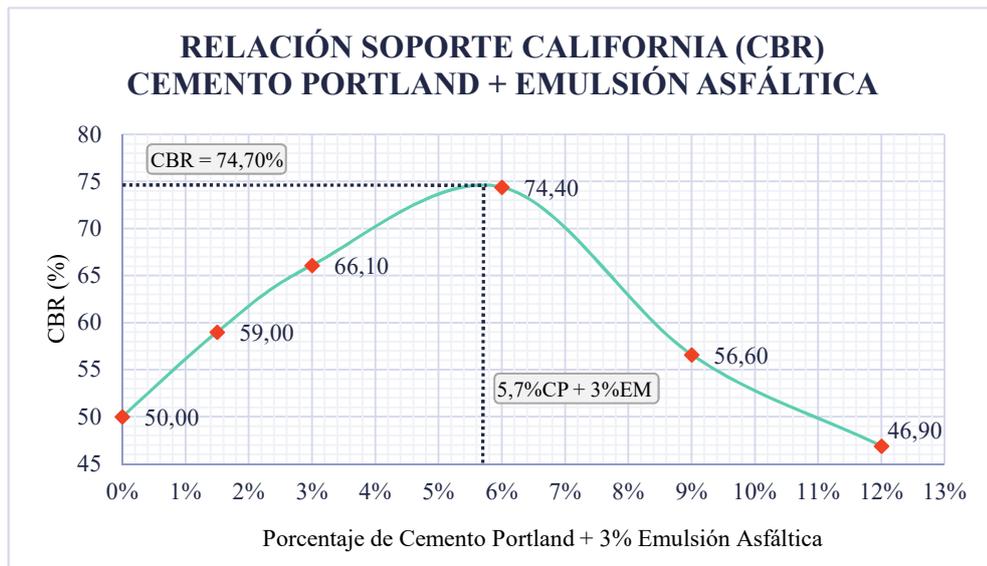
Fuente: Autor

En realidad, al dejar sumergidas durante tres días las muestras en agua con porcentajes amplios de cemento portland originaron que el cemento al estar en contacto con el agua se produzca un endurecimiento y pérdida de plasticidad. Además, debido a la presencia de la subbase que está compuesta de grava y arena se estaba produciendo un hormigón simple con el cemento y agua. Es por esto que las penetraciones del pistón eran cada vez menores originando una dificultad en el ensayo de CBR por la falta de penetración en 1plg y 2plg que son necesarios para determinar el valor de su resistencia.

Por todo lo mencionado anteriormente se optó por ensayar las muestras sin sumergirlas en agua en donde se logró obtener las penetraciones necesarias del pistón en la muestra a fin de calcular el valor de CBR.

En la Gráfica N°10 simplifica los resultados obtenidos al ejecutar el ensayo Relación de Soporte California (CBR) de muestras no sumergidas, por tanto, está constituida por dos ejes (Valores de CBR (%) y porcentaje de cemento portland + emulsión asfáltica).

Gráfica N° 10. CBR del porcentaje de cemento portland (CP) + emulsión asfáltica (EM)



Fuente: Autor

Mediante esta gráfica, que se refiere al valor de CBR a partir del 1.5%CP + 3%EM, este incrementa según se agrega CP+EM hasta en un 6%CP + 3%EM en la subbase clase 3, una vez superado este porcentaje el valor de CBR disminuye. En otras palabras, el CBR inicial tiene un valor de 50% de resistencia del 0%CP + 3%EM, luego, aumenta a un 59% nuevamente aumenta hasta llegar a un valor de CBR de 74.40% al incorporar el 3%CP + 3%EM, sin embargo, el CBR desciende a 56.60% y 46.90% al agregar 9%CP + 3%EM y 12%CP + 3%EM respectivamente.

También, se observa que el valor óptimo de CBR es 74.70% que se encuentra dentro del rango de 3%CP + 3%EM y 6%CP + 3%EM, es decir, precisamente al agregar **5.7%CP + 3%EM** de manera que el suelo se lo clasifica como muy buena base según Villalaz [25]. Por último, con relación al valor inicial de 0%CP + 3%EM y el valor de óptimo de CBR se aprecia un incremento del CBR en un 24.60%.

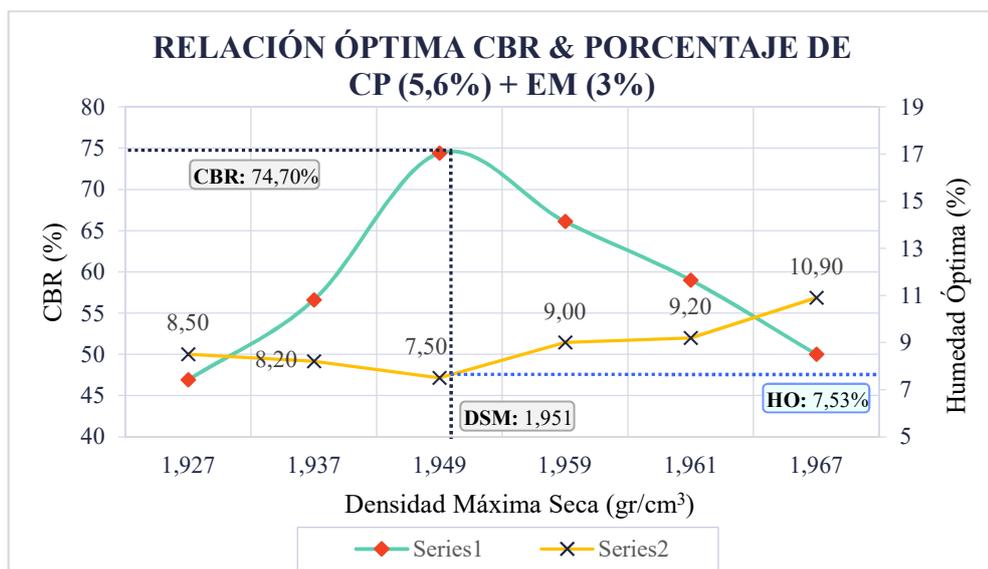
Se cumple con los porcentajes establecidos de cemento portland (3%, 6%, 9% y 12%), sin embargo, con la adición de 3%CP se observa una alteración de los valores, por lo

cual se procedió a realizar los ensayos como un punto intermedio siendo este una adición del 1.5%CP para conocer el comportamiento del CBR en el rango del 0% a 3% de adición de cemento portland.

c) Análisis de CBR óptimo modificado

La Gráfica N°11 representa la relación óptima de CBR que tiene un valor de 74.70% al adicionar 5.7%CP + 3%EM con sus respectivos valores de humedad óptima (OH) y densidad seca máxima (DSM) al 100% de la subbase clase 3.

Gráfica N° 11. Relación óptima CBR (5.7%CP+3%EM)



Fuente: Autor

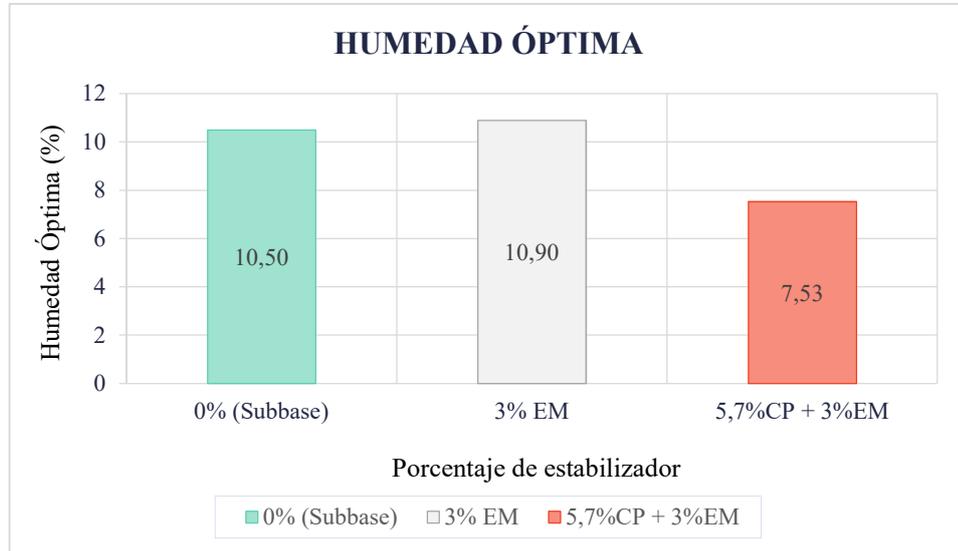
Con respecto, a la gráfica se observa que al adicionar 5.7%CP + 3%EM a la subbase clase 3 se necesita agregar agua en un 7.53% (humedad óptima) para alcanzar una densidad máxima al 100% de 1.951 gr/cm³, con el fin de utilizar dichos valores y obtener un CBR óptimo de 74.70% ocupando el 95% de su densidad seca máxima.

3.1.3. Comparación de las características de las subbases clase 3 con los métodos de estabilización

Con el material granular proveniente de la cantera “Las Viñas” de provincia de Tungurahua, una vez analizado es clasificado como una subbase clase 3, de modo que, se llevó el estudio de sus propiedades mediante ensayos tanto del suelo en estado natural (0%) como del suelo modificado al añadir distintos porcentajes de emulsión asfáltica (EM) y cemento portland (CP).

A continuación, se presentan graficas que resumen los resultados obtenidos con los estabilizadores aplicados al suelo.

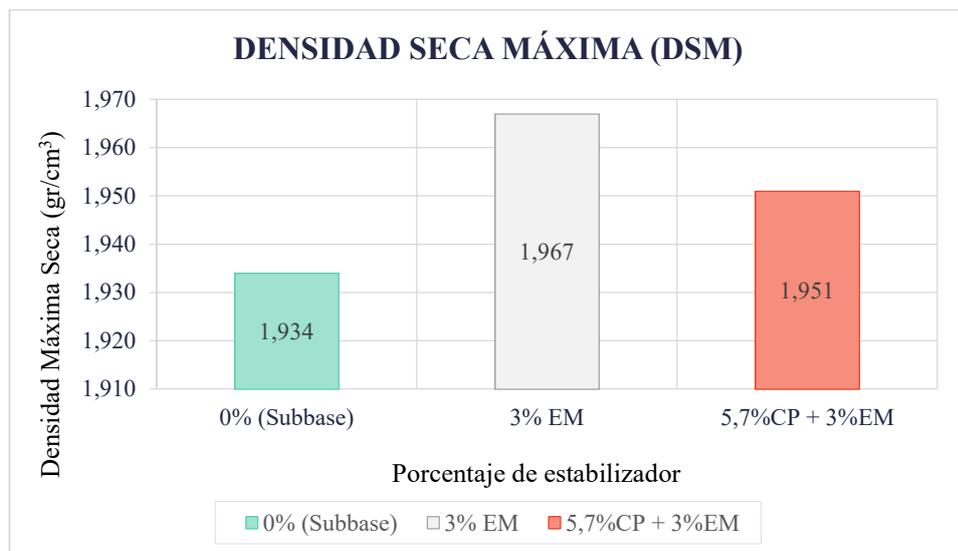
Gráfica N° 12. Humedad óptima con el porcentaje de estabilizador



Fuente: Autor

Con respecto, a la Gráfica N°12 se estima que la humedad óptima del suelo en estado natural tiene un valor de 10.50% y una humedad de 10.90% al incorporar el 3% de emulsión asfáltica, por lo que se muestra un incremento de 0.40%, aunque, al agregar el 5.6%CP + 3%EM la humedad optima descendiente a 7.53% teniendo una declinación en un 2.97% con respecto a la subbase (0%).

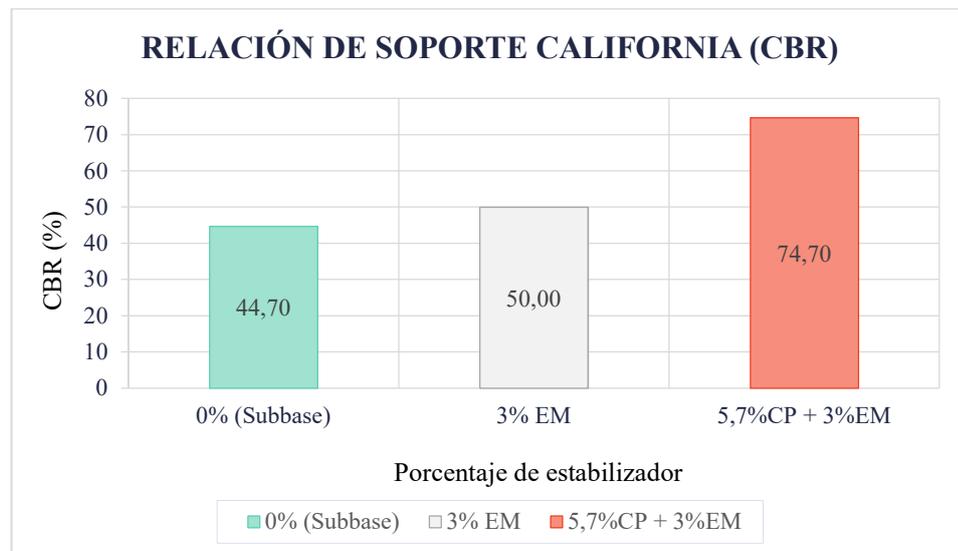
Gráfica N° 13. Densidad seca máxima con el porcentaje de estabilizador



Fuente: Autor

Por otra parte, al analizar la Gráfica N°13 que el suelo (0%) tiene una densidad de 1.934 gr/cm³, que aumenta al añadir el 3% de emulsión asfáltica, con una densidad de 1.967 gr/cm³, luego se aprecia que al adicionar el cemento portland (5.6%) con el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica disminuye a 1.951 gr/cm³ de densidad, por lo que desciende en un 0.81% con relación al 3% de emulsión, no obstante, posee un incremento de un 0.88% con respecto a la densidad seca máxima del suelo natural.

Gráfica N° 14. CBR con el porcentaje de estabilizador



Fuente: Autor

En la Gráfica N°14 se observa que los valores de CBR ascienden según se aplican los estabilizadores, al añadir 3% de emulsión asfáltica se alcanza un CBR de 50%, teniendo así un incremento en un 5.30% en relación al suelo natural (44.70%), alcanzado una estabilidad de 11.86%. Además, para adicionar 5.7% de cemento portland (CP) más el 3% de emulsión asfáltica (EM) su CBR incrementa de un valor inicial de 44.70% a 74.70%, lo que representa un progreso en sus propiedades del 67.11% obteniendo para dicha combinación un incremento en un 55.26% de porcentaje de estabilización con relación a la muestra de suelo más el 3% de emulsión asfáltica.

3.1.4. Diseño de pavimento flexible

Para el respectivo diseño se determina los parámetros establecidos en la metodología de la Fase VI.

3.1.4.1. Parámetros de diseño

a) Tráfico futuro – TPDA_f

En la Tabla N°17 se aprecia el tráfico futuro que se determinó con el índice de crecimiento anual para los tipo de vehículos livianos, buses y pesados. El período de diseño es de 20 años.

Tabla N° 17. TPDA futuro (20años de proyección)

AÑO	% Tasa de crecimiento (i)			Tráfico Futuro			TPDA _f Total
	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	
2024	3,10	1,05	2,61	6209	241	348	6799
2025	3,10	1,05	2,61	6402	244	357	7003
2026	2,82	0,96	2,38	6511	245	362	7119
2027	2,82	0,96	2,38	6695	248	371	7313
2028	2,82	0,96	2,38	6884	250	380	7513
2029	2,82	0,96	2,38	7078	253	389	7719
2030	2,82	0,96	2,38	7277	255	398	7930
2031	2,82	0,96	2,38	7483	257	407	8147
2032	2,82	0,96	2,38	7694	260	417	8371
2033	2,82	0,96	2,38	7911	262	427	8600
2034	2,82	0,96	2,38	8134	265	437	8836
2035	2,82	0,96	2,38	8363	267	448	9078
2036	2,82	0,96	2,38	8599	270	458	9327
2037	2,82	0,96	2,38	8841	273	469	9583
2038	2,82	0,96	2,38	9091	275	480	9846
2039	2,82	0,96	2,38	9347	278	492	10117
2040	2,82	0,96	2,38	9611	281	503	10395
2041	2,82	0,96	2,38	9882	283	515	10680
2042	2,82	0,96	2,38	10161	286	528	10975
2043	2,82	0,96	2,38	10447	289	540	11276
2044	2,82	0,96	2,38	10742	292	553	11587

Fuente: Autor

El TPDA_{futuro} (2044) tiene un valor de 11587 veh/día, por tanto, al transcurrir 20 años tendrá un incremento de 4787 veh/día con relación al TPDA_{actual} (2024) que tiene un valor de 6799 veh/día.

b) *Ejes equivalentes (W18)*

Una vez obtenido el TPDA futuro, se realiza el cálculo respectivo para el eje de diseño equivalente que se detalla en la siguiente tabla: TPDA_f

Tabla N° 18. Ejes equivalentes (W18) para el 2044

AÑO	Tráfico Futuro			TPDA _f Total	Ejes equivalentes W18		
	Livianos	Buses	Pesados		Acumulado	Por sentido	Carril de diseño
2024	6209	241	348	6799	1.580.184	790.092	790.092
2025	6402	244	357	7003	1.998.249	999.125	999.125
2026	6511	245	362	7119	2.421.547	1.210.774	1.210.774
2027	6695	248	371	7313	2.853.596	1.426.798	1.426.798
2028	6884	250	380	7513	3.294.590	1.647.295	1.647.295
2029	7078	253	389	7719	3.744.730	1.872.365	1.872.365
2030	7277	255	398	7930	4.204.221	2.102.110	2.102.110
2031	7483	257	407	8147	4.673.272	2.336.636	2.336.636
2032	7694	260	417	8371	5.152.098	2.576.049	2.576.049
2033	7911	262	427	8600	5.640.917	2.820.458	2.820.458
2034	8134	265	437	8836	6.139.954	3.069.977	3.069.977
2035	8363	267	448	9078	6.649.440	3.324.720	3.324.720
2036	8599	270	458	9327	7.169.607	3.584.804	3.584.804
2037	8841	273	469	9583	7.700.698	3.850.349	3.850.349
2038	9091	275	480	9846	8.242.958	4.121.479	4.121.479
2039	9347	278	492	10117	8.796.639	4.398.320	4.398.320
2040	9611	281	503	10395	9.361.998	4.680.999	4.680.999
2041	9882	283	515	10680	9.939.300	4.969.650	4.969.650
2042	10161	286	528	10975	10.528.812	5.264.406	5.264.406
2043	10447	289	540	11276	11.130.812	5.565.406	5.565.406
2044	10742	292	553	11587	11.745.582	5.872.791	5.872.791

Fuente: Autor

En cuanto, a la tabla se define que la propuesta consta de un diseño de 2 carriles, por tanto se considera el 50% de ejes equivalentes por sentido, es decir, con la Ec. 13 se calculó de la siguiente manera:

$$W18_{\text{Por sentido (2024)}} = W18_{\text{Acumulado (2024)}} * Dd$$

$$W18_{\text{Por sentido (2024)}} = 11\,745\,582 \text{ veh} * 0,5$$

$$W18_{\text{Por sentido (2024)}} = 5\,872\,791 \text{ veh}$$

Además, para el número de ejes por carril se tomó en cuenta el 100% del flujo vehicular por sentido por ende se define con la Ec.14:

$$W18_{\text{Carril de diseño (2024)}} = W18_{\text{Por sentido (2024)}} * Dc$$

$$W18_{\text{Carril de diseño (2024)}} = 5\,872\,791 \text{ veh} * 1$$

$$W18_{\text{Carril de diseño (2024)}} = 5\,872\,791 \text{ veh}$$

c) Número estructural requerido (NR_{REQ})

En base a los parámetros de diseño de la Tabla N°6 y el número de ejes equivalentes calculado anteriormente, dichos valores se ingresó al Software Ecuación AASHTO – 93 para determinar el número estructural mínimo total que es necesario para la vía.

Figura N° 25. Número estructural requerido por la vía

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '17210 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'.
- W18 =** A text box containing the value '5872791'.
- Número Estructural:** A text box for 'SN =' containing the value '3.25'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Autor

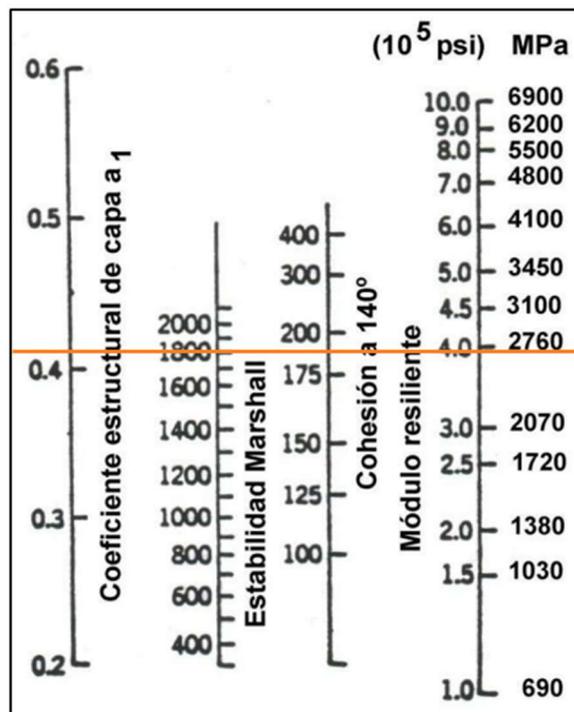
En la Figura N°25 se observa que el SN_{REQ} tiene un valor de 3.25, por lo tanto, las capas deben tener un valor total de número estructural mayor o igual al requerido. Mencionado valor es necesario para aplicarlo en la Ec.8.

d) Coeficientes estructurales

Con estos coeficientes se puede determinar la capacidad relativa de cada capa componente de la estructura del pavimento, esto no quiere decir que sean indicadores directos de la resistencia del material. Sin embargo, dichos factores están ligados con los distintos parámetros de resistencia.

Para el **coeficiente estructural a_1** se tomó como base la Tabla N°17 de acuerdo al TPDA que tiene un valor de 11587 veh/día y en función al tipo de vía se clasifico como tráfico pesado por tanto se toma una estabilidad mínima de 1800lb. Con este valor de estabilidad Marshall se ingresa al ábaco para determinar el coeficiente estructural a_1 y el módulo resiliente que corresponde a la carpeta asfáltica.

Figura N° 26. Coeficiente estructural – carpeta asfáltica (a_1)

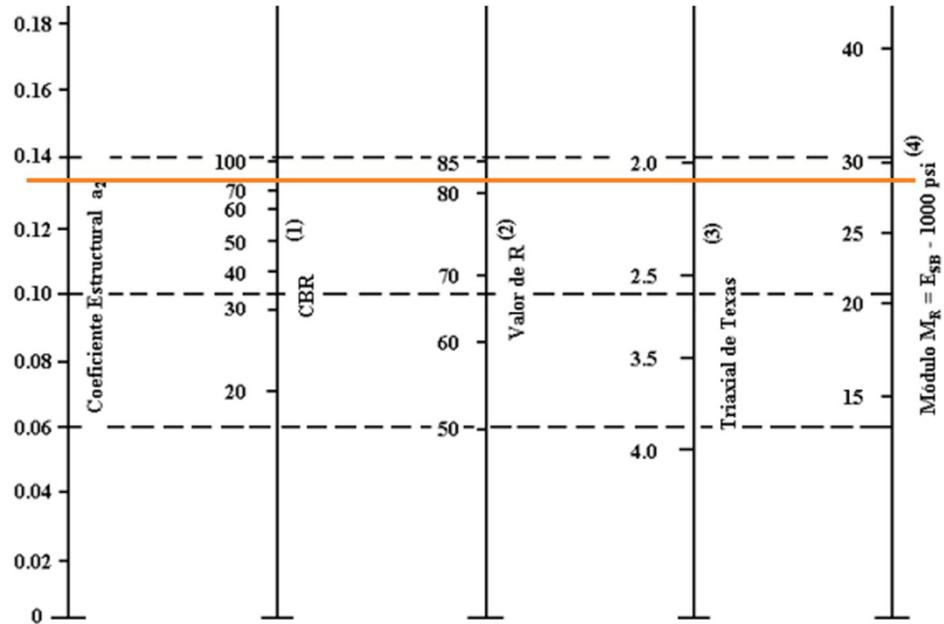


Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

En cuanto, a la Figura N°26 se obtiene un coeficiente estructural $a_1 = 0.41$ y un módulo resiliente $M_r = 3.95 \times 10^5$ psi (395 ksi).

Por otra parte, para **coeficiente estructural a_2** acatando las disposiciones por el MTOP el valor de CBR para la base se asume el valor mínimo de CBR, es decir, un valor del 80% de resistencia de una base clase 2, dicho valor se ingresa en la Figura N° 27.

Figura N° 27. Coeficiente estructural – base granular (a_2)



Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

Para la capa base granular mediante el ábaco se aprecia un coeficiente estructural $a_2 = 0.133$ y un módulo resiliente $M_r = 28\ 000$ psi (280 ksi).

Finalmente, para el **coeficiente estructural a_3** se toma los valores de CBR de la subbase clase 3 con y sin estabilizadores y se inserta dichos valores en la Figura N°28.

Figura N° 28. Coeficientes estructurales – subbase (a_3)



Fuente: Guía de diseño de la estructura del pavimento, AASHTO – 93.

En la Tabla N°19 se resumen los parámetros necesarios de la subbase granular para el diseño de los tres pavimentos la cual tiene relación a la Figura N°28 basándose en los colores utilizados.

Tabla N° 19. Coeficientes estructurales para la subbase con y sin estabilizadores

% de Estabilizadores	0% (Natural)	3% EM	5.7%CP + 3%EM
CBR (%)	44.70	50	74.70
Color de identificación	celeste	tomate	verde
Coef. estructural (a_3)	0.123	0.126	0.138
Módulo resiliente (psi)	16 900	18 000	19 000

Fuente: Autor

3.1.4.2. Diseño de pavimento 1 (Subbase en estado natural)

En referencia, al diseño de pavimento 1 se realizó con la subbase en estado natural, es decir, sin alteración alguna a sus propiedades el valor de CBR correspondiente es de 44.70%.

Tabla N° 20. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 1

Parámetros de diseño	Valores
Ejes Equivalentes (W18)	5 872 791
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Z_r)	-1.037
Desviación estándar global (S_o)	0.45
Serviciabilidad inicial (P_o)	4.2
Serviciabilidad final (P_f)	2.5
Módulo resiliente de la subrasante “Mr”	17.21 ksi
Coeficiente a_1	0.410
Módulo resiliente de la carpeta asfáltica	395 ksi
Coeficiente a_2	0.133
Módulo resiliente de la base	18 ksi
Coeficiente a_3	0.123
Módulo resiliente de la subbase clase 3	16.90 ksi

Fuente: Autor

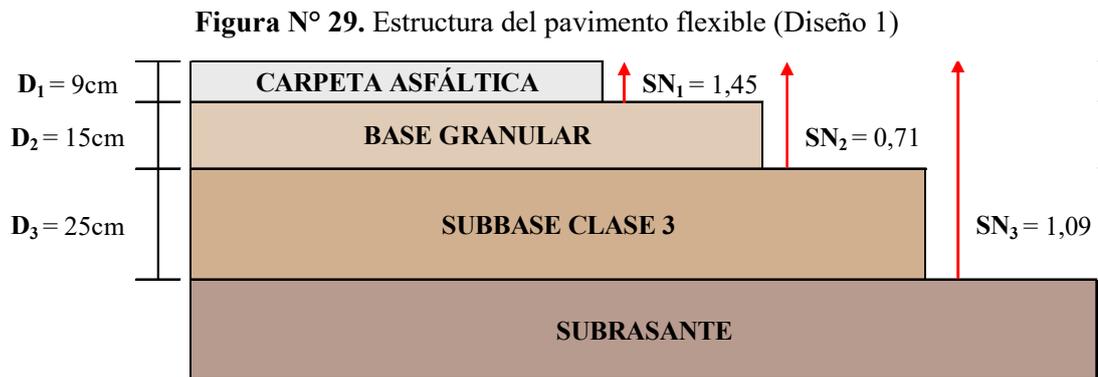
Tabla N° 21. Pavimento Flexible (Diseño 1)

DATOS DE ENTRADA:			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			395,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			16,90
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			5.872.791
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17,21
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,410
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,123
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			0,900
Subbase (m ₃)			0,900
DATOS DE SALIDA:			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})			3,25
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})			2,69
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})			0,58
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})			-0,02
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEÓRICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	16,7 cm	9,0 cm	1,45
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	12,3 cm	15,0 cm	0,71
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-0,5 cm	25,0 cm	1,09
ESPESOR TOTAL (cm)		49,0 cm	3,25

Fuente: Autor

Por tanto, los espesores y números estructurales de cada capa de la estructura del pavimento se observa en la Figura N°29.

- Carpeta Asfáltica: 9 cm
- Capa base granular: 15 cm
- Capa subbase granular: 25 cm



Fuente: Autor

3.1.4.3. Diseño de pavimento 2 (Subbase + 3%EM)

En cuanto, al diseño de pavimento 2 se realizó con la subbase más 3%EM.

Tabla N° 22. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 2

Parámetros de diseño	Valores
Ejes Equivalentes (W18)	5 872 791
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.037
Desviación estándar global (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad final (Pf)	2.5
Módulo resiliente de la subrasante “Mr”	17.21 ksi
Coficiente a_1	0.410
Módulo resiliente de la carpeta asfáltica	395 ksi
Coficiente a_2	0.133
Módulo resiliente de la base	18 ksi
Coficiente a_3	0.126
Módulo resiliente de la subbase clase 3	18.00 ksi

Fuente: Autor

Tabla N° 23. Pavimento Flexible (Diseño 2)

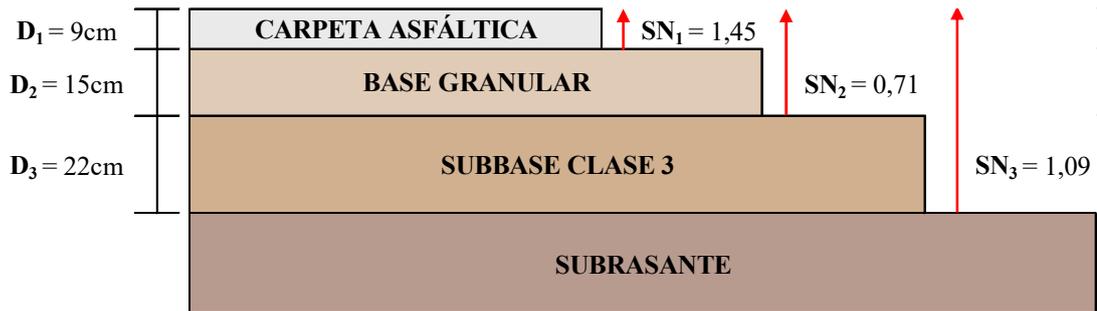
DATOS DE ENTRADA:			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			395,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			18,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			5.872.791
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17,21
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0,410
Base granular (a2)			0,133
Subbase (a3)			0,126
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)			0,900
Subbase (m3)			1,000
DATOS DE SALIDA:			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})			3,25
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})			2,69
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})			0,50
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})			0,06
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEÓRICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	16,7 cm	9,0 cm	1,45
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	10,6 cm	15,0 cm	0,71
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	1,2 cm	22,0 cm	1,09
ESPESOR TOTAL (cm)		46,0 cm	3,25

Fuente: Autor

Por tanto, los espesores y números estructurales de cada capa de la estructura del pavimento se observa en la Figura N°30.

- Carpeta Asfáltica: 9 cm
- Capa base granular: 15 cm
- Capa subbase granular: 22 cm

Figura N° 30. Estructura del pavimento flexible (Diseño 2)



Fuente: Autor

3.1.4.4. Diseño de pavimento 3 (Subbase + 5.7%CP + 3%EM)

Se realizó con la subbase más 5.7% (CP) y 3% (EM), el valor de CBR es de 74.70%.

Tabla N° 24. Parámetros de diseño para la Estructura del Pavimento 3

Parámetros de diseño	Valores
Ejes Equivalentes (W18)	5 872 791
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Zr)	-1.037
Desviación estándar global (So)	0.45
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad final (Pf)	2.5
Módulo resiliente de la subrasante "Mr"	17.21 ksi
Coficiente a₁	0.410
Módulo resiliente de la carpeta asfáltica	395 ksi
Coficiente a₂	0.133
Módulo resiliente de la base	18 ksi
Coficiente a₃	0.138
Módulo resiliente de la subbase clase 3	19.00 ksi

Fuente: Autor

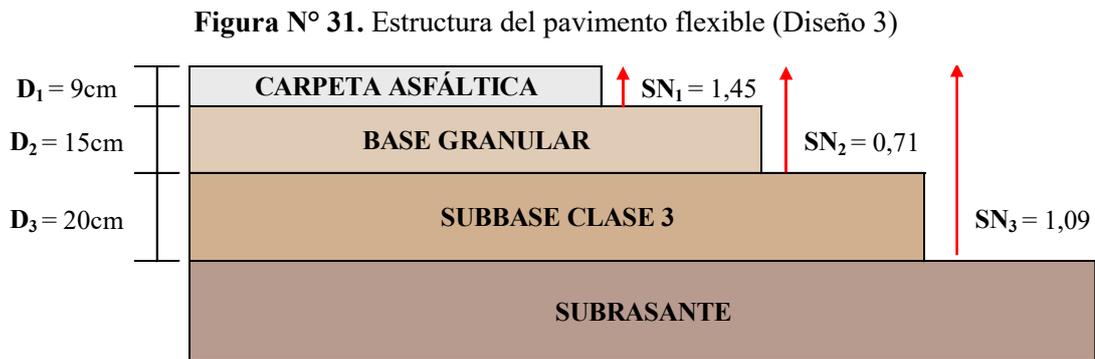
Tabla N° 25. Pavimento Flexible (Diseño 3)

DATOS DE ENTRADA:			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			395,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			19,00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			5.872.791
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17,21
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,410
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,138
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			0,900
Subbase (m ₃)			1,000
DATOS DE SALIDA:			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})			3,25
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})			2,69
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})			0,44
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})			0,12
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEÓRICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	16,7 cm	9,0 cm	1,45
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	9,3 cm	15,0 cm	0,71
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	2,2 cm	20,0 cm	1,09
ESPESOR TOTAL (cm)		44,0 cm	3,25

Fuente: Autor

Por lo tanto, los espesores y números estructurales de cada capa de la estructura del pavimento se observa en la Figura N°31.

- Carpeta Asfáltica: 9 cm
- Capa base granular: 15 cm
- Capa subbase granular: 20 cm



Fuente: Autor

3.1.4.5. Análisis de los diseños de pavimentos

En la Tabla N°26 se puede apreciar los espesores diferentes que conforman el pavimento, los valores corresponden a los 3 diseños de pavimento.

Tabla N° 26. Espesores de las capas del pavimento

Capas de pavimento	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	0%	3%EM	5,7%CP + 3%EM
Carpeta Asfáltica	9 cm	9 cm	9 cm
Capa Base Granular	15 cm	15 cm	15 cm
Capa Subbase Granular	25 cm	22 cm	20 cm
Espesor total	49 cm	46 cm	44 cm

Fuente: Autor

Cabe mencionar que para una mayor perspectiva de la influencia de la subbase con y sin los estabilizantes se optó por asumir el mismo espesor de carpeta asfáltica que es de 9 cm y de capa base granular de 15 cm, de modo que los únicos que tienen variación son los espesores de la subbase. En el diseño 1 tiene un espesor de capa de 25 cm y se aprecia que existe un aumento de 3 cm de capa con relación al diseño 2. Por otra parte,

en el diseño 3 existe una reducción de 5 cm con respecto al diseño 1 de tal manera que se tiene un espesor total de 44 cm siendo el menor entre los tres diseños.

3.1.5. Análisis económico

A continuación, se presenta los diferentes presupuestos para los diseños de pavimentos (Tabla N°27 –N°28 – N°29) en la que se consideró como referencia una vía de 1km de distancia y un ancho de 7.30m (3.65m por carril).

El cálculo de las cantidades necesarias para la vía y de los estabilizadores se encuentra en la sección de Anexo C en el que se puede evaluar de manera detallada cada uno de los rubros que se han estimado para el respectivo análisis. Recapitulando, el diseño 1 presentan un CBR de 44.70%, el diseño 2 un valor de 50% y el diseño 3 un valor de 74.70% de resistencia.

Tabla N° 27. Presupuesto (Diseño 1)

DISEÑO 1 - SUBBASE CLASE 3					
RUBRO N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Capa de rodadura	m ³	7300	8,85	64.605,00
2	Base Clase 2	m ³	1095	19,77	21.648,15
3	Subbase Clase 3	m ³	1825	21,10	38.507,50
				TOTAL	124.760,65

Fuente: Autor

Tabla N° 28. Presupuesto (Diseño 2)

DISEÑO 2 - 3% EMULSIÓN ASFÁLTICA					
RUBRO N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Capa de rodadura	m ³	7300	8,85	64.605,00
2	Base Clase 2	m ³	1095	19,77	21.648,15
3	Subbase + 3%EM	m ³	1606	47,03	75.530,18
				TOTAL	161.783,33

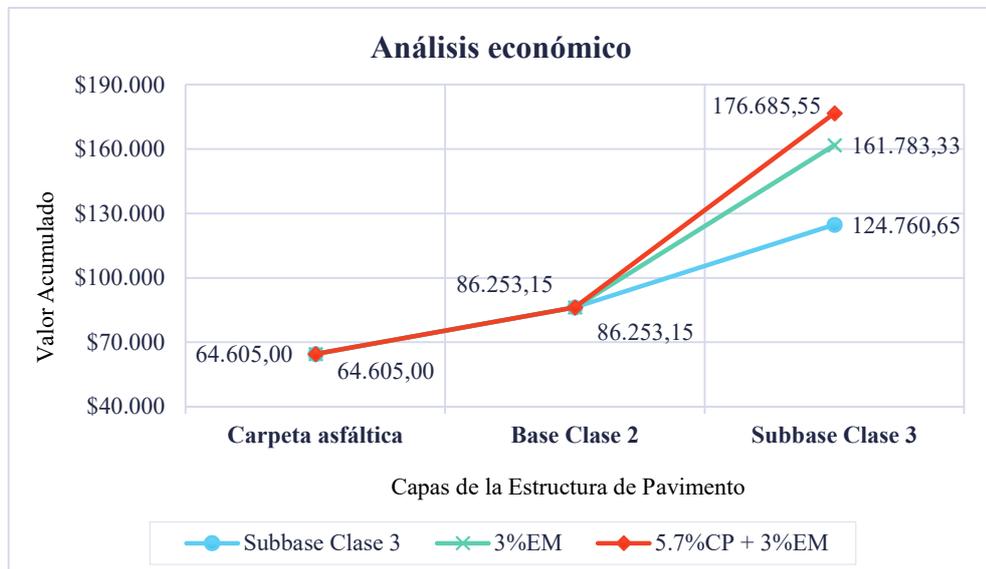
Fuente: Autor

Tabla N° 29. Presupuesto (Diseño 3)

DISEÑO 3 - 5,7 CEMENTO PORTLAND + 3% EMULSIÓN ASFÁLTICA					
RUBRO N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Capa de rodadura	m ³	7300	8,85	64.605,00
2	Base Clase 2	m ³	1095	19,77	21.648,15
3	Subbase + CP + EM	m ³	1460	61,84	90.432,40
TOTAL					176.685,55

Fuente: Autor

Gráfica N° 15. Análisis económico



Fuente: Autor

Con respecto, a la Gráfica N°15 se aprecia la diferencia de costos que existe entre los 3 diseños de pavimento, aunque, la carpeta asfáltica que tiene un espesor de 9cm y la base de 15 cm posee los mismos costos en los 3 diseños de pavimento. El diseño 1 correspondiente a la subbase en estado natural, en cuanto al diseño 2 pertenece al suelo con emulsión asfáltica y por último el tercer diseño corresponde al suelo más cemento portland y la emulsión asfáltica.

En el diseño 1 sube el costo de \$86.253,15 a \$124.760,65, lo que significa que existe un incremento de \$38.507,50, además, el diseño 2 y 3 tiene un ascenso de precio de \$75.530,18 y \$90.432,40 respectivamente.

Al realizar la comparación entre los tres diseños se puede observar que entre el diseño 1 y el diseño 2 existe una diferencia de \$37.022,68, sin embargo, el diseño 1 y 3 se aprecia una mayor diferencia de \$51.924,90. Se infiere que al realizar una estabilización a la subbase ocasionará un costo adicional por metro cubico debido a los materiales (estabilizadores) empleados. Lo que significa que el diseño 1 es el más económico, aunque, conservara las propiedades físico – mecánicas del suelo natural.

Finalmente, en este análisis se constató que el suelo al estar estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica su capacidad de soporte es muy buena, además, que el espesor de la subbase en el pavimento es menor en relación con la subbase en su estado natural, pero tiene una desventaja con respecto a costos por los estabilizadores que elevan notablemente su precio lo que significa que no es tan viable en este aspecto. Se podría realizar combinaciones con estabilizadores de costos más bajos y realizar composiciones con porcentajes más pequeños a los planteados en este trabajo de cemento y emulsión asfáltica.

3.2. Verificación de hipótesis

Hipótesis: La adición de emulsión asfáltica y cemento portland en un suelo granular de subbase clase 3 mejora la Capacidad de Soporte California CBR

En base a los resultados obtenidos en laboratorio en la ejecución del ensayo de Capacidad de Soporte California (CBR) se toma como verdadera la hipótesis dado que la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en estos tipos de suelos ocasionan un aumento en su valor de CBR, por tanto, la capacidad de carga y resistencia al esfuerzo de corte es superior.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En el trabajo desarrollado se ha puesto de manifiesto que el material proveniente de la cantera “Las Viñas” cumplen con las especificaciones granulométricas para subbase clase 3, además que presenta un índice líquido de 19.23%, índice plástico de 5.93%, desgaste del agregado de 30.92% y un valor de capacidad de soporte (CBR) de 43.80% que está dentro de lo especificado por la norma del MOPT.
- Mediante el análisis granulométrico se determinó que el 5.65% de las partículas del suelo (subbase clase 3) pasan por el tamiz N°200, por tanto, se clasifica como material granular según la clasificación que propone la norma AASHTO y SUCS.
- Se concluye que el contenido de humedad natural que presenta la muestra es de 3.30%, es por esto, que su comportamiento enfatiza una baja retención de agua. Además, la gravedad específica promedio entre el árido grueso y fino tiene un valor 2.531 gr/cm³ permitiéndonos establecer que se trata de un suelo granular con presencia de materia orgánica.
- Según los resultados obtenidos en la ejecución de los ensayos Proctor, se tiene que las humedades óptimas aumentan para las muestras de suelo más emulsión asfáltica 0%, 1% y 3% luego disminuyen debido a la presencia de agua que forma parte de la mezcla la cual reemplaza ligeramente al agua neta añadida para el ensayo.
- Los resultados de CBR para los contenidos óptimos de cada estabilizante al 100% con la máxima densidad seca son: 44.70% para la subbase clase 3 (estado natural), 50% para el material + 3% emulsión asfáltica (EM) y 74.70% para la combinación de material + 3% emulsión asfáltica (EM) + 5.7% cemento portland (CP), de dichos valores se concluye que los efectos estabilizantes generan un incremento significativo en sus valores de CBR, por tanto, la combinación que presenta la mejor característica de relación de soporte (CBR) es la mezcla de material + 3% de EM + 5.6% de CP.

- En relación, al diseño de los pavimentos se utilizó 9cm de carpeta asfáltica y 15cm de base granular valores que se mantuvieron constantes, por lo que el diseño en el suelo natural presenta un espesor total de 49cm y una subbase de 25cm, asimismo, en el suelo con el 3% de emulsión asfáltica muestra un espesor total de 46cm y una subbase de 23cm y finalmente, el suelo con cemento portland más emulsión asfáltica tiene un espesor total de 44cm y una subbase de 20cm en función de los valores de TPDA y CBR.
- En el diseño de pavimentos flexibles desarrollados para los tres escenarios, se evidenció que existe una reducción de los espesores de la capa de la estructura del pavimento entre el suelo natural y el suelo con cemento portland más emulsión asfáltica, esto quiere decir que existe una disminución de 5cm del espesor de pavimento.
- Finalmente, se concluye que la estabilización de subbase clase 3 empleando emulsión asfáltica muestra un incremento de \$37.022,68 el que corresponde al 29,67% del precio total, además, la subbase con cemento portland más emulsión asfáltica presenta un aumento de \$51.924,90 el cual representa al 41,62% del costo total del pavimento, dando a entender que la subbase con esta combinación tiene un precio muy elevado.

4.2. Recomendaciones

- Si se decide estabilizar con cemento portland y emulsión asfáltica se recomienda que se debe utilizar equipo y mano de obra calificados para garantizar la mezcla de material correcta, así como una disgregación adecuada.
- Se recomienda realizar ensayos de laboratorio antes del inicio del estudio para familiarizarse con ellos y evitar errores provocados por la falta de experiencia de los investigadores, que pueden alterar los resultados reales.
- Se recomienda trabajar con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, dado que, tiene tiempo de trabajabilidad para tener una mezcla dispersa con mayor estabilidad.
- Se recomienda que el suelo este completamente seco antes de la prueba de Proctor para lograr el contenido de humedad óptimo correcto para cada muestra de suelo y antes del ensayo de CBR, asegurarse que la cantidad de agua que contiene no exceda de la humedad óptima calculada.

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencia bibliográfica

- [1] A. Pandey y A. Rabbani, «Stabilisation of pavement subgrade soil using lime and cement: review,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, 2017.
- [2] J. Rivera, R. Mejía, A. Orobio y A. Aguirre, «Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión),» *Informador Técnico*, vol. 84, n° 2, pp. 202-226, 2020.
- [3] C. Defagot, N. Ulibarrie y P. Hillar, «Efecto de la Incorporación de Pequeñas Dosis de Emulsión Asfáltica en el Comportamiento de Estabilizaciones de Suelo con Cemento Portland,» *Tecnológica y Ciencia*, vol. 18, n° 39, 2020.
- [4] F. Kamran, M. Basavarajappa, N. Bara y L. Hashemian, «Evaluación de desempeño de estabilizado Capa base que utiliza emulsión asfáltica y asfaltenos derivados de Alberta,» *Registro de investigación de transporte*, vol. 2675, n° 10, pp. 764-775, 2021.
- [5] MTOP, Especificaciones Generales para la Construcción de Vías y Puentes, Quito, 2002.
- [6] M. I. Zambrano y E. Tejeda, «Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos,» *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 13, n° 3, 2019.
- [7] I. Zambrano, E. Tejeda y A. Alonso, «Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos,» *Revista Infraestructura Vial*, vol. 22, n° 39, pp. 29-42, 2020.
- [8] K. Shubber, «Comparison between Effect of Adding Asphalt Emulsion and Portland Cement on Engineering Properties of Sand River Subgrade Soil,» 2016.
- [9] L. E. Surita, R. I. Fernández y L. Chahuares, «Aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento portland tipo I versus emulsión asfáltica catiónica para vías urbanas,» *Gaceta Técnica*, vol. 24, n° 2, pp. 4-22, 2023.

- [10] A. Gálvez, «Stabilization of clayey soils using asphalt emulsion and steel filings for subgrades,» *DYNA*, vol. 90, n° 226, pp. 66-72, 2023.
- [11] F. Quevedo, M. Ávila y C. Calle, «Análisis de costos entre estabilización suelo cemento y el mantenimiento,» *Ciencias técnicas y aplicadas*, vol. 7, n° 1, pp. 804-821, 2021.
- [12] A. Celi, J. Mendoza y E. Tejeda, «Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras,» *Ciencias Técnicas y Aplicadas*, vol. 9, n° 2, pp. 55-69, 2023.
- [13] «ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles (Experimento N° 19) , MTC E 132-2000».
- [14] ASTM D-2216, «Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass,» Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/d2216-19.html>. [Último acceso: 16 Noviembre 2023].
- [15] NTE INEN 696, «Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso,» Quito, 2011.
- [16] M. Braja, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, México : Cengage Learning Editores, 2015.
- [17] Norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP, Volumen N°3 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, Quito: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013.
- [18] ASTM D-4318, «Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/d4318-17e01.html>. [Último acceso: 16 Noviembre 2023].
- [19] NTE INEN 857, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso,» Quito, 2010.
- [20] NTE INEN 856, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,» Quito, 2010.

- [21] ASTM D-5821, «Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate,» 11 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/d5821-13r17.html>. [Último acceso: 16 Noviembre 2023].
- [22] NTE INEN-860, «Áridos, Determinación del valor de la degradación del árido grueso de pastículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de Los Ángeles,» Quito, 2011.
- [23] G. López, «Ensayo Proctor Modificado,» de *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2020, pp. 5-8.
- [24] ASTM D-1883-21, «Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils,» Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/d1883-21.html>. [Último acceso: 16 Noviembre 2023].
- [25] C. Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, México: LIMUSA, 2004.
- [26] M. Deroussen, *Modelos empíricos de diseño de pavimentos flexibles para nuevas construcciones*, Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2005.
- [27] E. S. Gavilanes, *Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2022.
- [28] J. M. Tenorio, *Diseño geométrico de la vía comprendida desde la Y de San José Ejido hasta el centro de Pichaló, para mejorar los niveles de serviciabilidad de la parroquia Juan Montalvo del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2022.
- [29] «Busqueda de Procesos de Contratación,» Sistema Oficial de Contratación Pública, [En línea]. Available: <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/buscarProceso.cpe?sg=1>. [Último acceso: 2023].
- [30] «Salarios mínimos por ley 2023(dólares),» Contraloría General del Estado, 2023. [En línea]. Available:

<https://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>. [Último acceso: 2 Enero 2024].

[31] E. J. Badillo, *Mecánica de Suelos I*, LIMUSA, 1978.

[32] J. Bowles, «Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil,» vol. 91, México, McGRAW-HILL, 1981.

Anexos

Anexo A

Ensayos de Laboratorio

Anexo N° 1. Contenido de humedad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
CONTENIDO DE HUMEDAD				
TEMA :	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"			
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas	ORIGEN:	Mina "Las Viñas"	
NORMA:	NTE INEN – 690, ASTM D – 2216			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
Muestra N°		1	2	3
Peso Recipiente (Wr)	gr	1,88	1,87	1,87
Peso suelo húmedo + recipiente	gr	90,88	99,21	105,81
Peso suelo seco + recipiente	gr	88,10	96,10	102,40
Peso Agua (Ww)	gr	2,78	3,11	3,41
Peso muestra seca (Ws)	gr	86,22	94,23	100,53
Contenido de Humedad (W%)	%	3,22	3,30	3,39
Promedio W%	%	3,30		

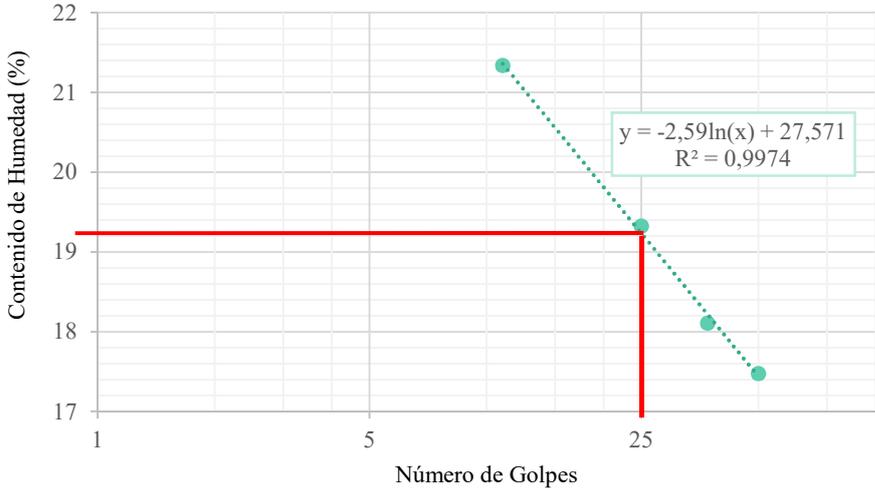
Fuente: Autor

Anexo N° 2. Análisis granulométrico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores		ORIGEN:	Mina "Las Viñas"		
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas		HOJA:	1 de 1		
NORMA:	NTE INEN 696 y ASTM D-422					
Peso muestra total (gr):	10000		Cuarteo(gr):	1000		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Específico % Que Pasa
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00	100
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	-
1 1/2"	38,10	381,00	381,00	3,81	96,19	-
1"	25,40	1602,00	1983,00	19,83	80,17	-
3/4"	19,00	785,00	2768,00	27,68	72,32	-
1/2"	12,50	756,00	3524,00	35,24	64,76	-
3/8"	9,50	907,00	4431,00	44,31	55,69	-
N°4	4,75	922,00	5353,00	53,53	46,47	30-70
Pasa N°4		4605,00	4647,00	46,47		-
N°8	2,36	117,30	117,30	5,45	41,02	
N°10	2,00	31,10	148,40	6,90	39,57	-
N°16	1,19	86,40	234,80	10,91	35,56	-
N°30	0,60	108,10	342,90	15,93	30,54	-
N°40	0,43	64,50	407,40	18,93	27,54	-
N°50	0,300	77,80	485,20	22,55	23,92	-
N°60	0,177	36,00	521,20	24,22	22,25	-
N°100	0,150	129,50	650,70	30,24	16,23	-
N°200	0,075	227,80	878,50	40,82	5,65	0-20
Pasa N°200		116,00	121,50	5,65		
RESULTADOS:						
	Grava (%G)		Arena (%S)		Limo y Arcilla (% Finos)	
SUCS	53,53		40,82		5,65	
AASHTO	58,82		35,54		5,65	
D10 =	0,10		Cu =	130	Cc =	0,28
D30 =	0,60					
D60 =	13,00					

Fuente: Autor

Anexo N° 3. Límites de Atterberg - Límite Líquido

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
LÍMITES DE ATTERBERG								
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"							
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores			HOJA:	1 de 2			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas			ORIGEN:	Mina "Las Viñas"			
LÍMITE LÍQUIDO [LL]								
NORMA:	ASTM D – 4318, NTE INEN – 691							
Muestra N°	1		2		3		4	
Recipiente N°	M3	M4	M1	M2	M7	M8	M5	M6
Peso Recipiente (Wr)	1,904	1,894	1,877	1,891	1,840	1,829	1,910	1,879
Peso suelo húmedo+recipiente	23,645	21,175	20,249	17,108	19,514	18,014	15,160	13,789
Peso suelo seco+recipiente	19,789	17,813	17,247	14,665	16,798	15,538	13,146	12,056
Peso Agua (Ww)	3,856	3,362	3,002	2,443	2,716	2,476	2,014	1,733
Peso muestra seca (Ws)	17,885	15,919	15,370	12,774	14,958	13,709	11,236	10,177
Contenido de Humedad (W%)	21,560	21,119	19,532	19,125	18,158	18,061	17,925	17,029
Promedio W%	21,340		19,328		18,109		17,477	
N° de Golpes	11		25		37		50	
Límite Líquido (LL%)	19,23							
GRÁFICA:								
LÍMITE LÍQUIDO (COPA CASAGRANDE)								
								

Fuente: Autor

Anexo N° 4. Límites de Atterberg – Limite Plástico

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
LÍMITES DE ATTERBERG					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores	HOJA: 2 de 2			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas	ORIGEN: Mina "Las Viñas"			
LÍMITE PLÁSTICO [LP]					
NORMA:	ASTM D – 4318, NTE INEN – 692				
Muestra N°	1	2	3	4	5
Recipiente N°	M9	M10	M11	M12	CP-13
Peso Recipiente (Wr)	1,875	1,821	1,815	1,839	1,894
Peso suelo húmedo + recipiente	3,442	3,270	3,350	3,814	3,214
Peso suelo seco + recipiente	3,252	3,100	3,171	3,585	3,061
Peso Agua (Ww)	0,190	0,170	0,179	0,229	0,153
Peso muestra seca (Ws)	1,377	1,279	1,356	1,746	1,167
Contenido de Humedad (W%)	13,798	13,292	13,201	13,116	13,111
Promedio W%	13,30				
RESULTADOS:					
Límite Líquido [LL] (%)	Límite Plástico [LP] (%)		Índice de Plasticidad [IP] (%)		
19,23	13,30		5,93		

Fuente: Autor

Anexo N° 5. Gravedad específica del agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	Hoja:	1 de 2
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	Origen:	Mina "Las Viñas"
AGREGADO FINO			
NORMA:	NTE INEN – 856 y ASTM C – 128		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
	Masa del picnómetro	gr	148,8
	Masa del picnómetro+muestra SSS	gr	648,8
C	Masa del picnómetro+muestra SSS+agua	gr	948,9
	Masa agua añadida	gr	300,1
B	Masa del picnómetro+500 cc de agua	gr	646,2
	Masa de 500 cc de aga	gr	497,4
	Temperatura del agua	°C	24
K	Factor de temperatura	g/cc	0,999
	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	197,30
A	Masa del agregado	gr	500
	Volumen del agua desalojada	cc	197,48
	Densidad real	gr/cc	2,53
	Masa del recipiente	gr	110,20
	Masa del recipiente+muestra húmeda	gr	907,70
	Masa del recipiente+muestra seca	gr	604,90
	Masa muestra seca	gr	494,70
$\%Abs = ((S-A)/A)$	Capacidad de absorción	%	1,071
$Gs = (A*K)/(B-C)$	Gravedad específica	gr/cm ³	2,532

Fuente: Autor

Anexo N° 6. Gravedad específica del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores	HOJA:	2 de 2
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas	ORIGEN:	Mina "Las Viñas"
AGREGADO GRUESO			
NORMA:	NTE INEN – 857 y ASTM C – 127		
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
	Masa de la canastilla en el aire	gr	1302,2
	Masa de la canastilla+muestra SSS (aire)	gr	6288
B	Masa de agregados en el aire	gr	4985,8
	Masa de canastilla en el agua	gr	1147
	Masa de canastilla+muestra SSS en el agua	gr	4078
C	Masa de agregados en el agua	gr	2931
T°	Temperatura del agua	°C	18
K	Factor de temperatura	g/cc	1,000
	Masa del recipiente	gr	247
	Masa del recipiente + muestra húmeda	gr	5288
	Masa del recipiente + muestra seca	gr	5096
A	Masa de agregado seco	gr	4849
$DRA = (A*K)/(B-C)$	Densidad aparente de los sólidos	gr/cm ³	2,48
$\%Abs = ((B-A)/A)$	Capacidad de absorción	%	2,821
$G_s = (A*K)/(A-C)$	Gravedad específica	gr/cm ³	2,529
RESULTADOS:			
Gs del agregado fino	Gs del agregado grueso	Gs total promedio	
2,532	2,529	2,531	

Fuente: Autor

Anexo N° 7. Porcentaje de caras fracturadas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS				
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"			
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	ORIGEN:	Mina "Las Viñas"	
NORMA:	ASTM D - 5821			
Peso muestra total (gr):	5000			
Tamiz - retiene	Fracturadas (gr)	No fracturadas (gr)	% caras fracturadas	Total de muestra (gr)
1"	1446	554	72%	2000
3/4"	1311	189	87%	1500
1/2"	981	220	82%	1200
3/8"	196	104	65%	300
TOTAL	3933	1067	79%	5000

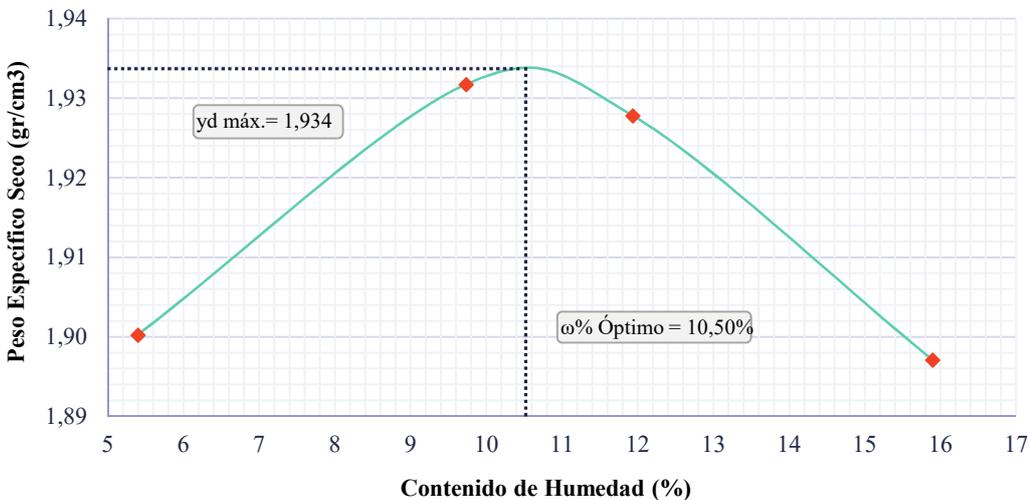
Fuente: Autor

Anexo N° 8. Resistencia al desgaste a los áridos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ENSAYO DE ABRASIÓN (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES)			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	ORIGEN:	Mina "Las Viñas"
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas	HOJA:	1 de 1
NORMA:	ASTM C-131 y INEN 860		
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
m_i	Masa de la muestra a ensayar	gr	5000
m_f	Masa de la muestra después del ensayo	gr	3454
$m_i - m_f$	Masa perdida por desgaste	gr	1546
$P = (m_i / m_f) * 100\%$	Desgaste del agregado	%	30,92

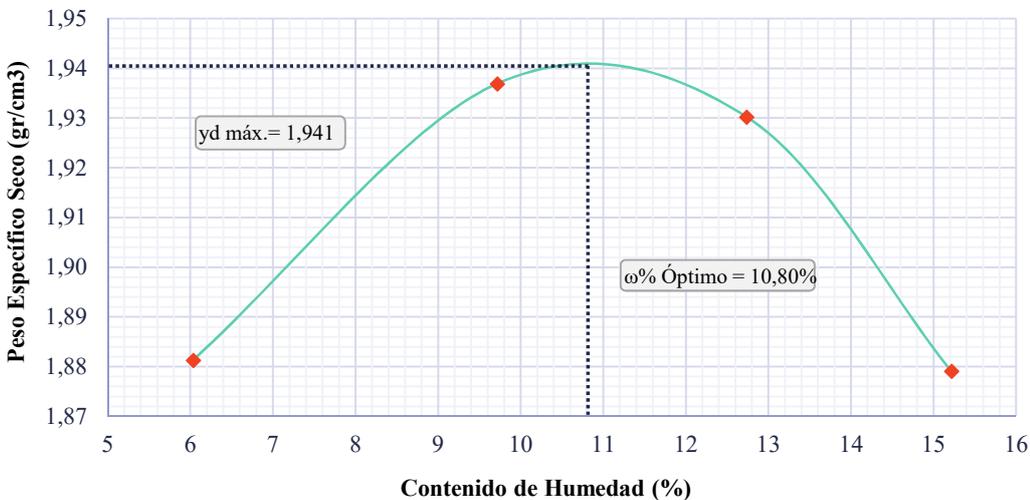
Fuente: Autor

Anexo N° 9. Proctor Modificado de la Subbase (estado natural)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (0%) - Emulsión Asfáltica (0%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15582
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	6	9	12
Suelo húmedo + molde (gr)	20101	20365	20451
Peso suelo húmedo (gr)	4519	4783	4869
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	2,003	2,120	2,158
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	4	M1	S3
Peso del recipiente (gr)	1,96	1,87	30,58
Peso suelo húm. + recip (gr)	92,92	110,20	174,32
Peso suelo seco + recip (gr)	87,88	105,11	162,53
Peso del agua (gr)	5,04	5,08	11,79
Peso suelo seco (gr)	85,92	103,24	131,95
Contenido de humedad (%)	5,87	4,92	8,93
ω (%) Promedio	5,39	9,73	11,93
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,900	1,932	1,928
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,934	
Humedad Óptima (%):		10,50	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			

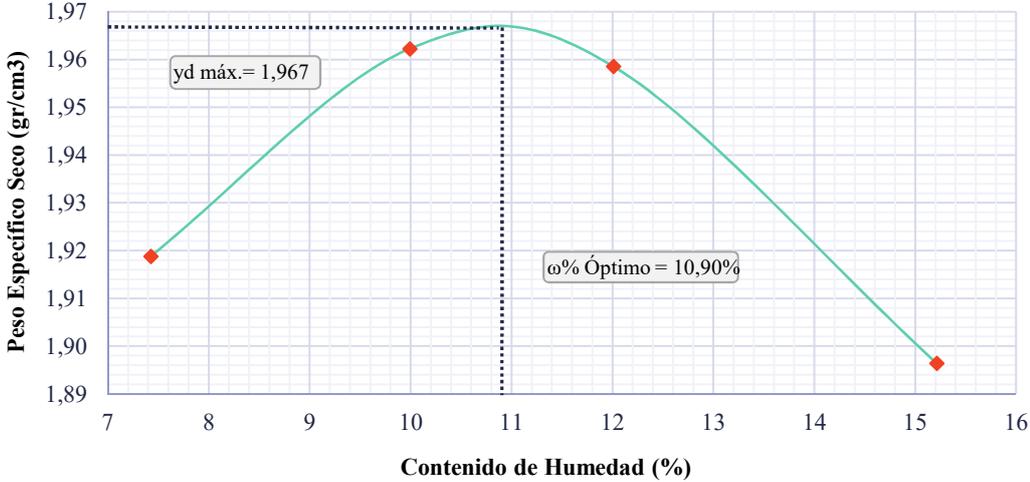
Fuente: Autor

Anexo N° 10. Proctor Modificado con 1% de Emulsión Asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Emulsión Asfáltica (1%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15540
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	6	9	12
Suelo húmedo + molde (gr)	20041	20335	20450
Peso suelo húmedo (gr)	4501	4795	4910
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,995	2,125	2,176
			4
			15
			20425
			4885
			2,165
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	HL	SP	IC
	B0	G1	MP
	AC	R0	
Peso del recipiente (gr)	1,91	1,91	1,90
Peso suelo húm. + recip (gr)	100,59	108,99	104,78
Peso suelo seco + recip (gr)	94,91	102,98	96,21
Peso del agua (gr)	5,69	6,01	8,57
Peso suelo seco (gr)	93,00	101,07	94,31
Contenido de humedad (%)	6,12	5,95	9,09
ω (%) Promedio	6,03	9,71	12,73
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,881	1,937	1,930
			1,879
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,941	
Humedad Óptima (%):		10,80	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con el eje vertical etiquetado como 'Peso Específico Seco (gr/cm³)' y el eje horizontal como 'Contenido de Humedad (%)'. La curva comienza en un punto a 6% de humedad y 1,881 gr/cm³, sube a un pico de 1,941 gr/cm³ a 10,80% de humedad, y luego desciende a 1,879 gr/cm³ a 15,10% de humedad. Una línea horizontal punteada indica el valor de densidad seca máxima (1,941) y una línea vertical punteada indica el valor de humedad óptima (10,80%).</p>			

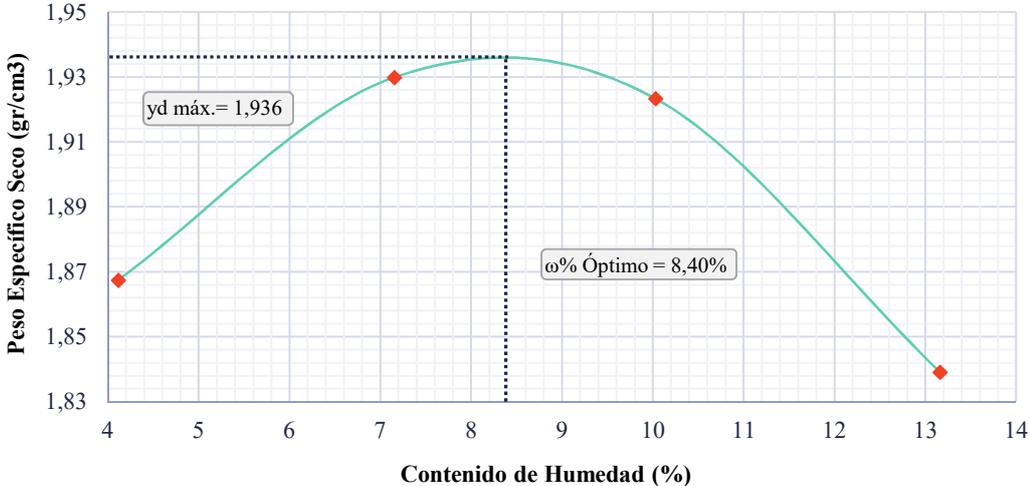
Fuente: Autor

Anexo N° 11. Proctor Modificado con 3% de Emulsión Asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15590
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	6	9	12
Suelo húmedo + molde (gr)	20241	20460	20540
Peso suelo húmedo (gr)	4651	4870	4950
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	2,061	2,158	2,194
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	S6	S3	S5
			S2
			S4
			S1
			4
			MF
Peso del recipiente (gr)	29,69	30,64	30,56
Peso suelo húm. + recip (gr)	154,12	138,35	146,32
Peso suelo seco + recip (gr)	145,45	130,97	135,20
Peso del agua (gr)	8,67	7,38	11,12
Peso suelo seco (gr)	115,76	100,33	104,64
Contenido de humedad (%)	7,49	7,36	10,63
ω (%) Promedio	7,42	9,99	12,01
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,919	1,962	1,959
			1,959
			1,896
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,967	
Humedad Óptima (%):		10,90	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con los siguientes datos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> Yd máx. = 1,967 (Peso Específico Seco Máximo) ω Óptimo = 10,90% (Humedad Óptima) 			

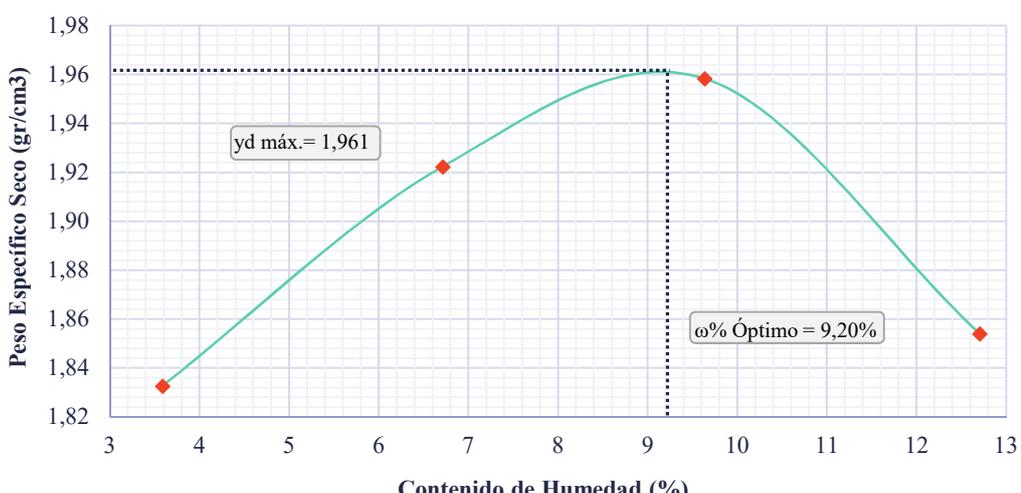
Fuente: Autor

Anexo N° 12. Proctor Modificado con 5% de Emulsión Asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Emulsión Asfáltica (5%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15575
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	19962	20241	20350
Peso suelo húmedo (gr)	4387	4666	4775
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,944	2,068	2,116
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	COD-0	M4	B0
	M2	G1	2C
	M5	AC	
Peso del recipiente (gr)	1,95	1,92	1,81
Peso suelo húm. + recip (gr)	81,46	88,04	84,61
Peso suelo seco + recip (gr)	78,18	84,79	79,36
Peso del agua (gr)	3,28	3,25	5,24
Peso suelo seco (gr)	76,23	82,87	77,56
Contenido de humedad (%)	4,31	3,92	6,76
ω (%) Promedio	4,11	7,15	10,03
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,867	1,930	1,923
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,936	
Humedad Óptima (%):		8,40	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con los siguientes datos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> Densidad Seca Máxima (γ_d máx.): 1,936 gr/cm³ Humedad Óptima (ω Óptimo): 8,40% 			

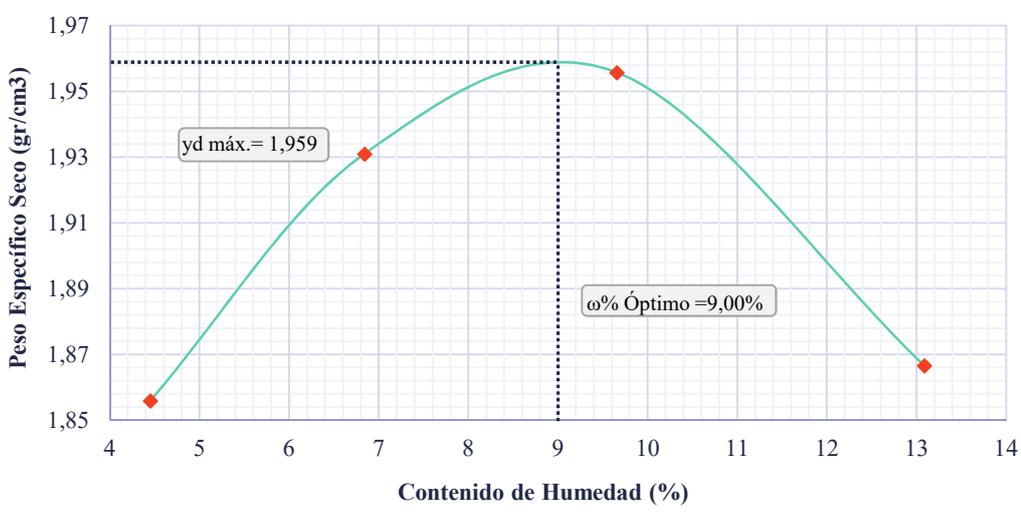
Fuente: Autor

Anexo N° 14. Proctor Modificado con 1,5% CP + 3% EM

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (1,5%) + Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	13305
		Vol. del molde (cm ³):	2227,74
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	17534	17875	18088
Peso suelo húmedo (gr)	4229	4570	4783
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,898	2,051	2,147
			4
			12
			17960
			4655
			2,090
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	H8	H7	H3
Peso del recipiente (gr)	6,73	6,70	7,34
Peso suelo húm. + recip (gr)	94,70	86,70	105,80
Peso suelo seco + recip (gr)	91,80	83,80	100,20
Peso del agua (gr)	2,90	2,90	5,60
Peso suelo seco (gr)	85,07	77,10	92,86
Contenido de humedad (%)	3,41	3,76	6,03
			H4
			7,11
			101,50
			95,00
			6,50
			87,89
			7,40
			88,11
			78,04
			68,57
			12,69
			12,72
ω (%) Promedio	3,59		6,71
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,833		1,922
			H2
			7,09
			103,60
			92,30
			8,40
			7,60
			8,70
			68,57
			12,69
			12,72
			R0
			1,93
			79,20
			70,50
			8,70
			68,40
			12,72
			AC
			1,80
			78,90
			70,20
			8,70
			68,40
			12,72
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,961	
Humedad Óptima (%):		9,20	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con los siguientes datos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> Peso Específico Seco Máximo (γ_d máx.): 1,961 gr/cm³ Humedad Óptima (ω % Óptimo): 9,20% 			

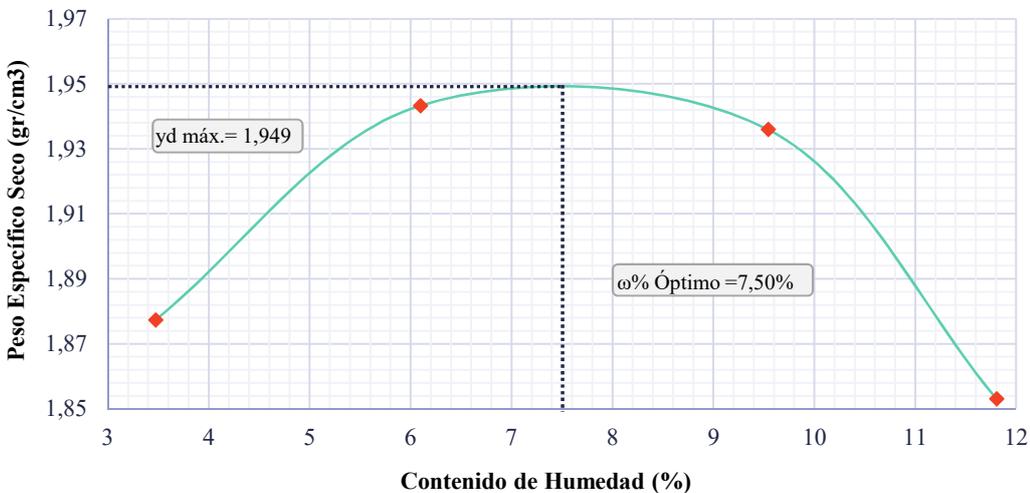
Fuente: Autor

Anexo N° 15. Proctor Modificado con 3% CP + 3% EM

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (3%) + Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15585
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	19959	20240	20424
Peso suelo húmedo (gr)	4374	4655	4839
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,938	2,063	2,145
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	G1	HL	M5
	AC	4	SP
	MP	5	
Peso del recipiente (gr)	1,86	1,91	1,84
Peso suelo húm. + recip (gr)	94,76	66,75	78,15
Peso suelo seco + recip (gr)	90,93	63,89	73,21
Peso del agua (gr)	3,83	2,85	4,95
Peso suelo seco (gr)	89,07	61,99	71,37
Contenido de humedad (%)	4,30	4,60	6,93
ω (%) Promedio	4,45	6,84	9,65
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,856	1,931	1,956
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,959	
Humedad Óptima (%):		9,00	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
			

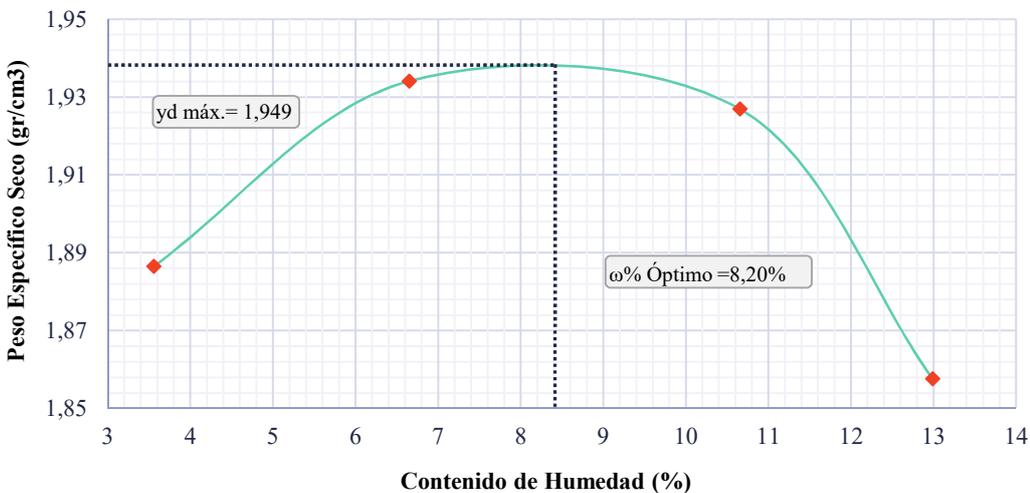
Fuente: Autor

Anexo N° 16. Proctor Modificado con 6% CP + 3% EM

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (6%) + Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15592
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	19975	20244	20377
Peso suelo húmedo (gr)	4383	4652	4785
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,942	2,062	2,121
			4
			12
			20267
			4675
			2,072
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	24	R0	2C
Peso del recipiente (gr)	1,88	1,93	1,83
Peso suelo húm. + recip (gr)	74,21	75,07	77,99
Peso suelo seco + recip (gr)	71,81	72,59	73,52
Peso del agua (gr)	2,40	2,48	4,47
Peso suelo seco (gr)	69,93	70,66	71,69
Contenido de humedad (%)	3,43	3,51	6,24
			IX
			1,91
			62,78
			59,36
			3,42
			57,44
			106,99
			94,74
			107,27
			122,39
			5,95
			9,17
			9,91
			11,77
			11,84
ω (%) Promedio	3,47		6,09
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,877		1,943
			9,54
			11,81
			1,936
			1,853
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,949	
Humedad Óptima (%):		7,50	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con el eje vertical etiquetado como 'Peso Específico Seco (gr/cm³)' y el eje horizontal como 'Contenido de Humedad (%)'. La curva comienza en un punto a aproximadamente 3,5% de humedad y 1,878 gr/cm³, sube a un pico de 1,949 gr/cm³ a 7,50% de humedad, y luego desciende a aproximadamente 1,853 gr/cm³ a 11,84% de humedad. Una línea horizontal punteada indica el valor de γ_d máximo = 1,949, y una línea vertical punteada indica el ω % Óptimo = 7,50%.</p>			

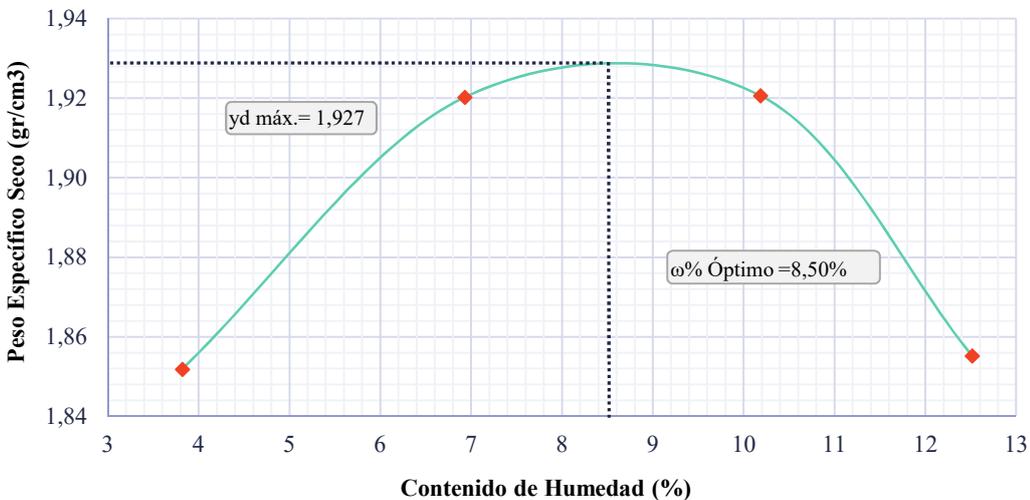
Fuente: Autor

Anexo N° 17. Proctor Modificado con 9% CP + 3% EM

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (9%) + Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Peso del martillo (lb):	10
		Peso del molde (gr):	15604
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	20012	20258	20415
Peso suelo húmedo (gr)	4408	4654	4811
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,954	2,063	2,132
		4	12
		20340	4736
		1,954	2,099
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	HL	IX	G1
	2C	S6	S1
	24	R0	
Peso del recipiente (gr)	1,91	1,91	1,86
Peso suelo húm. + recip (gr)	73,30	73,38	78,31
Peso suelo seco + recip (gr)	70,71	71,07	73,55
Peso del agua (gr)	2,60	2,31	4,76
Peso suelo seco (gr)	68,80	69,16	71,69
Contenido de humedad (%)	3,77	3,34	6,64
ω (%) Promedio	3,56	6,65	10,65
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,886	1,934	1,927
		1,937	12,99
		8,20	1,858
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,937	
Humedad Óptima (%):		8,20	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p style="text-align: center;"> yd máx.= 1,949 ω% Óptimo =8,20% </p>			

Fuente: Autor

Anexo N° 18. Proctor Modificado con 12% CP + 3% EM

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
PROCTOR MODIFICADO			
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"		
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:	ASSHTO T-180
Cemento Portland (12%) + Emulsión Asfáltica (3%)			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO:			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "
Número de capas:	5	Diámetro (cm):	15,10
Peso inicial desecado (gr):	6000	Altura (cm):	12,60
		Vol. del molde (cm ³):	2256,39
PROCESO DE COMPACTACIÓN:			
Número de ensayo	1	2	3
% Rango en aumento	3	6	9
Suelo húmedo + molde (gr)	19942	20237	20379
Peso suelo húmedo (gr)	4338	4633	4775
Peso unitario húm. γ_m (gr/cm ³)	1,923	2,053	2,116
CONTENIDO DE HUMEDAD:			
Numero de recipiente	S4	S5	S2
	S3	SP	MP
	M1	VL	
Peso del recipiente (gr)	30,74	30,56	30,16
Peso suelo húm. + recip (gr)	135,01	148,10	142,62
Peso suelo seco + recip (gr)	131,16	143,80	134,88
Peso del agua (gr)	3,85	4,30	7,74
Peso suelo seco (gr)	100,42	113,23	104,72
Contenido de humedad (%)	3,84	3,80	7,39
ω (%) Promedio	3,82		6,93
Densidad seca γ_d (gr/cm ³)	1,852		1,920
			1,921
			1,855
RESULTADOS:			
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,927	
Humedad Óptima (%):		8,50	
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
CURVA DE COMPACTACIÓN			
 <p>El gráfico muestra una curva de compactación con el eje vertical etiquetado como 'Peso Específico Seco (gr/cm³)' y el eje horizontal como 'Contenido de Humedad (%)'. La curva es una parábola invertida que comienza en un punto a 4% de humedad y 1,852 gr/cm³, alcanza su punto máximo en 8,50% de humedad y 1,927 gr/cm³, y termina en un punto a 10% de humedad y 1,921 gr/cm³. Una línea horizontal punteada indica el valor máximo de densidad seca, y una línea vertical punteada indica el contenido de humedad óptimo.</p>			

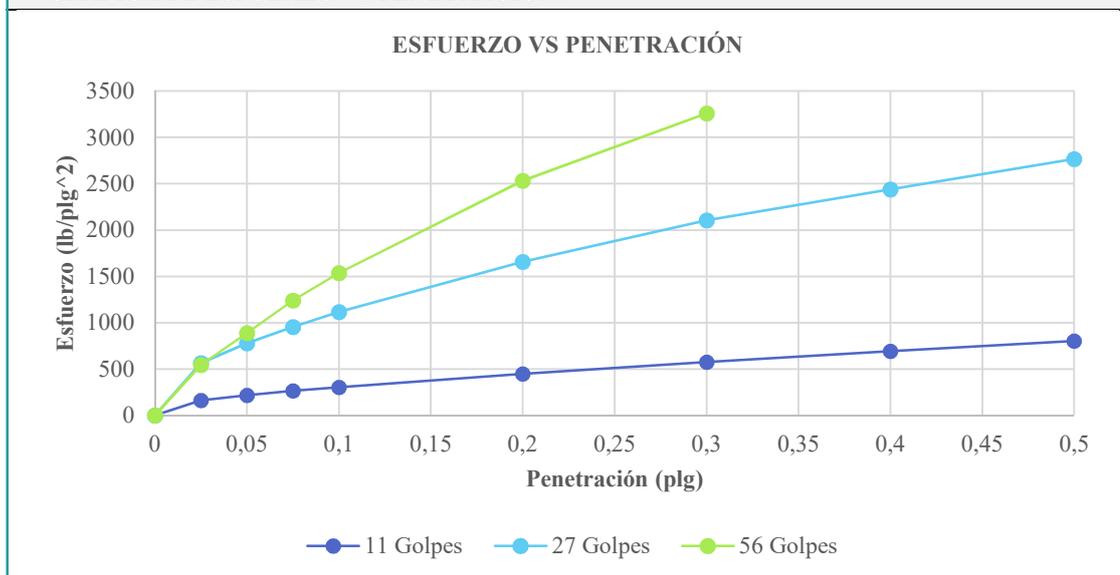
Fuente: Autor

Anexo N° 19. CBR con 0% CP + 0%EM (Con Saturación)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (0%) - Emulsión Asfáltica (0%)						
Molde	8		9		12	
Dimensiones	Diámetro:	15,4	Diámetro:	15,23	Diámetro:	15,30
	Altura:	12,1	Altura:	12,16	Altura:	12,28
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13170		12953		13574	
Masa del molde (gr)	8478		8266		8732	
Masa muestra húmeda (gr)	4692,00		4687,00		4842,00	
Volumen muestra (cm ³)	2247,41		2215,83		2257,36	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,088		2,115		2,145	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	AC	M5	2C	SP	MP	R0
Masa suelo húmedo + recip (gr)	77,75	65,07	72,93	53,56	72,99	69,75
Masa suelo seco + recip. (gr)	70,61	59,10	66,47	48,46	66,29	63,13
Masa recipiente (gr)	1,80	1,84	1,83	1,91	1,91	1,93
Masa del agua (gr)	7,14	5,96	6,46	5,11	6,70	6,62
Masa suelo seco (gr)	68,81	57,26	64,64	46,54	64,38	61,20
Contenido de humedad w%	10,37	10,42	10,00	10,98	10,40	10,82
w% promedio	10,40		10,49		10,61	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,891		1,914		1,939	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN:						
Muestra húmeda + molde (gr)	15548		14785		14984	
Masa del molde (gr)	8478		8266		8732	
Masa muestra húmeda (gr)	7070		6519		6252	
Volumen muestra (cm ³)	2247,41		2215,83		2257,36	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	3,146		2,942		2,770	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	S2	S1	S4	S5	H3	H2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	140,66	136,34	140,07	138,61	104,97	94,28
Masa suelo seco + recip. (gr)	126,02	122,96	128,68	125,41	95,10	85,73
Masa recipiente (gr)	30,16	30,68	30,74	30,56	7,34	7,09
Masa del agua (gr)	14,64	13,37	11,40	13,20	9,87	8,55
Masa suelo seco (gr)	95,87	92,28	97,94	94,85	87,76	78,64
Contenido de humedad w%	15,27	14,49	11,64	13,91	11,25	10,87
w% promedio	14,88		12,77		11,06	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	8		9		12	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	493,30	164,43	1698,60	566,20	1635,60	545,20

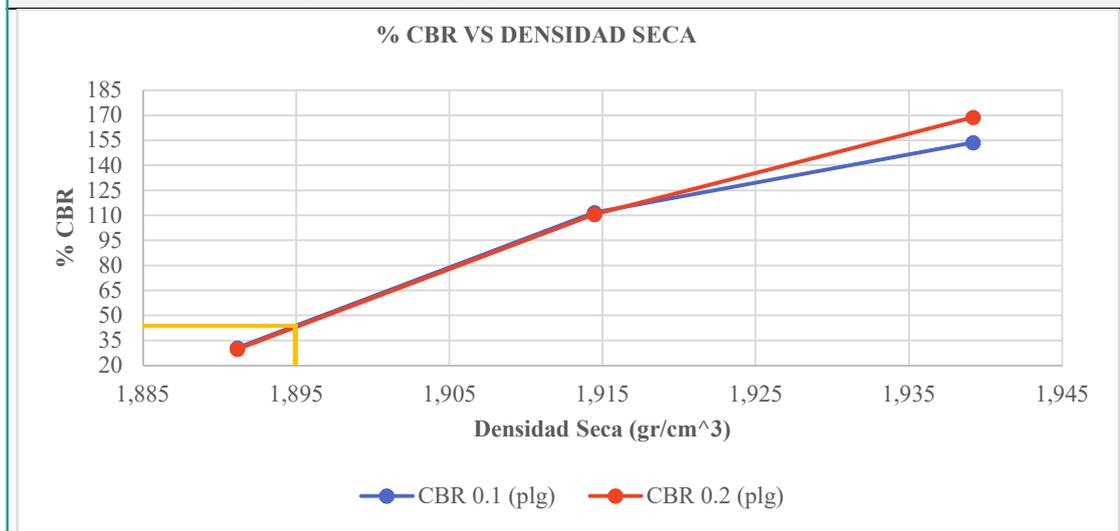
0,05	658,30	219,43	2333,40	777,80	2669,70	889,90
0,075	793,30	264,43	2864,10	954,70	3724,30	1241,43
0,1	913,90	304,63	3350,90	1116,97	4611,10	1537,03
0,2	1343,30	447,77	4973,20	1657,73	7597,30	2532,43
0,3	1723,90	574,63	6316,30	2105,43	9781,40	3260,47
0,4	2076,30	692,10	7313,90	2437,97		
0,5	2409,10	803,03	8296,30	2765,43		

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
12	1537,03	153,70	1,94	2532,43	168,83	1,94
9	1116,97	111,70	1,91	1657,73	110,52	1,91
8	304,63	30,46	1,89	447,77	29,85	1,89

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,895	43,80	43,10	43,80
CBR PUNTUAL (%)		43,80		

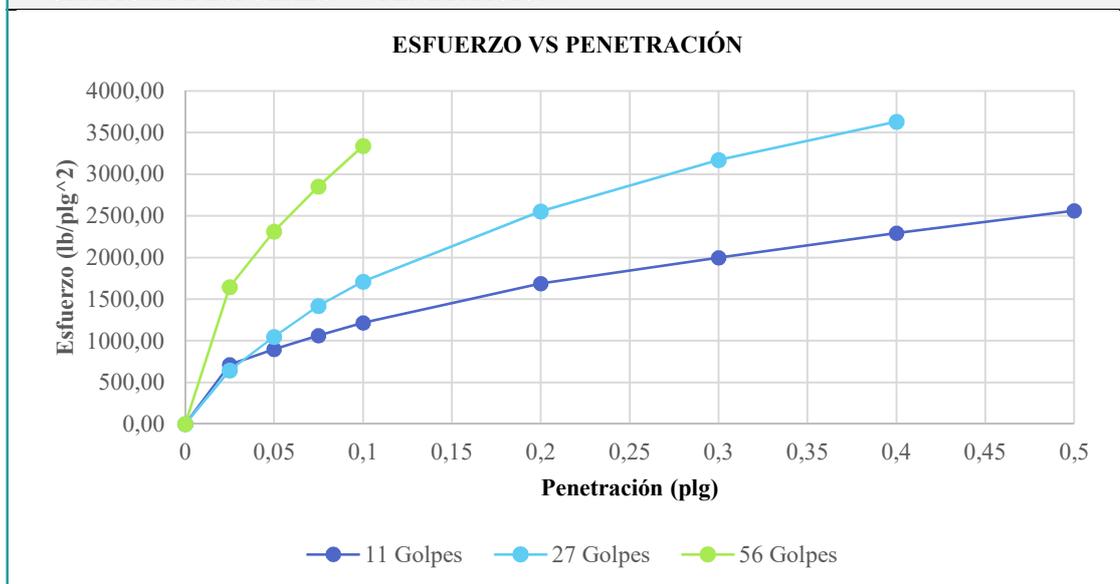
Fuente: Autor

Anexo N° 20. CBR con 3% CP + 3%EM (Con Saturación)

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA: 1 de 1				
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:				
Cemento Portland (3%) - Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	5	10	17			
Dimensiones	Diámetro: 15,4	Diámetro: 15,22	Diámetro: 15,22			
	Altura: 12,3	Altura: 12,26	Altura: 12,16			
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11	27	56			
Muestra húmeda + molde (gr)	13397	13034	11181			
Masa del molde (gr)	8617	8321	6424			
Masa muestra húmeda (gr)	4780,00	4713,00	4757,00			
Volumen muestra (cm ³)	2291,13	2229,73	2211,98			
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,086	2,114	2,151			
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	24	5	G1	VL	M1	HL
Masa suelo húmedo + recip (gr)	77,86	72,02	62,87	64,38	80,85	63,01
Masa suelo seco + recip. (gr)	71,29	65,85	57,42	59,05	74,11	57,55
Masa recipiente (gr)	1,88	1,92	1,86	1,90	1,87	1,91
Masa del agua (gr)	6,56	6,17	5,46	5,34	6,74	5,46
Masa suelo seco (gr)	69,41	63,93	55,56	57,15	72,24	55,65
Contenido de humedad w%	9,46	9,65	9,82	9,34	9,33	9,81
w% promedio	9,55	9,58	9,57	9,57	9,57	9,57
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,904	1,929	1,929	1,929	1,963	1,963
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN:						
Muestra húmeda + molde (gr)	15874	14950	14950	14013	14013	14013
Masa del molde (gr)	8617	8321	8321	6424	6424	6424
Masa muestra húmeda (gr)	7257	6629	6629	7589	7589	7589
Volumen muestra (cm ³)	2291,13	2229,73	2229,73	2211,98	2211,98	2211,98
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	3,167	2,973	2,973	3,431	3,431	3,431
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H6	H1	H7	H8	H4	H8
Masa suelo húmedo + recip (gr)	69,22	75,02	88,12	97,86	87,09	78,25
Masa suelo seco + recip. (gr)	61,79	66,22	79,43	89,04	78,38	70,89
Masa recipiente (gr)	6,66	7,25	6,70	6,73	7,11	6,27
Masa del agua (gr)	7,43	8,80	8,70	8,82	8,71	7,36
Masa suelo seco (gr)	55,13	58,97	72,73	82,31	71,27	64,62
Contenido de humedad w%	13,47	14,93	11,96	10,72	12,23	11,39
w% promedio	14,20	14,20	11,34	11,34	11,81	11,81
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	8	9	12	12	12	12
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	2136,10	712,03	1936,60	645,53	4933,30	1644,43

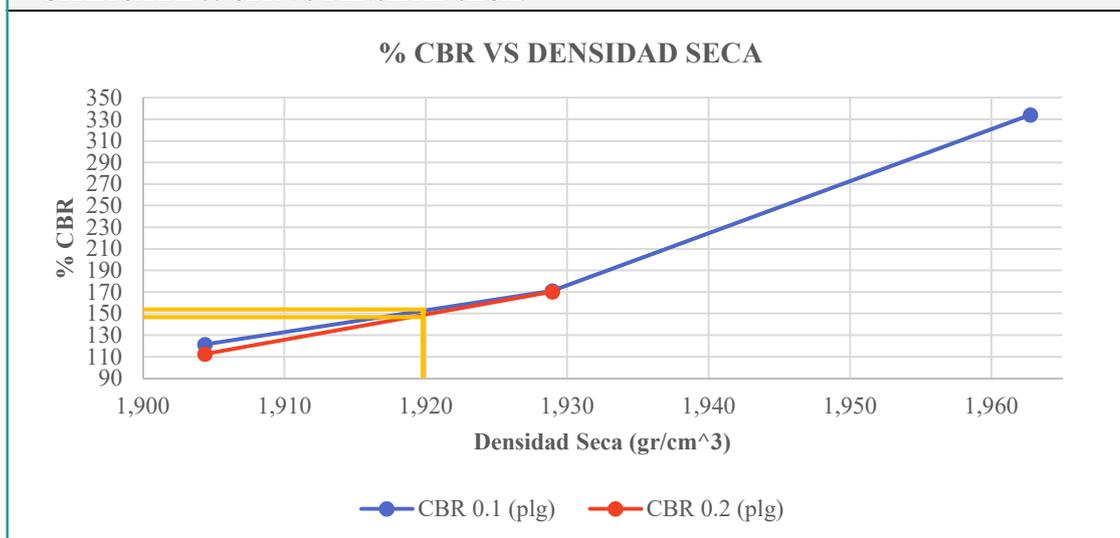
0,05	2695,30	898,43	3138,30	1046,10	6936,80	2312,27
0,075	3183,50	1061,17	4258,90	1419,63	8566,30	2855,43
0,1	3643,30	1214,43	5133,30	1711,10	10025,10	3341,70
0,2	5064,50	1688,17	7663,90	2554,63		
0,3	5993,30	1997,77	9513,30	3171,10		
0,4	6881,90	2293,97	10893,80	3631,27		
0,5	7683,30	2561,10				

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
17	3341,70	334,17	1,96	0,00		1,96
10	1711,10	171,11	1,93	2554,63	170,31	1,93
5	1214,43	121,44	1,90	1688,17	112,54	1,90

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937	
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR
98%	1,920	153,00	153,00
CBR PUNTUAL (%)		153,00	

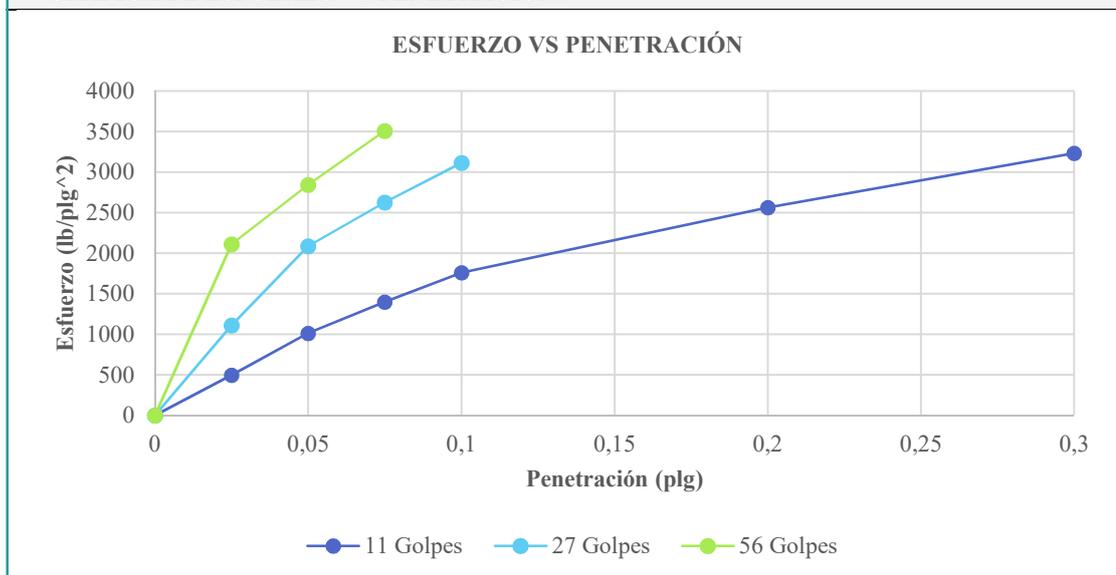
Fuente: Autor

Anexo N° 21. CBR con 6% CP + 3%EM (Con Saturación)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (6%) - Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	1		2		18	
Dimensiones	Diámetro:	15,3	Diámetro:	15,27	Diámetro:	15,21
	Altura:	12,1	Altura:	12,33	Altura:	12,13
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13996		12198		11621	
Masa del molde (gr)	9584		7488		6942	
Masa muestra húmeda (gr)	4412,00		4710,00		4679,00	
Volumen muestra (cm ³)	2232,35		2256,49		2204,93	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	1,976		2,087		2,122	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	HS6	S3	M2	IX	H9	H10
Masa suelo húmedo + recip (gr)	152,03	132,04	78,91	69,13	53,72	53,55
Masa suelo seco + recip. (gr)	141,97	125,98	72,95	64,42	50,28	49,81
Masa recipiente (gr)	29,69	30,64	1,84	1,91	1,91	1,91
Masa del agua (gr)	10,06	6,06	5,96	4,71	3,44	3,74
Masa suelo seco (gr)	112,28	95,34	71,11	62,51	48,37	47,90
Contenido de humedad w%	8,96	6,36	8,38	7,53	7,11	7,80
w% promedio	7,66		7,96		7,45	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,836		1,934		1,975	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN:						
Muestra húmeda + molde (gr)	14010		12235		11668	
Masa del molde (gr)	9584		7488		6942	
Masa muestra húmeda (gr)	4426		4747		4726	
Volumen muestra (cm ³)	2232,35		2256,49		2204,93	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	1,983		2,104		2,143	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H1	H4	H3	H8	H7	H2
Masa suelo húmedo + recip (gr)	93,23	91,64	92,04	80,72	74,23	92,25
Masa suelo seco + recip. (gr)	83,33	81,64	83,74	72,86	67,15	84,52
Masa recipiente (gr)	7,25	7,11	7,34	6,73	6,70	7,09
Masa del agua (gr)	9,90	10,01	8,30	7,86	7,09	7,73
Masa suelo seco (gr)	76,08	74,53	76,40	66,13	60,45	77,42
Contenido de humedad w%	13,01	13,43	10,87	11,89	11,72	9,98
w% promedio	13,22		11,38		10,85	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	1		2		18	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	1489,60	496,53	3338,30	1112,77	6338,30	2112,77

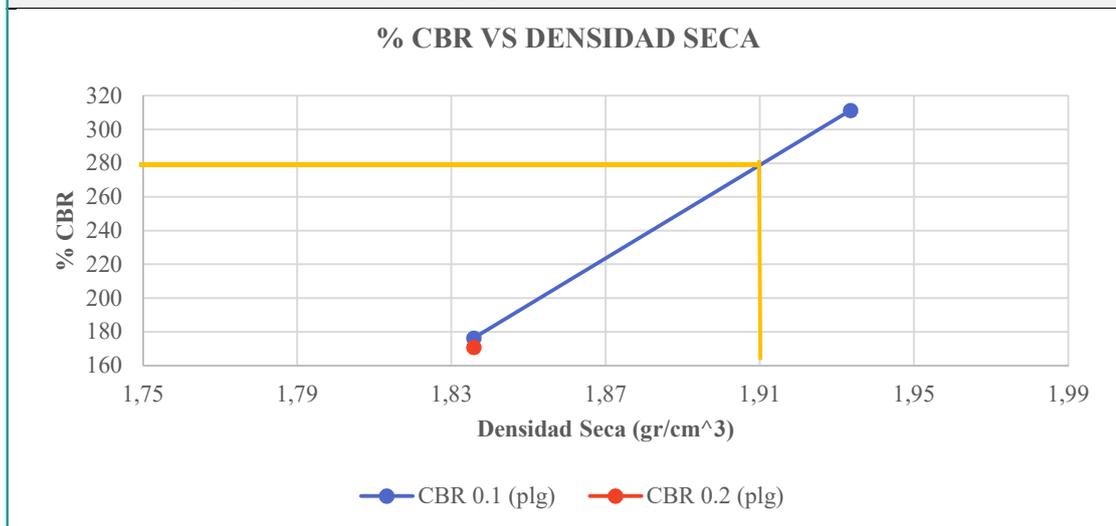
0,05	3032,30	1010,77	6263,30	2087,77	8533,30	2844,43
0,075	4192,60	1397,53	7883,20	2627,73	10523,30	3507,77
0,1	5286,60	1762,20	9338,80	3112,93		
0,2	7690,60	2563,53				
0,3	9701,30	3233,77				
0,4						
0,5						

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
18			1,97	0,00		1,97
2	3112,93	311,29	1,93	0,00		1,93
1	1762,20	176,22	1,84	2563,53	170,90	1,84

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,910	300,00	-	300,00
CBR PUNTUAL (%)		300,00		

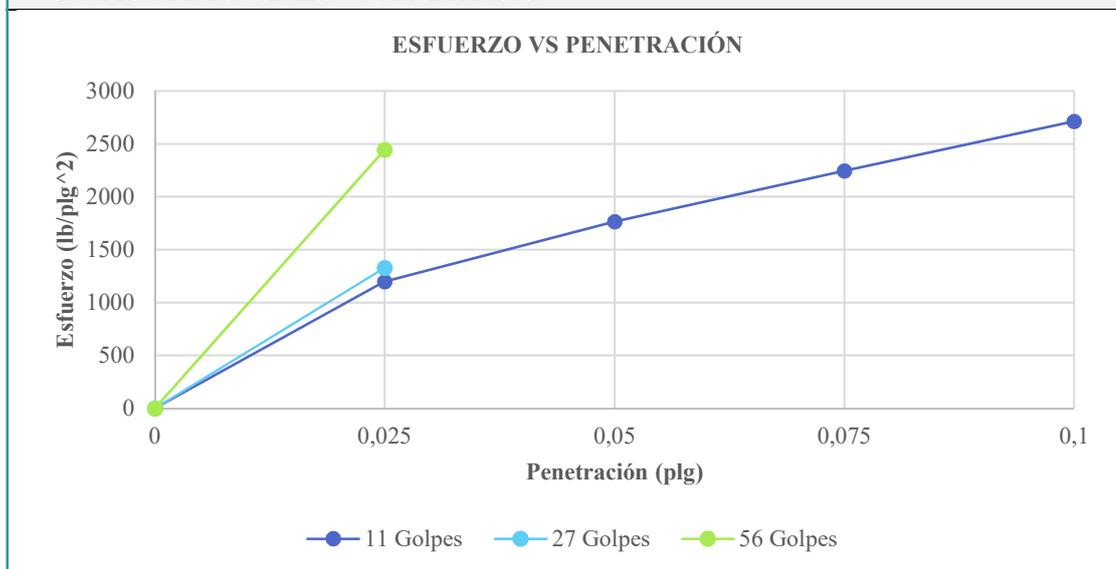
Fuente: Autor

Anexo N° 22. CBR con 9% CP + 3%EM (Con Saturación)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (9%) - Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	8		9		12	
Dimensiones	Diámetro:	15,4	Diámetro:	15,23	Diámetro:	15,30
	Altura:	12,1	Altura:	12,16	Altura:	12,28
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	13083		12861		13505	
Masa del molde (gr)	8478		8266		8732	
Masa muestra húmeda (gr)	4605,00		4595,00		4773,00	
Volumen muestra (cm ³)	2247,41		2215,83		2257,36	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,049		2,074		2,114	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H11	H12	H13	H14	H16	H15
Masa suelo húmedo + recip (gr)	58,81	58,78	63,48	56,86	70,86	62,03
Masa suelo seco + recip. (gr)	54,75	54,58	59,08	52,98	65,81	57,60
Masa recipiente (gr)	1,88	1,88	1,92	1,93	1,91	1,89
Masa del agua (gr)	4,06	4,19	4,40	3,88	5,05	4,44
Masa suelo seco (gr)	52,87	52,70	57,16	51,05	63,91	55,71
Contenido de humedad w%	7,69	7,96	7,70	7,60	7,90	7,96
w% promedio	7,82		7,65		7,93	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,900		1,926		1,959	
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN:						
Muestra húmeda + molde (gr)	13210		12935		13631	
Masa del molde (gr)	8478		8266		8732	
Masa muestra húmeda (gr)	4732		4669		4899	
Volumen muestra (cm ³)	2247,41		2215,83		2257,36	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)	2,106		2,107		2,170	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H5	H6	H12	H16	H9	H10
Masa suelo húmedo + recip (gr)	83,98	83,79	60,56	55,72	56,21	59,34
Masa suelo seco + recip. (gr)	75,44	75,71	55,07	50,57	51,66	54,36
Masa recipiente (gr)	6,52	6,66	1,88	1,91	1,91	1,91
Masa del agua (gr)	8,54	8,08	5,49	5,15	4,54	4,98
Masa suelo seco (gr)	68,91	69,06	53,19	48,66	49,76	52,45
Contenido de humedad w%	12,39	11,70	10,33	10,59	9,13	9,49
w% promedio	12,05		10,46		9,31	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	8		9		12	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	3593,60	1197,87	3983,20	1327,73	7332,90	2444,30

0,05	5300,20	1766,73				
0,075	6739,80	2246,60				
0,1	8138,80	2712,93				
0,2						
0,3						
0,4						
0,5						

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
12	0,00		1,96	0,00		1,96
9	0,00		1,93	0,00		1,93
8	2712,93	271,29	1,90	0,00		1,90

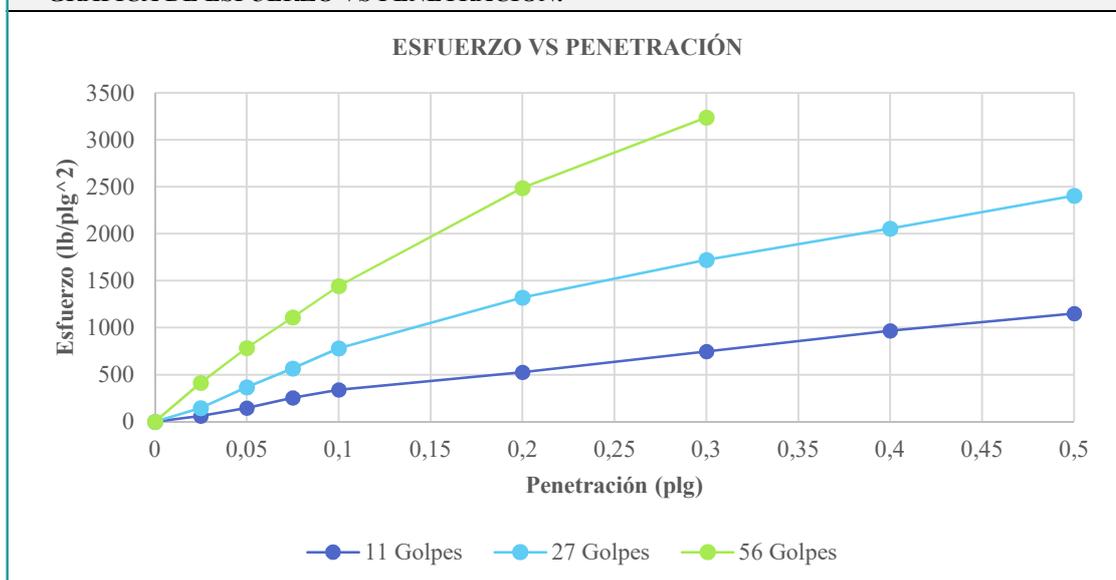
Fuente: Autor

Anexo N° 23. CBR con 0% CP + 0%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA:	1 de 1			
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:				
Cemento Portland (0%) - Emulsión Asfáltica (0%)						
Molde	3		8		13	
Dimensiones	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,24	Diámetro:	15,21
	Altura:	12,8	Altura:	12,77	Altura:	12,82
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10295		11075		10499	
Masa del molde (gr)	5442		6142		5510	
Masa muestra húmeda (gr)	4853,00		4933,00		4989,00	
Volumen muestra (cm ³)	2321,51		2329,44		2329,36	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,090		2,118		2,142	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H9	H12	H18	H16	H13	H15
Masa suelo húmedo + recip (gr)	60,60	47,80	73,40	59,00	75,20	62,40
Masa suelo seco + recip. (gr)	55,00	43,40	66,60	53,50	68,20	56,60
Masa recipiente (gr)	1,91	1,88	1,94	1,91	1,92	1,89
Masa del agua (gr)	5,60	4,40	6,80	5,50	7,00	5,80
Masa suelo seco (gr)	53,09	41,52	64,66	51,59	66,29	54,71
Contenido de humedad w%	10,55	10,60	10,52	10,66	10,56	10,60
w% promedio	10,57		10,59		10,58	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,891		1,915		1,937	
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H10	H11	H14	H17	2C	MP
Masa suelo húmedo + recip (gr)	61,80	58,00	55,40	56,50	61,40	58,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	56,10	52,60	50,20	51,40	55,70	53,10
Masa recipiente (gr)	1,91	1,88	1,93	1,92	1,83	1,91
Masa del agua (gr)	5,70	5,40	5,20	5,10	5,70	5,40
Masa suelo seco (gr)	54,19	50,72	48,27	49,48	53,87	51,19
Contenido de humedad w%	10,52	10,65	10,77	10,31	10,58	10,55
w% promedio	10,58		10,54		10,56	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,890		1,916		1,937	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	3		8		13	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	183,30	61,10	434,30	144,77	1239,90	413,30
0,05	431,90	143,97	1099,30	366,43	2353,60	784,53
0,075	765,50	255,17	1701,40	567,13	3326,30	1108,77
0,1	1013,90	337,97	2339,60	779,87	4333,10	1444,37
0,2	1578,30	526,10	3961,30	1320,43	7463,90	2487,97

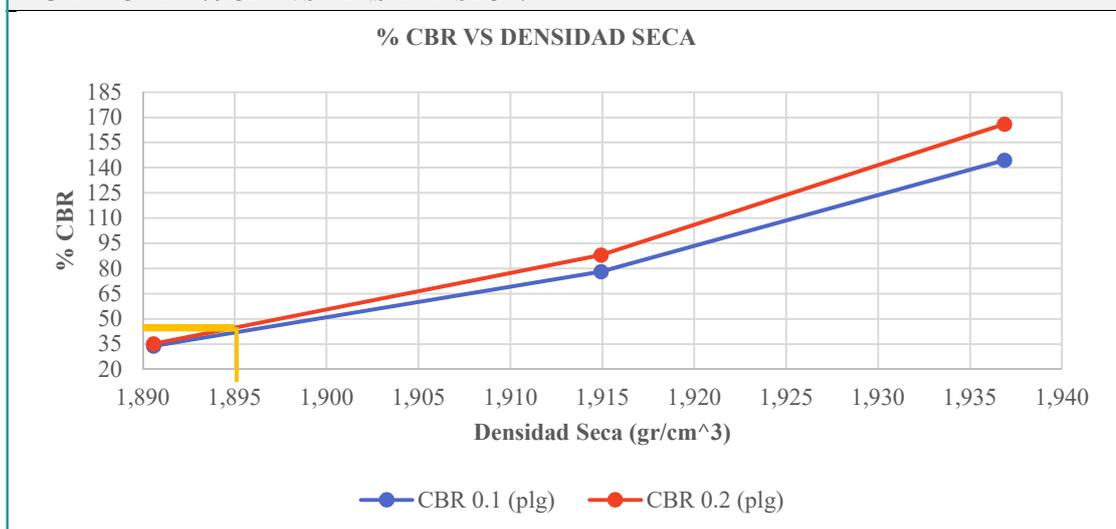
0,3	2235,60	745,20	5163,40	1721,13	9711,40	3237,13
0,4	2899,60	966,53	6165,30	2055,10		
0,5	3458,10	1152,70	7213,50	2404,50		

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
13	1444,37	144,44	1,94	2487,97	165,86	1,94
8	779,87	77,99	1,91	1320,43	88,03	1,91
3	337,97	33,80	1,89	526,10	35,07	1,89

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,895	41,80	44,70	44,70
CBR PUNTUAL (%)		44,70		

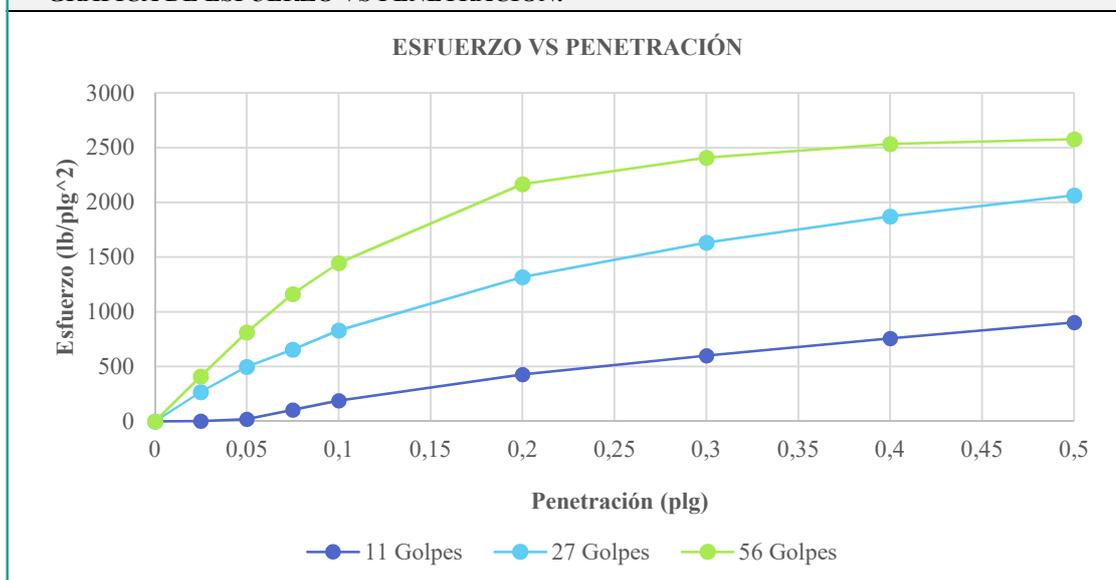
Fuente: Autor

Anexo N° 24. CBR con 0% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (0%) - Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	3		13		15	
Dimensiones	Diámetro:	15,22	Diámetro:	15,21	Diámetro:	15,22
	Altura:	12,16	Altura:	12,12	Altura:	12,19
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10349		10367		13153	
Masa del molde (gr)	5642		5610		8302	
Masa muestra húmeda (gr)	4707		4757		4851	
Volumen muestra (cm ³)	2212,34		2202,17		2217,80	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,128		2,160		2,187	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H15	H13	H10	H11	H18	H16
Masa suelo húmedo + recip (gr)	58,91	62,56	63,90	64,43	66,99	70,36
Masa suelo seco + recip. (gr)	53,36	56,50	57,77	58,20	60,47	63,58
Masa recipiente (gr)	1,89	1,92	1,91	1,88	1,94	1,91
Masa del agua (gr)	5,55	6,06	6,12	6,23	6,52	6,79
Masa suelo seco (gr)	51,47	54,59	55,86	56,32	58,53	61,67
Contenido de humedad w%	10,78	11,10	10,96	11,06	11,14	11,01
w% promedio	10,94		11,01		11,07	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,918		1,946		1,969	
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H3	H6	H5	H8	H4	H1
Masa suelo húmedo + recip (gr)	105,31	89,12	77,90	75,86	82,36	107,73
Masa suelo seco + recip. (gr)	95,93	81,01	70,89	69,15	75,06	98,01
Masa recipiente (gr)	7,34	6,66	6,52	6,73	7,11	7,25
Masa del agua (gr)	9,37	8,12	7,01	6,71	7,30	9,72
Masa suelo seco (gr)	88,59	74,35	64,37	62,42	67,95	90,76
Contenido de humedad w%	10,58	10,92	10,88	10,76	10,75	10,71
w% promedio	10,75		10,82		10,73	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,921		1,949		1,975	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	3		13		15	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	8,70	2,90	798,40	266,13	1233,90	411,30
0,05	63,10	21,03	1498,10	499,37	2439,50	813,17
0,075	316,30	105,43	1969,30	656,43	3484,60	1161,53
0,1	563,80	187,93	2492,30	830,77	4336,30	1445,43
0,2	1279,60	426,53	3956,60	1318,87	6499,30	2166,43

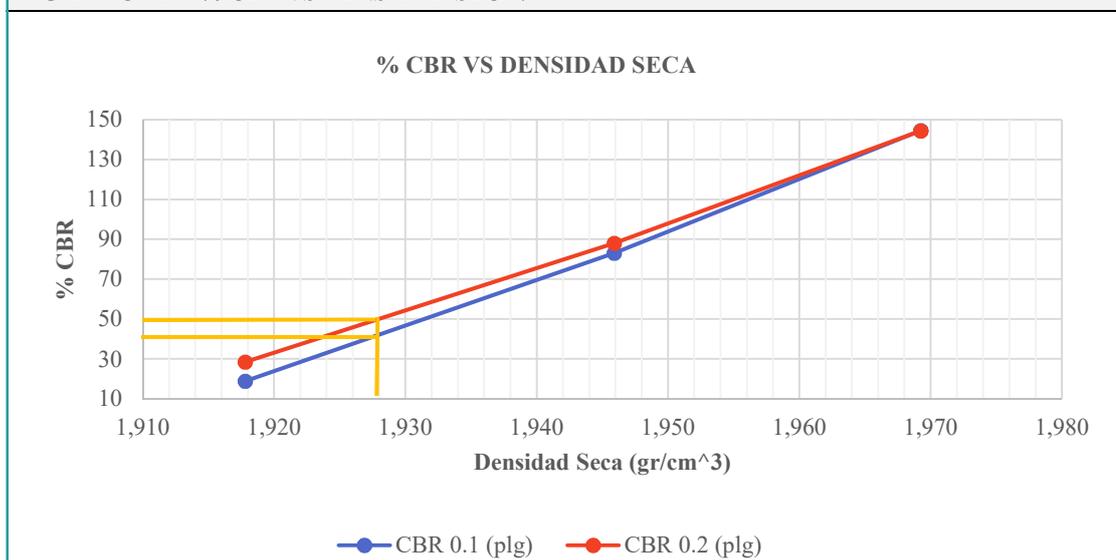
0,3	1797,40	599,13	4894,90	1631,63	7226,90	2408,97
0,4	2273,30	757,77	5613,90	1871,30	7603,10	2534,37
0,5	2713,80	904,60	6196,30	2065,43	7736,10	2578,70

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
15	1445,43	144,54	1,97	2166,43	144,43	1,97
13	830,77	83,08	1,95	1318,87	87,92	1,95
3	187,93	18,79	1,92	426,53	28,44	1,92

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,928	42,20	50,00	50,00
CBR PUNTUAL (%)		50,00		

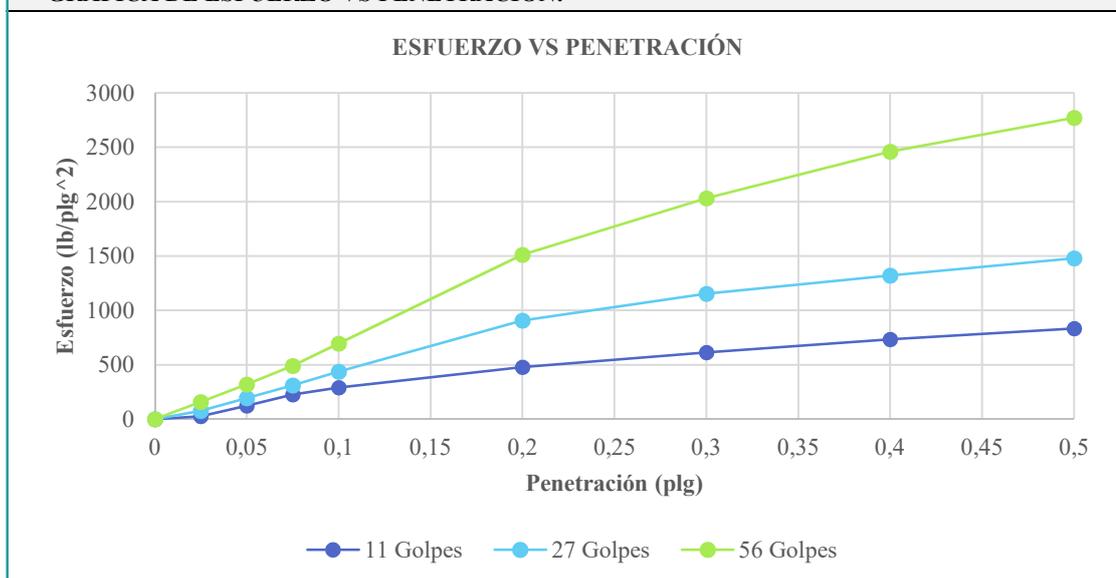
Fuente: Autor

Anexo N° 25. CBR con 1,5% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA: 1 de 1				
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:				
Cemento Portland (1,5%) + Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	3	8	13			
Dimensiones	Diámetro:	15,22	Diámetro:	15,21	Diámetro:	15,22
	Altura:	12,16	Altura:	12,12	Altura:	12,19
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11	27	56			
Muestra húmeda + molde (gr)	11	27	56			
Masa del molde (gr)	10190	10846	10411			
Masa muestra húmeda (gr)	5642	6216	5655			
Volumen muestra (cm ³)	4548	4630	4756			
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2212,34	2202,17	2217,80			
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H3	H8	H2	H6	H4	H7
Masa suelo húmedo + recip (gr)	113,90	80,60	106,70	103,90	106,00	85,50
Masa suelo seco + recip. (gr)	104,90	74,20	98,20	95,70	97,60	78,80
Masa recipiente (gr)	7,34	6,73	7,09	6,66	7,11	6,70
Masa del agua (gr)	9,00	6,40	8,50	8,20	8,40	6,70
Masa suelo seco (gr)	97,56	67,47	91,11	89,04	90,49	72,10
Contenido de humedad w%	9,23	9,49	9,33	9,21	9,28	9,29
w% promedio	9,36	9,27	9,29			
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,880	1,924	1,962			
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H1	H5	J3	J1	E4	J6
Masa suelo húmedo + recip (gr)	85,30	79,10	90,10	85,40	135,00	122,30
Masa suelo seco + recip. (gr)	78,70	72,90	83,30	79,20	126,10	114,50
Masa recipiente (gr)	7,25	6,52	11,74	11,62	29,70	30,70
Masa del agua (gr)	6,60	6,20	6,80	6,20	8,90	7,80
Masa suelo seco (gr)	71,45	66,38	71,56	67,58	96,40	83,80
Contenido de humedad w%	9,24	9,34	9,50	9,17	9,23	9,31
w% promedio	9,29	9,34	9,27			
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,881	1,923	1,963			
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	3	8	13			
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	79,10	26,37	228,20	76,07	473,60	157,87
0,05	373,30	124,43	583,50	194,50	957,10	319,03
0,075	676,50	225,50	936,60	312,20	1468,80	489,60
0,1	868,30	289,43	1308,50	436,17	2092,10	697,37
0,2	1435,10	478,37	2719,90	906,63	4538,50	1512,83

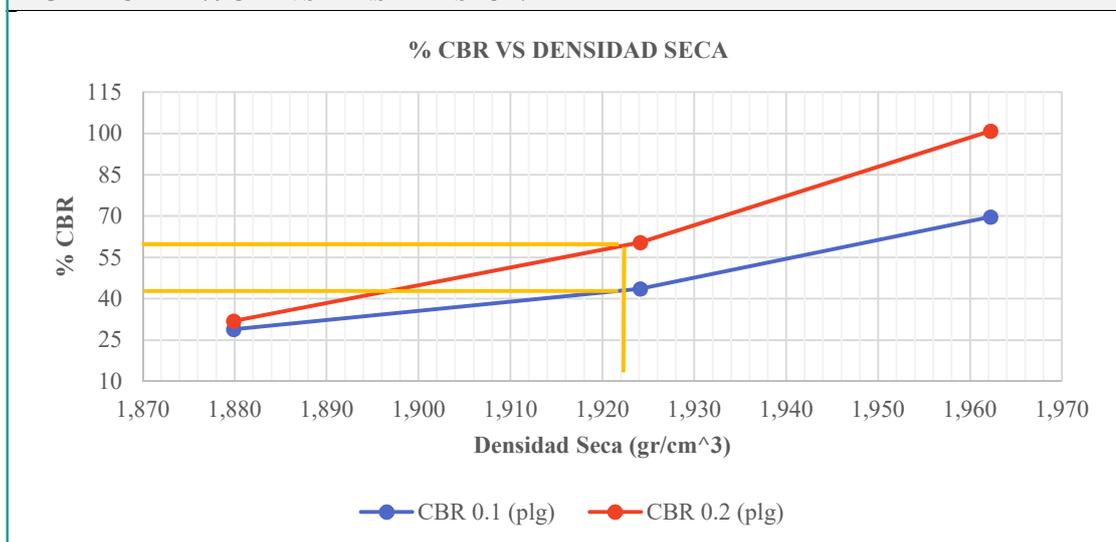
0,3	1845,10	615,03	3458,80	1152,93	6098,70	2032,90
0,4	2201,20	733,73	3963,80	1321,27	7383,80	2461,27
0,5	2503,50	834,50	4439,20	1479,73	8318,30	2772,77

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
13	697,37	69,74	1,96	1512,83	100,86	1,96
8	436,17	43,62	1,92	906,63	60,44	1,92
3	289,43	28,94	1,88	478,37	31,89	1,88

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,922	42,90	59,00	59,00
CBR PUNTUAL (%)		59,00		

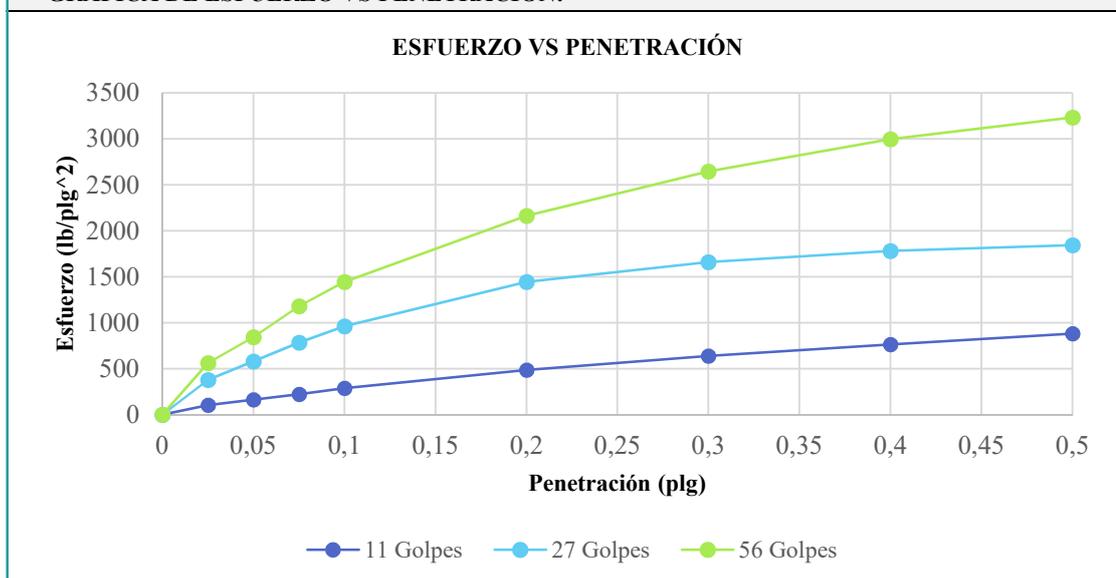
Fuente: Autor

Anexo N° 26. CBR con 3% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (3%) + Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	18		12		5	
Dimensiones	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,30	Diámetro:	15,38
	Altura:	12,2	Altura:	12,18	Altura:	12,33
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	11447		13435		13434	
Masa del molde (gr)	6838		8698		8531	
Masa muestra húmeda (gr)	4609		4737		4903	
Volumen muestra (cm ³)	2223,11		2238,97		2291,13	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,073		2,116		2,140	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H1	H2	H7	H8	H5	H6
Masa suelo húmedo + recip (gr)	133,65	137,04	86,55	96,24	91,99	99,68
Masa suelo seco + recip. (gr)	123,02	125,99	79,97	88,74	84,80	91,91
Masa recipiente (gr)	7,25	7,09	6,70	6,73	6,52	6,66
Masa del agua (gr)	10,64	11,05	6,58	7,50	7,19	7,78
Masa suelo seco (gr)	115,76	118,90	73,27	82,01	78,28	85,25
Contenido de humedad w%	9,19	9,29	8,98	9,14	9,18	9,12
w% promedio	9,24		9,06		9,15	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,898		1,940		1,961	
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	H11	H15	H18	H16	H13	H10
Masa suelo húmedo + recip (gr)	59,57	55,29	57,34	65,01	62,06	64,78
Masa suelo seco + recip. (gr)	54,67	50,79	52,70	59,58	57,09	59,46
Masa recipiente (gr)	1,88	1,89	1,94	1,91	1,92	1,91
Masa del agua (gr)	4,91	4,50	4,64	5,43	4,98	5,33
Masa suelo seco (gr)	52,79	48,90	50,76	57,68	55,17	57,54
Contenido de humedad w%	9,29	9,19	9,14	9,41	9,02	9,26
w% promedio	9,24		9,28		9,14	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,898		1,936		1,961	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	18		12		5	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	306,10	102,03	1133,30	377,77	1685,10	561,70
0,05	486,30	162,10	1736,40	578,80	2532,20	844,07
0,075	661,80	220,60	2356,30	785,43	3536,30	1178,77
0,1	864,30	288,10	2886,60	962,20	4334,10	1444,70
0,2	1460,30	486,77	4333,70	1444,57	6493,80	2164,60

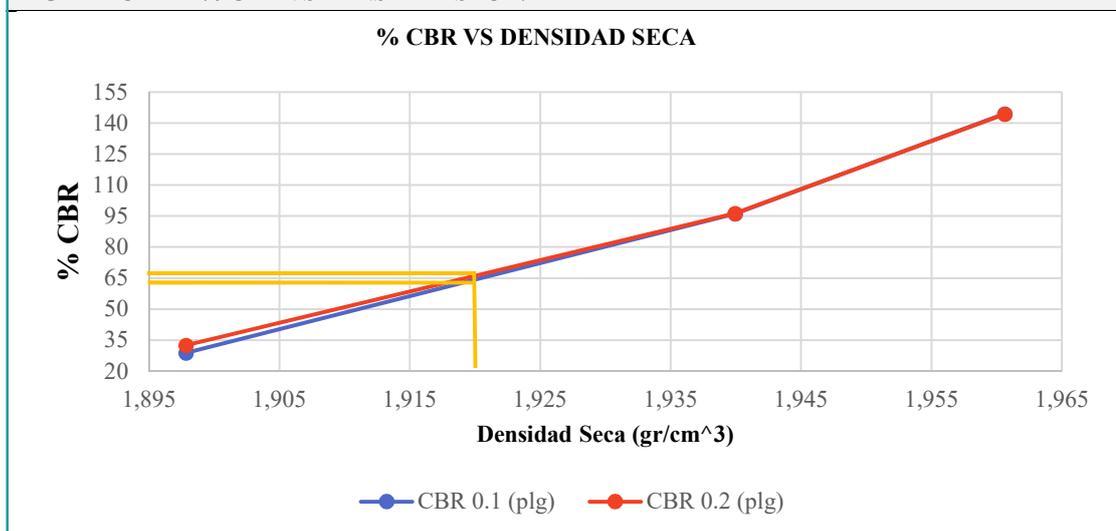
0,3	1913,90	637,97	4981,80	1660,60	7939,60	2646,53
0,4	2286,60	762,20	5339,30	1779,77	8990,60	2996,87
0,5	2643,70	881,23	5527,20	1842,40	9703,00	3234,33

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
5	1444,70	144,47	1,96	2164,60	144,31	1,96
12	962,20	96,22	1,94	1444,57	96,30	1,94
18	288,10	28,81	1,90	486,77	32,45	1,90

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,920	64,30	66,10	66,10
CBR PUNTUAL (%)		66,10		

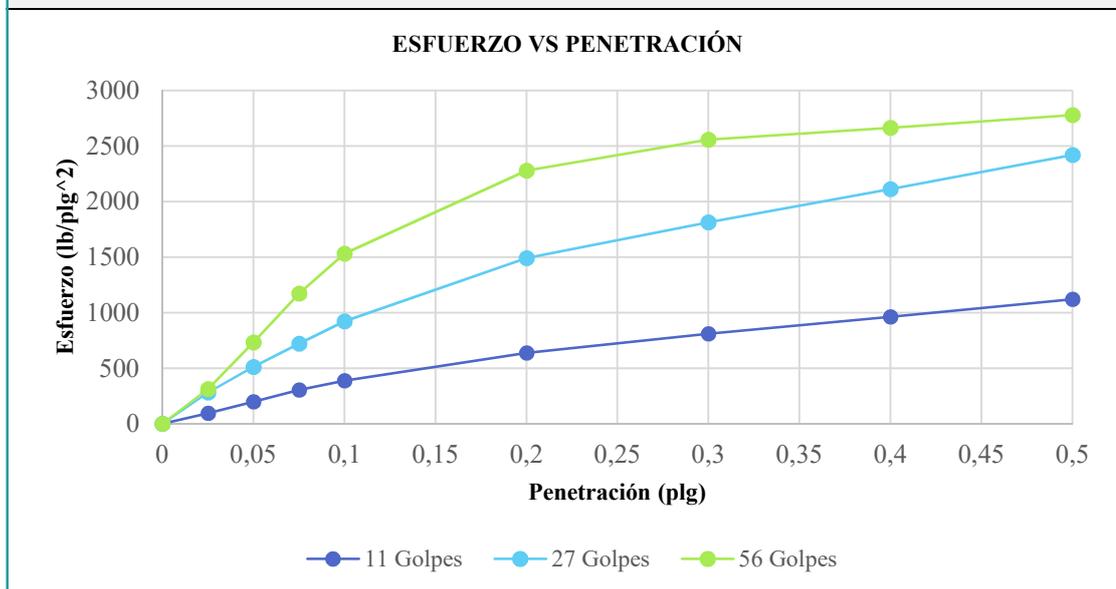
Fuente: Autor

Anexo N° 27. CBR con 6% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.	HOJA: 1 de 1				
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.	NORMA:				
Cemento Portland (6%) + Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	7	8	11			
Dimensiones	Diámetro: 15,2	Diámetro: 15,24	Diámetro: 15,31			
	Altura: 12,2	Altura: 12,17	Altura: 12,33			
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11	27	56			
Muestra húmeda + molde (gr)	11451	10854	14283			
Masa del molde (gr)	6898	6262	9510			
Masa muestra húmeda (gr)	4553	4592	4773			
Volumen muestra (cm ³)	2225,08	2219,99	2269,88			
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,046	2,068	2,103			
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H1	H2	H7	H8	H5	H6
Masa suelo húmedo + recip (gr)	133,65	137,04	86,55	96,24	91,99	99,68
Masa suelo seco + recip. (gr)	123,02	125,99	79,97	88,74	84,80	91,91
Masa recipiente (gr)	7,25	7,09	6,70	6,73	6,52	6,66
Masa del agua (gr)	10,64	11,05	6,58	7,50	7,19	7,78
Masa suelo seco (gr)	115,76	118,90	73,27	82,01	78,28	85,25
Contenido de humedad w%	9,19	9,29	8,98	9,14	9,18	9,12
w% promedio	9,24	9,29	9,06	9,14	9,18	9,12
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,898	1,898	1,940	1,940	1,961	1,961
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	J1	J2	Z1	Z2	Z3	Z4
Masa suelo húmedo + recip (gr)	84,68	93,50	86,59	87,48	93,80	89,23
Masa suelo seco + recip. (gr)	79,33	87,59	81,11	81,99	88,05	83,51
Masa recipiente (gr)	11,62	11,12	11,70	11,74	11,65	11,12
Masa del agua (gr)	5,35	5,91	5,48	5,50	5,75	5,72
Masa suelo seco (gr)	67,70	76,47	69,41	70,25	76,40	72,40
Contenido de humedad w%	7,91	7,73	7,89	7,82	7,53	7,90
w% promedio	7,82	7,82	7,86	7,86	7,71	7,71
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,898	1,898	1,918	1,918	1,952	1,952
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	7	8	11			
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	286,10	95,37	846,60	282,20	936,80	312,27
0,05	596,40	198,80	1536,70	512,23	2193,80	731,27
0,075	910,20	303,40	2165,30	721,77	3516,80	1172,27
0,1	1163,90	387,97	2763,50	921,17	4591,50	1530,50

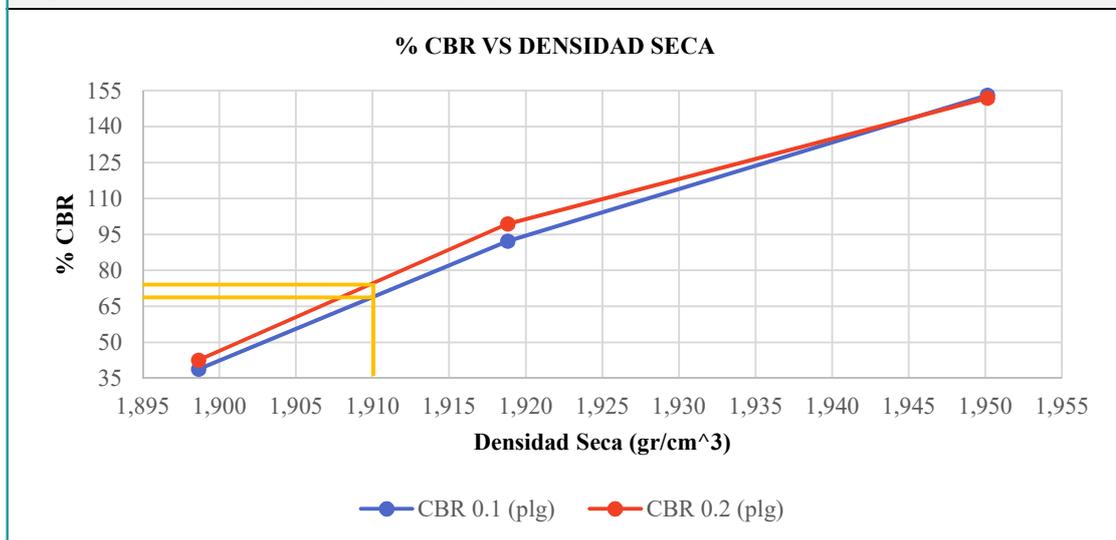
0,2	1909,80	636,60	4469,10	1489,70	6834,30	2278,10
0,3	2431,90	810,63	5436,30	1812,10	7667,80	2555,93
0,4	2883,30	961,10	6334,80	2111,60	7991,30	2663,77
0,5	3360,60	1120,20	7259,10	2419,70	8331,90	2777,30

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
11	1530,50	153,05	1,95	2278,10	151,87	1,95
8	921,17	92,12	1,92	1489,70	99,31	1,92
7	387,97	38,80	1,90	636,60	42,44	1,90

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM		% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR
98%	1,910	68,80	74,40	74,40
CBR PUNTUAL (%)		74,40		

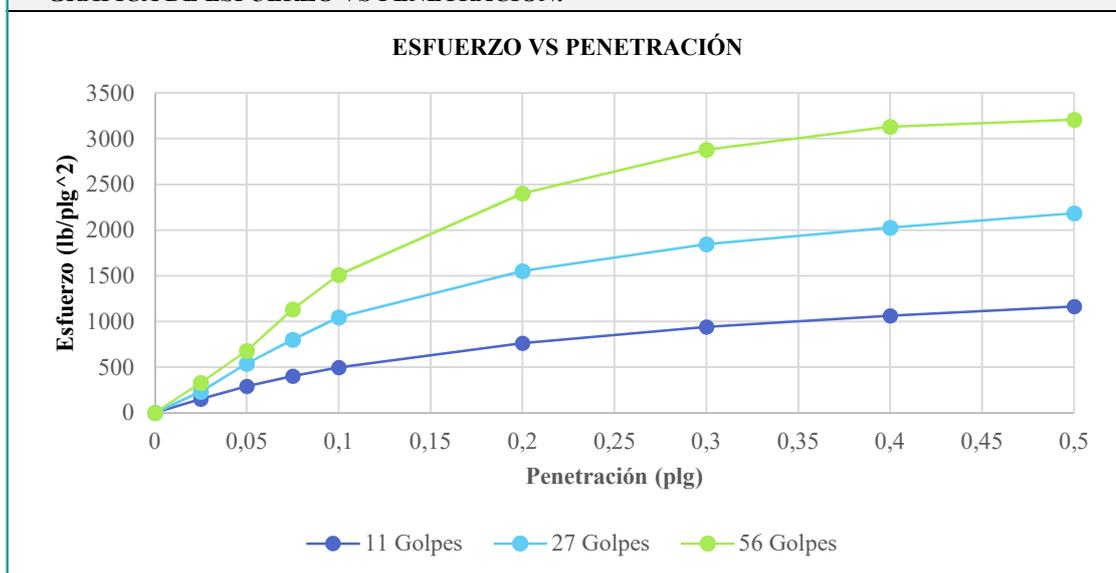
Fuente: Autor

Anexo N° 28. CBR con 9% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (9%) + Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	3		13		15	
Dimensiones	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,24	Diámetro:	15,31
	Altura:	12,2	Altura:	12,17	Altura:	12,33
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10199		10335		13122	
Masa del molde (gr)	5625		5732		8345	
Masa muestra húmeda (gr)	4574		4603		4777	
Volumen muestra (cm ³)	2225,08		2219,99		2269,88	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,056		2,073		2,105	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H14	H9	H17	H12	E1	E4
Masa suelo húmedo + recip (gr)	77,70	64,87	64,66	63,95	159,99	139,23
Masa suelo seco + recip. (gr)	71,89	59,92	59,86	59,20	149,85	130,69
Masa recipiente (gr)	1,93	1,91	1,92	1,88	30,50	29,70
Masa del agua (gr)	5,81	4,95	4,80	4,75	10,14	8,54
Masa suelo seco (gr)	69,96	58,01	57,94	57,32	119,35	100,99
Contenido de humedad w%	8,31	8,53	8,28	8,29	8,49	8,46
w% promedio	8,42		8,28		8,47	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,896		1,915		1,940	
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	E3	E2	J6	J5	J3	J4
Masa suelo húmedo + recip (gr)	134,65	145,93	145,63	150,22	89,06	94,80
Masa suelo seco + recip. (gr)	126,58	137,06	137,02	140,82	83,16	88,19
Masa recipiente (gr)	30,64	30,23	30,70	30,59	11,74	11,70
Masa del agua (gr)	8,07	8,87	8,61	9,40	5,90	6,60
Masa suelo seco (gr)	95,94	106,83	106,32	110,24	71,42	76,50
Contenido de humedad w%	8,41	8,31	8,10	8,52	8,26	8,63
w% promedio	8,36		8,31		8,45	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,897		1,914		1,941	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	3		13		15	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	459,40	153,13	697,80	232,60	989,30	329,77
0,05	873,80	291,27	1616,90	538,97	2033,40	677,80
0,075	1207,30	402,43	2408,90	802,97	3398,70	1132,90
0,1	1492,90	497,63	3139,30	1046,43	4531,50	1510,50
0,2	2293,10	764,37	4653,20	1551,07	7202,30	2400,77

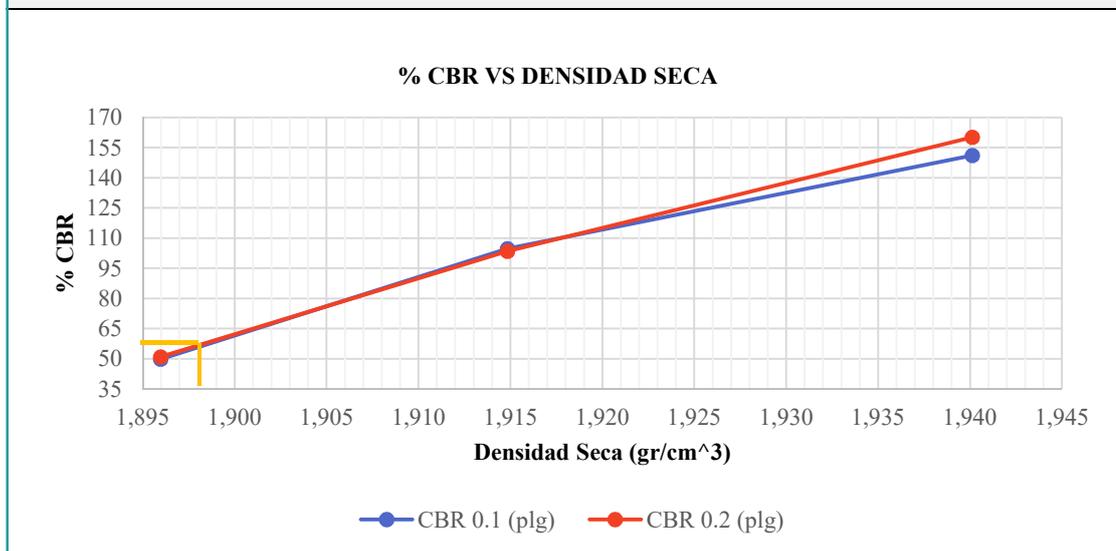
0,3	2828,10	942,70	5539,90	1846,63	8633,40	2877,80
0,4	3188,30	1062,77	6078,90	2026,30	9393,10	3131,03
0,5	3491,50	1163,83	6552,90	2184,30	9619,60	3206,53

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
15	1510,50	151,05	1,94	2400,77	160,05	1,94
13	1046,43	104,64	1,91	1551,07	103,40	1,91
3	497,63	49,76	1,90	764,37	50,96	1,90

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,898	55,70	56,60	56,60
CBR PUNTUAL (%)		56,60		

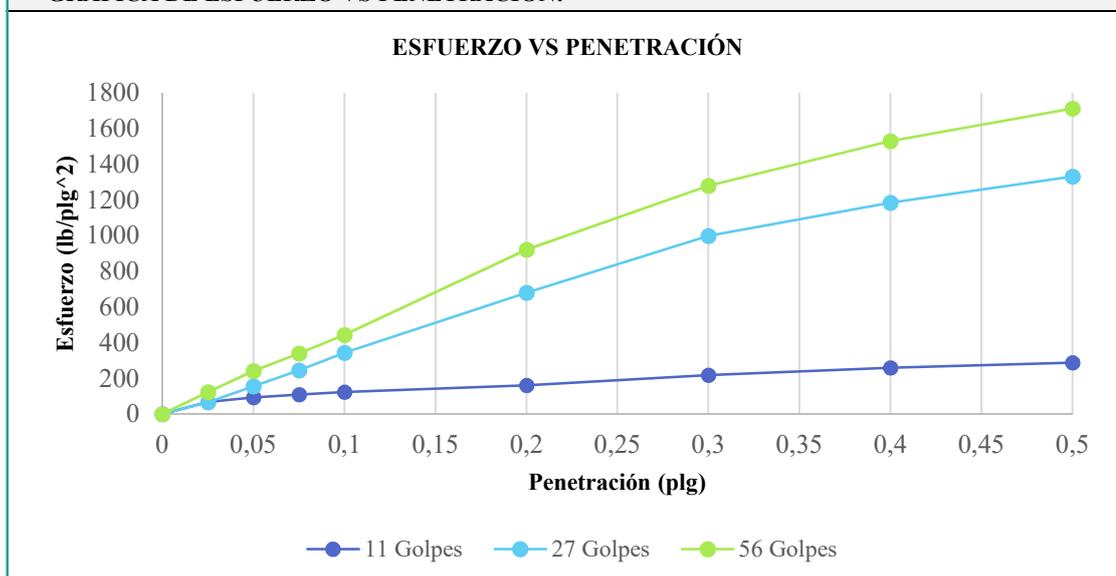
Fuente: Autor

Anexo N° 29. CBR con 12% CP + 3%EM

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR) LABORATORIO						
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"					
ENSAYADO POR:	Mara Alexandra Flores C.			HOJA:	1 de 1	
REVISADO POR:	Ing. Myriam Marisol Bayas A.			NORMA:		
Cemento Portland (12%) + Emulsión Asfáltica (3%)						
Molde	A		B		C	
Dimensiones	Diámetro:	15,2	Diámetro:	15,24	Diámetro:	15,31
	Altura:	12,2	Altura:	12,17	Altura:	12,33
PROCESO DE COMPACTACIÓN:						
Nro. De golpes por capa	11		27		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	10244		10428		10524	
Masa del molde (gr)	5764		5884		5764	
Masa muestra húmeda (gr)	4480		4544		4760	
Volumen muestra (cm ³)	2225,08		2219,99		2269,88	
Peso unitario húmedo (gr/ cm ³)	2,013		2,047		2,097	
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
Numero de recipiente	H9	H12	H16	H13	E2	E3
Masa suelo húmedo + recip (gr)	192,70	202,60	59,10	55,10	116,10	116,80
Masa suelo seco + recip. (gr)	177,40	187,00	54,60	50,80	109,10	110,00
Masa recipiente (gr)	1,91	1,88	1,91	1,92	30,23	30,64
Masa del agua (gr)	15,30	15,60	4,50	4,30	7,00	6,80
Masa suelo seco (gr)	175,49	185,12	52,69	48,89	78,87	79,36
Contenido de humedad w%	8,72	8,43	8,54	8,80	8,88	8,57
w% promedio	8,57		8,67		8,72	
Peso unitario seco (gr/ cm ³)	1,854		1,884		1,929	
LAS MUESTRAS NO FUERON SATURADAS:						
CONTENIDO DE HUMEDAD:						
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Numero de recipiente	Z2	S/N	Z4	Z3	J2	J4
Masa suelo húmedo + recip (gr)	91,10	85,20	95,90	78,40	96,00	93,60
Masa suelo seco + recip. (gr)	84,60	79,70	89,20	72,90	89,30	86,90
Masa recipiente (gr)	11,74	11,65	11,12	11,65	11,74	11,70
Masa del agua (gr)	6,50	5,50	6,70	5,50	6,70	6,70
Masa suelo seco (gr)	72,86	68,05	78,09	61,25	77,56	75,20
Contenido de humedad w%	8,92	8,08	8,58	8,98	8,64	8,91
w% promedio	8,50		8,78		8,77	
Peso unitario seco (gr/cm ³)	1,856		1,882		1,928	
PENETRACIÓN EN LA MÁQUINA (CBR):						
Molde	A		B		C	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)	Dial	Presión (lb/plg²)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,025	203,30	67,77	198,30	66,10	368,40	122,80
0,05	279,20	93,07	463,80	154,60	723,40	241,13
0,075	323,80	107,93	733,60	244,53	1019,90	339,97
0,1	370,20	123,40	1028,50	342,83	1328,50	442,83
0,2	484,30	161,43	2038,30	679,43	2763,30	921,10

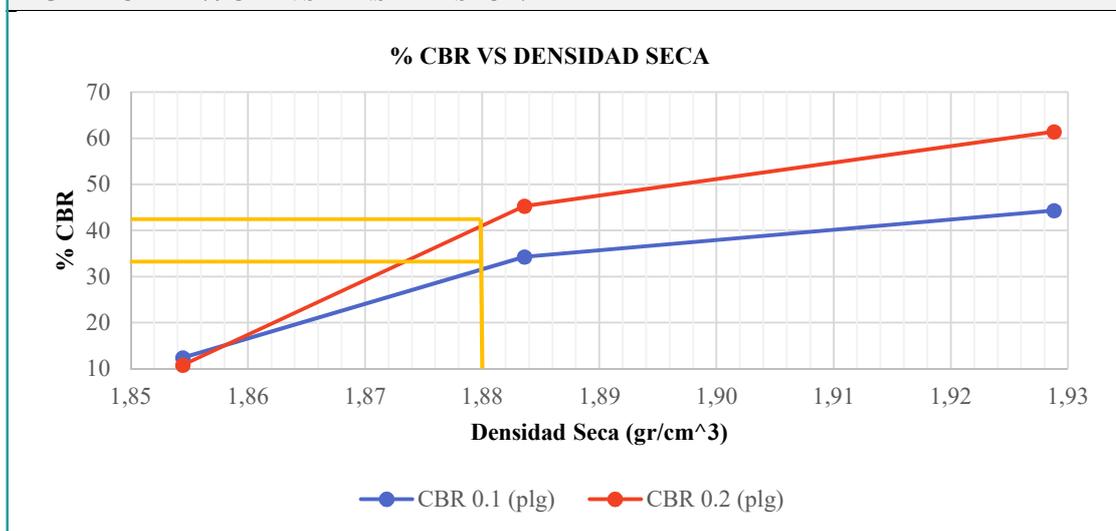
0,3	656,60	218,87	2993,30	997,77	3839,30	1279,77
0,4	777,30	259,10	3553,70	1184,57	4589,10	1529,70
0,5	862,60	287,53	3993,90	1331,30	5136,30	1712,10

GRÁFICA DE ESFUERZO VS PENETRACIÓN:



MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.1 plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0.2 plg	Densidad Seca
C	442,83	44,28	1,93	921,10	61,41	1,93
B	342,83	34,28	1,88	679,43	45,30	1,88
A	123,40	12,34	1,85	161,43	10,76	1,85

GRÁFICA DE % CBR VS DENSIDAD SECA:



Densidad seca máxima (gr/cm ³)		1,937		
DSM	% CBR 0.1 plg	% CBR 0.2 plg	> % CBR	
98%	1,888	35,30	46,90	46,90
CBR PUNTUAL (%)		46,90		

Fuente: Autor

Anexo B

Análisis Económico

Anexo N° 30. Precio unitario de la carpeta asfáltica

 					
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
RUBRO:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de e=9cm				
UNIDAD:	m ²	HOJA:	1 de 5		
EQUIPO					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,02
Planta mezcladora de Asfalto	1	120,00	120,00	0,0045	0,54
Planta electrica 175 KVA	1	20,00	20,00	0,0045	0,09
Terminadora de Asfalto	1	75,00	75,00	0,0045	0,34
Rodillo Neumático	1	25,00	25,00	0,0045	0,11
Rodllo Tandem Liso	1	30,00	30,00	0,0045	0,13
Cargadora Frontal	1	35,00	35,00	0,0045	0,16
SUBTOTAL M					1,38
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal /Hr B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Peón (EO E2)	8	4,05	32,40	0,0045	0,15
Maestro mayor (EO C1)	1	4,55	4,55	0,0045	0,02
Ayudante de maquinaria (EO D2)	4	4,16	16,64	0,0045	0,07
Operador acabadora P. Asfáltica	1	4,33	4,33	0,0045	0,02
Operador planta asfáltica (OP C2)	1	4,33	4,33	0,0045	0,02
Operador cargadora frontal (OP C1)	1	4,55	4,55	0,0045	0,02
Operador de rodillo autopropul.	2	4,33	8,66	0,0045	0,04
Operador de equipo liviano (EO D2)	1	4,10	4,10	0,0045	0,02
SUBTOTAL N					0,36
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=A*B	
Asfalto	gln	4,015	1,27	5,10	
Material fino (Arena)	m ³	0,050	12,25	0,61	
Material triturado 3/4"	m ³	0,027	14,00	0,38	
Material triturado 1/2"	m ³	0,033	14,15	0,47	
Diesel	gln	0,300	1,85	0,56	
SUBTOTAL O					7,11
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTOS (M+N+O+P)				8,85
	INDIRECTOS (%)				0,00
	UTILIDAD (%)				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				8,85
	VALOR OFERTADO				8,85
SON: OCHO DÓLARES, 85/100 CENTAVOS					
REALIZADO POR:	Mara A. Flores Curay	REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas		

Fuente: Autor

Anexo N° 31. Precio unitario de la base granular

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
RUBRO:	Base Clase 2				
UNIDAD:	m ³	HOJA:	2 de 5		
EQUIPO					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,018
Motoniveladora	1	40,00	40,00	0,0156	0,62
Rodillo vibratorio	1	30,00	30,00	0,0156	0,47
Tanquero de agua	1	18,00	18,00	0,0156	0,28
SUBTOTAL M					1,39
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal /Hr B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Peón (EO E2)	1	4,05	4,05	0,0156	0,06
Maestro mayor (EO C1)	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Operador de motoniveladora	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Chofer tanqueros (CH C1)	1	5,95	5,95	0,0156	0,09
Operador de rodillo autopropul.	1	4,33	4,33	0,0156	0,07
SUBTOTAL N					0,37
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=A*B	
Base Clase 2	m ³	1,200	15,00	18,00	
Agua	m ³	0,030	0,50	0,02	
SUBTOTAL O					18,02
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTOS (M+N+O+P)				19,77
	INDIRECTOS (%)				0,00
	UTILIDAD (%)				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				19,77
	VALOR OFERTADO				19,77
SON: DIECINUEVE DÓLARES, 77/100 CENTAVOS					
REALIZADO POR:	Mara A. Flores Curay	REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas		

Fuente: Autor

Anexo N° 32. Precio unitario de la subbase granular

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
RUBRO:	Sub base Clase 3				
UNIDAD:	m ³	HOJA:	3 de 5		
EQUIPO					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,018
Motoniveladora	1	40,00	40,00	0,0152	0,61
Rodillo vibratorio	1	30,00	30,00	0,0152	0,46
Tanquero de agua	1	18,00	18,00	0,0152	0,27
SUBTOTAL M					1,36
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal /Hr B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Peón (EO E2)	1	4,05	4,05	0,0156	0,06
Maestro mayor (EO C1)	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Operador de motoniveladora	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Chofer tanqueros (CH C1)	1	5,95	5,95	0,0156	0,09
Operador de rodillo autopropul.	1	4,33	4,33	0,0156	0,07
SUBTOTAL N					0,36
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=A*B	
Sub Base Clase 3	m ³	1,934	10,00	19,34	
Agua	m ³	0,102	0,50	0,05	
SUBTOTAL O					19,39
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTOS (M+N+O+P)				21,10
	INDIRECTOS (%)				0,00
	UTILIDAD (%)				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				21,10
	VALOR OFERTADO				21,10
SON: VEINTIUNO DÓLARES, 10/100 CENTAVOS					
REALIZADO POR:	Mara A. Flores Curay	REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas		

Fuente: Autor

Anexo N° 33. Precio unitario de la subbase más emulsión asfáltica

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
RUBRO:	Sub base Clase 3 estabilizada con emulsión asfáltica				
UNIDAD:	m ³	HOJA:	4 de 5		
EQUIPO					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,018
Motoniveladora	1	40,00	40,00	0,0152	0,61
Rodillo vibratorio	1	30,00	30,00	0,0152	0,46
Tanquero de agua	1	18,00	18,00	0,0152	0,27
SUBTOTAL M					1,36
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal /Hr B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Peón (EO E2)	1	4,05	4,05	0,0156	0,06
Maestro mayor (EO C1)	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Operador de motoniveladora	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Chofer tanqueros (CH C1)	1	5,95	5,95	0,0156	0,09
Operador de rodillo autopropul.	1	4,33	4,33	0,0156	0,07
SUBTOTAL N					0,36
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=A*B	
Sub Base Clase 3	m ³	1,908	10,00	19,08	
Agua	m ³	0,107	0,50	0,05	
Emulsión asfáltica CSS-1h	gln	15,589	1,68	26,19	
SUBTOTAL O					45,32
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTOS (M+N+O+P)				47,03
	INDIRECTOS (%)				0,00
	UTILIDAD (%)				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				47,03
	VALOR OFERTADO				47,03
SON: CUARENTA Y SIETE DÓLARES, 47/100 CENTAVOS					
REALIZADO POR:	Mara A. Flores Curay	REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas		

Fuente: Autor

Anexo N° 34. Precio unitario de la subbase más emulsión asfáltica y cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
TEMA:	"Análisis del efecto de la adición de emulsión asfáltica y cemento portland en suelos de subbase clase 3"				
RUBRO:	Sub base Clase 3 estabilizada con emulsión asfáltica y cemento portland				
UNIDAD:	m ³	HOJA:	5 de 5		
EQUIPO					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta Menor 5% de M.O.					0,018
Motoniveladora	1	40,00	40,00	0,0152	0,61
Rodillo vibratorio	1	30,00	30,00	0,0152	0,46
Tanquero de agua	1	18,00	18,00	0,0152	0,27
SUBTOTAL M					1,36
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad A	Jornal /Hr B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Peón (EO E2)	1	4,05	4,05	0,0156	0,06
Maestro mayor (EO C1)	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Operador de motoniveladora	1	4,55	4,55	0,0156	0,07
Chofer tanqueros (CH C1)	1	5,95	5,95	0,0156	0,09
Operador de rodillo autopropul.	1	4,33	4,33	0,0156	0,07
SUBTOTAL N					0,36
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unit. B	Costo C=A*B	
Sub Base Clase 3	m ³	1,783	10,00	17,83	
Agua	m ³	0,073	0,50	0,04	
Emulsión asfáltica CSS-1h	gln	15,462	1,68	25,98	
Cemento Portland 50kg	kg	109,256	0,15	16,39	
SUBTOTAL O					60,23
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Tarifa B	Costo C=A*B	
SUBTOTAL P					0,00
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA	TOTAL COSTO DIRECTOS (M+N+O+P)				61,94
	INDIRECTOS (%)				0,00
	UTILIDAD (%)				0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				61,94
	VALOR OFERTADO				61,94
SON: SESENTA Y UNO DÓLARES, 94/100 CENTAVOS					
REALIZADO POR:	Mara A. Flores Curay	REVISADO POR:	Ing. Marisol Bayas		

Fuente: Autor

Anexo N° 35. Cantidades requeridas

SUBBASE CLASE 3 (ESTADO NATURAL)

- Densidad seca máxima: 1.934 gr/cm³
- Humedad óptima: 10.50%
- Volumen requerida: 1m³

$$m_{\text{suelo}} = \rho \times v$$

$$m_{\text{suelo}} = 1934 \text{ kg/m}^3 \times 1\text{m}^3$$

$$m_{\text{suelo}} = 1934 \text{ kg} \approx 1.934\text{cm}^3$$

Cantidad de agua para 1m³ de masa de la muestra seca, para una densidad relativa de 1.934 gr/cm³.

$$V_{\text{agua}} = 1934 \text{ kg} * 10.50\%$$

$$V_{\text{agua}} = 203.07 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg}_{\text{agua}}} \times \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.203 \text{ m}^3$$

Para este caso se consideró el 50% de agua dado que el suelo conserva su humedad natural, por tanto la cantidad requerida es de: **0.102 m³**

SUBBASE CLASE 3 + EMULSIÓN ASFÁLTICA

- Densidad seca máxima: 1.967 gr/cm³
- Humedad óptima: 10.90%
- Volumen requerida: 1m³
- Porcentaje de emulsión asfálticas: 3%

$$m_{\text{suelo}} = \rho \times v$$

$$m_{\text{suelo}} = 1967 \text{ kg/m}^3 \times 1\text{m}^3$$

$$m_{\text{suelo}} = 1967 \text{ kg} \approx 1.967\text{cm}^3$$

Cantidad de agua para 1m³ de masa de la muestra seca, para una densidad relativa de 1.967 gr/cm³.

$$V_{\text{agua}} = 1967 \text{ kg} * 10.90\%$$

$$V_{\text{agua}} = 214.40 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg}_{\text{agua}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.214 \text{ m}^3$$

Para este caso se consideró el 50% de agua dado que el suelo conserva su humedad natural, por tanto la cantidad requerida es de: **0.107 m³**

Cantidad requerida de emulsión asfáltica catiónica CSS-1h en m³

$$V_{\text{EM}} = 1967 \text{ kg} * 3\%$$

$$V_{\text{EM}} = 59.01 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg}_{\text{agua}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})}$$

$$V_{\text{EM}} = 0.059 \text{ m}^3 \approx 15.589 \text{ gln}$$

Muestra total de suelo total:

$$m_{\text{Total}} = 1967 \text{ kg} - 59.01 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Total}} = 1908 \text{ kg} \approx 1.908 \text{ m}^3$$

SUBBASE CLASE 3 + EMULSIÓN ASFÁLTICA + CEMENTO PORTLAND

- Densidad seca máxima: 1.951 gr/cm³
- Humedad óptima: 7.53%
- Volumen requerida: 1m³
- Porcentaje de emulsión asfálticas: 3%
- Porcentaje de cemento portland: 5.7%

$$m_{\text{suelo}} = \rho \times v$$

$$m_{\text{suelo}} = 1951 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{suelo}} = 1951 \text{ kg} \approx 1.951 \text{ m}^3$$

Cantidad de agua para 1m³ de masa de la muestra seca, para una densidad relativa de 1.951 gr/cm³.

$$V_{\text{agua}} = 1951 \text{ kg} * 7.50\%$$

$$V_{\text{agua}} = 146.91 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg}_{\text{agua}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.147 \text{ m}^3$$

Para este caso se consideró el 50% de agua dado que el suelo conserva su humedad natural, por tanto la cantidad requerida es de: **0.073 m³**

Cantidad requerida de emulsión asfáltica catiónica CSS-1h en m³

$$V_{\text{EM}} = 1951 \text{ kg} * 3\%$$

$$V_{\text{EM}} = 58.53 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg}_{\text{agua}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100\text{cm})}$$

$$V_{\text{EM}} = 0.059 \text{ m}^3 \approx 15.462 \text{ gln}$$

Cantidad requerida de cemento portland en m³

$$m_{\text{CP}} = 1951 \text{ kg} * 5.7\%$$

$$m_{\text{EM}} = 109.26 \text{ kg}$$

Muestra total de suelo total:

$$m_{\text{Total}} = 1951 \text{ kg} - 58.53 \text{ kg} - 109.26 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Total}} = 1783 \text{ kg} \approx 1.783 \text{ m}^3$$

Anexo C

Registro Fotográfico

ENSAYOS EN LABORATORIO	
GRANULOMETRÍA	
Fotografía N° 1	Fotografía N° 2
	
Tamizado del agregado grueso	Cuarteo de la muestra
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido	
Fotografía N° 3	Fotografía N° 4
	
Preparación de la muestra	Límite líquido

Fuente: Autor

Límite Plástico	
Fotografía N° 5	Fotografía N° 6
	
Realización de rollos de 3mm	Muestra para el horno
GRAVEDAD ESPECÍFICA	
Agregado Fino	
Fotografía N° 7	Fotografía N° 8
	
Decantación del exceso de agua	Muestra fina saturada

Fuente: Autor

<p align="center">Fotografía N° 9</p>	<p align="center">Fotografía N° 10</p>
	
<p align="center">Determinación de condición SSS</p>	<p align="center">Colocación de la muestra en picnómetro</p>
<p align="center">Agregado Grueso</p>	
<p align="center">Fotografía N° 11</p>	<p align="center">Fotografía N° 12</p>
	
<p align="center">Secado superficial de la muestra</p>	<p align="center">Muestras después del horno</p>

Fuente: Autor

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

Fotografía N° 13



Selección de muestra

Fotografía N° 14



Análisis visual

ABRASIÓN DE LOS ÁRIDOS

Fotografía N° 15



Lavado de agregados

Fotografía N° 16



Peso de una de las muestras a ensayar

Fuente: Autor

<p align="center">Fotografía N° 17</p>	<p align="center">Fotografía N° 18</p>
	
<p align="center">Muestras en la Máquina de los Ángeles</p>	<p align="center">Cribado por el tamiz N°12</p>
<p align="center">PROCTOR MODIFICADO</p>	
<p align="center">Fotografía N° 19</p>	<p align="center">Fotografía N° 20</p>
	
<p align="center">Peso de la muestra</p>	<p align="center">Medición del Proctor</p>

Fuente: Autor

<p align="center">Fotografía N° 21</p>	<p align="center">Fotografía N° 22</p>
	
<p align="center">Determinación de cantidades</p>	<p align="center">Medición de emulsión asfáltica</p>
<p align="center">Fotografía N° 23</p>	<p align="center">Fotografía N° 24</p>
	
<p align="center">Subbase + cemento portland</p>	<p align="center">Subbase + emulsión asfáltica</p>

Fuente: Autor

<p align="center">Fotografía N° 25</p>	<p align="center">Fotografía N° 26</p>
	
<p align="center">Determinación de cantidades</p>	<p align="center">Compactación del suelo</p>
<p align="center">Fotografía N° 27</p>	<p align="center">Fotografía N° 28</p>
	
<p align="center">Peso del Proctor</p>	<p align="center">Muestras después del horno</p>

Fuente: Autor

CBR	
Fotografía N° 29	Fotografía N° 30
	
Moldes en la máquina de CBR	Moldes después del ensayo
Fotografía N° 31	Fotografía N° 32
	
Extracción de muestras	Desalajo de la muestra

Fuente: Autor

Anexo D

Fichas Técnicas

Anexo N° 36. Ficha técnica de emulsión asfáltica CSS-1h

PRODUCTOR VIALES

Ficha Técnica

EMULSIÓN ASFALTICA CSS-1H DE ROTURA LENTA

Normas de Referencia

- Ministerio de transporte de Obras Públicas del Ecuador MOP-001-F-2002 (Ecu)
- ASTM-D2397
- NTE-INEN-206:96

Información Técnica

PROPIEDAD	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Residuo por evaporación	%	Min.57
Viscosidad saybolt a 25°C	SFF	20 – 100
Mezcla con cemento	%	0 – 2
Carga de partícula	-	Positiva
Estabilidad de almacenamiento 24 horas	%	0 – 1
Asentamiento 5 días	%	0 – 5
Prueba del tamiz N°20	%	0 – 0.1
Penetración en el residuo a 25°C	dmm	40 – 90
Ductibilidad a 25°C	cm	Min.40
Solubilidad en tricloroetileno	%	Min.97.5

Fuente: Ficha Técnica – IMPTEK – CHOVA DEL ECUADOR S.A

Uso principal:

- Estabilización de bases, estabilización de suelos.
- Recuperación y reciclado de pavimentos existentes fatigados.
- Ligante asfáltico de agregados para realizar mezclas asfálticas en frío.
- Sellos asfálticos como Sand seal, Fog Seal, Slurry Seal tipo 1, 2 y 3.
- Riegos de adherencia.

Anexo N° 37. Ficha técnica de cemento portland

CEMENTO

Holcim Fuerte

HOLCIM FUERTE, TIPO GU

Normas de Referencia

- NTE INEN 2380:2011

Información Técnica

PROPIEDAD	ESPECIFICACIÓN
Cambio de longitud por autoclave, %máximo	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat	
Inicial, no menos de, minutos	45
Inicial, no más de, minutos	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	4
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	-

Fuente: Ficha Técnica – Holcim Fuerte (Tipo GU)

Usos

- Vías y pavimentos.
- Concretos estructurales como: losas, columnas, plintos, vigas, riostras, cadenas.
- Producción de elementos prefabricados.
- Mortero para nivelación de pisos.
- Elaboración de morteros para mampostería: enlucido y pegado de bloques.
- Fabricación de mortero para pegar piezas de porcelanato/cerámica.
- Trabajos de albañilería en general.