



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de alternativas para la estabilización de bases
granulares con cemento y emulsión en obras viales**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Marcus Sergius Estrada Ramírez

Asesor:
Mgtr. Ing. Jenny Sánchez Ramírez

Piura, enero de 2024

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Marcius Sergius Estrada Ramírez, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 75891647.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Evaluación de alternativas para la estabilización de bases granulares con cemento y emulsión en obras viales"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniero Civil .
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Jenny Sánchez Ramírez, identificado con DNI N° 72748177
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
 - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 28/10/2023.


Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a Dios por darme vida y salud para cumplir mi sueño. A mis padres por su esfuerzo, apoyo y cariño incondicional. A mi tío Sergio por ser mi guía en este camino.



Agradecimientos

Un agradecimiento a mi asesora Mgtr. Jenny Sánchez Ramírez por su apoyo profesional y el tiempo brindado a este trabajo de investigación. A mi profesor Mgtr. Jorge Alberto Timaná Rojas por sus enseñanzas.

Un agradecimiento especial a toda la familia que conforma la empresa Seoing por el tiempo, recursos y apoyo brindado a esta investigación.



Resumen

Las estabilizaciones de suelos son técnicas que permiten mejorar el soporte de la estructura de pavimento y otras propiedades, tanto desde su construcción, como en procesos de rehabilitación. Esto se puede realizar con diversa cantidad de estabilizadores, su elección depende mucho de las propiedades que se quiere mejorar o recuperar. Además, también se debe tener en cuenta la viabilidad, que en muchas ocasiones depende de los costos del proceso o de la accesibilidad a los estabilizadores en obra.

El objetivo de esta investigación es evaluar cinco alternativas de estabilización para el afirmado de la cantera Seoing, ubicada en Saracoto Alto, con el fin de encontrar la mejor combinación técnica y económica. Para ello se trabajó con combinaciones de cemento y/o emulsión asfáltica, de la siguiente manera:

Alternativa A: Estabilización con 1% de cemento en peso de material.

Alternativa B: Estabilización con 2% de cemento en peso de material.

Alternativa C: Estabilización con 4% de emulsión en peso de material.

Alternativa D: Estabilización con 4% de emulsión y 1% de cemento en peso de material.

Alternativa E: Estabilización con 4% de emulsión y 2% de cemento en peso de material.

El procedimiento seguido para alcanzar estos objetivos fue: A partir de los estudios básicos realizados para el expediente técnico, "Mejoramiento de la vía de tránsito vehicular y peatonal en la AV. Ferrocarril tramo AV. Plácido Jiménez a la AV. Primero de Mayo, distrito El Agustino, Lima- Lima" brindados por la empresa Seoing E.I.R.L, se determinó el número estructural requerido para el diseño de pavimento. Posteriormente, se estudió el afirmado de la cantera Seoing, para ser admitido como material para base granular. Con este material y una mezcla asfáltica en caliente se diseñó una estructura de pavimento capaz de soportar las solicitaciones implícitas en el número estructural requerido calculado previamente.

Siguiendo la misma metodología de diseño, se realizaron los diseños estructurales para las cinco alternativas de estabilización mencionadas anteriormente, contemplando la misma carpeta asfáltica, pero variando los materiales de base y subbase granular para las alternativas planteada.

Para escoger la mejor alternativa técnica se compararon los espesores de base y subbase granular obtenidos, para el caso de la comparación económica se realizaron los análisis de costos unitarios correspondientes a cada alternativa y al diseño sin estabilización.

Como resultado, se obtuvo que, el cemento es un buen estabilizador para el material de estudio debido a que con porcentajes bajos de cemento logra grandes aumentos en el CBR del material, a diferencia de la emulsión asfáltica que no presenta los mismos resultados. Económicamente las estabilizaciones con emulsión asfáltica tienen una incidencia económica alta, esto hace inviable la estabilización con emulsión asfáltica para este material a gran escala.

En conclusión, el cemento es la mejor opción como estabilizador para este material, específicamente la alternativa B es la que tiene mejores resultados. Sin embargo, se recomienda seguir experimentando con otro tipo de estabilizadores como la cal, esperando beneficie significativamente ambos aspectos como en el caso del cemento.



Tabla de contenido

Introducción	13
Capítulo 1 Marco teórico sobre pavimentos	14
1.1 Antecedentes nacionales	14
1.2 Antecedentes internacionales.....	14
1.3 Normativa.....	15
1.3.1 Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013	15
1.3.2 Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos	15
1.3.3 Manual de ensayo de materiales	15
1.3.4 AASHTO Guide for design of pavement structures. 1993.....	15
1.4 Teoría sobre pavimentos.....	15
1.4.1 Definición de pavimentos	16
1.4.2 Tipos de pavimentos	16
1.4.3 Estructura de pavimento flexible	18
1.5 Estabilización de bases.....	19
1.5.1 Tipos de estabilizaciones.....	19
1.6 Estabilización de suelos con cemento.....	21
1.6.1 Constitución de cemento Portland	21
1.6.2 Clasificación de cemento.....	22
1.7 Estabilización de suelos con emulsiones.....	23
1.7.1 Clasificación de las emulsiones	24
Capítulo 2 Metodología	25
2.1 Objetivos	25
2.1.1 Objetivo principal	25
2.1.2 Objetivos específicos.....	25
2.2 Plan experimental	25
2.3 Estudio del afirmado	26
2.3.1 Contenido de humedad natural	26
2.3.2 Análisis granulométrico por tamizado	27
2.3.3 Límites de Atterberg.....	28

2.3.4 Próctor modificado.....	29
2.3.5 Californian Bearing Ratio (CBR).....	29
2.3.6 Abrasión de los Ángeles	30
2.4 Preparación de especímenes	31
2.4.1 Especímenes de afirmado + 1% de cemento	31
2.4.2 Especímenes de afirmado + 2% de cemento	31
2.4.3 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión	31
2.4.4 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión + 1% de cemento	35
2.4.5 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión + 2% de cemento	35
Capítulo 3 Resultados	36
3.1 Caracterización visual del afirmado	36
3.2 Contenido de humedad natural.....	36
3.3 Análisis granulométrico por tamizado	36
3.4 Límites de Atterberg.....	37
3.4.1 Límite líquido.....	37
3.4.2 Límite plástico	37
3.4.3 Índice de plasticidad.....	37
3.5 Próctor modificado.....	37
3.6 CBR	38
3.7 Abrasión de los Ángeles	38
3.8 Elaboración de especímenes.....	39
3.8.1 Especímenes de afirmado + 1% de cemento, alternativa A	39
3.8.2 Especímenes de afirmado + 2 % de cemento, alternativa B.....	39
3.8.3 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión, alternativa C	40
3.8.4 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión + 1% de cemento, alternativa D.....	42
3.8.5 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión + 2% de cemento, alternativa E	42
3.9 Parámetros de diseño para número estructural.....	43
3.9.1 Número estructural requerido	43
3.10 Determinación de coeficientes estructurales	51
3.10.1 Coeficiente estructural de carpeta asfáltica a1	51

3.10.2 Coeficiente estructural de base granular a2	52
3.10.3 Coeficiente estructural de subbase granular a3	53
3.11 Determinación del espesor requerido de base y subbase	53
3.12 Espesor requerido con 1% de cemento, alternativa A.....	54
3.13 Espesor requerido con 2% de cemento, alternativa B.....	55
3.14 Espesor requerido con 4% de emulsión, alternativa C	55
3.15 Espesor requerido con 4% de emulsión + 1% de cemento, alternativa D	56
3.16 Espesor requerido con 4% de emulsión + 2% de cemento, alternativa E	57
Capítulo 4 Comparación técnica y económica de las alternativas	59
4.1 Comparación técnica entre las alternativas.....	59
4.2 Comparación económica de las alternativas evaluadas	60
4.2.1 Análisis de costos unitarios para conformación de base.....	61
4.2.2 Análisis de costos unitarios para alternativa A	61
4.2.3 Análisis de costos unitarios para alternativa B	62
4.2.4 Análisis de costos unitarios para alternativa C	63
4.2.5 Análisis de costos unitarios para alternativa D	64
4.2.6 Análisis de costos unitarios para alternativa E.....	65
4.3 Elección de la mejor alternativa planteada.....	67
Conclusiones.....	69
Referencias.....	70
Anexos	72
Anexo A Análisis granulométrico del afirmado.....	73
Anexo B Huso granulométrico que cumple el afirmado	74
Anexo C Límites de consistencia del afirmado.....	75
Anexo D Próctor modificado del afirmado	76
Anexo E CBR del afirmado	77
Anexo F Abrasión del afirmado con máquina Los ángeles	80
Anexo G CBR para alternativa A.....	81
Anexo H CBR para alternativa B	84
Anexo I Ficha técnica de emulsión asfáltica.....	87

Anexo J Ensayo de compactación de suelos Próctor modificado suelo – emulsión.....	88
Anexo K CBR para alternativa C.....	89
Anexo L CBR para alternativa D.....	92
Anexo M CBR para alternativa E	95
Anexo N CBR de subrasante.....	98



Lista de tablas

Tabla 1	<i>Masa mínima recomendada de espécimen para ensayo de humedad natural</i>	27
Tabla 2	<i>Peso de muestra para ensayo de granulometría</i>	27
Tabla 3	<i>Husos granulométricos para afirmados</i>	28
Tabla 4	<i>Husos granulométricos para bases granulares</i>	28
Tabla 5	<i>Requerimiento de CBR para bases granulares</i>	29
Tabla 6	<i>Masa para ensayo según la gradación del material</i>	30
Tabla 7	<i>Número de esferas para ensayo según la gradación del material</i>	30
Tabla 8	<i>Granulometría del afirmado de la cantera Seoing</i>	32
Tabla 9	<i>Ficha técnica de la emulsión</i>	34
Tabla 10	<i>Tabla resumen de ensayos de laboratorio para el afirmado de cantera Seoing</i>	39
Tabla 11	<i>Índice de Serviciabilidad Inicial a partir de T_p</i>	45
Tabla 12	<i>Índice de Serviciabilidad Final a partir de T_p</i>	46
Tabla 13	<i>Diferencial de Serviciabilidad a partir de T_p</i>	47
Tabla 14	<i>Nivel de Confiabilidad a partir de T_p</i>	48
Tabla 15	<i>Desviación estándar normal ZR</i>	49
Tabla 16	<i>Resultados obtenidos para base y subbase granular</i>	59
Tabla 17	<i>Análisis de costo unitario para conformación de base granular para el afirmado de la cantera Seoing</i>	61
Tabla 18	<i>Análisis de costos unitarios para alternativa A</i>	62
Tabla 19	<i>Análisis de costos unitarios para alternativa B</i>	63
Tabla 20	<i>Análisis de costos unitarios para alternativa C</i>	64
Tabla 21	<i>Análisis de costos unitarios para alternativa D</i>	65
Tabla 22	<i>Análisis de costos unitarios para alternativa E</i>	66
Tabla 23	<i>Precios por m^2 de las alternativas</i>	67
Tabla 24	<i>Resumen de resultados de las alternativas de estabilización planteadas</i>	68

Lista de figuras

Figura 1 <i>Sección típica de pavimento flexible</i>	16
Figura 2 <i>Sección típica de pavimento rígido</i>	17
Figura 3 <i>Estructura típica de pavimento adoquinado</i>	18
Figura 4 <i>Estructura de pavimento</i>	19
Figura 5 <i>Estabilización física mediante compactación</i>	20
Figura 6 <i>Estabilización química con cal</i>	21
Figura 7 <i>Emulsión asfáltica</i>	23
Figura 8 <i>Curva granulométrica del afirmado de la cantera Seoing</i>	33
Figura 9 <i>Curva granulométrica del afirmado de la cantera Seoing dentro de los husos granulométricos</i>	36
Figura 10 <i>Diagrama de fluidez del afirmado de la cantera Seoing</i>	37
Figura 11 <i>Curva de Próctor modificado correspondiente al afirmado de la cantera Seoing</i> ...	38
Figura 12 <i>Preparación especímenes de afirmado con 1% de cemento</i>	39
Figura 13 <i>Espécimen de afirmado con 2% de cemento</i>	40
Figura 14 <i>Gráfica Próctor modificado suelo-emulsión para el afirmado de la cantera Seoing</i>	41
Figura 15 <i>Preparación de especímenes con afirmado y emulsión asfáltica</i>	42
Figura 16 <i>Preparación de especímenes con afirmado + 4% de emulsión asfáltica y 1% de cemento</i>	42
Figura 17 <i>Preparación de especímenes para la alternativa E</i>	43
Figura 18 <i>Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles</i>	50
Figura 19 <i>Módulo resiliente para carpeta asfáltica</i>	52

Introducción

En los últimos años, el interés sobre las estabilizaciones de suelos ha crecido, debido a los buenos resultados obtenidos en carreteras a lo largo del Perú. La estabilización es una técnica que sirve para mejorar un determinado suelo, esto se realiza en cantera o durante rehabilitaciones estructurales del pavimento. Actualmente una ventaja que ofrece la estabilización de suelos es la disminución en los periodos de mantenimientos rutinarios y/o periódicos que se les realizan a las múltiples vías que conforman la red vial nacional. Por lo tanto, es de suma importancia que se realicen investigaciones sobre las estabilizaciones con el fin de contribuir con material técnico de soporte para trabajos de esta índole.

El objetivo principal de esta investigación es estudiar la estabilización de suelos, específicamente el afirmado de la cantera Seoing y su interacción con el cemento y emulsión asfáltica. Las estabilizaciones se realizaron mediante cinco alternativas, en donde se varía y combina diferentes porcentajes de los estabilizadores. Como parte de la metodología de esta investigación, se parte de diseñar la estructura de pavimento considerando al afirmado y las cinco alternativas de estabilización como material para la subbase y base granular, después de ello se comparan los espesores de capa obtenidos en cada diseño, con el fin de comprobar los efectos de las estabilizaciones. Adicionalmente se realiza el análisis de costos unitarios para la conformación de la capa de subbase y base granular de cada diseño con el fin de obtener el costo por m² y comparar económicamente cada alternativa de estabilización.

Esta investigación busca confirmar cómo el aumento del Índice de Soporte de California (CBR) mejora las propiedades del afirmado, lo que a su vez reduce el espesor de las capas de pavimento mencionadas. En el ámbito de la ingeniería civil con estas tecnologías se busca la disminución en la sobreexplotación de canteras. Asimismo, se busca estimar costos aproximados mediante el análisis de costos unitarios al evaluar las opciones de estabilización desde una perspectiva económica.

Capítulo 1

Marco teórico sobre pavimentos

En este capítulo se describe los principales conceptos relacionados al trabajo de investigación. Se inicia comentando los antecedentes, continuando con las definiciones, clasificación de pavimentos, y finalmente, teoría de estabilizaciones de suelos.

1.1 Antecedentes nacionales

A continuación, se presentan antecedentes nacionales que sirvieron como base para realizar la presente investigación:

- En la tesis “Estudio comparativo del mejoramiento de la subrasante y base de la carretera Cañete - Chupaca: Tramo Km. 220+000 - Km. 240+000”, se detalla el uso de estabilizaciones tanto en la subrasante, con el uso de cal; como en la base, con el uso de emulsión asfáltica y cemento Portland. Centrándose en la estabilización con cemento Portland y emulsión asfáltica, esta tesis explica el comportamiento y los cambios positivos que generan en la base la estabilización con cada uno de estos materiales (Laurente, 2011). Los resultados obtenidos se podrán utilizar como referencia para este trabajo; sin embargo, a diferencia de lo que plantea la presente investigación, este antecedente no utiliza bases estabilizadas con emulsión asfáltica y cemento Portland a la vez.
- En la tesis titulada “Análisis comparativo de estabilización con cemento Portland y emulsión asfáltica en bases granulares”, se realiza un estudio comparando ambas estabilizaciones a un nivel general (Aliaga y Soriano, 2019). Sin embargo, es el mejor antecedente para la tesis planteada porque se puede utilizar las fórmulas y hallar el porcentaje tentativo de emulsión para la estabilización. Además, se pueden obtener resultados similares porque en ambos se trabaja con el afirmado de la misma cantera. A diferencia del presente trabajo, la comparación solo se realiza entre estabilizaciones con cemento y emulsión, pero no concibe la idea de utilizar el cemento Portland y emulsión asfáltica a la vez.

1.2 Antecedentes internacionales

Los antecedentes extranjeros que ayudaron a complementar ideas y ampliaron el enfoque de la presente investigación son los siguientes:

- En el libro titulado “Guía práctica de estabilización y recuperación de pavimentos con cemento Portland en México”, se detallan los procesos químicos que ocurren y las formas de aplicación de esta tecnología (Juárez e Inzunza, 2011). Este antecedente será tomado en cuenta para los ensayos de laboratorio que se realizarán en el afirmado estabilizado.
- En la tesis para optar el Título de Ingeniero Civil titulada “Diseño y análisis de bases estabilizadas con cementos tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)” se comparan los resultados obtenidos de estabilizar bases con dos tipos de cemento: el de uso general y otro de moderado calor de hidratación (Díaz y Ortiz, 2019). La principal diferencia entre el antecedente y la presente investigación es que el primero solo trabaja

la estabilización con cemento. Sin embargo, los resultados obtenidos en dicho trabajo podrían ser una buena referencia para los resultados finales de la presente investigación.

1.3 Normativa

Las normas y manuales que se usaron como marco referencial para la presente investigación es el método AASHTO 1993 propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials y tres normas correspondientes al manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC):

1.3.1 Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013

Esta norma publicada en el año 2000, revisada y corregida por última vez el 2013 por el MTC, proporciona las especificaciones técnicas generales para la construcción en vías de comunicación; como carreteras, caminos vecinales, caminos provisionales, etc. En el contexto de la tesis, esta norma define los requisitos que los materiales granulares de base deben cumplir, como los límites de consistencia, husos granulométricos; entre otros.

1.3.2 Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos

Como menciona el MTC, esta norma tiene como objetivo definir las pautas para las normas técnicas de diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, caminos y vías urbanas (2014). Esta norma fue publicada en el 2008, revisada y corregida por última vez en el 2014 por el MTC.

En esta tesis, se utiliza como un complemento a la EG-2013 para detallar los requerimientos específicos de los materiales de base granular.

1.3.3 Manual de ensayo de materiales

Esta norma del MTC es una guía de los distintos ensayos que se realizan en obras viales. En esta tesis, se utiliza como referencia para llevar a cabo los ensayos de caracterización de suelos, que incluyen el análisis granulométrico, límites de consistencia, abrasión de Los Ángeles, y otros.

1.3.4 AASHTO Guide for design of pavement structures. 1993.

Este método publicado en Estados Unidos por AASHTO se desarrolló con el fin de proporcionar una forma de diseñar pavimentos basado en parámetros como el tránsito, que representa las cargas a las que será expuesto el pavimento, entre otros. En este trabajo se utilizará esta guía para diseñar las distintas estructuras de pavimento.

1.4 Teoría sobre pavimentos

En esta sección se abordarán los conceptos referentes a pavimentos, desde su definición y clasificación. El enfoque principal será hacia los pavimentos flexibles porque es la materia de estudio en este trabajo.

1.4.1 Definición de pavimentos

Según Rondón y Reyes (2015), los pavimentos son estructuras conformadas por capas que están superpuestas entre sí y constituidas por determinados materiales. Este paquete estructural tiene la función de soportar las cargas producto del tráfico y los diferentes factores climáticos. Además, deben garantizar que los usuarios gocen de un paso confortable. El pavimento esta soportado por una subrasante, esta puede ser el mismo terreno natural o en algunas ocasiones sobre plataformas conformadas o estabilizadas.

1.4.2 Tipos de pavimentos

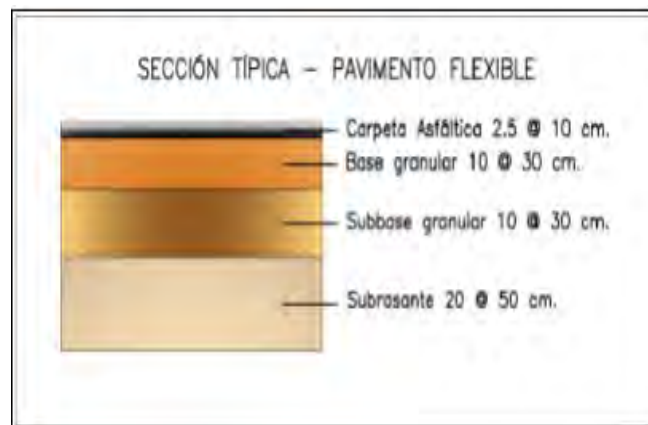
Los pavimentos se pueden clasificar en: Pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos semirrígidos.

1.4.2.1 Pavimentos flexibles. En base a la definición del MTC (2013), se puede describir a los pavimentos flexibles como estructuras compuestas por capas granulares como subbase y base drenantes y un área de rodadura bituminosa en frío o en caliente cuyo espesor será variable de acuerdo con los requerimientos que se tengan.

En base a las palabras de Reyes (2016), un pavimento flexible consiste en un paquete que contiene en la parte superior una capa bituminosa y esta a su vez se encuentra sobre dos capas denominadas base y subbase granular que tienen comportamiento flexible ante la acción de las cargas. Además, la calidad en el paquete es descendente, es decir la primera capa es la que posee menor calidad. En la Figura 1 se muestra el esquema típico de un pavimento flexible: Carpeta asfáltica, base granular, subbase granular y subrasante.

Figura 1

Sección típica de pavimento flexible



Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

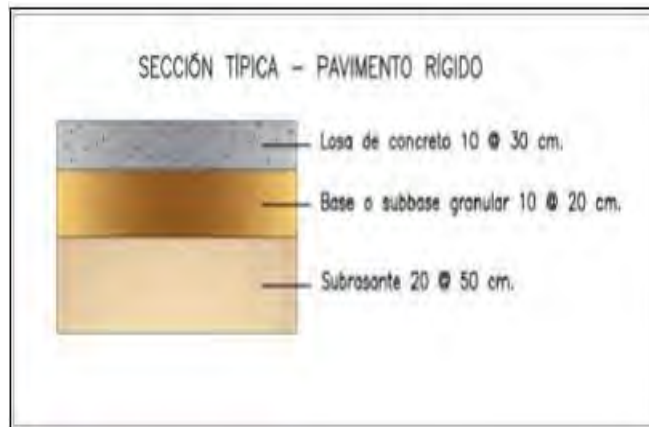
1.4.2.2 Pavimentos rígidos. Su denominación se debe a que el paquete como tal posee una gran rigidez, lo que genera que los esfuerzos producidos por las cargas de tránsito sean distribuidos uniformemente en la base granular, esto se ve reflejado en bajos esfuerzos en la subrasante.

Los pavimentos rígidos, por su módulo de elasticidad y su rigidez, distribuyen la carga sobre un área considerable de suelo, es así que gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto. De tal modo que las variaciones menores en la resistencia del terreno de fundación tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido (Reyes, 2016).

Generalmente la estructura de estos pavimentos está constituida por la subrasante, base o a veces llamada subbase granular y una capa de rodadura de concreto hidráulico, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Sección típica de pavimento rígido

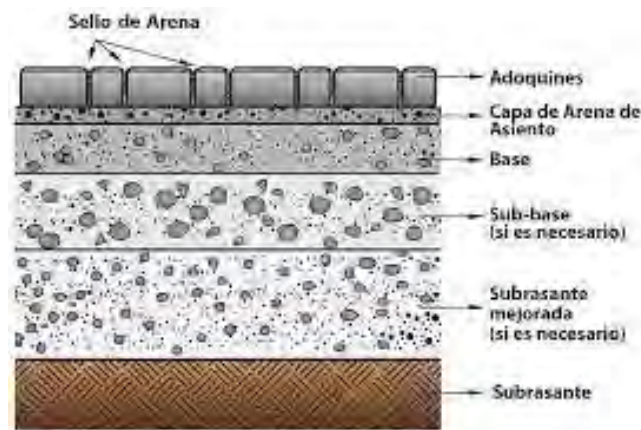


Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

1.4.2.3 Pavimentos semirrígidos. Los pavimentos semirrígidos tienen un comportamiento intermedio entre los pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido a los pavimentos adoquinados (MTC, 2013).

En el caso de los pavimentos adoquinados están constituidos por una subbase, base, una cama de arena y, finalmente, los adoquines que son sellados con arena fina como se muestra en la Figura 3.

Figura 3*Estructura típica de pavimento adoquinado*

Nota. Extraído de Cabezas (2014).

1.4.3 Estructura de pavimento flexible

La presente investigación se centrará en los pavimentos flexibles. Los pavimentos flexibles se pueden estudiar a partir de los siguientes componentes o capas:

1.4.3.1 Capa de rodadura. En base a las palabras de Reyes (2016), la capa de rodadura es la capa superficial que proporciona un rodamiento adecuado acompañado con color y textura adecuados, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito. Está constituida por mezclas asfálticas en caliente o por mezclas asfálticas en frío como micropavimentos o macadam asfáltico.

Las funciones de esta capa es garantizar que las cargas de tránsito no generen deformaciones perjudiciales en las capas que la soportan; además de transmitir las cargas a las capas inferiores. También debe presentar una resistencia al desgaste generado por el paso del tiempo y efectos climáticos. A excepción de pavimentos drenantes esta capa debe garantizar la impermeabilidad.

1.4.3.2 Capa de base. En base a las palabras de Reyes (2016), se puede definir a la base como la capa más importante del pavimento. Se constituye de materiales seleccionados como agregado triturado o material granular. Además de minimizar el espesor de la capa de rodadura lo que conlleva a una disminución en el costo del pavimento.

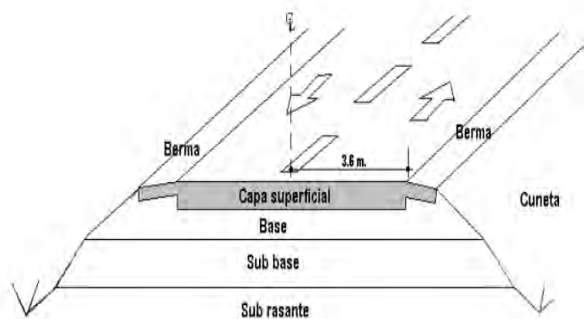
Las funciones de esta capa es transmitir uniformemente las cargas de tránsito, controlar los esfuerzos generados por contracción y dilatación, producidos por las variaciones de humedad y temperatura. Esto con el fin de evitar que estos esfuerzos se reproduzcan en la superficie.

1.4.3.3 Capa de sub-base. En base a las palabras de Reyes (2016), se define a la capa de sub-base como la capa inferior del pavimento. Es la capa de menor calidad debido a que los materiales que la constituyen no poseen la misma calidad que los que conforman la base. Por lo general tiene el mayor espesor del pavimento, salvo excepciones donde la base y sub-base poseen el mismo espesor.

Las funciones de esta capa son transmitir las cargas de manera adecuada a la subrasante para evitar esfuerzos perjudiciales, al mismo tiempo que actúa como sistema drenante, eliminando el agua que podría infiltrarse en el pavimento y previniendo el ascenso capilar del agua. La Figura 4 ilustra la estructura de un pavimento flexible.

Figura 4

Estructura de pavimento



Nota. Extraído de Ingeniería y construcción (2020).

1.5 Estabilización de bases

No siempre se puede encontrar un suelo apto para las necesidades que se tiene. Para el caso de bases granulares, en las que se debe cumplir requerimientos específicos de ensayos de laboratorio, es aún más complicado, por ello se procede a realizar estabilizaciones de diferente índole al material para que pueda cumplir con los requerimientos.

La estabilización es un proceso que sirve para mejorar las características de un determinado suelo mediante tratamientos físicos o la adición de un estabilizador químico. Esta tecnología en la actualidad resuelve muchos problemas de ingeniería en obras viales y colabora con el cuidado del medio ambiente porque disminuye el material de préstamo a utilizar reduciendo la sobreexplotación de canteras.

1.5.1 Tipos de estabilizaciones

Se puede clasificar los métodos de estabilización en dos grandes grupos: Estabilizaciones físicas y estabilizaciones químicas.

1.5.1.1 Estabilización física. Este tipo de estabilización realiza procesos físicos con el fin de mejorar las características del suelo. Estos procesos no generan reacciones químicas, sino que estabilizan a nivel de compactación o la modificación de la granulometría con la combinación de materiales. Dentro de este tipo podemos encontrar estabilizaciones con geotextiles, a través de consolidaciones previas, vibroflotación o también una de las estabilizaciones más comunes como la mezcla de suelos. Por ejemplo, se combina el hormigón de una cantera con los finos de otra para obtener un afirmado que proporciona mejores características para ser usado como base. Otro claro ejemplo es la compactación de un suelo, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Estabilización física mediante compactación



Nota. Extraído de Wirtgen Group (2022).

1.5.1.2 Estabilización química. Este tipo de estabilización se realiza agregando materiales que generan reacciones químicas para mejorar las propiedades del suelo. En base a las palabras de Yepes (2014), los principales parámetros que influyen en la estabilización química son el tipo de suelo, la mezcla del suelo con el aditivo y el porcentaje de aditivo utilizado. Una de las estabilizaciones químicas más utilizadas es la estabilización con cal como se muestra en la Figura 6.

Dentro de las estabilizaciones químicas en la base de un pavimento tenemos:

- **Estabilización con cal:** Es uno de los métodos más antiguos de estabilización. La cal hidratada, al entrar en contacto con el material granular genera la producción de silicatos de calcio y alúmina, los cuales poseen características cementantes muy fuertes que consecuentemente genera disminución en la plasticidad y aumento en la Relación de Soporte de California (CBR).
- **Estabilización con emulsión asfáltica:** La estabilización con emulsión es muy importante sobre todo si se trata de suelos que tienen poca cohesión, como efectos positivos genera un aumento en el CBR del suelo y una mejor trasmisión de cargas.

- **Estabilización con cloruro de sodio:** La estabilización de bases con este insumo se realiza por sus cualidades como supresor de polvo.
- **Estabilización con cemento Portland:** La estabilización con cemento Portland es una de las más utilizadas debido a la disponibilidad de este material y a las múltiples mejoras en las características del suelo. Se puede decir que transforma al suelo en un concreto pobre, principalmente genera aumento en el CBR y disminución de la plasticidad.

El trabajo de investigación se enfocará en la estabilización con cemento y emulsión asfáltica. En la Figura 6 se muestra una estabilización con cal.

Figura 6

Estabilización química con cal



Nota. Extraído de Silo.tips (2016).

1.6 Estabilización de suelos con cemento

Goma define al cemento como un polvo de color gris, la pasta de cemento (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa del hormigón y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto (1979).

El cemento es el conglomerante por excelencia debido a su versatilidad y es utilizado para realizar diversas construcciones. La constitución de este polvo fino es por una mezcla de arcilla y caliza, las cuales luego de ser calcinadas se mezclan en un molino de bolas con yeso para así obtener el característico material que se utiliza en la construcción.

La estabilización con cemento es una de las más difundidas en el medio por sus múltiples beneficios.

1.6.1 Constitución de cemento Portland

El Clinker es el principal componente del cemento y es producto de la mezcla de arcilla y caliza calcinadas a una temperatura adecuada para que se desarrollen las reacciones de clinkerización.

Los componentes químicos del Clinker (mezcla de caliza y arcilla) que lo conforman son los siguientes: Óxido de calcio (CaO) con un porcentaje entre 62.5-64.5%, Óxido de silicio (SiO_2) entre 19- 22%, Óxido de aluminio (Al_2O_3) entre 4- 6%, Óxido de hierro (Fe_2O_3) entre 3- 3.5%, Óxido de magnesio (MgO) entre 0.9- 2.9%, Anhídrido sulfúrico (SO_3) entre 2.3- 2.6%.

En el proceso de clinkerización estos óxidos dan lugar a los siguientes minerales los cuales conforman las llamadas fases del cemento:

- Silicato Tricálcico (C_3S): Es el componente más importante porque aporta resistencia y es causante del fraguado inicial.
- Silicato Dicálcico (C_2S): Es parecido al Silicato Tricálcico, pero a diferencia esta fase aporta resistencia en tiempos mayores a los 7 días después de fraguado.
- Aluminato Tricálcico (C_3A): Emite un gran calor de hidratación.
- Aluminoferrito Tetracálcico (C_4AF): Contribuye a la resistencia, reduce en gran medida la temperatura que se necesita para la clinkerización y es el que da origen a la etringita, la cual se forma cuando el Aluminoferrito Tetracálcico reacciona con los sulfatos, lo que genera expansiones que pueden desencadenar fisuras. Por esta razón los cementos resistentes a los sulfatos poseen en menor cantidad este componente.

1.6.2 Clasificación de cemento

1.6.2.1 Cemento tipo I: Uso general. Se utiliza en construcciones que no necesitan alguna propiedad especial. Por lo general se usa para diversos tipos de estructuras como: Pavimentos, pisos, puentes, tanques, embalses, tuberías, unidades de mampostería, productos de concreto prefabricado, entre otros.

1.6.2.2 Cemento tipo II (MH): Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación. Se utiliza para estructuras de concreto expuestas a una cantidad moderada de sulfatos. Es recomendable usarlo con una relación agua-cemento baja, de tal manera que la porosidad se vea reducida. También se puede usar para concretos con volúmenes considerables debido a que es bajo en calor de hidratación.

1.6.2.3 Cemento tipo III: Altas resistencias iniciales. Se utiliza en estructuras que se requiere que entren en servicio en un corto periodo de tiempo, este cemento ofrece resistencias iniciales altas debido a que son finamente molidos. Por lo general puede alcanzar grandes resistencias a la semana de fraguado.

1.6.2.4 Cemento tipo IV: Para lograr bajo calor de hidratación. Se utiliza en concretos masivos que al fraguar emiten un elevado calor de hidratación, lo que puede generar fisuras que comprometan la construcción. Para este tipo de construcciones es idóneo utilizar el cemento tipo IV debido a que diferencia del resto su calor de hidratación es muy bajo.

1.6.2.1 Cemento tipo V: Alta resistencia a sulfatos. Se utiliza en estructuras de concreto con presencia de sulfatos. Para estos casos se puede utilizar el cemento tipo V debido que a diferencia del tipo II este ofrece una mayor resistencia, esta característica se debe al bajo contenido de Aluminato Tricálcico (menor al 5%), lo que significa que forma menor etringita y a su vez menores fisuras por expansión.

A pesar de ello es recomendable disminuir la relación agua-cemento para reducir la porosidad, debido a que si se tiene una mayor cantidad de poros habrá mayor penetración de sulfatos. Con esto se garantiza un concreto con mayor resistencia a los sulfatos. El cemento que se utilizará para la estabilización es el tipo I debido a su fácil acceso y a que no se necesitan características especiales para la estabilización.

1.7 Estabilización de suelos con emulsiones

Una emulsión asfáltica consiste en una dispersión de finas gotas de asfalto estabilizadas en una fase acuosa por la presencia de un agente emulsificante obteniéndose un producto relativamente fluido. Pueden ser usadas sin adición de calor o de solventes, además, pueden ser bombeadas, almacenadas y aplicadas a temperaturas mucho más bajas que con otro tipo de utilización del asfalto.

Básicamente, una emulsión está constituida por asfalto, agua, un emulsificante, y en algunos casos, según los requerimientos, cierto tipo de aditivo (Mercado et al, 2008). En la Figura 7 se visualiza una emulsión asfáltica.

Figura 7

Emulsión asfáltica



Nota. Extraído de Civilgeeks (2014).

1.7.1 Clasificación de las emulsiones

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo con el tipo de emulgente usado. En este caso se puede hablar de tres tipos de emulsiones: aniónicas, catiónicas, y no iónica. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente usadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Estas denominaciones aniónicas y catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto. Este sistema de identificación se basa en una ley de electricidad, que las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen (González et al., 2007).

Para la presente investigación se utilizó la emulsión catiónica de rotura lenta del proveedor CAH Contratistas Generales S.A.



Capítulo 2

Metodología

En este capítulo se presentan los objetivos y se describe la metodología para el desarrollo de la investigación.

2.1 Objetivos

2.1.1 *Objetivo principal*

- Evaluar de manera técnica y económica las alternativas para la estabilización de bases granulares con cemento y emulsión en obras viales.

2.1.2 *Objetivos específicos*

- Determinar los espesores de capa de base y subbase obtenidos con las alternativas de estabilización con cemento y emulsión para su comparación con el espesor de capa obtenido con el afirmado natural.
- Determinar y comparar la incidencia económica de las alternativas planteadas en obra.

2.2 Plan experimental

El plan experimental de esta investigación empieza con el estudio del afirmado proveniente de la cantera Seoing, ubicada en Saracoto Alto. Inicialmente, se presentarán los estudios de mecánica de suelos realizados al material con el fin de verificar si cumple con las características especificadas en las normas del MTC para su uso en subbases y bases granulares. También se elaborarán especímenes de afirmado sin estabilizar y de cada una de las siguientes alternativas de estabilización:

- Alternativa A: Estabilización con 1% de cemento en peso de material.
- Alternativa B: Estabilización con 2% de cemento en peso de material.
- Alternativa C: Estabilización con 4% de emulsión en peso de material.
- Alternativa D: Estabilización con 4% de emulsión y 1% de cemento en peso de material.
- Alternativa E: Estabilización con 4% de emulsión y 2% de cemento en peso de material.

Los especímenes se realizarán con el fin de conocer los CBR correspondientes de cada alternativa, debido a que este parámetro es un indicador directo de los beneficios que ofrece las estabilizaciones.

Luego se calculará el número estructural para un pavimento, considerando el CBR de una subrasante perteneciente al estudio de mecánica de suelos del proyecto “Mejoramiento de la vía de tránsito vehicular y peatonal en la AV. Ferrocarril tramo Av. Plácido Jiménez a la AV. Primero de Mayo, distrito El Agustino, Lima- Lima”, esto con el fin de garantizar que la investigación se realice en el ámbito de una situación real, cabe mencionar que se tuvo acceso a esta información gracias al apoyo de la empresa Seoing. Se planteará un número de ejes equivalentes que representa los datos de tráfico necesarios para los cálculos correspondientes.

Finalmente, con toda la información se realiza el diseño de pavimento considerando una mezcla asfáltica en caliente para la capa de rodadura y el afirmado de estudio para las capas inferiores. De igual manera se realizarán los diseños de los paquetes estructurales para las alternativas de estabilización planteadas en reemplazo del afirmado sin estabilizar. Con estos diseños se busca comparar los espesores obtenidos en las capas inferiores. Además, se realizará el análisis de costos unitarios de cada paquete estructural para su comparación económica y determinar la incidencia de cada alternativa de estabilización.

2.3 Estudio del afirmado

El afirmado de estudio fue extraído de la cantera Seoing, es de origen fluvioaluvional y está ubicada en el lote 8 - Saracoto Alto en la AV. Cajamarquilla - Lurigancho - Chosica donde también se puede encontrar osita fresca de gran tamaño. Sin embargo, el material que abunda es hormigón y estratos de material rocoso.

Esta cantera es propiedad de la empresa Seoing E.I.R.L, que se dedica principalmente a la venta de mezclas asfálticas en caliente y afirmado. Para la explotación de la cantera se cuenta con zarandas estáticas y planta chancadora, mediante estos equipos se obtienen los diferentes materiales para la fabricación de asfalto y la obtención del afirmado. La empresa apoyando el desarrollo de las investigaciones en la ingeniería brinda las facilidades necesarias para tener el acceso al material.

A continuación, se presentan las consideraciones según las normas correspondientes al manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) que se deben tener en el desarrollo de los ensayos de mecánica de suelos para el estudio del afirmado y también las especificaciones que debe cumplir para su uso como material de subbase y base granular.

Los siguientes ensayos de laboratorio fueron proporcionados por la empresa propietaria de la cantera.

2.3.1 Contenido de humedad natural

La finalidad de este ensayo es encontrar el contenido de humedad, el cual es una relación de peso entre el agua existente en una muestra representativa y el peso de las partículas que componen el suelo. Este ensayo se encuentra normado en el ASTM D-2216, MTC E 108, y AASHTO T 265. Uno de los principales parámetros que estipulan las normas es la masa mínima del espécimen para ensayos que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Masa mínima recomendada de espécimen para ensayo de humedad natural

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0.1%	a ± 0.1%
2.000 mm o menos	2.000 mm (N° 10)	20.0 g	20.0 g*
4.750 mm	4.760 mm (N° 4)	100.0 g	20.0 g*
9.500 mm	9.525 mm (3/8")	500.0 g	50.0 g
19.000 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250.0 g
37.500 mm	38.100 mm (1 ½")	10.0 kg	1.0 kg
75.000 mm	76.200 mm (3")	50.0 kg	5.0 kg

Nota. Adaptado del Manual de ensayo de materiales, MTC (2016).

2.3.2 Análisis granulométrico por tamizado

La finalidad de este ensayo es caracterizar el material a través de su granulometría, es decir por la distribución cuantitativa de los tamaños de las distintas partículas que componen el suelo y solo comprende hasta los tamaños retenidos en el tamiz N° 200. Este ensayo esta normado por el ASTM D-422, MTC E 107 y AASHTO T88.

Para escoger el tamaño de la muestra se deberá tener en cuenta el diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg). Para mayor detalle ver la Tabla 2.

Tabla 2

Peso de muestra para ensayo de granulometría

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9.5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1000
25.7 (1")	2000
37.5 (1 ½")	3000
50.0 (2 ")	4000
75.0 (3")	5000

Nota. Adaptado del Manual de ensayo de materiales, MTC (2016).

El afirmado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su norma Especificaciones técnicas generales para construcción (MTC, 2013) deberá satisfacer los requisitos de calidad, como ajustarse a una determinada franja granulométrica que se muestra a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3*Husos granulométricos para afirmados*

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
50 mm (2")	100	-				
37.5 mm (1 ½")	100	-				
25 mm (1")	90-100	100	100	100	100	100
19 mm (¾")	65-100	80-100				
9.5 mm (3/8")	45-80	65-100	50-85	60-100		
4.75 mm (N°4)	30-65	50-85	35-65	50-85	55-100	70-100
2.0 mm (N° 10)	22-52	33-67	25-50	40-70	40-100	55-100
425 µm (N° 40)	15-35	20-45	15-30	25-45	20-50	30-70
75 µm (N° 200)	5-20	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Nota. Adaptado de AASHTO M-147, AASHTO (2017).

Para que un suelo sea aceptado como base granular la norma establece diferentes criterios, como cumplir una de las siguientes franjas granulométricas que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4*Husos granulométricos para bases granulares*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100		
25 mm (1")		75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (N°4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. Adaptado de ASTM D-1241, ASTM (1994).

2.3.3 Límites de Atterberg

Con estos ensayos normados en la ASTM D4318 y en las normas del MTC E 110 y E 111 se puede conocer las humedades en las que el material se encuentra en sus límites de consistencia.

2.3.3.1 Límite líquido. La finalidad de este ensayo es conocer el porcentaje de humedad límite del estado líquido.

El afirmado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su norma Especificaciones técnicas generales para construcción (MTC, 2013) deberá tener un límite líquido de 35% como máximo.

2.3.3.2 Límite plástico. La finalidad de este ensayo es conocer el porcentaje de humedad límite del estado plástico.

2.3.3.3 Índice de plasticidad. El índice de plasticidad resulta de restar el LL con el LP y describe la variación de humedad necesaria para que el suelo pase de estado plástico a estado líquido.

El afirmado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su norma Especificaciones técnicas generales para construcción (MTC, 2013) deberá estar entre 4% y 9% y para el caso de bases granulares será de 4% como máximo.

2.3.4 Próctor modificado

La finalidad de este ensayo es encontrar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de un determinado suelo y con ello conocer la mayor compactación del material, es decir el contenido de humedad óptima que garantiza la máxima densidad seca en el material. Para este ensayo se usarán las normas ASTM D-1557, MTC E 115 y AASHTO T 180.

2.3.5 Californian Bearing Ratio (CBR)

La finalidad de este ensayo es conocer el valor relativo de soporte o también denominado Californian Bearing Ratio (CBR). El CBR evalúa la calidad del suelo mediante su resistencia a la penetración. Las normas utilizadas para este ensayo son ASTM D-1883, MTC E 132 y la AASHTO T 193. Este ensayo es sumamente sencillo y con unas correlaciones se puede obtener el módulo resiliente.

El afirmado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su norma Especificaciones técnicas generales para construcción (MTC, 2013) establece que sea 40% mín., para afirmados y para el caso de bases granulares se deben cumplir lo especificado en la Tabla 5.

Tabla 5

Requerimiento de CBR para bases granulares

Valor relativo de soporte, CBR. Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1"	Tráfico en ejes equivalentes (<math><10^6</math>)	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>math>\geq 10^6</math>)	Mín. 100%

Nota. Adaptado del manual Especificaciones técnicas generales para construcción, MTC (2013).

2.3.6 Abrasión de los Ángeles

La finalidad de este ensayo es medir de alguna manera la degradación del agregado grueso. Para este ensayo se utilizará una máquina llamada Los Ángeles en la cual se introducen un determinado número de esferas que depende de la gradación, tal como se muestra en la

Tabla 7. Asimismo, la cantidad de material retenido en determinados tamices también depende de la gradación como se muestra en la Tabla 6.

Las normas que se utilizarán para este ensayo son la ASTM C-131, MTC E 207 y la AASHTO T 96.

Tabla 6

Masa para ensayo según la gradación del material

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ±25	.-	.-	.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ±25	.-	.-	.-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ±10	2 500 ±10	.-	.-
12,5 mm (½")	9,5 mm (⅜")	1 250 ±10	2 500 ±10	.-	.-
9,5 mm (⅜")	6,3 mm (¼")	.-	.-	2 500 ±10	.-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (N° 4)	.-	.-	2 500 ±10	.-
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N°8)	.-	.-		5 000 ±10
Total		5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10

Nota. Adaptado del Manual de ensayo de materiales, MTC (2016).

Tabla 7

Número de esferas para ensayo según la gradación del material

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 25
D	6	2 500 ± 25

Nota. Adaptado del Manual de ensayo de materiales, MTC (2016).

El afirmado según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su norma Especificaciones técnicas generales para construcción (MTC, 2013) indica que el agregado debe tener un desgaste de 50% como máximo y en la sección 403 que corresponde a bases granulares específica un desgaste de 40% como máximo.

2.4 Preparación de especímenes

La preparación de especímenes para estabilización se realizará siguiendo la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones denominada Manual de ensayo de materiales.

Se trabajará con cemento y emulsión debido a que son estabilizadores muy accesibles.

2.4.1 Especímenes de afirmado + 1% de cemento

Estos especímenes serán elaborados con el afirmado de estudio agregando 1% de su peso en cemento y el óptimo contenido de humedad obtenido del Próctor modificado hasta obtener la homogenización del material.

2.4.2 Especímenes de afirmado + 2% de cemento

Estos especímenes serán elaborados con el afirmado añadiendo 2% de su peso en cemento y el óptimo contenido de humedad provisto por el Próctor modificado hasta obtener una mezcla uniforme.

2.4.3 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión

Para el caso de la estabilización con emulsión asfáltica se realizará un ensayo de compactación y además se utilizarán formulas propuestas para hallar el porcentaje óptimo de emulsión.

2.4.3.1 Metodología propuesta de Illinois para diseño de mezcla en frio emulsión-agregado. La metodología, desarrollada por la Universidad de Illinois, busca determinar el porcentaje de emulsión teórico necesario para estabilizar un suelo. Esto se logra utilizando datos de la granulometría del suelo y el residuo asfáltico de la emulsión. A continuación, se presenta la granulometría del material en estudio en la Tabla 8 y Figura 8 y la ficha técnica de la emulsión utilizada en la Tabla 9. Es importante destacar que se puede encontrar información más detallada sobre la emulsión asfáltica en el anexo 9. Estos datos son esenciales para aplicar la ecuación.

La ecuación que utiliza el método de Illinois es un cociente entre dos expresiones pertenecientes a su granulometría, uno de ellos es una expresión logarítmica, además de un término libre. En el divisor se encuentra el valor perteneciente al residuo asfáltico. Según la información recopilada, esta ecuación es de mucha utilidad para obtener resultados aproximados a los que se obtienen con ensayos de laboratorio.

Tabla 8*Granulometría del afirmado de la cantera Seoing*

Tamiz		Peso parcial retenido	Peso parcial retenido corregido	% Parcial retenido	% Acumulado retenido	% Acumulado que pasa
-	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	77.80	77.80	1.86	1.86	98.14
1"	25.000	440.20	440.20	10.54	12.40	87.60
3/4"	19.000	281.69	281.69	6.74	19.15	80.85
3/8"	09.500	666.99	666.99	15.97	35.12	64.88
No 004	04.750	480.67	481.13	11.52	46.64	53.36
No 010	02.000	725.97	726.43	17.39	64.03	35.97
No 020	00.850	414.91	415.37	9.95	73.98	26.02
No 040	00.425	222.83	223.29	5.35	79.32	20.68
No 060	00.250	131.02	131.48	3.15	82.47	17.53
No 100	00.150	97.94	98.40	2.36	84.83	15.17
No 200	00.075	128.75	129.21	3.09	87.92	12.08
Platillo		1.64	504.50	12.08	100.00	0.00
Total		3670.41	4176.46	0.00	-	-

Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 1, Seoing (2022).

Figura 8

Curva granulométrica del afirmado de la cantera Seoing



Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 1, Seoing (2022).

Tabla 9*Ficha técnica de la emulsión*

Ensayos sobre la emulsión	Método ASTM	Unidades	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Viscosidad Saybolt Furol, 25° c	D 7496	ssf	20.00	100.00	27.0
Estabilidad al almacenamiento, 24 horas	D 6930	%	----	1.00	0.80
Destilación	D 6997	----			
Contenido de asfalto residual		%	57.00	----	60.20
Contenido de disolventes	D 6997	%	----	----	0.00
Prueba del tamiz N° 20	D 6933	%	----	0.10	0.01
Carga de partícula	D 7402	---		Positivo	Positivo

Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 9, Seoing (2022).

$$E = \left(\frac{0.00138xAxB+6.358xLog(c)-4.655}{R} \right) x 100 \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

E= % de emulsión

A= % de agregado retenido en el tamiz N.º 4

B= % de agregado que pasa N.º 4 y retenido en el tamiz N.º 200

C= % de material que pasa N.º 200

R= % de residuo asfáltico en la emulsión.

2.4.3.2 Método de Tacoma (USA). Este método consiste en encontrar el contenido teórico de emulsión asfáltica para la estabilización partiendo de la granulometría del material y el residuo asfáltico de la emulsión. Al igual que el método de Illinois se necesitan los datos de la Tabla 8 y Tabla 9. Con esta información se desarrollan la ecuación 2 y 3.

Este método tiene dos ecuaciones, la primera utiliza la suma de dos expresiones provenientes de la granulometría. Luego este resultado se utiliza en otra ecuación donde se divide entre el valor de residuo asfáltico

$$\% CA = 0.06A + 0.02B \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% CA}{\% R} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

% CA= % de asfalto teórico

A= % que pasa la malla 4.75 mm (N°4)

B= (100-A)

R= % de residuo asfáltico en la emulsión.

2.4.3.3 Ensayo de compactación de suelos Próctor modificado suelo – emulsión.

Este ensayo similar a un Próctor modificado permite hallar el % óptimo de emulsión. A diferencia del Próctor modificado se trabaja con la misma humedad y se varía el contenido de emulsión para obtener en la gráfica el óptimo contenido de emulsión que proporciona la máxima densidad seca.

2.4.4 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión + 1% de cemento

Estos especímenes se prepararán utilizando la cantidad óptima de emulsión, previamente determinada, a la cual se añadirá un 1% de cemento, junto con el contenido óptimo de humedad, según lo especificado por el Próctor modificado. Se continuará mezclando hasta lograr una uniformidad en la composición.

2.4.5 Especímenes de afirmado + porcentaje de emulsión + 2% de cemento

Estos especímenes se prepararán utilizando la cantidad óptima de emulsión, previamente determinada, a la cual se añadirá un 2% de cemento, junto con el contenido óptimo de humedad, según lo especificado por el Próctor modificado. Se continuará mezclando hasta lograr una uniformidad en la composición.

Capítulo 3 Resultados

3.1 Caracterización visual del afirmado

Se encontró que el afirmado de la cantera es de color beige claro en estado seco y beige oscuro cuando se encuentra con humedad, áspero al tacto y con aparente bajo grado de plasticidad.

3.2 Contenido de humedad natural

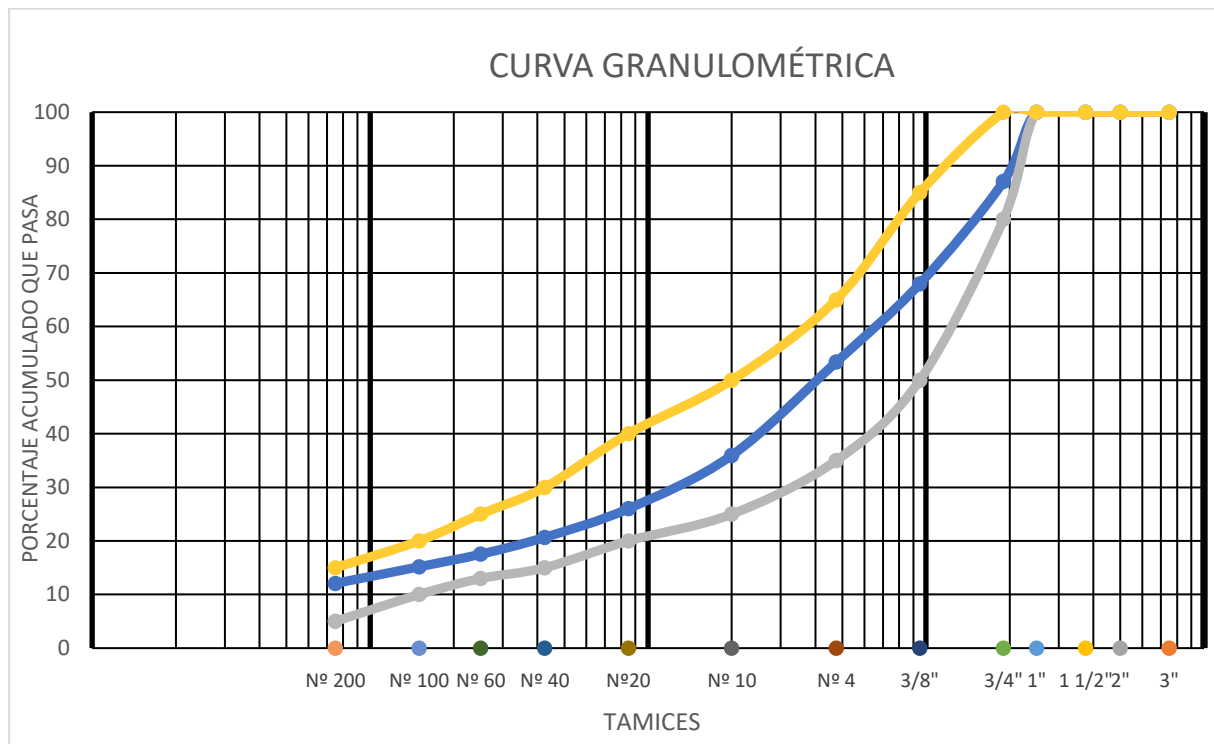
Para el caso del afirmado en estudio se obtuvo un valor de humedad natural de 3.4%. Para profundizar a mayor detalle ver anexo 1.

3.3 Análisis granulométrico por tamizado

El afirmado de estudio presenta la siguiente curva granulométrica y cumple con el huso granulométrico mostrados en la Tabla 3 y Tabla 4 cómo se visualiza en la Figura 9. Para profundizar ver anexo 1 y 2.

Figura 9

Curva granulométrica del afirmado de la cantera Seoing dentro de los husos granulométricos



Nota. Se muestra la granulometría con el huso granulométrico C presentado en la tabla 3 y 4. Extraído del certificado mostrado en el anexo 2, Seoing (2022).

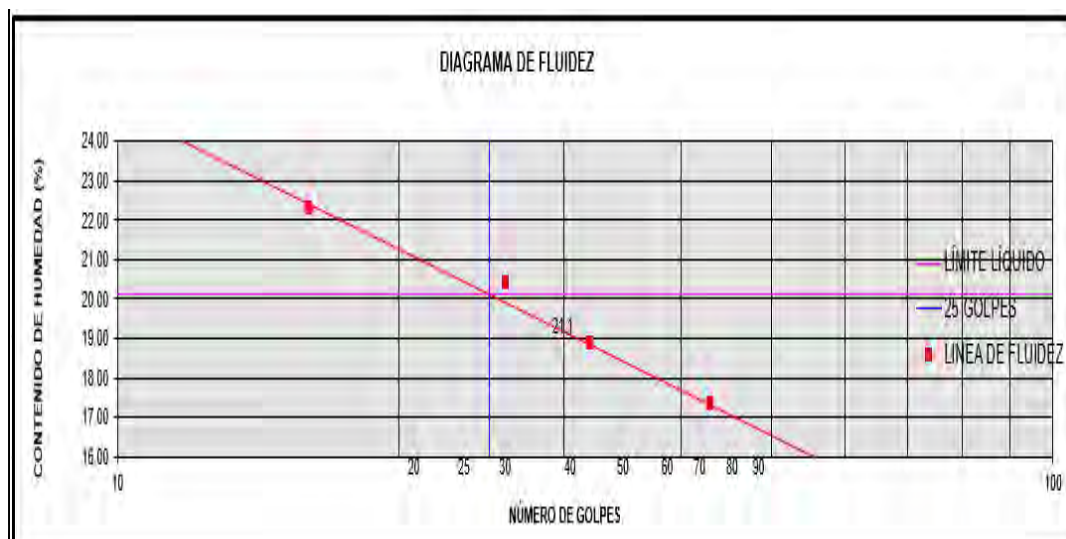
3.4 Límites de Atterberg

3.4.1 Límite líquido

Para este suelo se encontró un límite líquido de 20.12% como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Diagrama de fluidez del afirmado de la cantera Seoing



Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 3, Seoing (2022).

Es importante señalar que el afirmado cumple con lo especificado en la sección 301 de la norma EG-2013 que establece que todo afirmado debe tener un LL de 35% como máximo.

3.4.2 Límite plástico

Para el caso del afirmado en estudio se obtuvo un límite plástico de 18.37%.

3.4.3 Índice de plasticidad

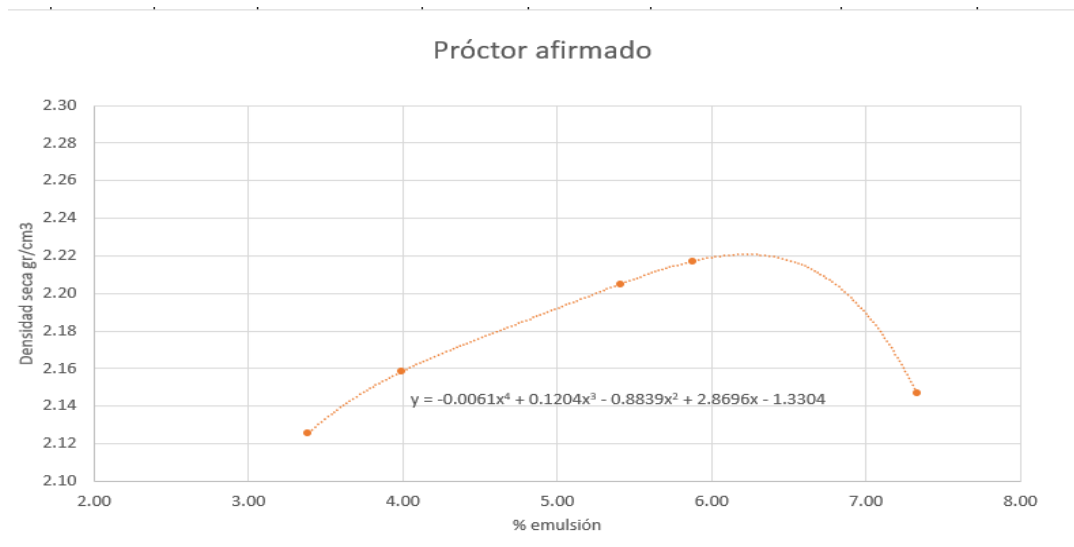
En este caso se obtuvo un índice de plasticidad de 1.75%, al igual que el LL cumple con lo estipulado en la sección 403 de la norma EG-2013, donde se establece que el material utilizado como base granular debe tener un IP máximo de 4%. Para mayor detalle sobre límites de consistencia ver anexo 3.

3.5 Próctor modificado

El afirmado de estudio tiene una máxima densidad seca de 2.22 gr/cm³ y un óptimo contenido de humedad de 6.4% representados en la gráfica de la Figura 11. Para mayor detalle ver anexo 4.

Figura 11

Curva de Próctor modificado correspondiente al afirmado de la cantera Seoing



Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 4, Seoing (2022).

3.6 CBR

En el análisis del afirmado de estudio, se determinó un CBR del 65.1%, lo cual cumple con los requisitos establecidos en la sección 301 de la norma EG-2013. Esta sección establece un valor mínimo de CBR del 40% para el afirmado, y el resultado supera este estándar. Para profundizar ver anexo 5.

3.7 Abrasión de los Ángeles

El afirmado en estudio ha presentado un desgaste de 7%, con este porcentaje cumple con los parámetros establecidos en la sección 301 de la norma EG-2013, donde se especifica que el agregado del afirmado debe tener un desgaste de 50% como máximo y en la sección 403 que corresponde a bases granulares, donde especifica un desgaste para el agregado de 40% máximo. Para profundizar ver anexo 6.

Con esta información se verifica que el afirmado de estudio cumple con las especificaciones para ser utilizado como base granular, a excepción en su valor de CBR.

A continuación, en la Tabla 10 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos:

Tabla 10

Tabla resumen de ensayos de laboratorio para el afirmado de cantera Seoing

Ensayo	Resultado
Contenido de humedad natural	3.40%
Límite líquido	20.12%
Límite plástico	18.37%
Índice de plasticidad	1.75%
Próctor modificado	6.40% O.C.H- 2.22 gr/cm ³
CBR	65.10%
Abrasión de los Ángeles	7.00%

3.8 Elaboración de especímenes

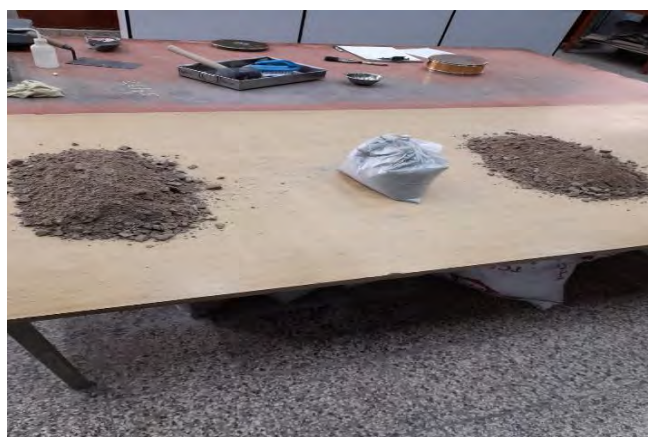
Los especímenes se elaboraron conforme lo presentado en la metodología

3.8.1 Especímenes de afirmado + 1% de cemento, alternativa A

Para la alternativa A, se tomaron en cuenta tres especímenes de afirmado, a los cuales se les añadió un 1% de cemento. La Figura 12 ilustra la disposición del material previa al proceso de mezcla. Los tres especímenes se emplearon en el ensayo CBR, arrojando un valor de 81.3%. Para una descripción más detallada, consultar el anexo 7.

Figura 12

Preparación especímenes de afirmado con 1% de cemento



3.8.2 Especímenes de afirmado + 2 % de cemento, alternativa B

Para la alternativa B, se tomaron en cuenta tres especímenes de afirmado, a los cuales se les añadió un 2% de cemento. La Figura 13 muestra un ejemplo de espécimen de CBR elaborado y compactado con afirmado + 2% de cemento. Estos tres especímenes se emplearon en el ensayo CBR, resultando en un valor del 97%. Para obtener información más detallada, consultar el anexo 8.

Figura 13

Especímen de afirmado con 2% de cemento.



3.8.3 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión, alternativa C

3.8.3.1 Metodología propuesta de Illinois para diseño de mezcla en frío emulsión-agregado. Se reemplazan los datos en la ecuación 1:

$$E = \left(\frac{0.00138xAxB+6.358x\text{Log}(c)-4.655}{R} \right) x 100 \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

A= 11,52

B= 41.28

C= 12,08

R= 60,2

El valor de R correspondiente al valor del asfalto residual proviene de la ficha técnica de la emulsión presentada en la Tabla 9.

El porcentaje de emulsión es 4.87% según este método.

3.8.3.1 Método de Tacoma (USA). Se reemplaza los datos en la ecuación 2 y 3:

$$\% CA = 0.06A + 0.02B \text{ Ecuación 2}$$

$$\% \text{ Emulsión} = \frac{\% CA}{\% R} x 100 \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

A=53.36

B=46.64

R=60.2

% CA=4.13

% Emulsión=6.80

El valor de R correspondiente al valor del asfalto residual proviene de la ficha técnica de la emulsión presentada en la Tabla 9.

El contenido óptimo de emulsión obtenido con este método es 6.8%.

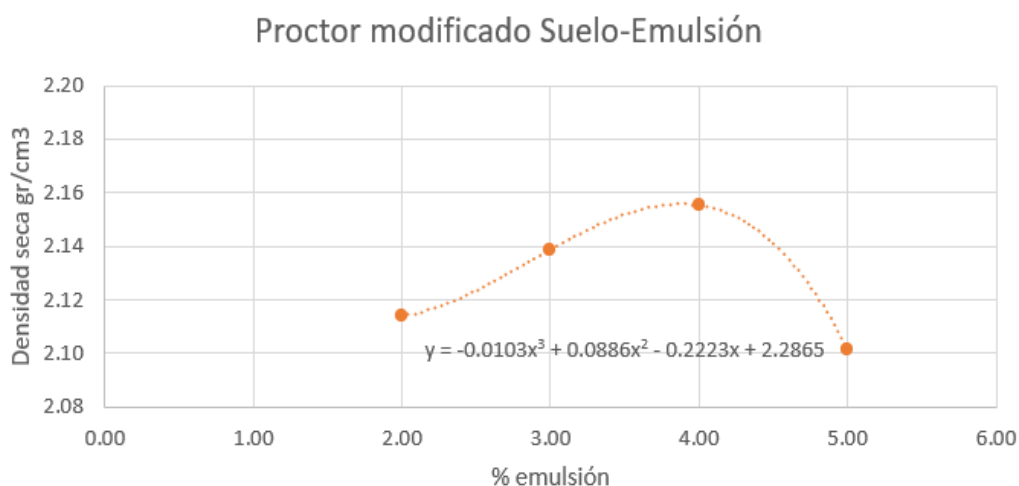
3.8.3.2 Ensayo de compactación de suelos Próctor modificado suelo – emulsión.

Se realizó la misma gráfica del Próctor modificado modificando los datos del eje correspondientes a los porcentajes de humedad por los porcentajes de emulsión. Se trabajó con cuatro especímenes que contenían una humedad natural de 2.57%. Al primer espécimen se le agregara 2% de su peso en emulsión, al segundo 3%, al tercero 4% y al último espécimen 5%.

En la Figura 14 se muestra la gráfica de Próctor modificado suelo-emulsión. Para mayor detalle ver anexo 10.

Figura 14

Gráfica Próctor modificado suelo-emulsión para el afirmado de la cantera Seoing



Nota. Extraído del certificado mostrado en el anexo 10, Seoing (2022).

Con este ensayo se determina que el contenido de emulsión necesario es 4%, valor cercano al obtenido en el método de Illinois. Entre los tres métodos se escogió el 4% como contenido óptimo de emulsión debido a que el ensayo experimental muestra resultados más confiables. También se observa que la máxima densidad seca ha disminuido a 2.16 gr/ cm³, valor por debajo de los 2.22 gr/ cm³ que se obtuvieron en el Proctor modificado del afirmado sin estabilización.

Partiendo del porcentaje de emulsión obtenido se elaboraron tres especímenes de afirmado + 4% de emulsión asfáltica. En la Figura 15 se muestra la preparación de especímenes con emulsión asfáltica. Los tres especímenes se utilizaron en el ensayo CBR, donde se obtuvo un valor de 70%. Para mayor detalle ver anexo 11.

Figura 15

Preparación de especímenes con afirmado y emulsión asfáltica



3.8.4 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión + 1% de cemento, alternativa D

Al igual que las anteriores alternativas para la alternativa D se elaboraron tres especímenes de afirmado + 4% de emulsión asfáltica + 1% de cemento. En la Figura 16 se muestra la preparación de especímenes de afirmado + 4% de emulsión asfáltica + 1% de cemento. Los tres especímenes se utilizaron en el ensayo CBR, donde se obtuvo un valor de 85%. Para mayor detalle ver anexo 12.

Figura 16

Preparación de especímenes con afirmado + 4% de emulsión asfáltica y 1% de cemento



3.8.5 Especímenes de afirmado + 4% de emulsión + 2% de cemento, alternativa E

Finalmente, en la alternativa E que contiene afirmado + 4% de emulsión asfáltica + 2% de cemento también se elaboraron tres especímenes. En la Figura 17 se muestra la preparación de un espécimen de afirmado + 4% de emulsión asfáltica + 2% de cemento. Los tres especímenes se utilizaron en el ensayo CBR, donde se obtuvo un valor de 110%. Para mayor detalle ver anexo 13.

Figura 17*Preparación de especímenes para la alternativa E*

3.9 Parámetros de diseño para número estructural

Del expediente técnico titulado “Mejoramiento de la vía de tránsito vehicular y peatonal en la AV. Ferrocarril tramo AV. Plácido Jiménez a la AV. Primero de Mayo, distrito El Agustino, Lima- Lima”, se ha extraído el estudio de mecánica de suelos, específicamente el CBR de la subrasante y además se asumió un número determinado de ejes equivalentes. Esto con el fin de obtener el número estructural requerido a través de su tipología. La información de mecánica de suelos se presenta a detalle en el anexo 14. Los parámetros de diseño son los siguientes:

- Tránsito
- Serviciabilidad
- Confiabilidad
- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal
- Desviación estándar combinada
- Drenaje
- CBR de subrasante

3.9.1 Número estructural requerido

El número estructural requerido sirve para diseñar la estructura de pavimento, partiendo de los parámetros mencionados. Estos parámetros como Serviciabilidad, Confiabilidad, etc., serán definidos por la tipología del pavimento que se obtiene a partir del número de ejes equivalentes.

3.9.1.1 Tránsito. Para el caso del tráfico se ha considerado un tráfico de 5 000 000 de ejes equivalentes.

3.9.1.2 Serviciabilidad. Según el tráfico se determinó en el manual de carreteras, denominado Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2013), que se trata de un Tp7 al cual le corresponde un Índice de Serviciabilidad Inicial de 4, un Índice de Serviciabilidad Final de 2.5 y una variación de Serviciabilidad de 1.5, tal como se muestra en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13.

3.9.1.3 Confiabilidad. Según el tráfico se determinó en el manual de carreteras, denominado Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2013), que se trata de un Tp7 al cual le corresponde una confiabilidad de 85%, tal como se muestra en la Tabla 14.

3.9.1.4 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal. Según el tráfico se determinó en el manual de carreteras, denominado Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2013), que se trata de un Tp7, al que le corresponde un coeficiente de -1.036, tal como se muestra en la Tabla 15.

3.9.1.5 Desviación estándar combinada. Según AASHTO Guide for design of pavement structures (1993), se utiliza un S_o para pavimento flexible entre 0.40 y 0.50. Para este caso se utilizará el valor promedio de 0.45.

3.9.1.6 Drenaje. Para el caso del drenaje se considerará una buena calidad de drenaje para un tiempo de saturación entre 5% y 25%. Por ello se considera todos los coeficientes de drenaje $m=1$.

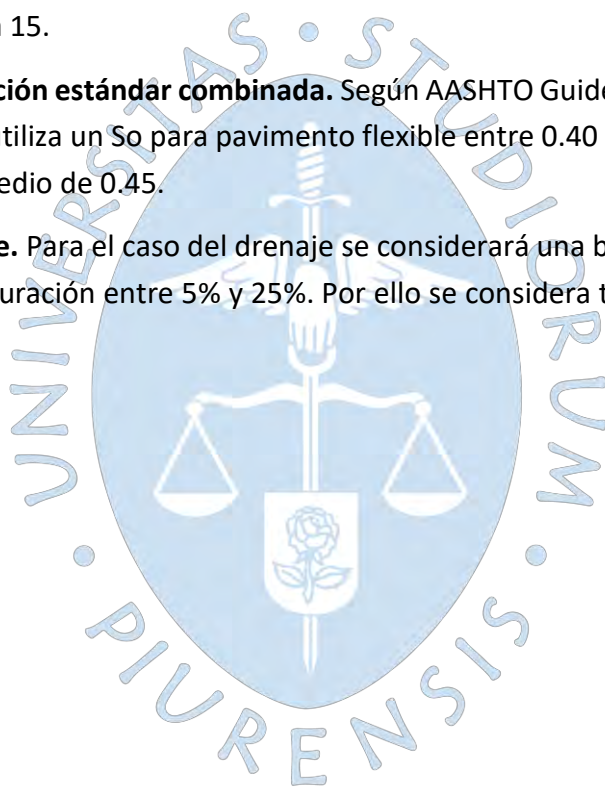


Tabla 11*Índice de Serviciabilidad Inicial a partir de Tp*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)
Camino de bajo volumen de tránsito	Tp1	150 001	300 000	3.8
	Tp2	300 001	500 000	3.8
	Tp3	500 001	750 000	3.8
	Tp4	750 001	1 000 000	3.8
	Tp5	1 000 001	1 500 000	4.0
	Tp6	1 500 001	3 000 000	4.0
	Tp7	3 000 001	5 000 000	4.0
	Tp8	5 000 001	7 500 000	4.0
	Tp9	7 500 001	10 000 000	4.0
Resto de caminos	Tp10	10 000 001	12 500 000	4.0
	Tp11	12 500 001	15 000 000	4.0
	Tp12	15 000 001	20 000 000	4.2
	Tp13	20 000 001	25 000 000	4.2
	Tp14	25 000 001	30 000 000	4.2
	Tp15	>30 000 000		4.2

Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

Tabla 12*Índice de Serviciabilidad Final a partir de Tp*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Índice de Serviciabilidad Final (Pf)
Camino de bajo volumen de tránsito	Tp 1	150 001	300 000	2.0
	Tp 2	300 001	500 000	2.0
	Tp 3	500 001	750 000	2.0
	Tp 4	750 001	1 000 000	2.0
	Tp 5	1 000 001	1 500 000	2.5
	Tp 6	1 500 001	3 000 000	2.5
	Tp 7	3 000 001	5 000 000	2.5
	Tp 8	5 000 001	7 500 000	2.5
	Tp 9	7 500 001	10 000 000	2.5
Resto de caminos	Tp 10	10 000 001	12 500 000	2.5
	Tp 11	12 500 001	15 000 000	2.5
	Tp 12	15 000 001	20 000 000	3.0
	Tp13	20 000 001	25 000 000	3.0
	Tp14	25 000 001	30 000 000	3.0
	Tp15	>30 000 000		3.0

Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

Tabla 13*Diferencial de Serviciabilidad a partir de Tp*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Diferencial de Serviciabilidad (Δ PSI)
Camino de bajo volumen de tránsito	Tp 1	150 001	300 000	1.8
	Tp 2	300 001	500 000	1.8
	Tp 3	500 001	750 000	1.8
	Tp 4	750 001	1 000 000	1.8
	Tp 5	1 000 001	1 500 000	1.5
	Tp 6	1 500 001	3 000 000	1.5
	Tp 7	3 000 001	5 000 000	1.5
	Tp 8	5 000 001	7 500 000	1.5
	Tp 9	7 500 001	10 000 000	1.5
Resto de caminos	Tp 10	10 000 001	12 500 000	1.5
	Tp 11	12 500 001	15 000 000	1.5
	Tp 12	15 000 001	20 000 000	1.2
	Tp 13	20 000 001	25 000 000	1.2
	Tp 14	25 000 001	30 000 000	1.2
	Tp 15	>30 000000		1.2

Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

Tabla 14*Nivel de Confiabilidad a partir de Tp*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Nivel de Confiabilidad (R)
Camino de bajo volumen de tránsito	Tp 0	100 001	150 000	65%
	Tp 1	150 001	300 000	70%
	Tp 2	300 001	500 000	75%
	Tp 3	500 001	750 000	80%
	Tp 4	750 001	1 000 000	80%
	Tp 5	1 000 001	1 500 000	85%
	Tp 6	1 500 001	3 000 000	85%
	Tp 7	3 000 001	5 000 000	85%
	Tp 8	5 000 001	7 500 000	90%
	Tp 9	7 500 001	10 000 000	90%
Resto de caminos	Tp 10	10 000 001	12 500 000	90%
	Tp 11	12 500 001	15 000 000	90%
	Tp 12	15 000 001	20 000 000	90%
	Tp 13	20 000 001	25 000 000	95%
	Tp 14	25 000 001	30 000 000	95%
	Tp 15	>30 000 000		95%

Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

Tabla 15*Desviación estándar normal ZR*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Desviación estándar normal (ZR)
Camino de bajo volumen de tránsito	Tp 0	100 001	150 000	-0.385
	Tp 1	150 001	300 000	-0.524
	Tp 2	300 001	500 000	-0.674
	Tp 3	500 001	750 000	-0.842
	Tp 4	750 001	1 000 000	-0.842
	Tp 5	1 000 001	1 500 000	-1.036
	Tp 6	1 500 001	3 000 000	-1.036
	Tp 7	3 000 001	5 000 000	-1.036
	Tp 8	5 000 001	7 500 000	-1.282
	Tp 9	7 500 001	10 000 000	-1.282
Resto de caminos	Tp 10	10 000 001	12 500 000	-1.282
	Tp 11	12 500 001	15 000 000	-1.282
	Tp 12	15 000 001	20 000 000	-1.645
	Tp 13	20 000 001	25 000 000	-1.645
	Tp 14	25 000 001	30 000 000	-1.645
	Tp 15	>30 000 000		-1.645

Nota. Adaptado del manual Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos, MTC (2013).

3.9.1.7 CBR de subrasante. Según el estudio de mecánica de suelos del expediente de la obra “Mejoramiento de la vía de tránsito vehicular y peatonal en la AV. Ferrocarril tramo AV. Plácido Jiménez a la AV. Primero de Mayo, distrito El Agustino, Lima- Lima”, la subrasante cuenta con un CBR de 30% al 95% de la máxima densidad seca, tal como se muestra en el anexo 9.

Resumiendo, toda la información, se tiene:

- Tránsito: 5 000 000 de ejes equivalentes
- Serviciabilidad: $P_i = 4$, $P_f = 2.5$ y $\Delta P = 1.5$
- Confiabilidad: 85%
- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal: $Z_r = -1.036$
- Desviación estándar combinada: 0.45
- Drenaje=1
- CBR de Subrasante: 30%, con las correlaciones establecidas por AASHTO Guide for design of pavement structures (1993) se obtuvo el módulo resiliente a partir del CBR con una correlación establecida, tal como se muestra en la ecuación 4:

$$MR (\text{psi}) = 2\,555 * (\text{CBR})^{0.64} = 22\,529.342 \quad \text{Ecuación 4}$$

Estos datos se introducen en el ábaco publicado por el método AASHTO (1993) para obtener el número estructural requerido (SNR), que se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles

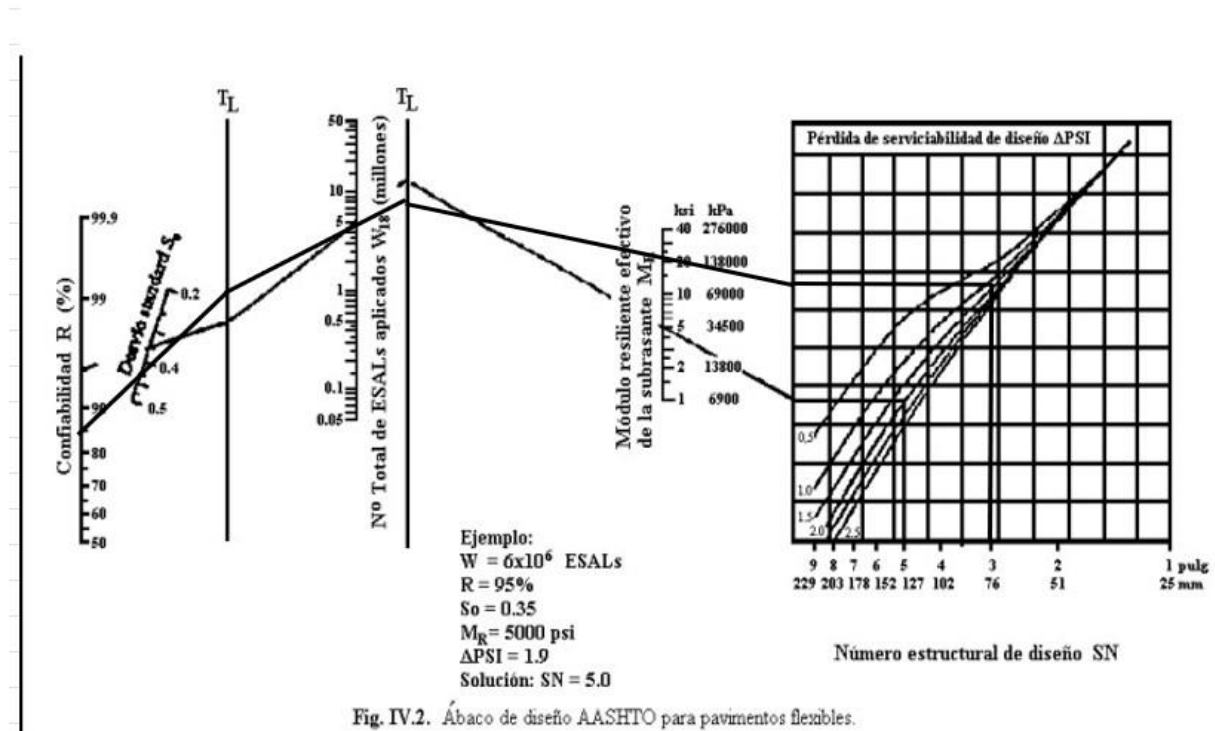


Fig. IV.2. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.

Nota. Extraído de AASHTO Guide for design of pavement structures, AASHTO (1993).

Visualmente utilizando los valores presentados, se concluye que el número estructural requerido (SNR) sería 3. Esto quiere decir que el paquete estructural como mínimo debería tener 3 como número estructural

3.10 Determinación de coeficientes estructurales

El material de estudio que se presentó en el capítulo 2 será considerado para ser utilizado como material de base y subbase granular. Para ello se debe conocer el coeficiente estructural del material, esto se determinará con fórmulas proporcionadas por AASHTO Guide for design of pavement structures (1993). Además, también se determinará el coeficiente estructural con la misma metodología de la guía de AASHTO para la carpeta asfáltica.

3.10.1 Coeficiente estructural de carpeta asfáltica a1

Debido a que el afirmado que se utilizó en la investigación es de buena calidad, se podría trabajar con un espesor de 2 pulgadas para el caso de la carpeta asfáltica. Esto se establece como dato de entrada para hallar el coeficiente estructural a1.

Según el método publicado por AASHTO en 1993, el coeficiente estructural a1 se halla con la frecuencia de carga f y la temperatura de servicio T_s . Estos valores se calculan con las ecuaciones 5 y 6:

$$f = \frac{v}{2\pi} \text{ Ecuación 5}$$

$$T_s = (-0.0093 * Ta^2 + 1.569 * Ta - 1.578) * (-0.084 * \ln(hs) + 1.55) \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

f: Frecuencia de carga

v: Velocidad de carga pesada

T_s : Temperatura de servicio

T_a : Temperatura media del aire igual a 23,5 °C

hs: Espesor de carpeta asfáltica considerado.

Para hallar la frecuencia de carga se considera la velocidad de carga pesada es 40 km/h. Se reemplaza en la ecuación 5:

$$f = \frac{40}{2\pi} = 4.78 = 5 \text{ Hz}$$

Dando como resultado 4.78 que se redondea a 5 Hz.

Luego para hallar la temperatura de servicio (T_s) se utiliza la temperatura media del aire igual a 23.5 °C y el espesor de carpeta asfáltica (hs) considerado como 50 mm. Se reemplaza en la ecuación 6:

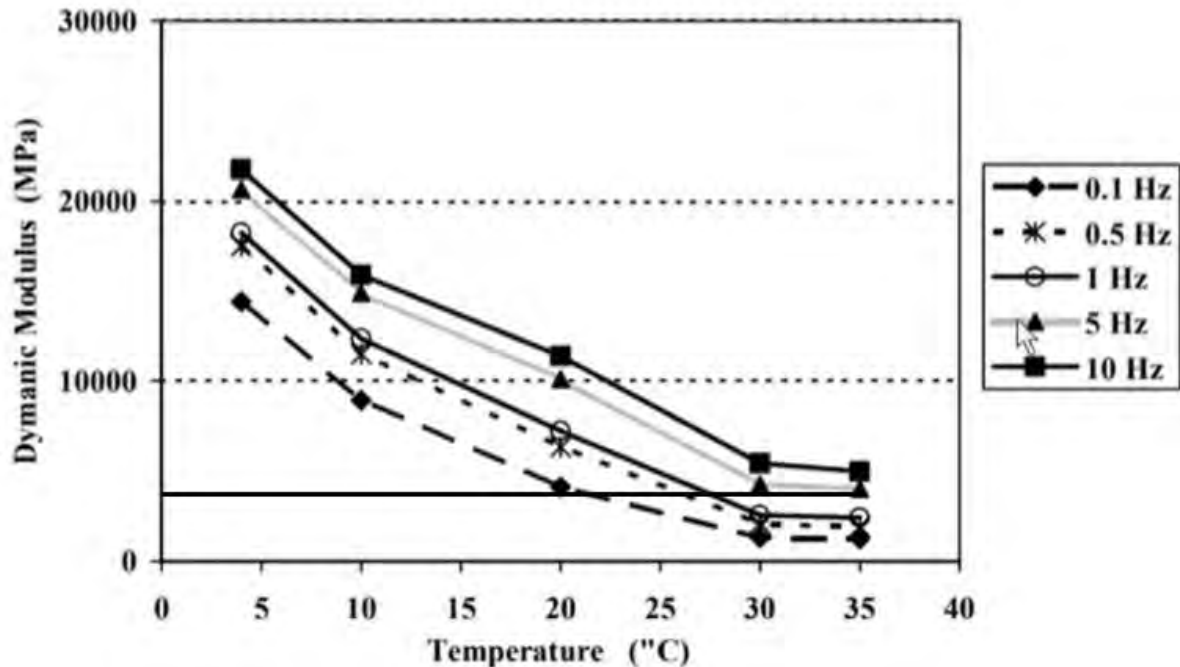
$$T_s = (-0.0093 * 23.5^2 + 1.569 * 23.5 - 1.578) * (-0.084 * \ln(50) + 1.55)$$

$$T_s = 36.8 \text{ °C}$$

Con estos datos se halla el módulo resiliente de la carpeta asfáltica mediante el gráfico presentado en la Figura 19.

Figura 19

Módulo resiliente para carpeta asfáltica



Nota. Extraído de AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO (1993).

El módulo resiliente de la carpeta asfáltica gráficamente es igual a 4 000 MPa como se muestra en la Figura 19, este valor convertido a unidades psi es igual a 580 150.98 psi. Este dato final se reemplaza en la ecuación 7 para hallar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica a_1 , según el método publicado por AASHTO en 1993.

$$a_1 = 0.184 * \ln(E1) - 1.9547 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$a_1 = 0.488$$

Donde E1 es el módulo resiliente de la carpeta asfáltica.

3.10.2 Coeficiente estructural de base granular a_2

Para el caso de la base granular se considera el afirmado de estudio para el diseño, partiendo del 65.1% de CBR obtenido del afirmado, se calcula el coeficiente estructural a_2 . Al igual que para la subrasante se utilizará la ecuación 4 para hallar su módulo resiliente.

$$Mr = 2\,555 * (65.1)^{0.64} = 36\,989.86 \text{ psi}$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 con la ecuación 8, propia del método de diseño de pavimento publicado por AASHTO (1993):

$$a_2 = 0.249 * \log(Mr) - 0.977 \text{ Ecuación 8}$$

$$a_2 = 0.249 * \log(36\ 989.86) - 0.977$$

$$a_2 = 0.16$$

Donde Mr es el módulo resiliente del afirmado.

3.10.3 Coeficiente estructural de subbase granular a3

Para el caso de la base granular se considera el afirmado de estudio para el diseño, partiendo del 65.1% de CBR obtenido del afirmado, se calcula el coeficiente estructural a3. Al igual que para la subrasante se utilizará la ecuación 4 para hallar su módulo resiliente.

$$Mr = 2\ 555 * (65.1)^{0.64} = 36\ 989.86 \text{ psi}$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a3 con la ecuación 9:

$$a_3 = 0.227 * \log(Mr) - 0.839 \text{ Ecuación 9}$$

$$a_3 = 0.227 * \log(36\ 989.86) - 0.839$$

$$a_3 = 0.20$$

Donde Mr es el módulo resiliente del afirmado.

3.11 Determinación del espesor requerido de base y subbase

En la ecuación 10 se muestra la manera en la que AASHTO determina los espesores de cada capa estructural:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \text{ Ecuación 10}$$

Donde:

- SN: Número estructural, se iguala a 3 por ser el número estructural requerido (SNR)
- a₁: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica, igual a 0.488
- D₁: Espesor de carpeta asfáltica, considerado 2 pulgadas o 50 mm
- a₂: Coeficiente estructural de la base granular, igual a 0.16
- m₂: Coeficiente de drenaje de la base granular, considerado 1
- D₂: Espesor de base granular, se desconoce
- a₃: Coeficiente estructural de la subbase granular, igual a 0.20
- m₃: Coeficiente de drenaje de la subbase granular, considerado 1
- D₃: Espesor de subbase granular, se desconoce

Se considera que el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$3 = 0.976 + 0.16 * 1 * D + 0.2 * 1 * D$$

$$2.024 = 0.36 * D$$

$$5.6 = D$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 6$ pulgadas = 15 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando afirmado sin estabilizar proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 15 cm respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas.

3.12 Espesor requerido con 1% de cemento, alternativa A

Para hallar el espesor requerido de base y subbase granular con 1% de cemento se realiza la misma metodología. Se inicia con el CBR obtenido en laboratorio de los especímenes elaboradas para la alternativa A. Este dio como resultado 81.3%, para mayor detalle ver el anexo 10. Al igual que para el afirmado natural se utiliza la ecuación 4, ecuación que correlaciona el CBR y el módulo resiliente:

$$M_r = 2\,555 * (81.3)^{0.64} = 42\,643.11$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 y a_3 con la ecuación 8 y 9 respectivamente:

$$a_2 = 0.249 * \log(42\,643.11) - 0.977 = 0.18$$

El coeficiente estructural a_2 correspondiente a la alternativa A es 0.18

$$a_3 = 0.227 * \log(42\,643.11) - 0.839 = 0.21$$

El coeficiente estructural a_3 correspondiente a la alternativa A es 0.21

Se utiliza la ecuación 10, propuesta por AASHTO para determinar los espesores de cada capa estructural y se reemplaza con los datos correspondientes:

$$3 = 0.488 * 2 + 0.18 * 1 * D_2 + 0.21 * 1 * D_3$$

De igual manera el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$3 = 0.976 + 0.18 * 1 * D + 0.21 * 1 * D$$

$$2.024 = 0.39 * D$$

$$5.2 = D$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 6$ pulgadas = 15 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando la alternativa A que corresponde a la estabilización de afirmado + 1% de cemento en peso, de igual manera proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 15 cm

respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas. No se obtiene disminución de espesores en la base y subbase granular.

3.13 Espesor requerido con 2% de cemento, alternativa B

Para hallar el espesor requerido de base y subbase granular con 2% de cemento se realiza la misma metodología. Se inicia con el CBR obtenido en laboratorio de los especímenes elaboradas para la alternativa B. Este dio como resultado 97%, para mayor detalle ver el anexo 11. Al igual que para el afirmado natural se utiliza la ecuación 4, ecuación que correlaciona el CBR y el módulo resiliente:

$$Mr = 2\,555 * (97)^{0.64} = 47\,744.66$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 y a_3 con las fórmulas 8 y 9 respectivamente:

$$a_2 = 0.249 * \log(47\,744.66) - 0.977 = 0.19$$

El coeficiente estructural a_2 correspondiente a la alternativa B es 0.19

$$a_3 = 0.227 * \log(47\,744.66) - 0.839 = 0.22$$

El coeficiente estructural a_3 correspondiente a la alternativa B es 0.22

Se utiliza la ecuación, propuesta por AASHTO para determinar los espesores de cada capa estructural y se reemplaza con los datos correspondientes:

$$3 = 0.488 * 2 + 0.19 * 1 * D_2 + 0.22 * 1 * D_3$$

De igual manera el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$\begin{aligned} 3 &= 0.976 + 0.15 * 1 * D + 0.19 * 1 * D \\ 2.024 &= 0.43 * D \\ 4.7 &= D \end{aligned}$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 5$ pulgadas = 12.5 cm = 13 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando la alternativa B que corresponde a la estabilización de afirmado + 2% de cemento en peso, de igual manera proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 13 cm respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas. Es la primera alternativa que ha logrado una disminución en el espesor de base y subbase granular.

3.14 Espesor requerido con 4% de emulsión, alternativa C

Para hallar el espesor requerido de base y subbase granular con 4% de emulsión se realiza la misma metodología. Se inicia con el CBR obtenido en laboratorio de los especímenes

elaboradas para la alternativa C. Este dio como resultado 70%, para mayor detalle ver el anexo 12. Al igual que para el afirmado natural se utiliza la ecuación 4, ecuación que correlaciona el CBR y el módulo resiliente:

$$Mr = 2\,555 * (70)^{0.64} = 38\,748.39$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 y a_3 con la ecuación 8 y 9 respectivamente:

$$a_2 = 0.249 * \log(38\,748.39) - 0.977 = 0.17$$

El coeficiente estructural a_2 correspondiente a la alternativa C es 0.17

$$a_3 = 0.227 * \log(38\,748.39) - 0.839 = 0.20$$

El coeficiente estructural a_3 correspondiente a la alternativa C es 0.20

Se utiliza la ecuación 10, propuesta por AASHTO para determinar los espesores de cada capa estructural y se reemplaza con los datos correspondientes:

$$3 = 0.488 * 2 + 0.17 * 1 * D_2 + 0.20 * 1 * D_3$$

De igual manera el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$3 = 0.976 + 0.15 * 1 * D + 0.19 * 1 * D$$

$$2.024 = 0.37 * D$$

$$5.5 = D$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 6$ pulgadas = 15 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando la alternativa C que corresponde a la estabilización de afirmado + 4% de emulsión en peso, de igual manera proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 15 cm respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas. Al igual que la alternativa A no se obtiene una disminución en los espesores de base y subbase granular.

3.15 Espesor requerido con 4% de emulsión + 1% de cemento, alternativa D

Para hallar el espesor requerido de base y subbase granular con 4% de emulsión + 1% de cemento se realiza la misma metodología. Se inicia con el CBR obtenido en laboratorio de los especímenes elaboradas para la alternativa D. Este dio como resultado 85%, para mayor detalle ver el anexo 13. Al igual que para el afirmado natural se utiliza la ecuación 4, ecuación que correlaciona el CBR y el módulo resiliente:

$$Mr = 2\,555 * (85)^{0.64} = 43\,875.19$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 y a_3 con la ecuación 8 y 9 respectivamente:

$$a_2 = 0.249 * \log(43\ 875.19) - 0.977 = 0.18$$

El coeficiente estructural a_2 correspondiente a la alternativa D es 0.18

$$a_3 = 0.227 * \log(43\ 875.19) - 0.839 = 0.22$$

El coeficiente estructural a_3 correspondiente a la alternativa D es 0.22

Se utiliza la ecuación 10, propuesta por AASHTO para determinar los espesores de cada capa estructural y se reemplaza con los datos correspondientes:

$$3 = 0.488 * 2 + 0.18 * 1 * D_2 + 0.22 * 1 * D_3$$

De igual manera el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$3 = 0.976 + 0.18 * 1 * D + 0.22 * 1 * D$$

$$2.024 = 0.40 * D$$

$$5.06 = D$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 6$ pulgadas = 15 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando la alternativa D que corresponde a la estabilización de afirmado + 4% de emulsión y 1% de cemento en peso, de igual manera proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 15 cm respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas. De la misma manera que las alternativas A y C no se obtiene una optimización en los espesores de base y subbase granular.

3.16 Espesor requerido con 4% de emulsión + 2% de cemento, alternativa E

Para hallar el espesor requerido de base y subbase granular con 4% de emulsión + 2% de cemento se realiza la misma metodología. Se inicia con el CBR obtenido en laboratorio de los especímenes elaboradas para la alternativa E. Este dio como resultado 110%, para mayor detalle ver el anexo 14. Al igual que para el afirmado natural se utiliza la ecuación 4, ecuación que correlaciona el CBR y el módulo resiliente:

$$Mr = 2\ 555 * (110)^{0.64} = 51\ 746.65$$

Con el módulo resiliente conocido se encuentra el coeficiente estructural a_2 y a_3 con la ecuación 8 y 9 respectivamente:

$$a_2 = 0.249 * \log(51\ 746.65) - 0.977 = 0.20$$

El coeficiente estructural a_2 correspondiente a la alternativa E es 0.20

$$a_3 = 0.227 * \log(51\ 746.65) - 0.839 = 0.23$$

El coeficiente estructural a_3 correspondiente a la alternativa E es 0.23

Se utiliza la ecuación 10, propuesta por AASHTO para determinar los espesores de cada capa estructural y se reemplaza con los datos correspondientes:

$$3 = 0.488 * 2 + 0.20 * 1 * D_2 + 0.23 * 1 * D_3$$

De igual manera el espesor de base y subbase son iguales para efectos prácticos de cálculo.

$$3 = 0.976 + 0.18 * 1 * D + 0.22 * 1 * D$$

$$2.024 = 0.43 * D$$

$$4.7 = D$$

Para efectos de cálculo se redondea $D = 5$ pulgadas = 12.5 cm = 13 cm. Esto con el fin de garantizar que el número estructural (SN) sea mayor al número estructural requerido (SNR).

Entonces la estructura de pavimento utilizando la alternativa E que corresponde a la estabilización de afirmado + 4% de emulsión y 2% de cemento en peso, de igual manera proveniente de la cantera Seoing estaría conformada por una subbase y base granular de 13 cm respectivamente y una carpeta asfáltica de 2 pulgadas. Esta alternativa al igual que la alternativa B obtiene una disminución de 2 cm en las capas de base y subbase granular.



Capítulo 4

Comparación técnica y económica de las alternativas

En este capítulo se analizará y compararán los espesores de diseño obtenidos en las alternativas de estabilización planteadas.

4.1 Comparación técnica entre las alternativas

Los resultados obtenidos del diseño sin estabilización y de las alternativas de estabilización planteadas se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16

Resultados obtenidos para base y subbase granular

Alternativas	CBR (%)	Módulo resiliente (psi)	Coefficiente a_2	Coefficiente a_3	Espesor calculado de base y subbase (cm)
Afirmado sin adición	65.1	35 108.13	0.15	0.19	15
Alternativa A	81.3	42 643.11	0.18	0.21	15
Alternativa B	97	47 744.66	0.19	0.22	13
Alternativa C	70	38 748.39	0.17	0.20	15
Alternativa D	85	43 875.19	0.18	0.22	15
Alternativa E	110	51 746.65	0.20	0.23	13

Para el caso de la alternativa A que utiliza 1% de cemento en peso se obtiene un aumento del 16.2% en el CBR, este valor es significativo comparado con el bajo porcentaje de cemento que se utilizó.

En el caso de la alternativa B se puede decir que es la mejor alternativa técnica de estabilización debido a que con el 97% de CBR alcanzado logra una disminución en los espesores de las capas inferiores.

La alternativa C que utiliza como estabilizador la emulsión asfáltica con 4% en peso es la alternativa más desfavorable debido a que utiliza un porcentaje alto de estabilizador y solo logra aumentar en un 4.9% el CBR del material. Esto sería un indicador de que la emulsión asfáltica no tiene mucho impacto en la estabilización del material. Es cierto que en la investigación no se realizó un diseño de base estabilizada y en su lugar se trabajó con un ensayo de compactación de suelos Próctor modificado suelo – emulsión, el cual era limitado en el sentido que encuentra el porcentaje óptimo de emulsión para esa humedad determinada del material y esta humedad quizá no fue la adecuada, por ello se obtienen pocos beneficios en la estabilización con emulsión asfáltica.

La alternativa D perteneciente a la estabilización con 4% de emulsión y 1% de cemento obtiene buenos resultados; sin embargo, con el 85% de CBR aun no es capaz de optimizar los espesores de base y subbase granular.

La Alternativa E, que incluye un 2% de cemento y un 4% de emulsión, no muestra una diferencia sustancial con respecto a la Alternativa B en términos de mejoras en el CBR. Este hallazgo parece confirmar que la emulsión asfáltica tiene un impacto limitado en la estabilización del material. Es posible que, como se menciona, la incorporación de un diseño de base estabilizada con emulsión hubiera resultado en un mejor desempeño, pero a la luz de los resultados obtenidos en las alternativas C, D y E, no parece que la mejora hubiera sido significativa.

Como se puede apreciar en los espesores obtenidos, las alternativas B y E presentan una disminución en los espesores. Sin embargo, la alternativa B se destaca como la mejor elección, ya que emplea exclusivamente cemento como agente estabilizador, a diferencia de la alternativa E, que también incorpora emulsión asfáltica. Ambas alternativas emplean un 2% de cemento, lo que sugiere que a partir de este nivel de adición de cemento se logra una mejora significativa en el CBR del afirmado.

También cabe destacar que la alternativa B con su 97% de CBR es cercano al 100% requerido para bases granulares. Esto es muy importante debido a que se alcanzan valores altos de CBR sin tener que procesar el agregado con una chancadora.

4.2 Comparación económica de las alternativas evaluadas

En esta sección se compararán las alternativas desde el punto de vista económico mediante análisis de costos unitarios (Acus) para conformación de base y subbase granular.

Para la realización de estos Acus se tuvieron en cuenta parámetros como el precio actual de los materiales, equipos y mano de obra. Con estos se busca comparar la incidencia económica entre las distintas alternativas.

4.2.1 Análisis de costos unitarios para conformación de base

Para la evaluación económica de la investigación se considera evaluar el análisis de costos unitarios para conformación de base con el afirmado de estudio. En la Tabla 17 se presenta el análisis de costo unitario para la conformación de base granular para un m² con espesor de 15 cm.

Tabla 17

Análisis de costo unitario para conformación de base granular para el afirmado de la cantera Seeing

Conformación de base granular con afirmado de la cantera Seeing E=0.15 m						15.87 soles/m ²
Partida						
Rendimiento	m ² /día	MO	1 500	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.005	25.714	0.129
Oficial		hh	1.000	0.005	20.402	0.102
Peón		hh	10.000	0.050	18.465	0.923
Materiales						
Material granular		m3		0.195	50.000	9.75
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.970	1.344
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.154	0.035

Se obtuvo un precio de 15.87 soles por conformación para 1 m² de base granular con 15 cm de espesor.

4.2.2 Análisis de costos unitarios para alternativa A

Siguiendo los mismos parámetros considerados en la conformación de base para afirmado sin estabilizar, agregando la incidencia económica del estabilizador que en este caso es el cemento se realizará el análisis de costos unitarios para la alternativa A correspondiente a la estabilización con 1% de cemento, donde se obtuvo un precio de 20.04 soles por m² con espesor de 15 cm, tal como se muestra en la Tabla 18. Este precio excede en 4.17 soles a los 15.87 soles obtenidos para el afirmado sin estabilizar.

La alternativa A es la más económica respecto a las demás en comparación con el precio unitario para conformación de base sin estabilizar, esto se debe al bajo porcentaje de cemento que contempla.

Tabla 18*Análisis de costos unitarios para alternativa A*

Partida: Conformación de base estabilizada con 1% de cemento E=0.15 m						20.04 soles/m ²
Rendimiento	m ² /día	MO	1 200	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.007	25.714	0.180
Oficial		hh	1.000	0.007	20.402	0.143
Peón		hh	10.000	0.067	18.465	1.237
Materiales						
Material granular		m3		0.195	50.000	9.750
Cemento (1%)		bol		0.145	25.850	3.748
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.970	1.344
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.560	0.047

Nota. El peso unitario del cemento considerado para poder calcular su incidencia es de 3.15 gr/ cm³.

4.2.3 Análisis de costos unitarios para alternativa B

Siguiendo los mismos parámetros considerados en la conformación de base para afirmado sin estabilizar, agregando la incidencia económica del estabilizador que en este caso es el cemento se realizará el análisis de costos unitarios para la alternativa B correspondiente a la estabilización con 2% de cemento, donde se obtuvo un precio de 21.48 soles por m² con espesor de 13 cm, tal como se muestra en la Tabla 19. Este precio excede en 5.61 soles a los 15.87 soles obtenidos para el afirmado sin estabilizar.

La alternativa B es la segunda alternativa más económica después de la alternativa A en comparación con el precio unitario para conformación de base sin estabilizar, al igual que la alternativa A se debe al bajo porcentaje de cemento que contempla, siendo el doble que el de la alternativa A. Sin embargo, esto se compensa en que el espesor para este precio unitario es de 13 cm a diferencia de los 15 cm que se utiliza en la alternativa A y en el afirmado sin estabilizar.

Tabla 19*Análisis de costos unitarios para alternativa B*

Conformación de base estabilizada con 2% de cemento E=0.13 m						21.48 soles/m ²
Partida						
Rendimiento	m ² /día	MO	1 200	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.007	25.714	0.180
Oficial		hh	1.000	0.007	20.402	0.143
Peón		hh	10.000	0.067	18.465	1.237
Materiales						
Material granular		m3		0.169	50.000	8.450
Cemento (2%)		bol		0.251	25.850	6.488
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.970	1.344
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.560	0.047

Nota. El peso unitario del cemento considerado para poder calcular su incidencia es de 3.15 gr/ cm³.

4.2.4 Análisis de costos unitarios para alternativa C

Siguiendo los mismos parámetros considerados en la conformación de base para afirmado sin estabilizar, agregando la incidencia económica del estabilizador que en este caso es la emulsión asfáltica se realizará el análisis de costos unitarios para la alternativa C correspondiente a la estabilización con 4% de emulsión, donde se obtuvo un precio de 39.18 soles por m² con espesor de 15 cm, tal como se muestra en la Tabla 20.

La alternativa C es la menos costosa dentro de las alternativas con emulsión asfáltica, esto se debe al alto contenido de emulsión y el precio unitario de la emulsión. Sin duda esto hace inviable una estabilización con emulsión asfáltica a gran escala para este material.

Tabla 20*Análisis de costos unitarios para alternativa C*

Conformación de base estabilizada con 4% de emulsión E=0.15 m						39.18 soles/m ²
Partida						
Rendimiento	m ² /día	MO	1 200	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.007	25.714	0.180
Oficial		hh	1.000	0.007	20.402	0.143
Peón		hh	10.000	0.067	18.465	1.237
Materiales						
Material granular		m3		0.195	50.000	9.750
Emulsión asfáltica (4%)		gal		2.058	10.310	21.218
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.97	1.324
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Camión imprimador 6*2 178-210 hp, 1800 gln		hm	1.000	0.007	241.320	1.690
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.560	0.047

Nota. La densidad de la emulsión asfáltica considerada para poder calcular su incidencia es de 1 gr/ cm³.

4.2.5 Análisis de costos unitarios para alternativa D

Siguiendo los mismos parámetros considerados en la conformación de base para afirmado sin estabilizar, agregando la incidencia económica del estabilizador que en este caso es la emulsión asfáltica y el cemento se realizará el análisis de costos unitarios para la alternativa D correspondiente a la estabilización con 4% de emulsión y 1% de cemento, donde se obtuvo un precio de 42.95 soles por m² con espesor de 15 cm, tal como se muestra en la Tabla 21.

La Alternativa D se presenta como la opción más costosa debido a su empleo de un porcentaje elevado de emulsión, en similitud con la alternativa C, además de la inclusión de cemento. Siguiendo el mismo razonamiento aplicado a la alternativa C, se excluye la posibilidad de utilizar esta alternativa para la estabilización del material debido a su costo elevado.

Tabla 21*Análisis de costos unitarios para alternativa D*

Conformación de base estabilizada con 4% de emulsión y 1 % de cemento E=0.15 m						42.95 soles/m ²
Partida						
Rendimiento	m ² /día	MO	1 200	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.007	25.714	0.180
Oficial		hh	1.000	0.007	20.402	0.143
Peón		hh	10.000	0.067	18.465	1.237
Materiales						
Material granular		m3		0.195	50.000	9.750
Cemento (1%)		bol		0.145	25.850	3.748
Emulsión asfáltica (4%)		gal		2.058	10.310	21.218
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.970	1.344
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Camión imprimador 6*2 178- 210 hp, 1800 gln		hm	1.000	0.007	241.320	1.690
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.560	0.047

Nota. La densidad de la emulsión asfáltica y el peso unitario del cemento considerados para poder calcular su incidencia es de 1 gr/ cm³ y de 3.15 gr/ cm³ respectivamente.

4.2.6 Análisis de costos unitarios para alternativa E

Siguiendo los mismos parámetros considerados en la conformación de base para afirmado sin estabilizar, agregando la incidencia económica del estabilizador que en este caso es la emulsión asfáltica y el cemento se realizará el análisis de costos unitarios para la alternativa E correspondiente a la estabilización con 4% de emulsión y 2% de cemento, donde se obtuvo un precio de 41.56 soles por m² con espesor de 13 cm, tal como se muestra en la Tabla 22.

La alternativa E es la segunda más costosa dentro de las alternativas con emulsión asfáltica, esto se debe a la disminución del espesor obtenido por su considerable aumento en el CBR. Sin embargo, al igual que las alternativas C y D es inviable debido al alto costo.

Tabla 22*Análisis de costos unitarios para alternativa E*

Conformación de base estabilizada con 4% de emulsión y 2% de cemento E=0.13 m						41.56 soles/m ²
Partida						
Rendimiento	m ² /día	MO	1 200	EQ	1 200	
Descripción del recurso		Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Mano de obra						
Operario		hh	1.000	0.007	25.714	0.180
Oficial		hh	1.000	0.007	20.402	0.143
Peón		hh	10.000	0.067	18.465	1.237
Materiales						
Material granular		m3		0.169	50.000	8.450
Cemento (2%)		bol		0.251	25.850	6.488
Emulsión asfáltica (4%)		gal		1.784	10.310	18.393
Equipos						
Camión cisterna 4x2 agua 122 hp 2000 gal		hm	1.000	0.007	191.970	1.344
Motoniveladora		hm	1.000	0.007	295.130	2.066
Camión imprimador 6*2 178-210 hp, 1800 gln		hm	1.000	0.007	241.320	1.690
Rodillo liso		hm	1.000	0.007	217.250	1.521
Herramientas manuales		hm	1.000	3.000%	1.560	0.047

Nota. La densidad de la emulsión asfáltica y el peso unitario del cemento considerados para poder calcular su incidencia es de 1 gr/ cm³ y de 3.15 gr/ cm³ respectivamente.

El resumen de los precios para las alternativas planteadas se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23*Precios por m² de las alternativas*

Alternativa	Precio de conformación de base y subbase granular (soles / m ²)
Base granular sin estabilizar	15.87
Alternativa A	20.04
Alternativa B	21.48
Alternativa C	39.18
Alternativa D	42.95
Alternativa E	41.56

Sin lugar a dudas, la alternativa D se posiciona como la de mayor costo, con un valor de 42.95 soles por metro cuadrado de base estabilizada, mientras que la alternativa A se presenta como la más económica, con un costo de 20.04 soles por metro cuadrado. La diferencia en costos entre la alternativa más costosa y la más asequible es un poco más del doble.

4.3 Elección de la mejor alternativa planteada

Con los resultados técnicos y económicos sintetizados en la Tabla 24 se aprecia que la alternativa B con su 97% de CBR, su espesor optimizado de 13 cm y con el segundo precio más bajo dentro de las alternativas de estabilización es una buena opción. La alternativa E por su parte es superior en CBR y al igual que la B tiene un espesor optimizado de 13 cm; sin embargo, se debe recordar que esta alternativa trabaja con 2 estabilizadores y esto se ve reflejado en su elevado precio de conformación de base y subbase granular de 41.56 soles/m², lo que hace desistir en su elección debido a que tiene una diferencia de 25.69 soles respecto al afirmado sin estabilización. Si tomamos en cuenta esta diferencia para los miles de metros cuadrados que se conforman de base y subbase granular en una obra vial tendríamos un gran costo adicional. En cambio, la alternativa B tiene una diferencia de 4.17 soles/ m² respecto a la conformación de base y subbase granular con el afirmado sin estabilizar, con esta alternativa aún se puede evaluar su uso en obra.

Tabla 24*Resumen de resultados de las alternativas de estabilización planteadas*

Alternativa	CBR (%)	Espesor obtenido (cm)	Precio de conformación de base y subbase granular (soles / m ²)
Base granular sin estabilizar	65.1%	15	15.87
Alternativa A	81.3%	15	20.04
Alternativa B	97%	13	21.48
Alternativa C	70%	15	39.18
Alternativa D	85%	15	42.95
Alternativa E	110%	13	41.56

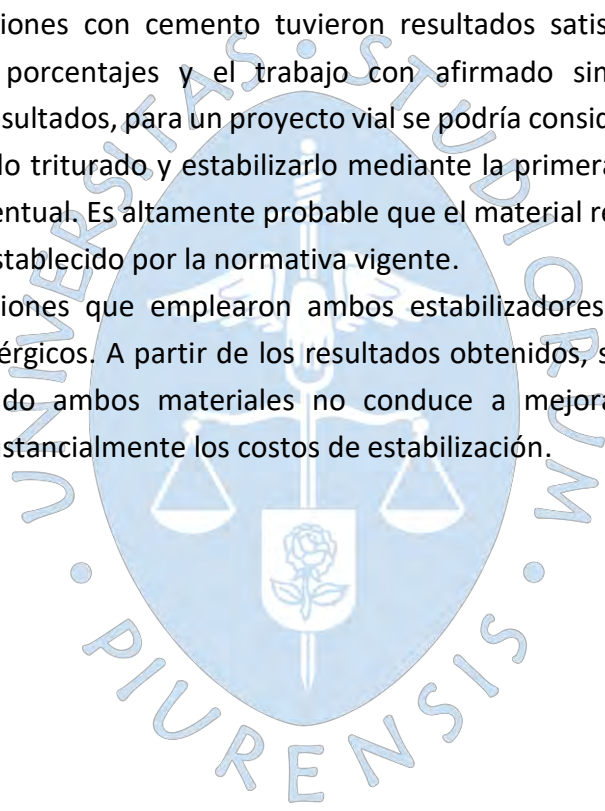
Conclusiones

Se concluye que tanto la estabilización con cemento como la estabilización con emulsión resultan beneficiosas para el CBR del agregado y otros parámetros como el módulo resiliente. Además, las estabilizaciones con cemento resultaron ser superiores a las estabilizaciones con emulsión asfáltica. Para futuras investigaciones se sugiere trabajar con otros diseños de base estabilizada con emulsión siguiendo completamente la metodología Marshall.

Con la estabilización del suelo con emulsión asfáltica, se determinó que la máxima densidad seca del afirmado sufre una disminución, lo cual se ve reflejado en una mezcla menos densa. Esta disminución podría ser la causante de que las estabilizaciones con emulsión asfáltica no tengan tan buenos resultados como las estabilizaciones con cemento.

Las estabilizaciones con cemento tuvieron resultados satisfactorios a pesar de la utilización de bajos porcentajes y el trabajo con afirmado simplemente zarandeado. Basándose en estos resultados, para un proyecto vial se podría considerar la opción de utilizar afirmado con agregado triturado y estabilizarlo mediante la primera alternativa, añadiendo un medio punto porcentual. Es altamente probable que el material resultante cumpla con los requisitos del 100% establecido por la normativa vigente.

Las estabilizaciones que emplearon ambos estabilizadores revelaron que los dos materiales no son sinérgicos. A partir de los resultados obtenidos, se podría concluir que la estabilización utilizando ambos materiales no conduce a mejoras significativas; por el contrario, aumenta sustancialmente los costos de estabilización.



Referencias

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO
<https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- Aliaga, Fredy., & Soriano, Carlos. (2019). *Análisis comparativo de estabilización con cemento Portland y emulsión asfáltica en bases granulares* (Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma). Repositorio institucional de la Universidad Ricardo Palma.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2673>
- Díaz, Paula., & Ortiz, César. (2019). *Diseño y análisis de bases estabilizadas con cementos tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)*. (Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás). Repositorio institucional de la Universidad Santo Tomás.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21443>
- Gomá, Fernando. (1979). *El cemento Portland y otros conglomerantes*. Editorial Reverte.
- González, Wilfredo., Jiménez, Mario & López, Ruby. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Juárez, Omar., & Inzunza, Marco. (2011). *Guía práctica de estabilización y recuperación de pavimentos con cemento Portland en México*. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, a. c. http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Libros-AMIVTAC/guia-practica/Guia-practica-de-estabilizacion-y-recuperacion-de-pavimentos-con-cemento-portland-en-Mexico.pdf
- Mercado, Ronald., Bracho, Carlos & Avendaño, Jorge. (2008). *Emulsiones asfálticas usos-rompimiento*. Universidad de los Andes.
- MTC (2013). *Manual de carreteras específicas técnicas generales para construcción*. MTC.
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)
- MTC (2014). *Suelos, geología, geotecnia y pavimentos: Sección suelos y pavimentos*. MTC.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- MTC (2016). *Ensayo de materiales*. MTC.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-06-16%20Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Reyes, S. A. (2016). Diseño de Pavimentos Aplicando la Metodología de la Federal Aviation Administration (FAA), (Tesina). Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Ronceros, Yony. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la subrasante y base de la carretera Cañete - Chupaca, tramo: Km 220+000 -Km 240+000* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería). Alicia. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_54708f5eb025bcc309e103646a9f967c

Rondón, Hugo., Reyes, Fredy. (2015). *Pavimentos. Materiales, construcción y diseño*. (1.ª ed.). Ecoe ediciones. <https://books.google.com.pe/books?id=zuwcDgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>


Yepes, Víctor. (23 de enero de 2014). La estabilización de suelos. *Poli Blogs*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>



Anexos




Anexo A Análisis granulométrico del afirmado



DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES
SUELOS Y PAVIMENTOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D422

PROYECTO	EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSION EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMIREZ	CANTERA	SARACOTO
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA	FECHA	15/07/2022



SEODING
EL MEJOR ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	
1	Nº RECIPIENTE
2	W RECIPIENTE (gr) 934.72
3	W RECIPIENTE SW (gr) 5252.50
4	W RECIPIENTE S (gr) 5110.72
5	W w : 3-4 (gr) 141.78
6	W s : 4-2 (gr) 4176.00
7	w : 100*5/6 (%) 3.40

ANALISIS GRANULOMETRICO	
8	W RECIPIENTE S (LAVADO) (gr) 4608.32
9	W S (LAVADO) : 8-2 (gr) 3673.60
10	W S FINO (PLATILLO) (gr) 1.64
11	W TOTAL PARCIAL RETENIDO (gr) 3670.41
12	DESPERDICIO DE SUELO : 9-11 (gr) 3.19
13	W S FINO (TOTAL) : [8-(11-10)-12] (gr) 504.04
14	% FINOS : 100*13/6 (%) 12.07
15	ERROR : 100*12/9 (%) 0.09
16	COMPENSACION PARA CADA TAMIZ 0.46

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
PESO INICIAL	4176.00
PESO DE MATERIAL / DE LAVADO	3673.60
PESO DE GRAVA	1947.35
PESO DE ARENA	1721.42
PESO DE FINO	504.04

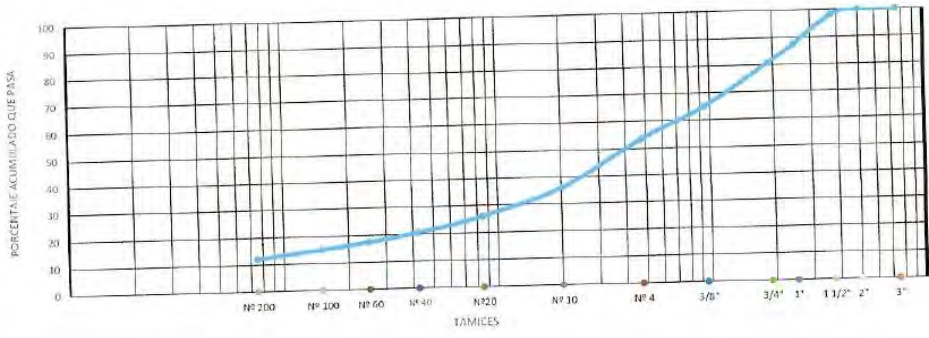
LIMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO	20.12
LÍMITE PLÁSTICO	16.37
ÍNDICE PLÁSTICO	1.75


COEFICIENTES	
D10 (mm)	
D30 (mm)	1.31
D60 (mm)	7.49
Cu = D60/D10	NP
Cc = D30 ² /(D10*D60)	NP

NOTA: EL ERROR ES MENOR AL 1 % ENTONCES SE DEBE DISTRIBUIR PARA SU COMPENSACION. Si es mayor se debe repetir el ensayo

TAMIZ		PESO PARCIAL RETENIDO (gr)	PESO PARCIAL RETENIDO CORREGIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO (%)	% ACUMULADO RETENIDO (%)	% ACUMULADO QUE PASA (%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	77.80	77.80	1.86	1.86	98.14
1"	25.000	440.20	440.20	10.54	12.40	87.60
3/4"	19.000	281.69	281.69	6.74	19.15	80.85
3/8"	09.500	666.99	666.99	15.97	35.12	64.88
No 004	04.750	480.67	481.13	11.52	46.64	53.36
No 010	02.000	728.97	726.43	17.39	64.03	35.97
No 020	00.850	414.91	415.37	9.95	73.98	26.02
No 040	00.425	222.83	223.29	5.35	79.32	20.68
No 060	00.250	131.02	131.48	3.15	82.47	17.53
No 100	00.150	97.94	96.40	2.36	84.83	15.17
No 200	00.075	126.75	129.21	3.09	87.92	12.08
Platillo		1.64	504.50	12.08	100.00	0.00
Total		3670.41	4176.46	0.00	-	-

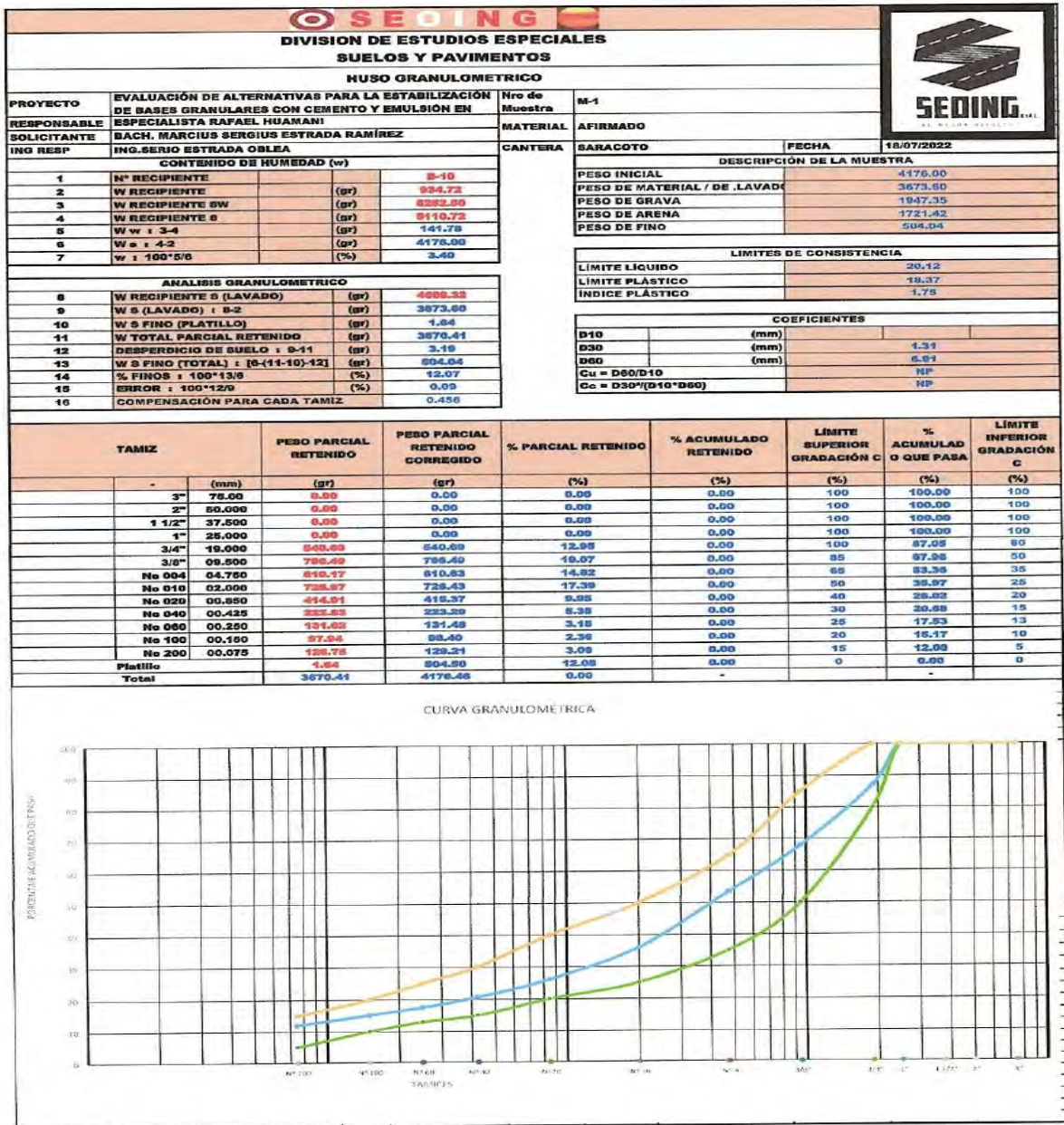
CURVA GRANULOMÉTRICA

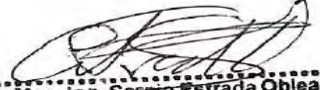






Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

Anexo B Huso granulométrico que cumple el afirmado



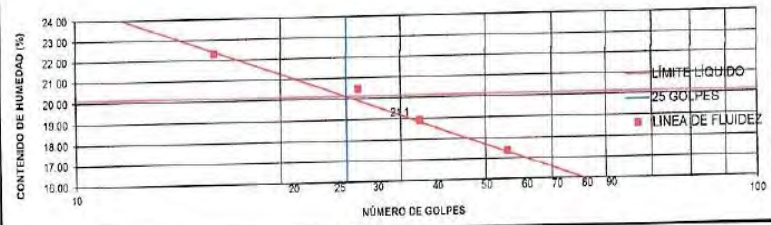

 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo C Límites de consistencia del afirmado

			
DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES			
SUELOS Y PAVIMENTOS			
LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D422			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ	CANTERA	SARACOTO
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA	FECHA	16/07/2022

LIMITE LIQUIDO (LL)									
No DE ENSAYO		1		2		3		4	
		11-h	12-h	12-h	13-h	13-h	15-h	15-h	15-h
1	Nº RECIPIENTE								
2	Nº GOLPES	16	20	32	43				
3	W RECIPIENTE	(gr) 39.62	42.00	39.62	39.98	38.25	38.40	37.21	37.00
4	W RECIPIENTE S1	(gr) 62.07	61.50	64.50	62.19	62.58	61.70	58.38	58.01
5	W RECIPIENTE S	(gr) 57.91	58.00	68.08	58.44	58.71	59.00	55.23	54.90
6	W w : 4-5	(gr) 4.16	3.50	4.42	3.75	3.87	3.70	3.13	3.11
7	W s : 5-3	(gr) 18.29	16.00	21.46	18.46	20.42	19.60	18.02	17.90
8	w : 100*6/7	(%) 22.74	21.88	20.60	20.31	18.95	18.88	17.37	17.37
9	w PROMEDIO	(%) 22.31		20.46		18.91		17.37	
10	Número de golpes	16	20	32	43				
11	LL	(%)	20.12						

DIAGRAMA DE FLUIDEZ




LIMITE PLASTICO (LP)					
		6-h		8-h	
		6-h	7-h	8-h	8-h
1	No recipiente				
2	W recipiente	(gr) 39.09	40.73	39.86	39.86
3	W recipiente sw	(gr) 59.22	60.26	59.33	59.33
4	W recipiente s	(gr) 48.48	48.78	48.71	48.71
5	W w : 3-4	(gr) 1.74	1.47	1.62	1.62
6	W s : 4-2	(gr) 9.39	8.05	8.85	8.05
7	LP : 100*5/6	(%) 18.53	18.26	18.31	18.31
8	LP promedio	(%)	18.37		


INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	1.75
----------------------------	------


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo D Próctor modificado del afirmado



DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES
SUELOS Y PAVIMENTOS
PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557



PROYECTO	EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSION EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1		
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO		
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMIREZ	CANTERA	SARACOTO	FECHA	21/07/2022
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA				

ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR			
Tamiz	FEED PARCIAL RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO (%)	% ACUMULADO RETENIDO (%)
-	(mm)		
3/4"	19	997.00	21.50
3/8"	9.5	744.00	16.83
No 004	4.75	628.60	13.97
Platillo		2166.00	48.00
Total		4500.00	100.00

O.C.H. PROBABLE			
INCREMENTO DE AGUA (DVw I y DVw (1 %))			(%)
9	W sw	(gr)	6000.00
10	W s :100*9/(100*8)	(gr)	5812.77
11	w	(%)	6.40
12	DVw I :((11-8)*10/100	(cc)	184.78
13	DVw (1 %) :((1)*10/100	(cc)	58.13

METODO DE COMPACTACION			
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)			
1	No recipiente	(gr)	108
2	W recipiente	(gr)	16.10
3	W recipiente sw	(gr)	227.79
4	W recipiente s	(gr)	221.99
5	W w : 3-4	(gr)	6.23
6	W s : 4-2	(gr)	205.46
7	w : 100*5/6	(%)	3.03
8	w promedio	(%)	3.22

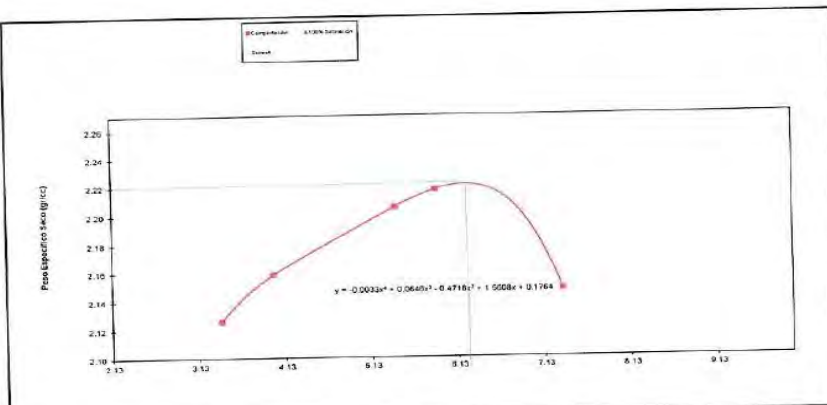
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)		PESO ESPECIFICO SECO (γd)	
	3.39		2.13
	3.99		2.18
	5.41		2.20
	5.88		2.22

OCH		(%)	6.40
gd max	(gr/cc)		2.22

PESO ESPECIFICO (g)					
No DE ENSAYO					
		1	2	3	4
14	No molde				
15	V molde	(cc)	2144.0000	2158.78	2153.80
16	W molde	(gr)	6220.00	6292.00	6226.00
17	W molde sw	(gr)	10932.00	11095.00	11295.00
18	W sw : 17-16	(gr)	4712.00	4845.00	5005.80
19	g : 18/15	(gr/cc)	2.20	2.24	2.32

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)										
20	No recipiente	110	111	115	113	117	122	130	132	112
21	W recipiente	(gr)	16.73	16.10	16.27	16.14	16.28	17.32	16.04	17.74
22	W recipiente sw	(gr)	221.83	291.41	230.67	329.79	191.89	485.30	234.91	225.00
23	W recipiente s	(gr)	214.83	195.41	222.63	221.49	192.45	196.31	222.04	212.71
24	W w : 22-23	(gr)	6.80	6.00	7.84	8.60	9.14	8.99	12.27	11.20
25	W s : 23-21	(gr)	198.08	179.31	206.46	202.96	168.19	168.99	204.60	199.97
26	w : 100*24/25	(%)	3.43	3.35	3.70	4.28	5.00	5.32	6.00	5.75
27	w promedio	(%)	3.39	3.99	5.41	5.88	7.33			

PESO ESPECIFICO SECO (gd)							
28	gd :100*19/(100	(gr/cc)	2.13	2.18	2.20	2.22	2.15



Equation: $y = -0.0032x^2 + 0.0640x + 0.4716$


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo E CBR del afirmado

SEIDING			
DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES			
SUELOS Y PAVIMENTOS			
CBR NORMA ASTM D3080-98			
PROYECTO	EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSION EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO
SOLICITANTE	BACH. MARGIUS SERGIUS ESTRADA RAMIREZ	CANTERA	SARACOTO
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA	FECHA	15/07/2022



CONTENIDO DE HUMEDAD (w)			
1	No recipiente		
2	W recipiente	(gr)	
3	W recipiente sw	(gr)	
4	W recipiente s	(gr)	
5	W w:3-4	(gr)	
6	Ws:4-2	(gr)	
7	w : 100*5/6	(%)	
8	w promedio	(%)	

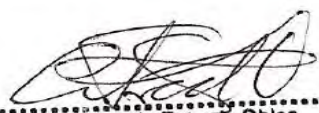
PROCTOR			
PESO ESPECIFICO (g)			
14	No molde	(cc)	
15	V molde	gr	
16	W molde	gr	
17	W molde sw	gr	
18	W sw: 17-16	gr	
19	g : 18/15	(gr/cc)	

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)							
20	No recipiente						
21	W recipiente	(gr)					
22	W recipiente sw	(gr)					
23	W recipiente s	(gr)					
24	W w: 22-23	(gr)					
25	Ws: 23-21	(gr)					
26	w : 100*24/25	(%)					
27	w promedio	(%)					

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	2.22




 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

				CBR		
No DE ENSAYO				1	2	3
PESO ESPECIFICO (g)				2.21		
13	V disco espedador		(cc)	897.11		
14	No molde			7	8	9
15	V molde		(cc)	2226.33	3236.09	2239.09
16	W molde		(gr)	4164.99	4299.09	4056.00
17	W molde sw		(gr)	3328.59	9380.00	6951.00
18	V molde efectivo : 15-13		(cc)	2339.22	2347.89	2350.89
19	No golpes por capa : No*18/Vc			88	28	13
20	W sw : 17-16		(gr)	5395.50	5171.00	4999.00
21	g : 20/18		(gr/cc)	2.31	2.20	2.13

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)						
22	No recipiente			P-3	P-4	P-5
23	W recipiente		(gr)	36.29	33.94	31.91
24	W recipiente sw		(gr)	257.43	283.99	309.89
25	W recipiente s		(gr)	217.09	242.99	266.09
26	W w : 24-25		(gr)	10.43	10.98	13.82
27	W s : 25-23		(gr)	177.61	189.36	243.19
28	w : 100*26/27		(%)	9.87	8.80	8.89
29	w promedio		(%)	8.94	8.38	8.46

PESO ESPECIFICO SECO (γd)			
30	γd : 100*21/(100+29)		(gr/cc)
		2.18	2.09
			2.02

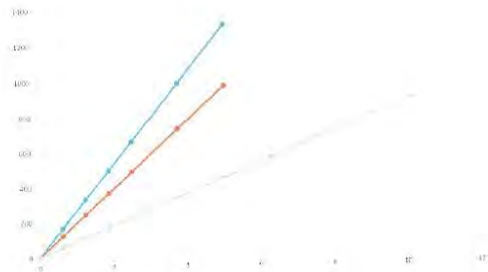
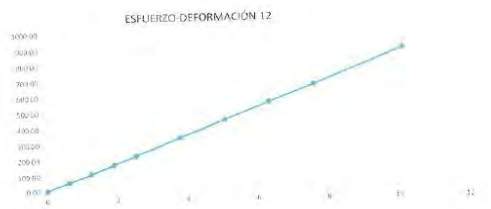
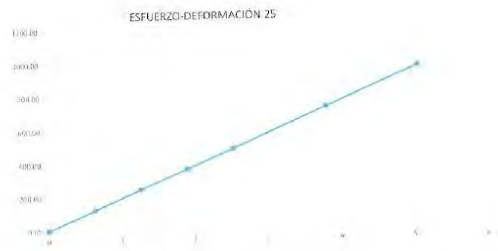
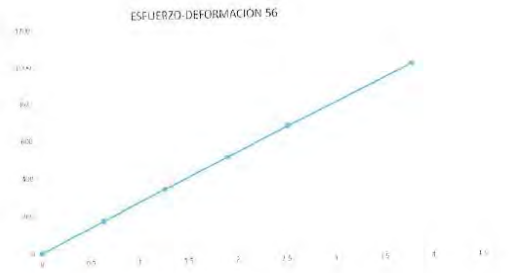
		DEFORMACIÓN					
		MOLDE 7		MOLDE 8		MOLDE 9	
PENETRACIÓN EN PULGADAS	CARGA ESTÁNDAR R (lb/in2)	CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA	
		LECTURA	Lb/pulg2	LECTURA	Lb/pulg2	LECTURA	Lb/pulg2
0		0	0	0	0.00	0.00	0.00
0.64		485.39	192.75	390	128.00	199.0	89.00
1.27		970.6	385.5	720	248.00	330	110.00
1.91		1454.78	488.29	1080	380.00	495	165.00
2.54	1000	1939.06	651	1440.00	489.98	600.0	220.00
3.01		2929.0	970.9	2160	720.00	990	330.00
3.68		3908	1303	3240	990.00	1330	440.00
5.38			0		0.00	1890	660.00
7.83			0		0.00	1980	680.00
10.18			0		0.00	2940	990.00
12.7			0		0.00		0.00

F. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO	
PENETRACIÓN	3

CBR	55.10
-----	-------

F. DIAL			
L. INICIAL	127		
FECHA	7.08	8.09	8.09
1-Jul	1300	18399	7200
3-Jul	1390	18903	7202
4-Jul	1390	18904	7203
% HINCHAMIENTO	0	0	0


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996




 Mag. Ing. Sergio Estrada Obledo
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo F Abrasión del afirmado con máquina Los ángeles

SEIING		DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES		SUELOS Y PAVIMENTOS				
ABRASION LOS ANGELES (L.A) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 1/2") ASTM C131								
PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES			Nro de Muestra	M-1			
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI			MATERIAL	AFIRMADO			
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ			CANTERA	SARACOTO	FECHA		
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA					19/07/2022		
Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g				Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga
Que pasa	Retenido sobre	Gradación				A	12	5000 ± 25
		A	B	C	D	B	11	4584 ± 25
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	--	--	--	C	8	3330 ± 25
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	--	--	--	D	6	2500 ± 25
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--			
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	--	--			
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	--	--	2500 ± 10	--			
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N° 4)	--	--	2500 ± 10	--			
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	--	--		5000			
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10			
SE UTILIZO LA GRADACIÓN							A	
PESO INICIAL DE LA MUESTRA + BANDEJA								5650
PESO DE BANDEJA								650
PESO INICIAL DE LA MUESTRA								5000
PESO DE LA MUESTRA DESPUÉS DE 100 REVOLUCIONES RETENIDO EN LA MALLA N° 12								4911,4
PESO DE LA MUESTRA DESPUÉS DE 500 REVOLUCIONES RETENIDO EN LA MALLA N° 12								4650
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD								0,25
% DESGASTE								7,00%


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo G CBR para alternativa A

SEIDING			
DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES			
SUELOS Y PAVIMENTOS			
CBR NORMA ASTM D3080-98			
PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ	CANTERA	SARACOTO
ING RESP	ING. SERGIO ESTRADA OBLEA	FECHA	18/07/2022



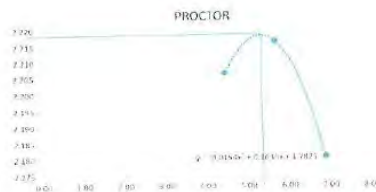
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)			
1	No recipiente		
2	W recipiente	(gr)	121
3	W recipiente sw	(gr)	122
4	W recipiente s	(gr)	196.7
5	W w: 3-4	(gr)	206.44
6	W w: 4-2	(gr)	203.12
7	W w: 2-3	(gr)	250.89
8	W w: 100*5/8	(gr)	5.85
9	w : 100*5/8	(%)	5.57
10	w promedio	(%)	2.50
11	w promedio	(%)	2.57
12	w promedio	(%)	2.43

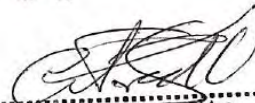
PROCTOR			
PESO ESPECIFICO (g)			
14	No molde	(cc)	8
15	V molde	gr	2146
16	W molde	gr	6188
17	W molde sw	gr	11120
18	W w: 17-18	gr	11210
19	W w: 17-18	gr	11906
20	W w: 17-18	gr	4941
21	W w: 17-18	gr	6021
22	W w: 17-18	gr	4997
23	W w: 17-18	gr/cc	2.30
24	W w: 17-18	gr/cc	2.34
25	W w: 17-18	gr/cc	2.33

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)							
20	No recipiente		112	113	114	115	116
21	W recipiente	(gr)	14.38	18.1	16.25	16.48	16.48
22	W recipiente sw	(gr)	226.53	215.83	216.53	237.43	226.94
23	W recipiente s	(gr)	212.38	304.73	307.28	223.71	213.48
24	W w: 22-23	(gr)	8.17	8.92	10.95	11.72	13.45
25	W w: 23-21	(gr)	197.09	188.63	199.82	209.25	197.04
26	w : 100*24/25	(%)	4.13	4.78	5.74	5.60	6.83
27	w promedio	(%)	4.45	5.67	6.89		

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.24
29	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.23
30	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.18

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	2.22




 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

CBR				1	2	3
No DE ENSAYO				2.19		
PESO ESPECIFICO (g)				227.108		
13	V disco espaciador		(cc)	7	8	9
14	No molde			3229.33	3229.94	3242.72
15	V molde		(cc)	4193.00	4394.00	4239.00
16	W molde		(gr)	3570.00	3300.00	3103.00
17	W molde sw		(gr)	2339.22	2342.85	2355.81
18	V molde efectivo : 15-13		(cc)	89	29	12
19	No golpes por capa : Nc*18/Vc			6378.00	6174.00	4882.00
20	W sw : 17-16		(gr)	2.30	2.21	2.07
21	g : 20/18		(gr/cc)			

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)				112	113	114	115	116	117
22	No recipiente			14.49	18.74	16.37	16.48	16.45	16.34
23	W recipiente		(gr)	100.29	188.80	215.67	202.33	291.89	323.42
24	W recipiente sw		(gr)	188.75	261.03	295.15	193.89	339.95	312.19
25	W recipiente s		(gr)	9.54	5.77	10.52	9.46	11.84	11.23
26	W w : 24-25		(gr)	168.35	182.89	188.78	177.44	223.50	195.95
27	W s : 25-23		(gr)	5.63	5.38	5.57	5.33	5.34	5.73
28	w : 100*26/27		(%)	5.51			5.45		5.54
29	w promedio		(%)						

PESO ESPECIFICO SECO (yd)				2.10	2.09	1.06
30	yd : 100*21/(100+29)		(gr/cc)			

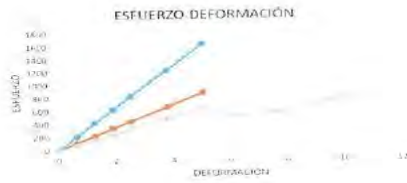
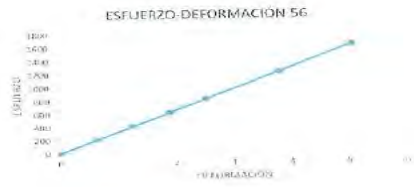
PENETRACIÓN EN PULGADAS		CARGA ESTÁNDAR (lb/in ²)		DEFORMACIÓN							
				MOLDE 7		MOLDE 8		MOLDE 9			
				CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA			
mm	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²		
0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
0.64	0.11	203.66687	324	108.00	230.00	78.33					
1.27	1.219	406.33333	849	214.33	467	152.67					
1.91	1.831	610.33333	869	323.00	700	234.33					
2.54	1	2433.00	612.00087	1289.00	430.00	530.00	310.00				
3.18	1	3697	1218	1838	846.33	1399	466.33				
3.81	1.8	4878	1625.3333	2884	881.33	1893	621.00				
4.45	1.8		0	0.00	0.00	1897	502.33				
5.08	1.8		0	0.00	0.00	1671	457.00				
5.72	2.3		0	0.00	0.00	2380	783.33				
6.35	2.8		0	0.00	0.00		0.00				

F. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO	
PENETRACIÓN	3

CBR	01.3
-----	------

F. DIAL				
L. INICIAL	127			
FECHA	7.09	5.00	5.00	
1-Jul	1800	1900	1760	
3-Jul	1800	1802	1760	
4-Jul	1800	1800	1752	
% HINCHAMIENTO	0	0	0	0


 Mag. Ing. Sergio Estrada Obledo
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg CIP N° 36996




Mag. Ing. Sergio Estrada Obilea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

Anexo H CBR para alternativa B

 DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES SUELOS Y PAVIMENTOS CBR NORMA ASTM D3080-98							
PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES			Nro de Muestra	MA-1		
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMAN			MATERIAL	AFIRMADO		
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ			CANTERA	SARACOTO	FECHA	18/07/2022
ING RESP	ING.SERIO ESTRADA OBLEA						

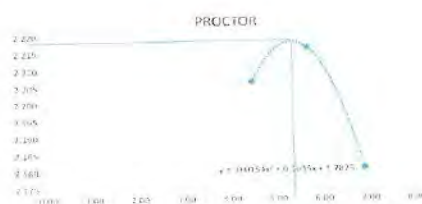
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)			
1	No recipiente		
2	W recipiente	(gr)	109
3	W recipiente sw	(gr)	107
4	W recipiente s	(gr)	16.1
5	W w:3-4	(gr)	239.88
6	Ww:4-2	(gr)	281.41
7	w : 100*5/6	(%)	238.11
8	w promedio	(%)	247.31
			3.85
			4.1
			220.01
			250.89
			1.78
			1.78

PROCTOR			
PESO ESPECIFICO (g)			
14	No molde	(cc)	8
15	V molde	gr	3144
16	W molde	gr	3129
17	W molde sw	gr	11130
18	W sw: 47-16	gr	11210
19	g : 18/18	(gr/cc)	11198
			4941
			5021
			4997
			2.30
			2.34
			2.53

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)							
20	No recipiente		112	113	114	118	116
21	W recipiente	(gr)	14.98	18.1	15.36	18.48	16.48
22	W recipiente sw	(gr)	280.83	312.69	318.23	237.43	228.94
23	W recipiente s	(gr)	312.38	304.73	297.28	288.74	213.88
24	W w: 22-23	(gr)	8.17	8.92	10.95	11.72	13.45
25	Ww: 23-21	(gr)	187.98	185.53	189.82	209.35	187.04
26	w : 100*24/25	(%)	4.13	4.78	5.74	5.60	8.83
27	w promedio	(%)	4.45	5.67	6.69		

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	3.21
			3.22
			3.18

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	2.22




Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg CIP N° 36996

CBR				1	2	3
No DE ENSAYO						
PESO ESPECIFICO (g)				2.20		
13	V disco espaclador		(cc)	887.11		
14	No molde			7	8	9
15	V molde		(cc)	3228.33	3229.86	3242.72
16	W molde		(gr)	4193.00	4207.50	4083.00
17	W molde sw		(gr)	5516.00	5286.00	5019.00
18	V molde efectivo : 18-13		(cc)	2339.22	2342.85	2355.61
19	No golpes por capa : No*18/Vc			33	35	32
20	W sw : 17-16		(gr)	8328.00	8173.00	4884.00
21	g : 20/18		(gr/cc)	2.28	2.21	2.11

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)									
22	No recipiente			123	124	126	128	127	128
23	W recipiente		(gr)	16.23	18.14	16.92	18.89	20.62	16.93
24	W recipiente sw		(gr)	230.68	230.16	248.74	231.18	289.23	234.80
25	W recipiente s		(gr)	210.46	219.20	234.38	217.55	247.82	234.41
26	W w : 24-25		(gr)	10.60	10.99	11.39	10.88	12.31	11.09
27	W s : 25-23		(gr)	205.33	201.06	216.13	197.42	227.09	207.48
28	w : 100*26/27		(%)	5.29	5.45	5.27	5.50	5.42	5.35
29	w promedio		(%)	5.37		5.39		5.39	

PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
30	γd : 100*21/(100+29)	(gr/cc)	2.16	2.10	2.00

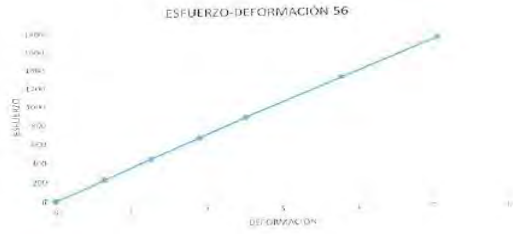
DEFORMACIÓN								
PENETRACIÓN EN PULGADAS	CARGA ESTÁNDAR (lb/in ²)	MOLDE 7		MOLDE 8		MOLDE 9		CARGA DE PRUEBA
		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		
		LECTURA	Kg/cm ²	LECTURA	Kg/cm ²	LECTURA	Kg/cm ²	
0		0	0	0	0.00	0.00	0.00	
0.64		737.3	343.5	288	130.00	283.00	87.87	
1.27		1400	488	780	360.00	626	178.33	
1.91		2182.5	727.3	1170	500.00	789	262.00	
2.55	1	2916.00	970	1680.00	826.00	1032.00	350.87	
3.81		4368	1458	2340	1050.00	1876	528.00	
5.08	1.5	5333	1848	3120	1440.00	2104	791.33	
6.35			0		0.00	2092	854.25	
7.62	1.0		0		0.00	2092	764.00	
10.15	0.5		0		0.00	2092	861.00	
12.7	0.5		0		0.00		0.00	

F. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO 0	
PENETRACIÓN 3	

CBR 97.0

F. DIAL				
L. INICIAL	137			
FECHA	7.00	8.00	8.00	
1-Jul	1680	1800	1700	
4-Jul	1600	1803	1701	
% HINCHAMIENTO	0	0		


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996




Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

Anexo I Ficha técnica de emulsión asfáltica



50 AÑOS DE EXPERIENCIA
 ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

EMULSIÓN CATIONICA DE RUPTURA LENTA

CSS - 1H

INFORME DE ENSAYO N° 272 - 2022 - CAH - LABCALIDAD

DATOS GENERALES	
CLIENTE :	SEOING E.I.R.L.
FECHA DE PRODUCCIÓN:	10-09-2022
FECHA DE ENSAYO :	10-09-2022
LOTE N° :	EM138.09.22

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	METODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL, 25 °c	D 7496	ssf	20	100	27
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO, 24 horas	D 6930	%	---	1	0.8
DESTILACIÓN	D 6997	---			
- CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL		%	57	---	60.2
- CONTENIDO DE DISOLVENTES	D 6997	%	---	---	0.0
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	D 6933	%	---	0.1	0.01
CARGA DE PARTÍCULA	D 7402	---	POSITIVO		POSITIVO

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE LA EMULSIÓN					
PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 s	D 5	dmm	40	90	52
DUCTILIDAD, 25°C, 5 cm/min	D 113	cm	40	---	75
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	%	97.5	---	99.8

* El producto cumple con las especificaciones ASTM D 2397-17

OBSERVACIONES:

- Para largos periodos de almacenamiento se recomienda recircular la emulsión por lo menos una vez por semana.
- Almacenar la emulsión de acuerdo a lo indicado por el manual básico de emulsiones asfálticas MS-19.
- PE : 1.00

Original Cliente

Copia 1: Área despacho

Copia 2: Área Laboratorio

CAH CONTRATISTAS GENERALES S.A.

 Miguel Coira Durand
 Técnico de Laboratorio

Fecha de Emisión : Lima, 16 de septiembre del 2022


EDICIÓN - FEBRERO 2019, VERSIÓN 02

El presente documento concierne única y exclusivamente a la muestra sometida a ensayo y al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Queda terminantemente prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización expresa por escrito por CAH Contratistas Generales S.A, asimismo la empresa no se responsabiliza por los daños o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado del producto.


Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados con Polímeros
 Callao: Calle 4-5, Urb. Grimañeza Mz C, Lt 5 ---Telfs: 5722457-- 572-3447-- 717-7388 Anexo Lab. 108-106 Nextel: 994016906

Av. República de Colombia 671 Of. 603 (Ex Av Central) - San Isidro - Lima - Perú Telf.: 4406239 - 4417577 - 4220440 - 4225221
 CENTRAL TELEFÓNICA DIGITAL: 204-5100 Fax: Anexo (150)
 E-mail: camohesa@camohesa.com.pe www.camohesa.com.pe

Anexo J Ensayo de compactación de suelos Próctor modificado suelo – emulsión



DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES
SUELOS Y PAVIMENTOS
PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557



PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1
RESPONSABLE SOLICITANTE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO
ING RESP	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ	CANTERA	SARACOTO
	ING. SERIO ESTRADA OBLEA	FECHA	15/07/2022

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PRELIMINAR			
Tamiz	PARCIAL RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO (%)	% ACUMULADO RETENIDO (%)
-			
3/4"	19	963.00	21.21
3/8"	9.5	791.00	15.13
No 004	4.75	457.00	8.85
Platillo		5493.00	93.80
Total		4634.00	100.00

G.C.H. PROBABLE			
			(%)
9	W sw	(gr)	6000.00
10	W s :100*9/(100+8)	(gr)	5869.55
11	w	(%)	5.18
12	DVw I :((1-B)*10/100	(cc)	152.66
13	DVw (1 %) :((1)*10/100	(cc)	58.50

MÉTODO DE COMPACTACIÓN		CONTENIDO DE HUMEDAD (w)	
1	No recipiente	(gr)	100
2	W recipiente	(gr)	16.10
3	W recipiente sw	(gr)	222.40
4	W recipiente s	(gr)	217.37
5	W w : 3-4	(gr)	5.03
6	W s : 4-2	(gr)	201.27
7	w : 100*5/8	(%)	2.50
8	w promedio	(%)	2.57

CONTENIDO DE EMULSIÓN		PESO ESPECÍFICO SECO (γd)	
			2.11
			2.14
			2.16
			2.19

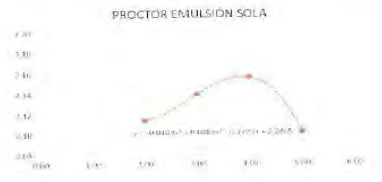
OCH		(%)
		5.18
gd max	(gr/cc)	2.19

PESO ESPECÍFICO (g)				
No DE ENSAYO	1	2	3	4
14	No molde			
15	W molde	(cc)	2144.00	2163.64
16	W molde sw	(gr)	6231.00	6297.00
17	W molde s	(gr)	10880.00	11086.00
18	W sw : 17-16	(gr)	4669.00	4763.00
19	g : 10/15	(gr/cc)	2.18	2.21

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)									
20	No recipiente	110	111	112	113	114	115	116	117
21	W recipiente	(gr)	16.78	15.10	14.39	18.14	16.49	10.47	16.46
22	W recipiente sw	(gr)	210.19	225.07	192.88	212.99	161.89	203.21	183.81
23	W recipiente s	(gr)	204.48	218.50	186.96	204.22	175.04	195.75	184.08
24	W w : 22-23	(gr)	5.92	6.17	5.92	6.36	6.70	7.25	6.63
25	W s : 23-21	(gr)	197.77	202.80	172.91	188.08	158.64	179.29	168.52
26	w : 100*24/25	(%)	2.99	3.04	3.43	3.38	4.28	4.16	5.12
27	w promedio	(%)	3.02		3.41		4.22		5.05

PESO ESPECÍFICO SECO (gd)				
28	gd :100*19/100	(gr/cc)	2.11	2.14
			2.00	3.00
			4.00	5.00

PROCTOR EMULSIÓN SOLA




 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo K CBR para alternativa C

SEIDING					
DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES					
SUELOS Y PAVIMENTOS					
CBR NORMA ASTM D3080-98					
PROYECTO	EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSION EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1		
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO		
SOLICITANTE	BACH. MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMIREZ	CANTERA	SARACOTO	FECHA	18/07/2022
ING RESP	ING.SERGIO ESTRADA OBLEA				



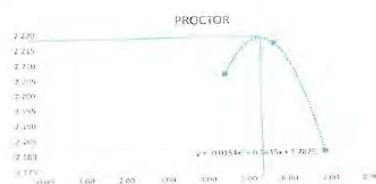
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)				
1	No recipiente		109	107
2	W recipiente	(gr)	16.1	16.62
3	W recipiente sw	(gr)	239.66	231.41
4	W recipiente s	(gr)	238.11	247.31
5	W wv3-4	(gr)	3.85	4.1
6	Ww4-2	(gr)	226.01	236.66
7	w : 100*5/3	(%)	1.76	1.78
8	w promedio	(%)	1.76	

PROCTOR				
PESO ESPECIFICO (g)				
14	No molde	(oo)	8	
15	V molde	gr	2144	
16	W molde	gr	6153	
17	W molde sw	gr	11120	11210
18	W sw: 17-16	gr	4941	5021
19	g : 19/15	(gr/cc)	2.30	2.34
				2.33

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)						
20	No recipiente		112	113	114	115
21	W recipiente	(gr)	14.38	16.1	16.96	16.46
22	W recipiente sw	(gr)	300.53	213.69	216.23	237.45
23	W recipiente s	(gr)	212.34	204.73	207.28	228.71
24	W wv 22-23	(gr)	6.17	6.92	10.95	11.72
25	Ww 23-21	(gr)	187.99	189.63	189.82	209.26
26	w : 100*24/25	(%)	4.13	4.78	5.74	5.60
27	w promedio	(%)	4.48	5.67		6.89

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd :100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.21
			2.22
			2.18

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	2.22




Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg CIP N° 36996

CBR				1	2	3
No DE ENSAYO						
PESO ESPECIFICO (g)				2.18		
13	V disco espadador	(cc)		937.11		
14	No molde			7	8	9
15	V molde	(cc)	3235.33	3235.98	3238.10	
16	W molde	(gr)	4195.09	4305.09	4530.00	
17	W molde sw	(gr)	3434.09	3415.09	3073.00	
18	V molde efectivo : 18-13	(cc)	2339.22	2342.88	2341.04	
19	No golpes por capa : Nc*18/Vc		88	88	92	
20	W sw : 17-16	(gr)	6234.00	6209.00	4893.00	
21	g : 20/18	(gr/cc)	2.24	2.22	2.07	

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)						
22	No recipiente		134	138	136	127
23	W recipiente	(gr)	16.16	18.26	16.90	20.83
24	W recipiente sw	(gr)	210.84	229.23	205.48	227.49
25	W recipiente s	(gr)	209.39	201.48	195.53	216.33
26	W w : 24-25	(gr)	8.99	6.17	8.83	9.16
27	W s : 25-23	(gr)	184.21	182.22	176.72	197.59
28	w : 100*26/27	(%)	4.66	4.48	5.00	4.64
29	w promedio	(%)	4.57		4.82	

PESO ESPECIFICO SECO (rd)						
30	rd : 100*21/(100+29)	(gr/cc)	2.14	2.12	1.96	

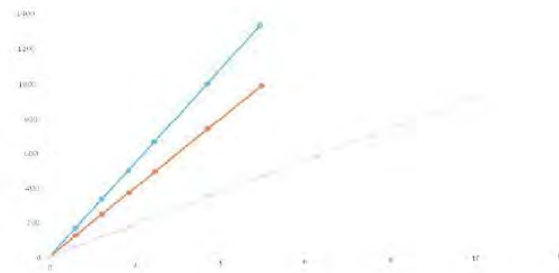
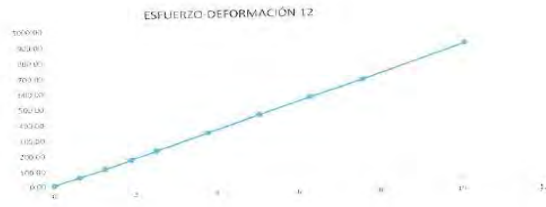
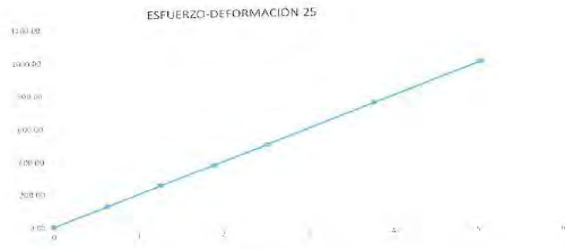
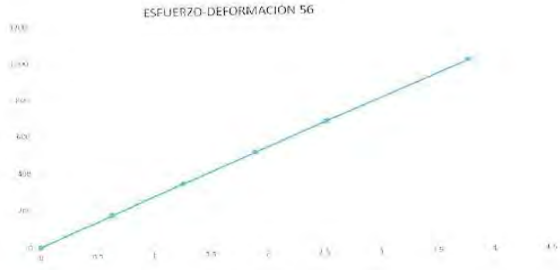
DEFORMACIÓN							
PENETRACIÓN EN PULGADAS	CARGA ESTÁNDAR (lb/in ²)	7 MOLDE		8 MOLDE		9	
		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA	
		LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²
0		0	0	0	0.00	0.00	0.00
0.54		828	178	217.8	72.89	135.98	45.00
1.27		1059	250	438	140.00	270	90.00
1.91		1078	339	482.5	217.30	485	135.00
2.54	1	2108.00	700	676.00	390.00	840.00	180.00
3.21		3168	1050	1308	429.30	910	270.00
4.08	1.8	4389	1400	1740	584.00	1260	350.00
4.95							
7.62	1.9						
10.16	3.3						
12.7	3.6						

P. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO	0
PENETRACIÓN	3

CBR = 70.0

P. DIAL				
L INICIAL		437		
FECHA		7.09	6.89	6.09
1-Jul		1090	1100	1289
3-Jul		1090	1100	1281
4-Jul		1090	1100	1284
% HINCHAMIENTO		0	0	0


 Mag. Ing. Sergio Estrada Obrea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg CIP N° 36996




Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

Anexo L CBR para alternativa D

SEIDING				
DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES				
SUELOS Y PAVIMENTOS				
CBR NORMA ASTM D3080-98				
PROYECTO	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSIÓN EN OBRAS VIALES	Nro de Muestra	M-1	
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI	MATERIAL	AFIRMADO	
SOLICITANTE	DACH MARCIUS SERGIUS ESTRADA RAMÍREZ	CANTERA	SARACOTO	FECHA
ING RESP	ING. SERGIO ESTRADA OBLEA			18/07/2022

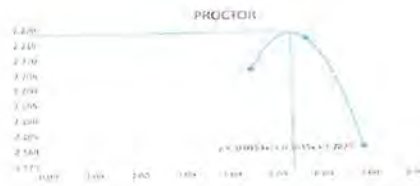
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)				
1	No recipiente		109	107
2	W recipiente	(gr)	16.1	16.62
3	W recipiente sw	(gr)	238.88	201.41
4	W recipiente s	(gr)	238.11	247.31
5	W w1-4	(gr)	3.85	4.1
6	Ww1-2	(gr)	226.01	230.89
7	w : 100*5/6	(%)	1.76	1.78
8	w promedio	(%)		1.76

PROCTOR				
PESO ESPECIFICO (g)				
14	No molde	(cc)	8	
15	V molde	gr	2144	
16	W molde	gr	6188	
17	W molde sw	gr	11220	11210
18	W sw: 17-16	gr	4941	5021
19	g : 18/15	(gr/cc)	2.30	2.34

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)							
20	No recipiente		112	113	114	116	118
21	W recipiente	(gr)	24.38	16.1	16.75	16.88	16.48
22	W recipiente sw	(gr)	289.82	213.69	218.33	227.49	238.04
23	W recipiente s	(gr)	218.25	204.72	207.28	206.71	213.48
24	W w1-23-23	(gr)	6.17	8.92	10.95	11.72	13.45
25	Ww1-23-21	(gr)	197.99	188.63	188.82	209.25	197.04
26	w : 100*24/25	(%)	4.12	4.78	5.74	5.60	6.83
27	w promedio	(%)	4.45		5.67		6.89

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd :100*18/(100+27)	(gr/cc)	3.21
			3.22
			3.16

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	3.22




 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg CIP N° 36996

CBR				1	2	3
No DE ENSAYO				2.00		
PESO ESPECIFICO (g)				887.11		
13	V disco espaciador	(cc)		7	8	8
14	No molde			3228.87	3228.89	3224.83
15	V molde	(cc)		4189.00	4204.00	4218.00
16	W molde	(gr)		8380.00	8044.00	8078.00
17	W molde sw	(gr)		2339.22	2342.88	2347.72
18	V molde efectivo : 18-13	(cc)		66	55	52
19	No golpes por capa : No ⁴ 18/Vc			8180.00	4846.00	4860.00
20	W sw : 17-16	(gr)		2.21	2.07	1.98
21	g : 20/18	(gr/cc)				

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)									
22	No recipiente		110	111	112	113	114	115	
23	W recipiente	(gr)	18.78	16.10	14.38	18.14	18.49	18.47	
24	W recipiente sw	(gr)	219.07	188.15	213.80	200.80	206.18	214.79	
25	W recipiente s	(gr)	209.50	178.27	203.65	201.49	197.32	205.73	
26	W w : 24-25	(gr)	9.17	7.92	9.25	8.71	8.84	9.07	
27	W s : 25-23	(gr)	183.15	162.17	189.30	183.05	180.92	189.23	
28	w : 100*26/27	(%)	4.75	4.55	4.89	4.76	4.88	4.79	
29	w promedio	(%)	4.82			4.82		4.84	

PESO ESPECIFICO SECO (yd)					
30	yd : 100*21/(100+29)	(gr/cc)	2.11	1.97	1.89

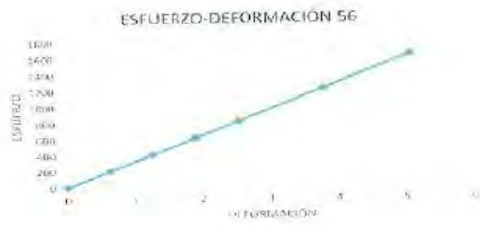
DEFORMACION							
PENETRACION EN PULGADAS	CARGA ESTANDAR (lb/in ²)	MOLDE 7		MOLDE 8		MOLDE 9	
		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA	
		LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²
0		0	0	0	0.00	0.00	0.00
0.64		637.8	212.5	323.5	107.80	216.00	78.00
1.27		1275	425	645	216.00	430	140.00
1.91		1912.5	637.5	967.5	323.60	650	210.00
2.54	1	2550.00	850	1290.00	430.00	840.00	290.00
3.18		3188	1275	1639	540.00	1280	430.00
3.81	1.5	3188	1700	2380	680.00	1680	560.00
6.35							
7.62	1.8						
10.16	2.3						
12.7	2.8						

F. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO	0
PENETRACION	3

CBR	55.0
-----	------

F. DIAL			
L. INICIAL	127		
FECHA	7.00	6.00	6.00
1-Jul	1880	1890	1790
3-Jul	1891	1893	1762
4-Jul	1863	1897	1782
% HINCHAMIENTO	0	0	0


 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996




 Mag. Ing. Sergio Estrada Obledo
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996

Anexo M CBR para alternativa E

SEDIING DIVISION DE ESTUDIOS ESPECIALES SUELOS Y PAVIMENTOS CBR NORMA ASTM D3080-98							
PROYECTO	EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES CON CEMENTO Y EMULSION EN OBRAS VIALES			Nro de Muestra	M-1		
RESPONSABLE	ESPECIALISTA RAFAEL HUAMANI			MATERIAL	AFIRMADO		
SOLICITANTE	BACH. MARIUS SERGIUS ESTRADA RAMIREZ			CANTERA	SARACOTO	FECHA	15/07/2022
ING RESP	ING. SERGIO ESTRADA OBLEA						

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)			
1	No recipiente		
2	W recipiente	(gr)	16.1
3	W recipiente sw	(gr)	329.88
4	W recipiente s	(gr)	325.78
5	W w: 3-4	(gr)	4.22
6	We: 4-2	(gr)	209.66
7	w : 100*5/6	(%)	2.07
8	w promedio	(%)	2.07

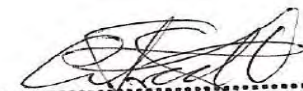
PROCTOR			
PESO ESPECIFICO (g)			
14	No molde	(cc)	5
15	V molde	gr	2944
16	W molde	gr	6189
17	W molde sw	gr	11130
18	W sw: 17-16	gr	4941
19	g : 18/15	(gr/cc)	2.30

CONTENIDO DE HUMEDAD (w)								
20	No recipiente		112	113	114	115	116	117
21	W recipiente	(gr)	14.38	16.1	16.38	16.48	16.83	18.25
22	W recipiente sw	(gr)	228.92	215.98	218.23	237.43	229.84	213.4
23	W recipiente s	(gr)	213.35	204.73	207.25	225.71	213.69	206.57
24	W w: 22-23	(gr)	8.17	8.92	10.95	11.72	13.45	12.83
25	We: 23-21	(gr)	197.99	186.63	190.92	209.25	197.04	184.32
26	w : 100*24/25	(%)	4.13	4.78	5.74	5.60	6.83	6.96
27	w promedio	(%)	4.45		5.67		6.89	

PESO ESPECIFICO SECO (gd)			
28	gd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.21
			2.22
			2.18

OCH	(%)	5.31
gd max	(gr/cc)	2.22




Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

CBR				1	2	3
No DE ENSAYO				2.08		
PESO ESPECIFICO (g)				887.11		
13	V disco espadador		(cc)	7	8	9
14	No molde			3226.33	3229.88	3234.83
15	V molde		(cc)	4189.00	4204.00	4215.00
16	W molde		(gr)	9389.00	9044.00	8879.00
17	W molde sw		(gr)	2339.22	2342.85	2347.72
18	V molde efectiva : 15-13		(cc)	66	35	12
19	No golpes por capa : No*18/Vc			5150.00	4840.00	4660.00
20	W sw : 17-16		(gr)	2.21	2.07	1.98
21	g : 20/15		(gr/cc)			

CONTENIDO DE HUMEDAD ANTES DE SATURAR (w)									
22	No recipiente			110	111	112	113	114	115
23	W recipiente		(gr)	16.75	16.10	14.35	15.14	16.40	16.47
24	W recipiente sw		(gr)	219.07	189.19	212.00	209.90	206.18	214.79
25	W recipiente s		(gr)	208.90	178.27	203.85	201.19	197.32	205.79
26	W w : 24-25		(gr)	9.17	7.92	9.25	8.71	8.84	9.07
27	W s : 25-23		(gr)	193.15	162.17	189.30	183.05	180.92	189.25
28	w : 100*26/27		(%)	4.75	4.88	4.89	4.76	4.89	4.79
29	w promedio		(%)	4.82		4.82		4.84	

PESO ESPECIFICO SECO (γd)						
30	γd : 100*21/(100+29)		(gr/cc)	2.11	1.97	1.89

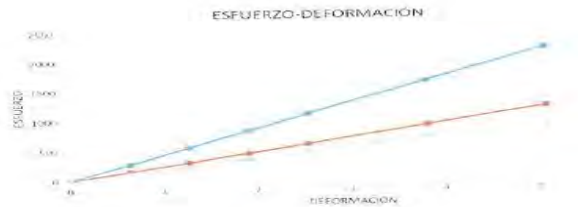
DEFORMACIÓN								
PENETRACIÓN EN PULGADAS	CARGA ESTÁNDAR (lb/in ²)	7 MOLDE		8 MOLDE		9		
		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		CARGA DE PRUEBA		
		LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	LECTURA	Kgf/cm ²	
0		0	0	0	0.00	0.00	0.00	
0.54		828	379	450	150.00	345.00	115.00	
1.27		1950	559	809	300.00	690	230.00	
1.91		2475	825	1150	480.00	1035	345.00	
2.54	1	3300.00	1100	1880.00	800.00	1350.00	480.00	
3.01		4850	1650	2700	900.00	2070	690.00	
3.68	1.5	8800	2208	3800	1200.00	2760	920.00	
6.25								
7.62	1.9							
10.16	2.3							
12.7	2.8							

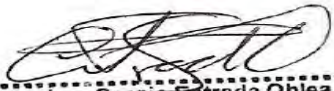
F. DIAL HINCHAMIENTO	
HINCHAMIENTO	
PENETRACIÓN	3

CBR	110.0
-----	-------

F. DIAL				
L. INICIAL	127			
FECHA	7.00	8.00	9.00	
1-Jul	1500	1500	1700	
3-Jul	1504	1503	1702	
4-Jul	1503	1507	1702	
% HINCHAMIENTO	0	0	0	



 Mag. Ing. Sergio Estrada Oblea
 Especialista en Suelos y Pavimentos
 Reg. CIP N° 36996




Mag-Ing. Sergio Estrada Oblea
Especialista en Suelos y Pavimentos
Reg. CIP N° 36996

Anexo N CBR de subrasante



JBF Servicios Especiales de Ingeniería

De: Jesús S. Baltazar Flores / Ing. Civil-Reg. C.I.P. 66670

ASESORIA - CONSTRUCCIÓN - SUPERVISION
CONTROL DE CALIDAD EN PLANTAS DE CONCRETO PREMEZCLADO
LABORATORIO - CONTROL DE CALIDAD EN SUELOS Y CONCRETO
ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION Y PAVIMENTACION

Calicata C - 11: se ubicó en la Av. cuadra 06 Presenta un pavimento flexible de 0.05m. esta estructura se encuentra apoyada sobre suelo conformado por gravas y arenas con un poco de arcilla mal graduada y con una humedad natural de 3.7% color marron oscuro, material de baja plasticidad pertenece en la clasificación SUCS (GP)

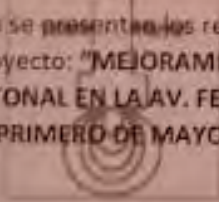
El resultado de CBR de laboratorio, se ha obtenido de la C-1, C-3, C-7 C-9 y C-11 (M-2) Prof. (0.30 a 1.50 m), es de 30 % al 95% de la Máxima Densidad Seca que es de 2.202 gr/cm³ con un Optimo contenido de humedad de 9.12% con estos resultados obtenidos en el Laboratorio de PIASA CONSULTORES SA; nos indica que el terreno de fundación se comporta como una subrasante regular.




5.0 DISEÑO DEL PAVIMENTO

5.1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presentan los resultados correspondientes al diseño de pavimentos del Proyecto: "MEJORAMIENTO DE LA VIA DE TRANSITO VEHICULAR Y PEATONAL EN LA AV. FERROCARRIL TRAMO AV. PLACIDO JIMENEZ A LA AV. PRIMERO DE MAYO, DISTRITO EL AGUSTINO, LIMA - LIMA"




5.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

5.2.1 ESTRUCTURA DE LA VÍA

De acuerdo con las especificaciones del proyecto, las vías tendrán un acabado de carpeta asfáltica en caliente, con lo cual, la estructura de la vía estará conformada por una carpeta asfáltica en caliente, capa de base y una capa de sub- rasante.

El diseño del pavimento flexible se realizó por el Método del Instituto del Asfalto (Versión 1965). Obtenido el valor requerido para la capa de asfalto, se harán las conversiones respectivas para obtener los espesores de las capas de base y sub- rasante, según el método de diseño.



JESÚS S. BALTAZAR FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 66670

Urb. Villa San Francisco 5 - 11 Santa Anita - Lima 43 Telf. 01 340 -4174 Cel. 995 484 944
 Email: jbf_eng@gmail.com