



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COLOCADAS EN VÍAS
DE LA REGIÓN COSTA DEL ECUADOR MEDIANTE PRUEBAS
DE DESEMPEÑO.**

AUTOR:

ANDALUZ JÁCOME, ANDRÉS XAVIER

**Trabajo de Titulación
previo a la Obtención del Título de:**

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Rolando Vila Romani, PhD

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **ANDALUZ JÁCOME ANDRÉS XAVIER**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL**.

TUTOR

Ing. Rolando Vila Romani, PhD

REVISORES

Ing. Gustavo García Caputi

Lcda. Vilma St.Omer Navarro

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas Rossi

Guayaquil, a los 5 días del mes de agosto del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COLOCADAS EN VÍAS DE LA REGIÓN COSTA DEL ECUADOR MEDIANTE PRUEBAS DE DESEMPEÑO**” previa a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 5 días del mes de agosto del año 2013

EL AUTOR

ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación “**ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COLOCADAS EN VÍAS DE LA REGIÓN COSTA DEL ECUADOR MEDIANTE PRUEBAS DE DESEMPEÑO**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de agosto del año 2013

EL AUTOR:

ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco de manera infinita a Dios por haberme guiado por el camino del bien hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Edgar, especialmente a mi MADRE Dora, a mis hermanos Luis y Christel, por haberme dado su fuerza y apoyo incondicional, y sobre todo al personal que trabajan en el laboratorio de carreteras. Por último, y especialmente agradezco a mi director de trabajo de grado, quién me ayudó en todo momento, al Dr. Rolando Vila Romaní.

ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME

DEDICATORIA

A mis padres, y a mis hermanos, con mucho cariño
y esmero les dedico con todo mi empeño
en este trabajo de graduación.

ANDRÉS XAVIER ANDALUZ JÁCOME

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD
TUTOR

Ing. Gustavo García Caputi
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD
TUTOR

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	xiv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problemática actual	4
1.3. Objetivos	4
CAPÍTULO 2: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	5
2.1. Generalidades	5
2.2. Cemento Asfáltico	5
2.3. Agregados Minerales	8
2.4. Propiedades de las mezclas asfálticas	9
2.4.1. Estabilidad	9
2.4.2. Resistencia a deformaciones plásticas	10
2.4.3. Resistencia al deslizamiento	11
2.4.4. Durabilidad	11
2.5. Diseño de mezclas asfálticas	11
2.5.1. Introducción	11
2.5.2. Determinación de la densidad y vacíos	12
2.5.3. Medición de estabilidad y fluencia	18
2.5.4. Resultados y observaciones	20
2.6. Control de Calidad Convencional	21
2.7. Control de Calidad por desempeño	22
CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE VÍAS A ESTUDIAR	23
3.1. Criterios de Selección	23
3.2. Evaluación de los tramos de las vías seleccionadas	24
3.3. Calidad de las mezclas asfálticas en las vías	26
3.3.1. Vía: Progreso – Playas	27
3.3.2. Vía: Progreso – Salinas	29
3.3.3. Vía: Manta – Crucita	31
CAPÍTULO 4: TRABAJO EXPERIMENTAL	33
4.1. Información General	33
4.2. Pruebas Básicas	33
4.2.1. Determinación de las densidades (gravedad específica bruta)	33
4.2.2. Determinación de los porcentajes de vacíos	37
4.3. Pruebas de Desempeño	41
4.3.1. Información General	41
4.3.2. Módulo de Rigidez	42
4.3.2.1. Descripción del ensayo	43
4.3.2.2. Resultados	45
4.3.3. Fatiga	49
4.3.3.1. Descripción del ensayo	50

4.3.3.2. Pasos para el ensayo de fatiga.....	52
4.3.3.3. Resultados.....	53
4.3.4. Prueba de Deformación Plástica (Creep Dinámico)	59
4.3.4.1. Descripción del ensayo.....	59
4.3.4.2. Resultados.....	60
4.4. Análisis de los resultados.....	63
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Módulo de rigidez	2
Figura 1-2: Ensayo de fatiga	2
Figura 1-3: Ensayo creep dinámico	3
Figura 2-1: Comportamiento visco-elástico del asfalto	6
Figura 2-2: Dependencia tiempo – temperatura del cemento asfáltico	7
Figura 2-3: Resistencia a las deformaciones plásticas	10
Figura 2-4: Ilustración del VMA (Vacío en el Agregado Mineral) en una probeta de Mezcla Compactada	17
Figura 2-5: Prueba Marshall de Estabilidad y Flujo	19
Figura 2-6: Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de muestras durante el ensayo Marshall	20
Figura 3-1: Extracción de núcleos en Vía Progreso – Playas	24
Figura 3-2: Vista general de la vía Progreso – Salinas	25
Figura 3-3: Vista general Manta – Crucita (Abscisa 7+400).....	26
Figura 3-4: Curva granulométrica del agregado vía Progreso – Playas.....	28
Figura 3-5: Curva granulométrica del agregado vía Progreso – Salinas.....	30
Figura 3-6: Curva granulométrica del agregado vía Manta – Crucita.....	32
Figura 4-1: Densidades vía Progreso-Playas, diagrama de barras.....	34
Figura 4-2: Densidades vía Progreso-Salinas, diagrama de barras.....	35
Figura 4-3: Densidades vía Manta-Crucita, diagrama de barras.....	36
Figura 4-4: Densidades promedio de cada vía	37
Figura 4-5: Porcentaje de vacíos Progreso – Playas, diagrama de barras ...	38
Figura 4-6: Porcentaje de vacíos Progreso – Salinas, diagrama de barras ..	39
Figura 4-7: Porcentaje de vacíos Manta – Crucita, diagrama de barras	40
Figura 4-8: Porcentajes de vacíos promedio de cada vía	41
Figura 4-9: Plantilla de alineación del LVDT	43
Figura 4-10: Patrón de carga superior	44
Figura 4-11: Dispositivo para la medición de deformación horizontal	44
Figura 4-12: Módulo de rigidez Progreso – Playas, diagrama de barras	46
Figura 4-13: Módulo de rigidez Progreso – Salinas, diagrama de barras	47
Figura 4-14: Módulo de rigidez Manta - Crucita, diagrama de barras	48
Figura 4-15: Módulos promedio de rigidez de cada vía	49
Figura 4-16: Configuración de carga y falla en el ensayo diametral	51
Figura 4-17: Formas de falla de las muestras por fatiga	52
Figura 4-18: Plantilla de alineación – patrón de carga inferior	53
Figura 4-19: Patrón de carga superior	53
Figura 4-20: Diagramas esfuerzo, deformación horizontal versus número de repeticiones (escala logarítmica)	54
Figura 4-21: Gráfico de esfuerzo versus número de repeticiones (ambas en escala logarítmica) de las 3 vías de la región Costa	57
Figura 4-22: Gráfico de deformación versus número de repeticiones (ambas en escala logarítmica) de las 3 vías de la región Costa	58
Figura 4-23: Equipos para el ensayo del creep dinámico	59

Figura 4-24: Porcentajes de deformación permanente de las 3 muestras de cada vía correspondiente.....	61
Figura 4-25: Porcentajes promedios de deformación de cada vía	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Análisis granulométrico del agregado vía Progreso – Playas	27
Tabla 3-2: Análisis granulométrico del agregado vía Progreso – Salinas	29
Tabla 3-3: Análisis granulométrico del agregado vía Manta – Crucita	31
Tabla 4-1: Resultados de las densidades Progreso – Playas	34
Tabla 4-2: Resultados de las densidades Progreso – Salinas	35
Tabla 4-3: Resultados de las densidades Manta – Crucita	36
Tabla 4-4: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Progreso – Playas	38
Tabla 4-5: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Progreso – Salinas	39
Tabla 4-6: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Manta – Crucita	41
Tabla 4-7: Resultados de módulos de rigidez Progreso – Playas	46
Tabla 4-8: Resultados de Módulos de rigidez Progreso – Salinas	47
Tabla 4-9: Resultados de Módulos de rigidez Manta – Crucita	48
Tabla 4-10: Valores de repeticiones, módulos de rigidez y la deformación para cada carga que se sometan a las muestras de cada vía	56
Tabla 4-11: Resultados del ensayo del creep dinámico	60

RESUMEN

En este trabajo el objetivo a cumplir es en relacionar el comportamiento de mezclas asfálticas en diferentes obras, con tiempo de colocación entre 3 y 4 años, y con diferentes niveles de deterioro, a través de los resultados de las pruebas de desempeño: módulo de rigidez, fatiga y deformación plástica, aplicadas a los núcleos que fueron extraídos de los pavimentos correspondientes a vías de la región costa del Ecuador.

Para este trabajo se lo realizó en el Laboratorio de carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, mediante el equipo Nottingham Asphalt Test (NAT) modelo NU-10.

Las vías seleccionadas para este trabajo fueron: Progreso – Playas, Progreso – Salinas y Manta – Crucita, de las cuales se extrajeron 12 núcleos en cada vía.

Las hipótesis que se pretenden lograr para este trabajo son las siguientes:

- Los porcentajes de vacíos de los núcleos de cada vía estén acordes ante las densidades relativas permitidas.
- A partir de las pruebas de desempeño podemos saber si los resultados que se obtienen a través de programas de software, lleguen a cumplirse con las exigencias correspondientes.

Palabras Claves: Mezclas asfálticas, rice, vacíos, módulo de rigidez, fatiga, deformación permanente.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La mezcla asfáltica en caliente es tal vez el principal material de construcción empleado en el país para la construcción y rehabilitación de pavimentos flexibles, conformándose con el mismo las capas más superficiales que soportan directamente la rodadura de los vehículos y por ende están sometidas a las mayores solicitaciones. La calidad de la mezcla junto a la estructuración del pavimento en su conjunto implicará comportamientos variables asociados a ciertas propiedades de la mezcla.

En los últimos años ha tomado auge en el mundo, el estudio y control de estas propiedades mediante las llamadas pruebas reológicas, basadas en un análisis dinámico del comportamiento tensión – deformación, pudiéndose manejar diversas pruebas como: compresión, flexión y tracción.

En la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil existe un equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT) modelo NU-10, que permiten realizar varias pruebas reológicas. El NAT aplica las cargas mediante un sistema neumático con servo-control, midiéndose la fuerza aplicada por el transductor de la celda de carga.

El equipo utiliza una computadora junto con un sistema digital de adquisición de datos y control del sistema que permite desarrollar las distintas pruebas y procesar la información a través de programas específicos.

Con el mismo se pueden realizar diferentes tipos de pruebas: módulos de rigidez bajo deformación o carga controlada, compresión cíclica uniaxial sin confinamiento (Creep dinámico) y pruebas de fatiga bajo dispositivo de tracción indirecta (Figuras 1-1, 1-2 y 1-3).



Figura 1-1: Módulo de rigidez.



Figura 1-2: Ensayo de Fatiga



Figura 1-3: Ensayo creep dinámico

Para la realización de estas pruebas en general se consideran las metodologías dadas por el fabricante del equipo, que coinciden con los del Comité Europeo de Normalización (CEN 2000) respecto a la configuración de cargas y al sistema de medición y control; aunque para el caso de la prueba de compresión cíclica uniaxial la CEN establece cierto confinamiento de la muestra, ya que el plato de carga tiene un diámetro menor que el de la muestra cilíndrica a ensayar.

No obstante a las ventajas de este tipo de equipo, hasta la presente fecha el control de calidad rutinario a las mezclas fabricadas en planta se basa, además del chequeo de componentes, en la comprobación de ciertos parámetros previstos en el diseño Marshall sobre briquetas compactadas con el 100% de la energía de compactación (usualmente 75 golpes/cara).

Los parámetros volumétricos son densidades, porcentaje de vacíos con aire, de vacíos en el agregado mineral y de vacíos rellenos de asfalto, y los

parámetros resistentes, especialmente relacionados con la deformación plástica, son la estabilidad Marshall y el flujo.

Estos dos últimos parámetros son empíricos y de difícil interpretación desde un punto de vista tenso-deformacional. Vale aclarar que para equipo NAT pueden emplearse briquetas tipo Marshall o núcleos convencionales de 10 cm de diámetro, algo beneficioso para este trabajo.

1.2. Problemática Actual

Pese a cumplirse usualmente con este tipo de control rutinario, es muy frecuente ver en el país pavimentos fisurados o deformados a los pocos años de su construcción o rehabilitación, lo que demuestra la insuficiencia de este sistema de control.

Es decir, que existe la necesidad de considerar seriamente la aplicación a gran escala de las pruebas reológicas en el Ecuador, para lo cual tiene sustancial importancia el estudio teórico-práctico de los parámetros relacionados con estas, por lo menos de las que particularmente están a nuestro alcance con el empleo del NAT.

1.3. Objetivos

El objetivo del trabajo es relacionar el comportamiento de mezclas asfálticas en diferentes obras, con tiempo de colocación entre 3 y 4 años, y diferentes niveles de deterioro, con los resultados de pruebas de desempeño: módulo de rigidez, fatiga y deformación plástica, aplicadas a núcleos extraídos de los pavimentos correspondientes en vías de la región costa del Ecuador.

CAPÍTULO 2: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1. Generalidades

La mezcla asfáltica en caliente para pavimentos de carreteras está compuesta por una combinación de agregados y un cemento asfáltico, ambos con calidades muy particulares, cuyas proporciones en la mezcla más la efectividad del proceso de compactación implicarán propiedades que pudiesen ser muy variables. Dentro de las propiedades relacionadas con su comportamiento vale destacar la resistencia a las deformaciones plásticas (ahuellamiento), la resistencia al fisuramiento (fatiga) y el daño ante el agua.

2.2. Cemento Asfáltico

Es un material de construcción que mediante la aplicación del calor disminuye su viscosidad, permitiendo mezclarse con agregados, obteniendo una mezcla cuyas excelentes características han permitido un alto desarrollo tecnológico para su utilización en la ingeniería vial.

Los cementos asfálticos son recomendados para la construcción de carreteras, caminos, autopistas, etc., ya que formando parte de la capa estructural de la vía ofrece propiedades como la impermeabilidad, flexibilidad y sobre todo durabilidad.

En el estudio de los asfaltos es importante considerar la susceptibilidad de la temperatura, es decir que sus características pueden alterarse debido al cambio de temperatura. Es por eso, que todos los ensayos o procedimientos con el empleo de este material especifican una temperatura de prueba fija, de lo contrario no se tendrían resultados fiables.

En general, el ligante asfáltico puede denominarse como un material visco-elástico, ya que presenta propiedades tanto elásticas como viscosas (Figura 2-1). Su comportamiento puede cambiar con el aumento de la temperatura, haciendo que actúe como un fluido muy viscoso (temperaturas mayores de 100°C). Pero si redujéramos la temperatura, por ejemplo: temperatura inferior a 0°C, el cemento asfáltico adquiere un comportamiento de un sólido muy elástico. A una temperatura promedio, ya que es factible para la condición de los pavimentos, el cemento adquiere propiedades tanto de un fluido viscoso como un sólido elástico (EMOP – Q, 1997).

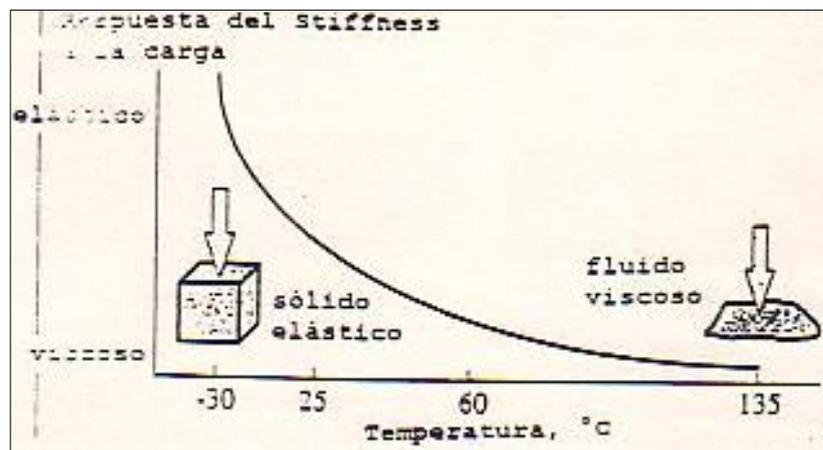


Figura 2-1: Comportamiento visco-elástico del asfalto

Fuente: Taller sobre mezclas asfálticas rígidas, recicladas y micropavimentos. Editorial EMOP-Q, 1997

El ligante asfáltico actúa también en función del tiempo de aplicación de la carga, es decir, no será el mismo comportamiento del asfalto en una mezcla bajo una carga estática de un vehículo estacionado que el que origine un vehículo en movimiento a cierta velocidad.

En resumen, el cemento asfáltico, puede actuar dependiendo de la temperatura y el tiempo de la aplicación de carga, ya que estos parámetros pueden sufrir cambios (Figura 2-2).

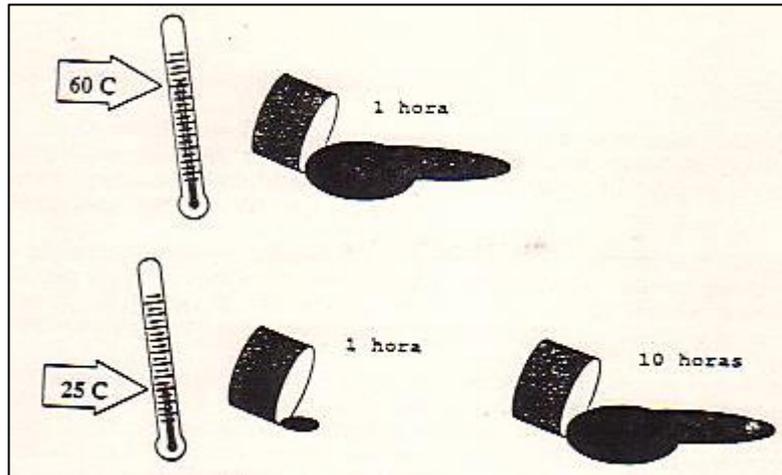


Figura 2-2: Dependencia tiempo – temperatura del cemento asfáltico.

Fuente: Taller sobre mezclas asfálticas rígidas, recicladas y micropavimentos. Editorial EMOP-Q, 1997

Otro fenómeno que puede afectar el comportamiento de los cementos asfálticos es la oxidación. Es decir, que las moléculas orgánicas que lo componen reaccionan con el oxígeno del ambiente, lo que trae como resultado que el ligante asfáltico cambie su estructura y altere su composición molecular.

El efecto de oxidación, se produce de manera rápida cuando aumenta su temperatura. Es aquí donde el cemento asfáltico se endurece cuando se encuentra en proceso de producción, ya que la necesidad para este material es en calentarse, con el fin de que se pueda realizar el mezclado y la compactación. La oxidación en el cemento asfáltico puede llegar a un límite, al momento que se expongan ante climas cálidos y sobre todo desérticos.

2.3. Agregados Minerales

El agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, se trata de cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentadas, que forma parte del pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Típicamente comprenden arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. Los agregados constituyen entre el 90% y 95% del peso, y entre el 75% y 85% del volumen de la mayoría de las mezclas asfálticas para pavimentos. El comportamiento de las mezclas se ve muy influenciado ante la selección apropiada del agregado, esto se debe a que el mismo proporciona gran parte de las características de su capacidad portante (Asphalt Institute, 2002).

Los agregados que son usados para el pavimento se pueden clasificar de acuerdo a su origen, en:

- Agregados Naturales
- Agregados Procesados
- Agregados Sintéticos

Para un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma del 90 al 95% de su peso. Lo que esto hace es que la calidad del agregado usado sea un factor límite en el comportamiento del pavimento (Asphalt Institute, 2002).

Además de la calidad, se aplican otras formas de selección de un agregado para una obra de pavimentación, lo cual incluye el costo y la disponibilidad del agregado.

Al momento que se cumplan con los objetivos de costo y disponibilidad deberá tener también ciertas propiedades que pueda ser considerado como apropiado para un pavimento asfáltico de una excelente calidad. Las propiedades que deben tener el agregado son:

- ✓ Graduación y tamaño máximo de partícula
- ✓ Limpieza
- ✓ Dureza
- ✓ Forma de partícula
- ✓ Textura de la superficie
- ✓ Capacidad de absorción
- ✓ Afinidad con el asfalto
- ✓ Peso específico

2.4. Propiedades de las Mezclas Asfálticas

En general, estas pueden resumirse en:

2.4.1. Estabilidad.

La capacidad de poder soportar el paso de las cargas y de resistir tensiones, las cuales se producen por deformaciones tolerables, se lo denomina “Estabilidad”.

Se suelen comprobar esta propiedad mediante ensayos empíricos, entre los principales se encuentran: Marshall, Hveem y Hubbard-Field.

La mezcla asfáltica tiene mayor estabilidad a medida que el valor de las cargas sea mayor a la que se pueda soportar. Por lo tanto, estas mezclas asfálticas pueden llegar a ser insuficientemente estables para un uso determinado.

Hay que tener en cuenta que, cualquier ensayo que se aplique, las curvas que revelan la variación de la estabilidad y el porcentaje de cemento asfáltico, tienden a llegar a un máximo. Es decir, que a medida que inicie el aumento del porcentaje del cemento asfáltico, debe aumentar la estabilidad en base al incremento de la cohesión de esta mezcla. No obstante, existe un

punto a partir del cual, la curva de estabilidad empieza a caerse, esto se debe que hay exceso del cemento asfáltico y reducción de su rozamiento interno (EMOP-Q, 1997).

En conclusión, el contenido del cemento asfáltico es uno de los factores que implican en la estabilidad de la mezcla asfáltica, aunque hay otros factores que influyen como la angularidad y caras fracturadas del árido, tamaño, etc.

2.4.2. Resistencia a deformaciones plásticas.

Esta propiedad es importante considerarla ya que debido al comportamiento visco-elástico del material asfáltico, el paso de las cargas vehiculares en condiciones de elevadas temperaturas o de menores velocidades puede producirse deformaciones en la mezcla.

Este fenómeno, tiende a manifestarse de forma típica en las llamadas “roderas”, que son deformaciones en el sentido longitudinal que pueden llegar a formarse en las zonas de rodada de los transportes pesados (Kreaper & Del Val, 1993). (Figura 2-3).

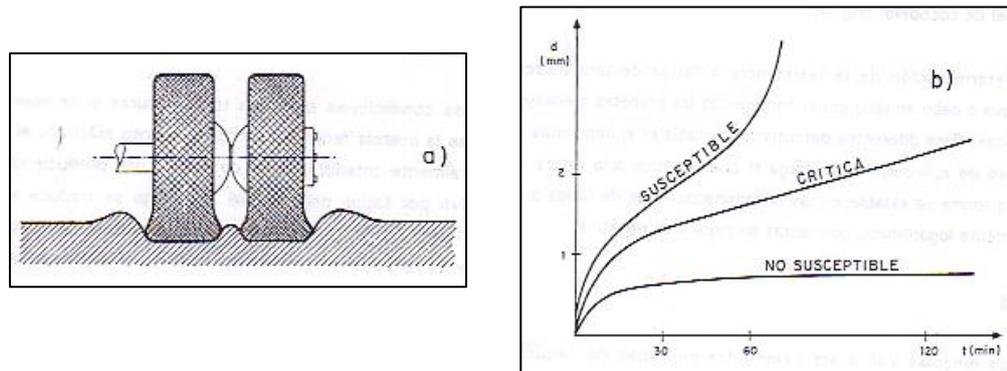


Figura 2-3: Resistencia a las deformaciones plásticas: a) Roderas
b) Curvas de evaluación.

Fuente: Kraemer, C.; Del Val, M. A. Firmes y Pavimentos. Madrid, 1993.

2.4.3. Resistencia al deslizamiento.

Las mezclas que se emplean en capas de rodadura deben aportar una resistencia ante el deslizamiento, y que puedan mantenerse por mucho tiempo. Si se trata de carreteras con un mucha influencia de tráfico, los áridos que se van a emplear adquieren un alto coeficiente de pulido y que la macrotextura de la mezcla en obras sea áspera, pero no demasiado ruidosa.

2.4.4. Durabilidad.

Existen factores que pueden afectar la durabilidad de la mezcla asfáltica, que son:

- ✓ Radiación solar.
- ✓ Oxidación del cemento asfáltico por efecto del aire y el agua.
- ✓ Derrame de aceites y combustibles.

El fenómeno llamado “envejecimiento” de las mezclas asfálticas puede llegar a ser muy complejo, ya que sus causas son varias, las cuales pueden ser irreversibles.

La durabilidad se pone de manifiesto debido a sus microfisuras, migración del cemento, entre otros. De esta forma pueden producir baches, peladuras, calles averrugadas, etc.

2.5. Diseño de mezclas asfálticas

2.5.1. Introducción

Para el diseño de mezclas asfálticas en pavimentos, existen varios métodos de diseño, pero el más común y para realizar este proyecto, se va usar el método Marshall. Este concepto fue desarrollado por Bruce Marshall, ex Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras de Mississippi.

Para este método, sólo se va aplicar a mezclas asfálticas en caliente, de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado por la viscosidad o penetración y que contengan agregados con tamaños máximos de hasta 25 mm. El método Marshall puede ser usado para el diseño de mezclas asfálticas en laboratorio, o para su debido control de campo.

Los dos parámetros más relevantes para el diseño de mezclas asfálticas por Método Marshall son: Análisis de la relación densidad - vacíos, y las pruebas de estabilidad y flujo de muestras compactadas.

En nuestro caso en particular se trabajó con núcleos extraídos de tres vías de la región costa, cuyas muestras fueron diseñadas por el método Marshall.

2.5.2. Determinación de la densidad y vacíos

Análisis de las Densidades

Descripción.

- 1) Lo primero que se debe hacer es pesar mediante una balanza ya sea manual o electrónica, obteniendo así el **Peso Seco**.
- 2) Luego, se procede la inmersión de la muestra en el agua, mediante un reservorio, dejarle suspendido la muestra para luego pesarla, obteniendo así el **Peso Saturado**.
- 3) Lo siguiente es secarla, de manera parcial mediante un papel absorbente, y luego, se pasa a la balanza para medir su peso, y de esa manera obtenemos el **Peso Saturado Superficialmente Seco**, lo cual debe ser un poco mayor al Peso Seco.

Para los cálculos de las densidades, debemos primeramente calcular el volumen mediante la ecuación (2.1):

$$Volumen = \text{Peso Superficialmente Seco} - \text{Peso Saturado} \quad (2.1)$$

Para obtener la densidad de cada muestra se lo obtiene mediante la ecuación (2.2):

$$Densidad = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \quad (2.2)$$

Donde "Volumen" está representado por la ecuación (2.1).

Análisis de Vacíos

Los vacíos son pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas del agregado revestidas en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan algún porcentaje de vacíos para poder permitir una compactación adicional y proporcionar espacios de tal manera pueda fluir el asfalto durante la compactación adicional. La durabilidad del pavimento asfáltico está en función del contenido de vacíos, esto se debe a que menor cantidad de vacíos tenga, la permeabilidad de la mezcla asfáltica va a ser menor. Sin embargo, al encontrar un mayor contenido de vacíos puede ser perjudicial, ya que puede filtrarse agua y aire llegando a deteriorarse (Asphalt Institute, 2002).

Descripción de la Prueba Rice.

Equipos:

- ✓ **Picnómetro de Vacío:** Ya sea de metal o de plástico con un diámetro de aproximadamente 180 a 260 mm y de una altura de por lo menos 160 mm. Estará equipado con una tapa transparente con empaquetadura de goma y una conexión para la línea de vacío.

- ✓ **Balanza:** Con una precisión de 0.1 gr y conforme a los requerimientos de la especificación ASTM D 4753.
- ✓ **Bomba de vacío:** Capaz de evacuar el aire desde el contenedor de vacío a una presión residual de 4 kPa (0.04 kgf/cm²) o inferiores a esta presión.
- ✓ **Manómetro o Indicador de vacíos:** Adecuado para medir el vacío. Este dispositivo puede ser conectado directamente a la fuente de vacío.
- ✓ **Manómetro de presión residual:** Se utiliza para la confirmación de la presión que se aplican al recipiente y que será capaz de medir la presión residual de 4kPa o menos.
- ✓ **Termómetro:** Calibrado, de vidrio, de rango adecuado y con subdivisiones de escala máxima de error de 0.5°C. Los termómetros se usarán de acuerdo a la especificación ASTM E 1.
- ✓ **Válvula de vacío:** Para facilitar el ajuste de vacío que se aplican al picnómetro con la muestra.
- ✓ **Dispositivo de agitación mecánica:** Capaz de aplicar una suave y constante agitación de la muestra. Este dispositivo estará equipado con un medio de anclaje firmemente al picnómetro de vacío para que no se mueva en la superficie del dispositivo.
- ✓ **Horno:** Capaz de mantener una temperatura constante de 110°C.
- ✓ Muestras de ensayo de las 3 vías seleccionadas.

Procedimiento

- ✓ Calibración de los recipientes: si se utiliza el picnómetro para el pesaje en el aire, hay que determinar adecuadamente el peso del agua requerido para llenar a una temperatura de 25°C, lo cual debe asegurarse mediante el uso de una placa de vidrio que sirva de cubierta y pesarlo (PESO PICNÓMETRO + AGUA).

- ✓ Separar las partículas de la muestra a mano teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales.
- ✓ Enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- ✓ Pesar el recipiente con la muestra y designar un peso neto (PESO MEZCLA SUELTA).
- ✓ Agregar suficiente agua a una temperatura de 25°C, para cubrir la muestra completamente.
- ✓ Colocar la tapa en el picnómetro de vacío.
- ✓ Colocar el picnómetro de vacío con la muestra y el agua, en el dispositivo de agitación mecánica.
- ✓ Remueva el aire atrapado en la muestra, aumentando gradualmente la presión de vacío hasta que el manómetro de presión marque 4 kPa durante un período de 15 minutos.
- ✓ Agitar el picnómetro de vacío con el contenido ya sea continuamente mediante el dispositivo mecánico a intervalos de alrededor de 2 minutos.
- ✓ El vacío puede aplicarse y disminuirse gradualmente empleando la válvula de vacío.
- ✓ Inmediatamente, luego de remover el aire atrapado, se va a proceder lo siguiente:
 - Peso en el aire. Para esto, llenar lentamente el picnómetro de vacío tratando de no introducir aire en la muestra.

- Medir y registrar la temperatura del agua en el picnómetro de vacío.
- Retirar el termómetro, llenar totalmente el picnómetro utilizado y cubrir con la placa de vidrio teniendo cuidado de no atrapar el aire por debajo de la placa.
- Eliminar cualquier humedad del exterior del picnómetro de vacío y de la placa.
- Determine la masa del picnómetro de vacío más la placa y sus contenidos completamente lleno de agua, y designar un peso llamado PESO PICNÓMETRO + AGUA + MATERIAL.

Datos del ensayo del Rice

Para la obtención del RICE, se debe de usar la siguiente ecuación (2.3):

$$RICE = \frac{C}{A - (B - C)} \quad (2.3)$$

Donde:

A = PESO PICNÓMETRO + AGUA (gr)

B = PESO PICNÓMETRO + AGUA + MATERIAL (gr)

C = PESO DE LA MEZCLA SUELTA (gr)

Cálculo del porcentaje de vacíos de las muestras asfálticas.

Para calcular el porcentaje de vacíos de una mezcla asfáltica compactada se debe de emplear mediante la siguiente ecuación (2.4):

$$\%Vacíos = 100 * \left(\frac{RICE - DENSIDAD\ BULK}{RICE} \right) \quad (2.4)$$

Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Asphalt Institute (2002), el VMA se define como los espacios de aire que existen entre las partículas de los agregados en una mezcla compactada, incluyendo los espacios llenos de asfalto (Figura 2-4).

El VMA representa un espacio para poder acomodar el volumen del asfalto y el volumen de vacíos en la mezcla. Mayor sea el VMA, habrá más espacio para las películas de asfalto, aunque también existen valores menores de VMA, los mismos están recomendados y especificados en función del tamaño del agregado de la mezcla.

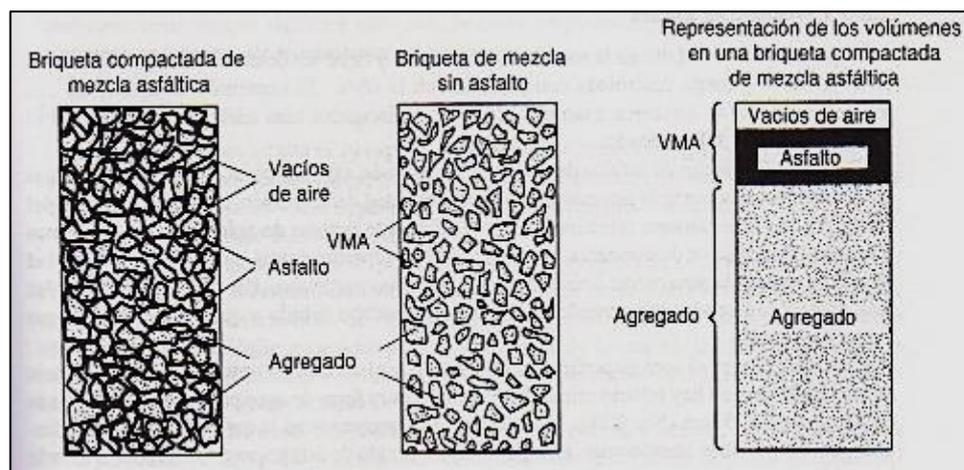


Figura 2-4: Ilustración del VMA (Vacío en el Agregado Mineral) en una probeta de Mezcla Compactada.

Fuente: Asphalt Institute. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. MS-22

El VMA se calcula mediante la ecuación (2.5):

$$VMA(\%) = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \quad (2.5)$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral, en %

G_{sb} : Gravedad específica del total de agregado.

G_{mb} : Gravedad específica de las briquetas.

P_s : Porcentaje de agregados.

Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Para Asphalt Institute (2002), VFA se refiere al porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (análisis VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El análisis VFA se la calcula al restar los vacíos de aire por el VMA, y luego dividiendo por el VMA, de esa manera su valor final será expresado como porcentaje, como se indica en la ecuación (2.6):

$$VFA = \frac{VMA - \%vacíos}{VMA} \quad (2.6)$$

Donde:

VFA: Volumen llenos de asfalto, en %.

%vacíos: Porcentaje de vacíos, dada en la ecuación (2.4).

VMA: Vacíos en el agregado mineral, dada en la ecuación (2.5).

2.5.3. Medición de estabilidad y fluencia

Este proceso se lo hace de la siguiente manera:

- 1) Las muestras son calentadas en un baño de agua a una temperatura de 60°C, lo cual representa de manera normal, la temperatura más caliente para un pavimento en servicio.
- 2) Estas muestras son removidas del baño, para luego secarlos y ser colocados rápidamente en el equipo Marshall, el mismo que consiste en un dispositivo que se aplica bajo una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y de deformaciones (fluencia).
- 3) La carga debe estar aplicada a la probeta bajo una velocidad constante de 51 mm/min, de tal manera que la muestra llegue a fallar.

Es decir, que la falla depende de la máxima carga que pueda resistir la probeta.

- 4) Esa falla se registra como valor de estabilidad Marshall y luego la lectura de la deformación se registraría como Fluencia.

Valor de Estabilidad Marshall

Es una medida de carga bajo la cual la probeta se ceda o falla totalmente. Es decir, que durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se van acercando, y la carga que se someta a la briqueta, va aumentando, así como aumenta la lectura de deformación (Figura 2-5). Finalmente se suspende la carga, en el momento que la carga haya llegado al valor máximo, el mismo que indica el Valor de Estabilidad Marshall (Asphalt Institute, 2002).



Figura 2-5: Prueba Marshall de Estabilidad y Flujo.

Valor de fluencia Marshall

El valor de la fluencia está medido en centésimas de pulgada, representado por la deformación de la muestra. La deformación está indicada debido a la disminución en el diámetro vertical de la muestra.

2.5.4. Resultados y observaciones

Los resultados obtenidos de variar el contenido de asfalto en la mezcla se suelen representar mediante gráficas, como la mostrada a continuación (Figura 2-6).

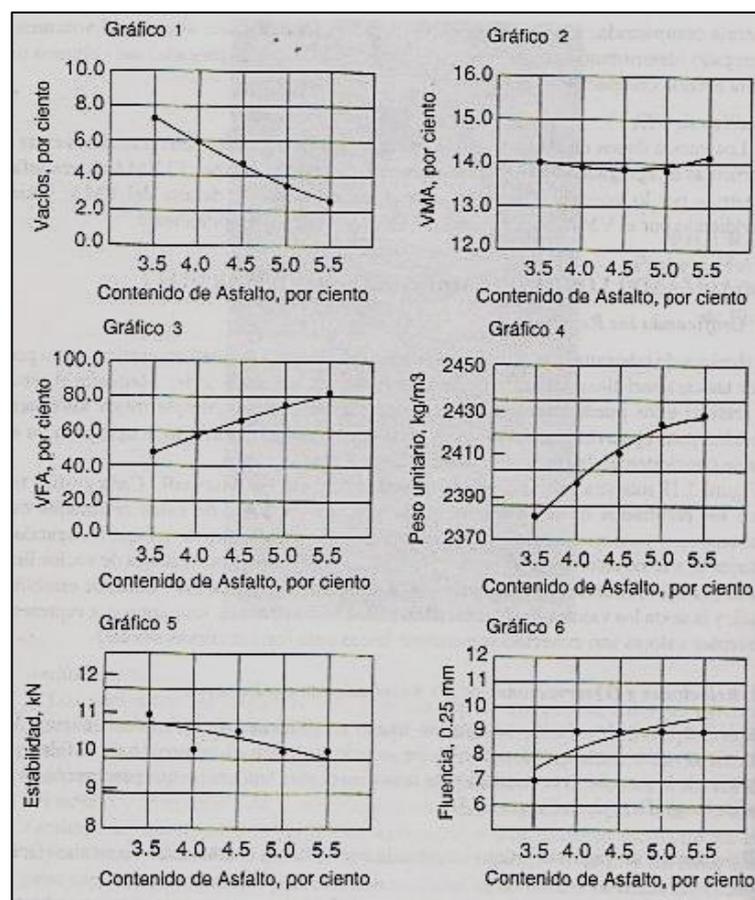


Figura 2-6: Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de muestras durante el ensayo Marshall.

Fuente: Asphalt Institute. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. MS-22

A partir de estas gráficas se determina el contenido óptimo de asfalto para la producción de la mezcla en planta. Para ello se deberá considerar:

- ✓ La determinación del contenido de asfalto correspondiente al porcentaje de vacíos de 4%
- ✓ Chequear las magnitudes de las restantes propiedades para dicho contenido de asfalto y compararlas con los criterios de diseño. Si se llegan a cumplirse el contenido de asfalto será el de diseño, caso contrario será necesario reajustar o volver a diseñar la mezcla.

2.6. Control de Calidad Convencional.

El control de calidad convencional y su aseguramiento se limitan principalmente a:

- ✓ La verificación de la composición de la mezcla (parámetros volumétricos).
- ✓ Chequeo de la estabilidad y flujo Marshall (parámetros resistentes).
- ✓ Control de la densidad de la mezcla compactada.

Hay que recalcar un punto importante en relación al control de calidad de las mezclas asfálticas, para este tipo de control existente responde negativamente a una pregunta esencial:

¿La mezcla asfáltica colocada tendrá las propiedades necesarias para resistir el número e intensidad de las repeticiones de carga por rueda bajo las condiciones climáticas existentes?

No, en este caso vamos a enfocar al Control de Calidad por Desempeño, que se indicará en la sección siguiente.

2.7. Control de Calidad por desempeño

Los aspectos básicos a considerar en un sistema de control de calidad por desempeño son:

- ✓ Propiedades específicas a considerar en los diseños (y su control posterior) de mezclas asfálticas relacionadas con su desempeño.
- ✓ Tecnología o pruebas disponibles para evaluar dichas propiedades.
- ✓ Valores a exigir a los parámetros medidos.

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN DE VÍAS A ESTUDIAR

3.1. Criterios de Selección

Para el estudio se decidió trabajar con núcleos de carpeta asfáltica extraídos en 3 vías de la región costa, con tiempo de colocación entre 3 y 4 años, y con diferentes niveles de deterioros: bajo, regular y alto.

Si bien dichas mezclas se construyeron con diferentes agregados y similar tipo de asfalto (AC-20 de la Refinería de Esmeraldas), en todos los casos se debieron cumplir las exigencias de calidad del MTOP 2002 para los diferentes materiales.

Con el tiempo de colocación establecido, en el cual las características de endurecimiento o envejecimiento del cemento asfáltico tienden a estabilizarse, se pretende buscar un factor común que permita considerar que si va el daño acumulado del pavimento solo sea representativo el efecto del paso de las cargas, no la variación de la rigidez de la mezcla provocado por el mayor o menor número de años transcurrido desde su colocación.

Se extrajeron 12 núcleos de cada vía, tomados en una misma banda de pavimentación, lo que normalmente coincide con el ancho de un carril, espaciado cada 5 metros de manera aproximada.

Esta concentración nos permite extraer los núcleos en una longitud de 60 metros, lo que garantiza que la mezcla analizada sea uniforme ya que procede de la misma volqueta de transportación o, en el peor de los casos, de dos volquetas contiguas.

3.2. Evaluación de los tramos de las vías estudiados

En general, se seleccionaron las siguientes vías:

- ✓ Progreso – Playas, con 4 carriles, se barrenó el carril exterior de la calzada derecha, en el tramo 2+100 a 2+200. El estado de la sección es bueno, con menos del 5% de fisuras de piel de cocodrilo de severidad baja o media. No hay evidencias de deformaciones permanentes (Figura 3-1).

Las muestras ensayadas corresponden a los 5 cm de la capa de rodadura, ya que en general bajo la misma se encontraba una base asfáltica de 12 cm.



Figura 3-1: Extracción de núcleos en Vía Progreso – Playas

- ✓ Progreso – Salinas (Buenos Aires), con 4 carriles, se barrenó el carril exterior de la calzada izquierda, en el tramo 8+700 a 8+800. El estado de la sección es regular, con aproximadamente un 15 a 20% de

fisuras de piel de cocodrilo de severidad baja o media. Hay sectores con tendencias al ahuellamiento, de severidad baja (Figura 3-2).

Las muestras ensayadas corresponden a los 5 cm de la capa de rodadura, ya que en general bajo la misma se encuentran varias capas asfálticas colocadas en diferentes épocas, con un espesor total de 18,5 cm.



Figura 3-2: Vista general de la vía Progreso-Salinas

- ✓ Manta – Crucita, con 2 carriles, se barrenó el carril derecho en el tramo 7+400 a 7+500. El estado de la sección es malo, con aproximadamente un 50% de la superficie con signos de peladuras (desmoronamiento e intemperismo) de severidad baja, además de fisuras longitudinales en un 10 a 15% de su área con severidad baja y media, que pueden significar piel de cocodrilo en fase de desarrollo. No hay evidencias de deformaciones permanentes (Figura 3-3).

Las muestras ensayadas corresponden a los 5 cm superiores de una capa de rodadura única con un espesor total de 10 cm.



Figura 3-3: Vista general Manta – Crucita (Abscisa 7+400)

3.3. Calidad de las mezclas asfálticas en las vías

Esta se determinó a partir de pruebas de laboratorio realizadas a mezclas procedentes de 5 núcleos de cada vía, los cuales fueron calentados, desmenuzados, cuarteados y procesados de acuerdo a las pruebas en particular. Dichas pruebas son: extracción de asfalto, granulometría y Rice. Precisamente con los resultados de la prueba Rice se pudieron determinar los porcentajes de huecos.

3.3.1. VÍA: PROGRESO – PLAYAS

Prueba de extracción del asfalto

W ₁ : Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr):	1000,00
F ₁ : Peso del filtro antes de la extracción (gr):	8,20
W ₂ : Contenido de Humedad (gr):	0,00
W _{3A} : Peso del agregado lavado en centrífuga (gr):	930,00
F ₂ : Peso del filtro después de la extracción (gr):	10,50
W _{3B} : F ₂ – F ₁ (gr)	2,30
W ₃ : Peso agregado incluyendo filtro (gr) (W ₃ =W _{3A} +W _{3B})	932,30
W ₄ : Peso del material mineral en extracto (gr):	3,50
% de Asfalto (ver ecuación 3.1):	6,42

$$\% \text{ de Asfalto} = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{(W_1 - W_2)} \quad (3.1)$$

Chequeo granulométrico en agregados extraídos.

Para la vía Progreso – Playas, la Tabla 3-1 se detalla la granulometría de los agregados por medio de tamices y la Figura 3-4 se interpreta a través de la curva granulométrica, cumpliendo así con las especificaciones de acuerdo al MOP 2002 en relación al porcentaje de pasado acumulado de los agregados.

Tabla 3-1: Análisis granulométrico del agregado vía Progreso-Playas

ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	12,70	0,0	0,0	100,0	90	100
# 4	4,75	360,0	38,6	61,4	44	74
# 8	2,36	533,0	57,2	42,8	28	58
# 50	0,30	800,0	85,8	14,2	5	21
# 200	0,10	900,0	96,5	3,5	2	10
FONDO	FONDO	932,3				

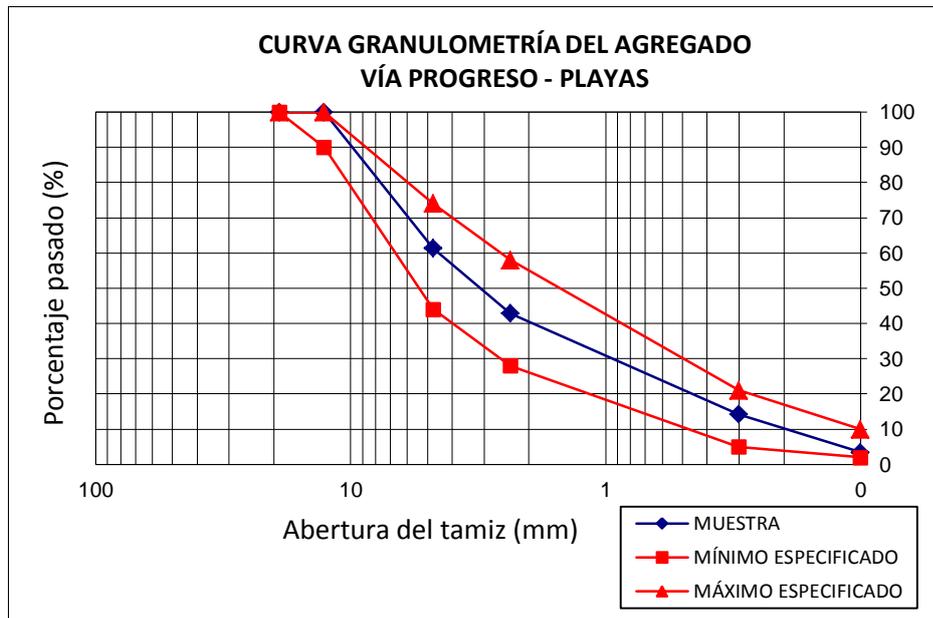


Figura 3-4: Curva granulométrica del agregado vía Progreso-Playas

Ensayo RICE.

A: Peso del frasco + Agua (gr):	3094,00
B: Peso del frasco + Agua + Material (gr):	3717,00
C: Peso de la mezcla suelta (gr):	1000,00

RICE, su fórmula se lo puede observar en la ecuación (4.3) :

$$RICE = \frac{C}{A - (B - C)} \quad (4.3)$$

RICE:

2,653

3.3.2. VÍA: PROGRESO – SALINAS

Prueba de extracción del asfalto

W ₁ : Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr):	1000,00
F ₁ : Peso del filtro antes de la extracción (gr):	8,60
W ₂ : Contenido de Humedad (gr):	0,00
W _{3A} : Peso del agregado lavado en centrífuga (gr):	930,00
F ₂ : Peso del filtro después de la extracción (gr):	10,50
W _{3B} : F ₂ – F ₁ (gr)	1,90
W ₃ : Peso agregado incluyendo filtro (gr) (W ₃ =W _{3A} +W _{3B})	931,90
W ₄ : Peso del material mineral en extracto (gr):	3,50
% de Asfalto (ver ecuación 3.1):	6,46

Chequeo granulométrico en agregados extraídos.

Para la vía Progreso – Salinas, la Tabla 3-2 se detalla la granulometría de los agregados por medio de tamices y la Figura 3-5 se interpreta a través de la curva granulométrica, cumpliendo así con las especificaciones de acuerdo al MOP 2002 en relación al porcentaje de pasado acumulado de los agregados.

Tabla 3-2: Análisis granulométrico del agregado vía Progreso – Salinas

ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	12,70	53,0	5,7	94,3	90	100
# 4	4,75	427,0	45,8	54,2	44	74
# 8	2,36	561,0	60,2	39,8	28	58
# 50	0,30	790,0	84,8	15,2	5	21
# 200	0,10	909,0	97,5	2,5	2	10
FONDO	FONDO	931,9				

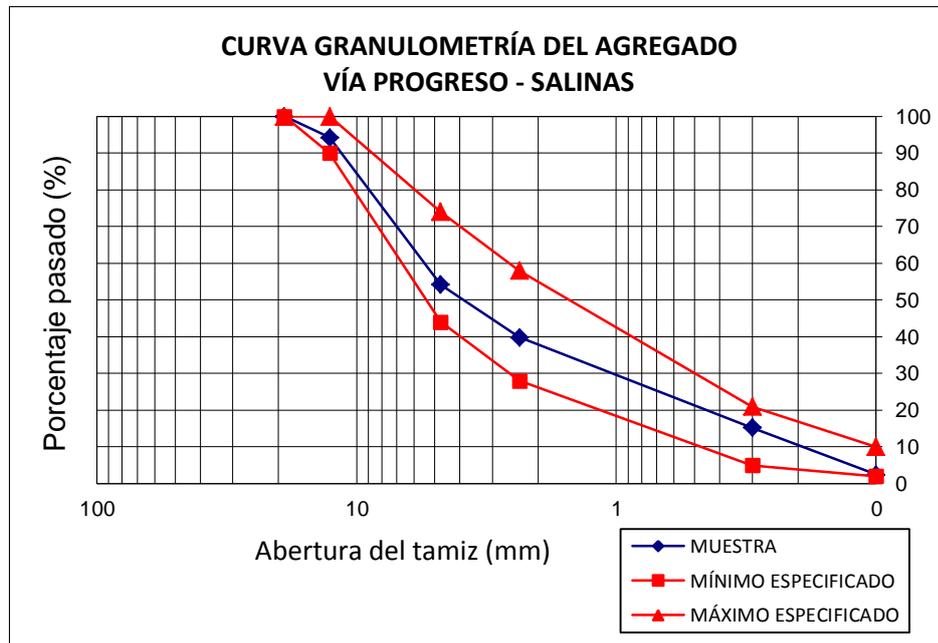


Figura 3-5: Curva granulométrica del agregado vía Progreso-Salinas

Ensayo RICE.

A: Peso del frasco + Agua (gr):	3094,00
B: Peso del frasco + Agua + Material (gr):	3703,00
C: Peso de la mezcla suelta (gr):	1000,00
RICE:	2,558

3.3.3. VÍA: MANTA - CRUCITA

Prueba de extracción del asfalto

W ₁ : Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr):	1000,00
F ₁ : Peso del filtro antes de la extracción (gr):	8,60
W ₂ : Contenido de Humedad (gr):	0,00
W _{3A} : Peso del agregado lavado en centrífuga (gr):	932,00
F ₂ : Peso del filtro después de la extracción (gr):	10,30
W _{3B} : F ₂ – F ₁ (gr)	1,70
W ₃ : Peso agregado incluyendo filtro (gr) (W ₃ =W _{3A} +W _{3B})	933,70
W ₄ : Peso del material mineral en extracto (gr):	3,50
% de Asfalto (ver ecuación 3.1):	6,28

Chequeo granulométrico en agregados extraídos.

Para la vía Manta - Crucita, la tabla 3-3 se detalla la granulometría de los agregados por medio de tamices y la figura 3-3 se interpreta a través de la curva granulométrica, cumpliendo así con las especificaciones de acuerdo al MOP 2002 en relación al porcentaje de pasado acumulado de los agregados.

Tabla 3-3: Análisis granulométrico del agregado vía Manta - Crucita

ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	10,0	1,1	98,9	100	100
1/2"	12,70	85,0	9,1	90,9	90	100
# 4	4,75	360,0	38,6	61,4	44	74
# 8	2,36	546,0	58,5	41,5	28	58
# 50	0,30	815,0	87,3	12,7	5	21
# 200	0,10	904,0	96,8	3,2	2	10
FONDO	FONDO	933,7				

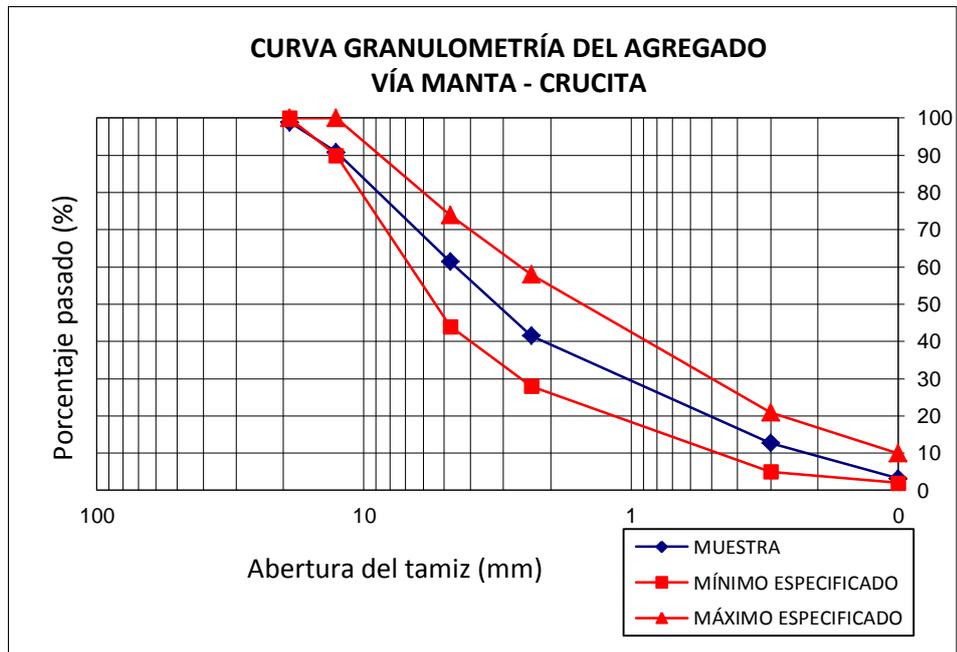


Figura 3-6: Curva granulométrica del agregado vía Manta – Crucita

Ensayo RICE.

A: Peso del frasco + Agua (gr):	3094,00
B: Peso del frasco + Agua + Material (gr):	3665,00
C: Peso de la mezcla suelta (gr):	1000,00
RICE:	2,331

CAPÍTULO 4: TRABAJO EXPERIMENTAL

4.1. Información General

Este trabajo se va a enfocar a dos pruebas relevantes que son:

- Pruebas Básicas: Consiste en determinar las pruebas de densidad de las muestras asfálticas y determinar el porcentaje de vacíos.
- Pruebas de Desempeño: Módulo de Rigidez, Fatiga y Deformación plástica (Creep Dinámico).

4.2. Pruebas Básicas

Las pruebas básicas que se van a enfocar al estudio de las mezclas asfálticas de las vías de la costa ecuatoriana son: la densidad y el porcentaje de vacíos.

4.2.1. Determinación de las densidades (gravedad específica bruta)

A continuación en las Tablas 4-1, 4-2 y 4-3, se registraron las densidades de los 12 núcleos de cada vía. Para sus cálculos se describen lo siguiente:

- ✓ Para el promedio de las 12 densidades, se obtiene al sumar todos sus valores y dividiendo para el número de muestras que se está ensayando.
- ✓ La desviación estándar se lo puede obtener mediante un programa de Excel como único dato la fila de las densidades.
- ✓ Para el cálculo del coeficiente de variación, se lo obtiene al dividir la desviación estándar para el promedio de las densidades de cada vía.
- ✓ Se interpretaron los resultados mediante un diagrama de barras de tal forma se pueda mostrar las variaciones de las densidades de cada muestra.

Tabla 4-1: Resultados de las densidades Progreso - Playas

NÚMERO	MUESTRA	PESO AIRE Pa (gr)	P. AGUA Pag (gr)	SUP. SECA Psss (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)
1	1 - PP	1090,8	662,7	1090,9	2,547
2	2 - PP	1048,9	636,1	1049,2	2,539
3	3 - PP	1070,5	651,5	1071	2,552
4	4 - PP	1062,7	644,6	1063	2,540
5	5 - PP	1074,3	653,9	1075	2,551
6	6 - PP	1034,2	625,3	1035,3	2,522
7	7 - PP	1041,7	631,7	1042,2	2,538
8	8 - PP	1026,3	624,6	1026,6	2,553
9	9 - PP	1075,7	650,7	1075,8	2,530
10	10 - PP	1084	659,9	1084,3	2,554
11	11 - PP	1021,4	619,5	1021,7	2,540
12	12 - PP	1076,7	645,6	1077,2	2,495

PROMEDIO	2,538
DESV. ESTÁNDAR	0,017
COEF. VARIACIÓN (%)	0,66

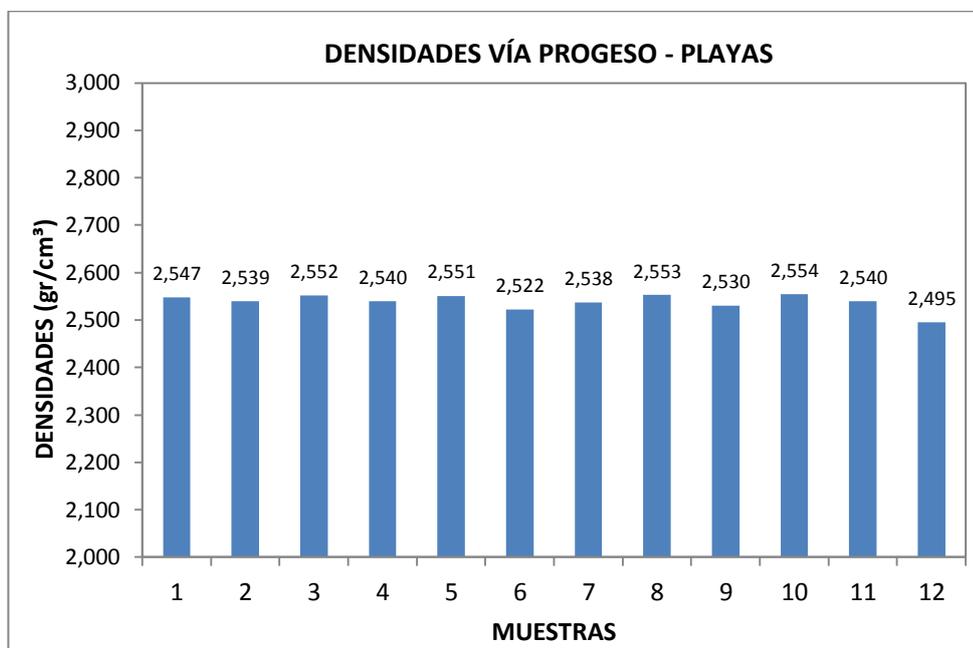


Figura 4-1: Densidades vía Progreso-Playas, diagrama de barras

Tabla 4-2: Resultados de las densidades Progreso - Salinas

NÚMERO	MUESTRA	PESO AIRE Pa (gr)	P. AGUA Pag (gr)	SUP. SECA Psss (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)
1	1 - PS	860,9	507,8	861,2	2,436
2	2 - PS	910,2	536,4	912,9	2,418
3	3 - PS	820,9	482,8	821	2,427
4	4 - PS	898,6	529,2	898,7	2,432
5	5 - PS	963,7	564,4	964,2	2,410
6	6 - PS	1036	606,2	1036,2	2,409
7	7 - PS	925,9	542,5	926,2	2,413
8	8 - PS	890,9	522,2	892	2,409
9	9 - PS	1048	613,6	1048,1	2,412
10	10 - PS	832,2	488,2	832,4	2,418
11	11 - PS	962,3	567	962,4	2,434
12	12 - PS	1010,2	593,1	1010,4	2,421

PROMEDIO	2,420
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,010
COEF. VARIACIÓN (%)	0,41

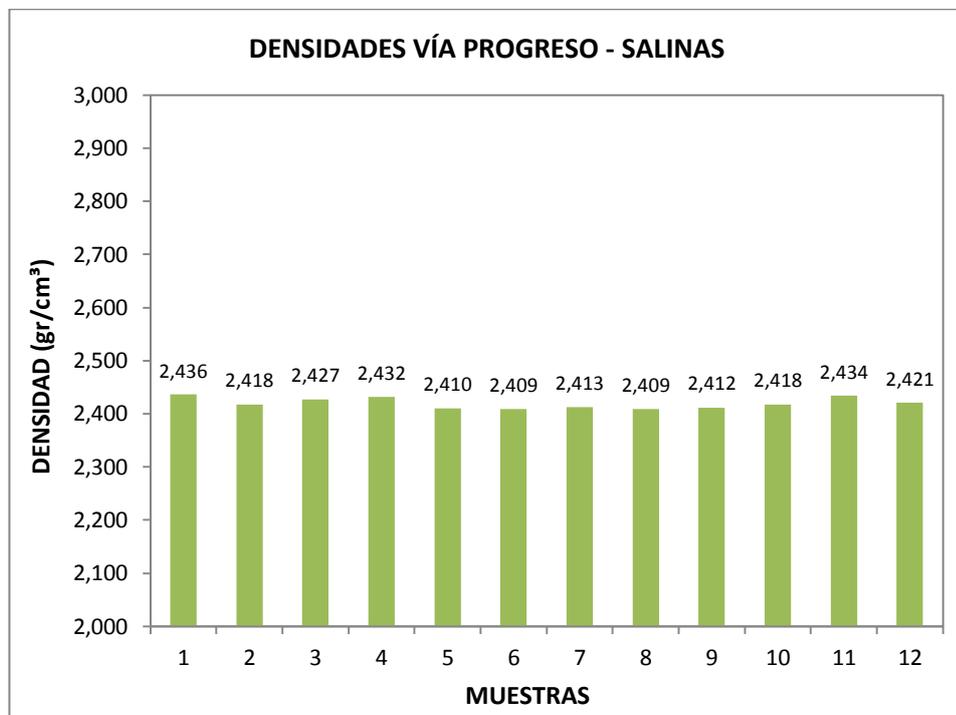


Figura 4-2: Densidades vía Progreso-Salinas, diagrama de barras

Tabla 4-3: Resultados de las densidades Manta – Crucita

NÚMERO	MUESTRA	PESO AIRE Pa (gr)	P. AGUA Pag (gr)	SUP. SECA Psss (gr)	DENSIDAD (gr/cm ³)
1	Km 7+400	851,9	468,6	853,2	2,215
2	Km 7+405	763,7	412,2	767,3	2,151
3	Km 7+410	802,3	437,2	802,8	2,194
4	Km 7+415	769,5	424,1	770,6	2,221
5	Km 7+420	833,8	450	836	2,160
6	Km 7+425	692,3	375,8	693,1	2,182
7	Km 7+430	700,4	381,1	705,4	2,160
8	Km 7+435	716,1	389,1	718,2	2,176
9	Km 7+440	694,9	376,8	698,8	2,158
10	Km 7+445	864,3	467,6	869,8	2,149
11	Km 7+450	801,2	428,9	803,8	2,137
12	Km 7+455	728,8	389,7	730,7	2,137

PROMEDIO	2,170
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,028
COEF. VARIACIÓN (%)	1,30

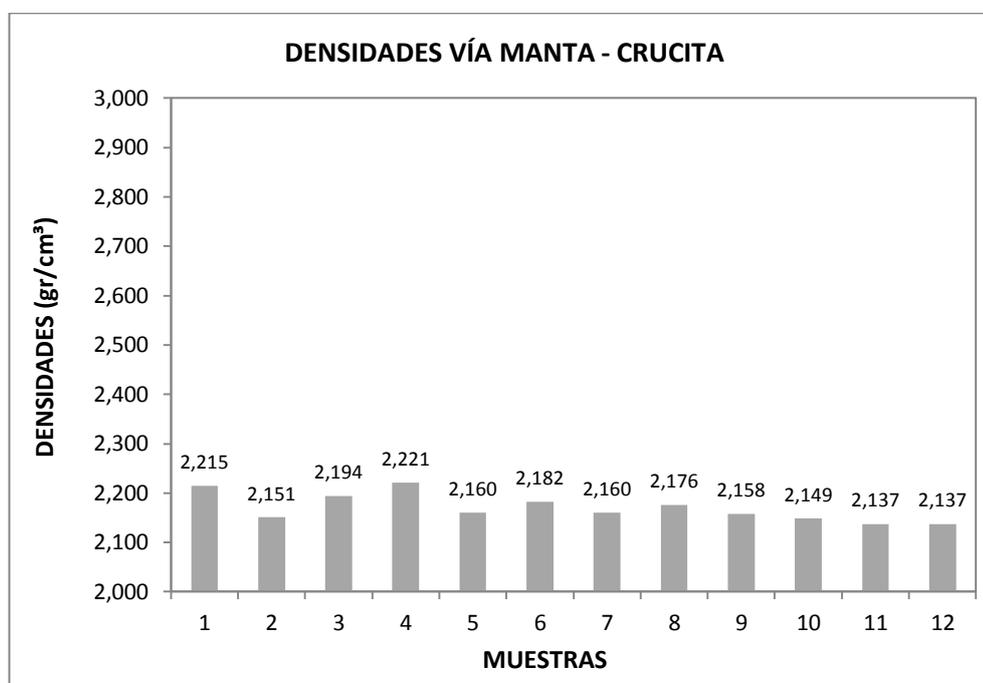


Figura 4-3: Densidades vía Manta-Crucita, diagrama de barras

A continuación, en la figura 4-4 se muestran las variaciones de las densidades promedio de cada vía.

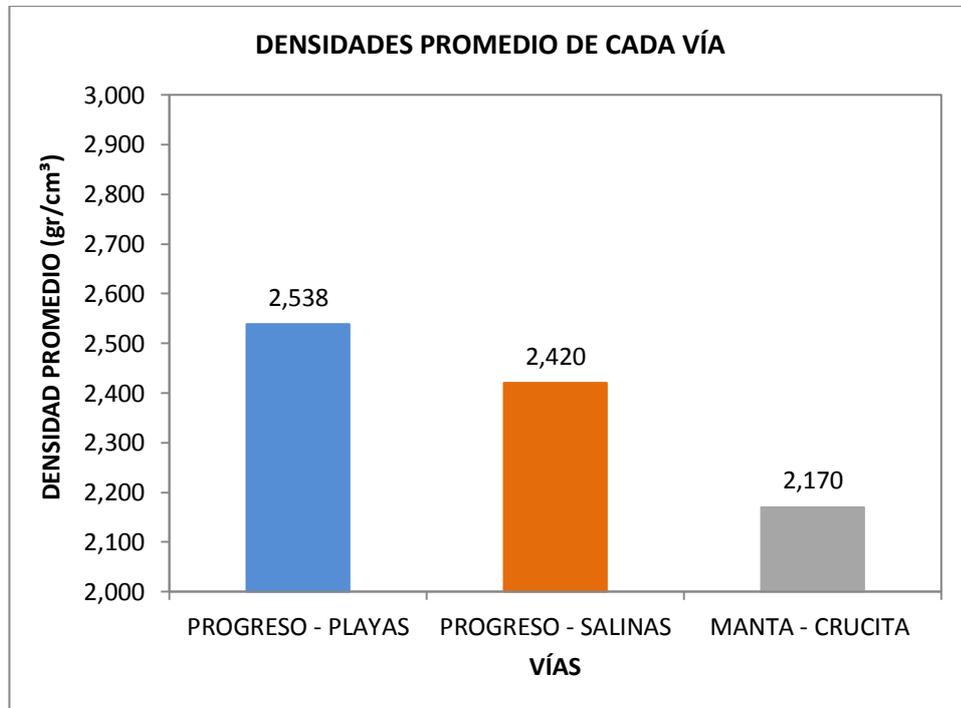


Figura 4-4: Densidades promedio de cada vía.

4.2.2. Determinación de los porcentajes de vacíos

En general, en esta sección se realizó el mismo procedimiento de análisis de la sección precedente.

En las Tabla 4-4, 4-5 y 4-6 se detallan los porcentajes de vacíos para cada muestra.

Las figuras 4-5, 4-6 y 4-7, se detallan las variaciones de los porcentajes de vacíos de los 12 núcleos de cada vía.

Tabla 4-4: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Progreso – Playas

BRIQUETAS	Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
1	1090,8	662,7	1090,9	428,2	2,547	3,96
2	1048,9	636,1	1049,2	413,1	2,539	4,28
3	1070,5	651,5	1071	419,5	2,552	3,80
4	1062,7	644,6	1063	418,4	2,540	4,25
5	1074,3	653,9	1075	421,1	2,551	3,82
6	1034,2	625,3	1035,3	410	2,522	4,90
7	1041,7	631,7	1042,2	410,5	2,538	4,33
8	1026,3	624,6	1026,6	402	2,553	3,75
9	1075,7	650,7	1075,8	425,1	2,530	4,60
10	1084	659,9	1084,3	424,4	2,554	3,71
11	1021,4	619,5	1021,7	402,2	2,540	4,26
12	1076,7	645,6	1077,2	431,6	2,495	5,95

PROMEDIO	4,30
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.64
COEF. VARIACIÓN (%)	14.77

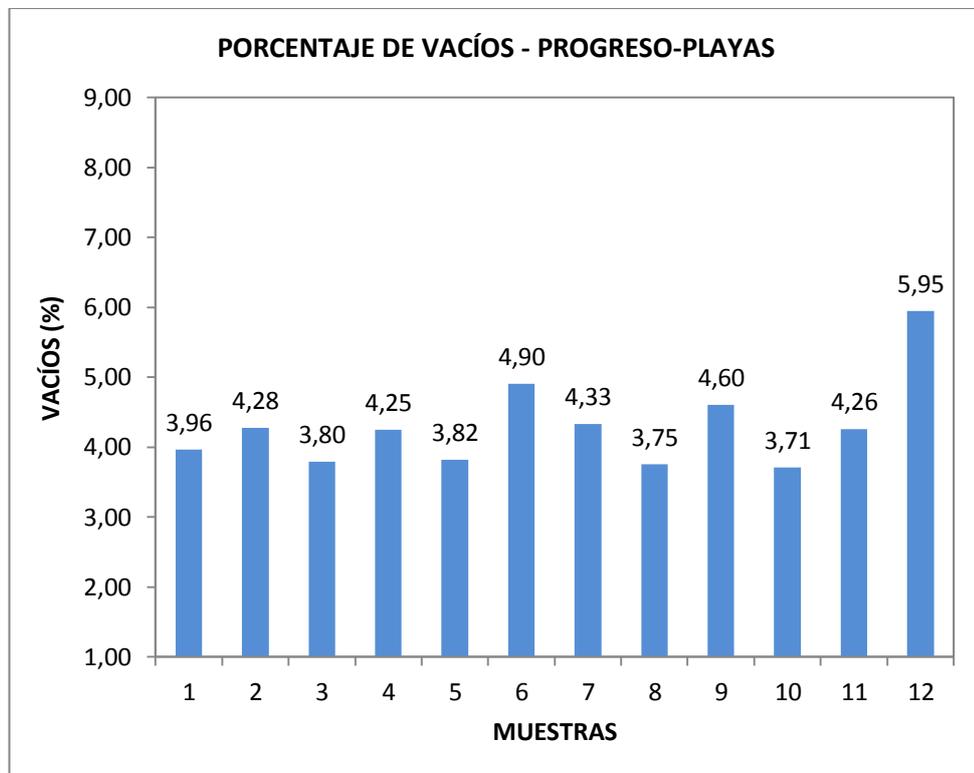


Figura 4-5: Porcentaje de vacíos Progreso-Playas, diagrama de barras

Tabla 4-5: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Progreso – Salinas

BRIQUETAS	Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en Mezcla (%)
1	860,9	507,8	861,2	353,4	2,436	4,75
2	910,2	536,4	912,9	376,5	2,418	5,47
3	820,9	482,8	821	338,2	2,427	5,09
4	898,6	529,2	898,7	369,5	2,432	4,91
5	963,7	564,4	964,2	399,8	2,410	5,75
6	1036	606,2	1036,2	430	2,409	5,80
7	925,9	542,5	926,2	383,7	2,413	5,65
8	890,9	522,2	892	369,8	2,409	5,80
9	1048	613,6	1048,1	434,5	2,412	5,69
10	832,2	488,2	832,4	344,2	2,418	5,46
11	962,3	567	962,4	395,4	2,434	4,84
12	1010,2	593,1	1010,4	417,3	2,421	5,35

PROMEDIO	5,38
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,39
COEF. VARIACIÓN (%)	7,23

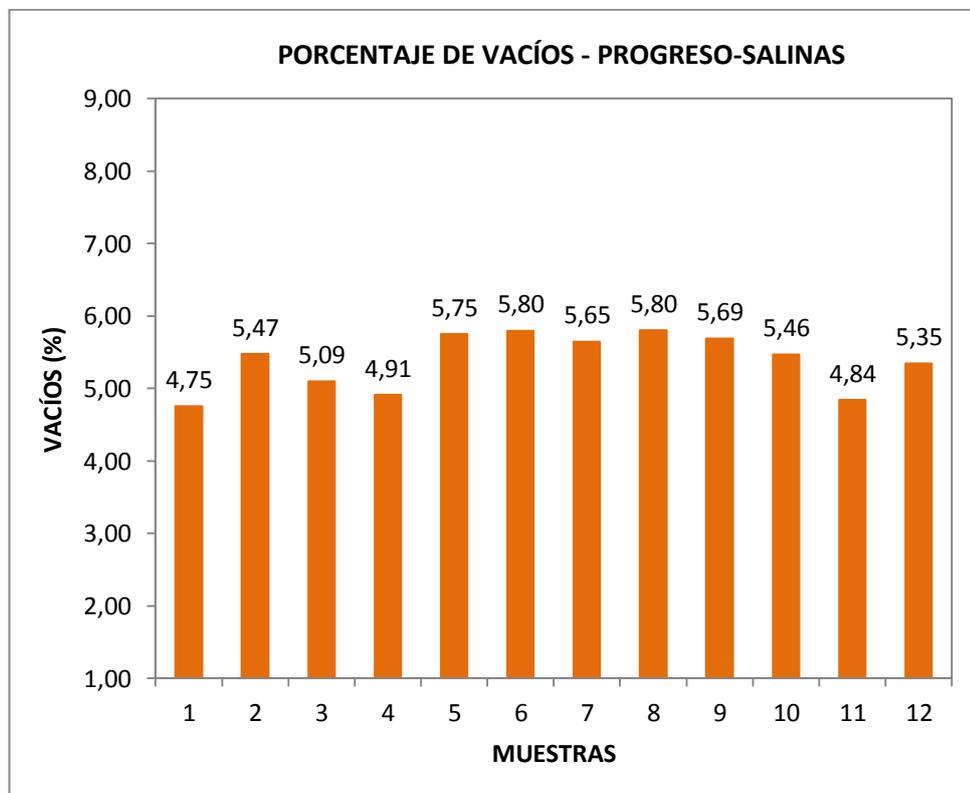


Figura 4-6: Porcentaje de vacíos Progreso-Salinas, diagrama de barras

Tabla 4-6: Porcentaje de vacíos de las muestras vía Manta – Crucita

BRIQUETAS	Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
1	851,9	468,6	853,2	384,6	2,215	4,98
2	763,7	412,2	767,3	355,1	2,151	7,74
3	802,3	437,2	802,8	365,6	2,194	5,86
4	769,5	424,1	770,6	346,5	2,221	4,73
5	833,8	450	836	386	2,160	7,33
6	692,3	375,8	693,1	317,3	2,182	6,40
7	700,4	381,1	705,4	324,3	2,160	7,35
8	716,1	389,1	718,2	329,1	2,176	6,65
9	694,9	376,8	698,8	322	2,158	7,42
10	864,3	467,6	869,8	402,2	2,149	7,81
11	801,2	428,9	803,8	374,9	2,137	8,32
12	728,8	389,7	730,7	341	2,137	8,31

PROMEDIO	6,91
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,21
COEF. VARIACIÓN (%)	17,47

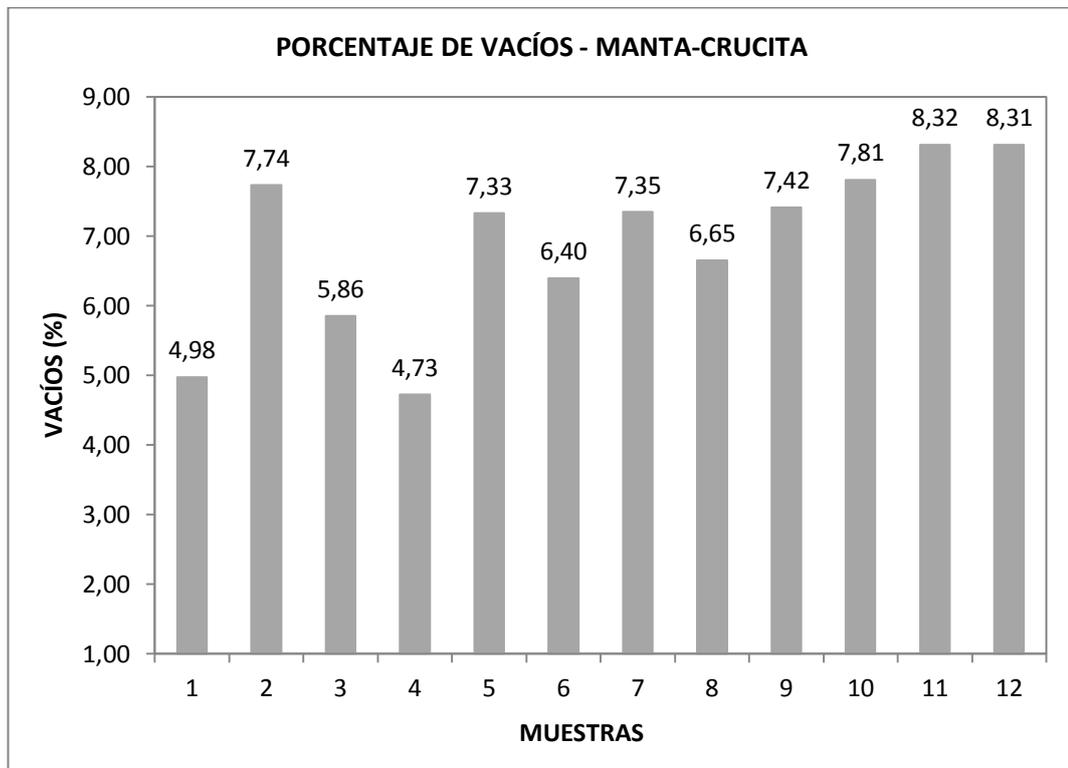


Figura 4-7: Porcentaje de vacíos Manta-Crucita, diagrama de barras

A continuación, en la figura 4-8 se muestran los porcentajes de vacíos promedio de cada vía.

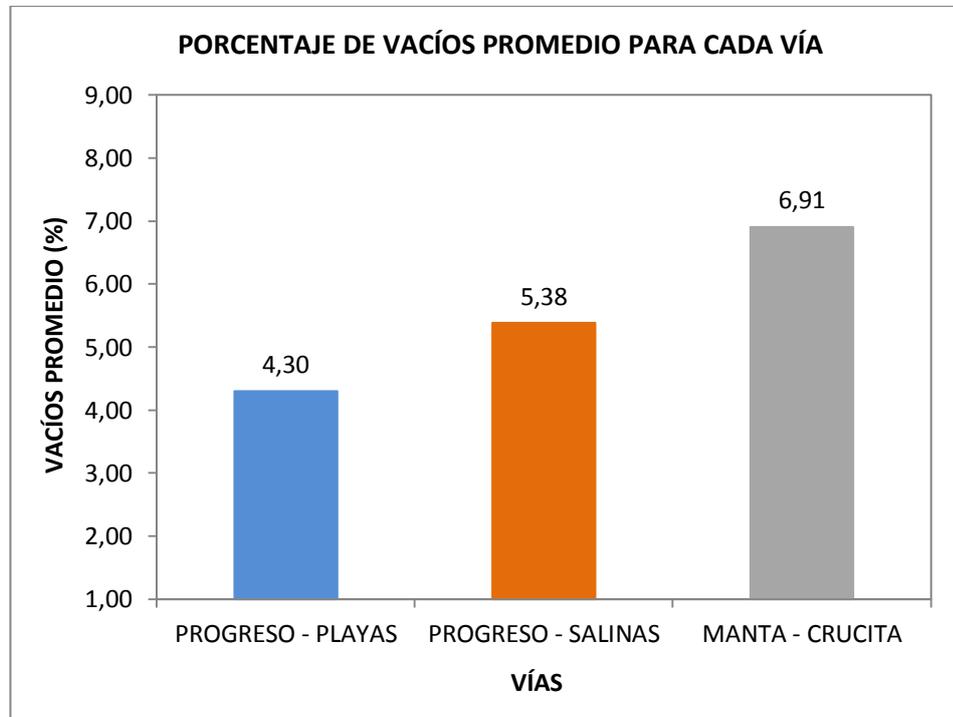


Figura 4-8: Porcentaje promedio de vacíos de cada vía.

4.3. Pruebas de Desempeño

4.3.1. Información General.

Para este trabajo se enfocaron tres importantes pruebas de desempeño, cuyo objetivo es saber el comportamiento de estos núcleos, obtener resultados mediante programas de software para cada ensayo y sacar conclusiones correspondientes a cada prueba.

Estas pruebas de desempeño para este proyecto son: módulo de rigidez, ensayo de fatiga y deformación plástica (Creep dinámico).

Para este proyecto se cuenta con 12 núcleos de cada vía, los cuales se van a distribuirse de la siguiente manera:

- a) 3 muestras se usarán para “Pruebas de rigidez bajo deformación controlada” y ensayos de “Deformación Permanente (Creep dinámico)”.
- b) 7 muestras serán usados para “Pruebas de fatiga”
- c) 2 muestras, se usarán como reserva.

4.3.2. Módulo de Rigidez

Para esta prueba, existen varios métodos de ensayo para determinar el módulo de rigidez en laboratorio para una mezcla asfáltica. Entre ellos se encuentran: Ensayo triaxial a probetas cilíndricas y el método indirecto por carga diametral a las muestras cilíndricas.

Para este trabajo, se considera la determinación indirecta por carga diametral.

Para este ensayo se va a emplear con el equipo Nottingham Asphalt Test (NAT), modelo NU-10 que contiene los siguientes componentes:

- Un marco de agua.
- Un sistema servo-neumático de carga.
- Un sistema de adquisición de datos.
- Transductores de tipo “Linear Variable Differential Transducer” (LVDT)
- Una cámara termostatazada que permite regular y sobre todo mantener la temperatura a la que se desea realizar durante el ensayo.
- Un compresor de aire.
- Aire acondicionado, el cual regula la temperatura ambiente del laboratorio en el que se encuentra el equipo NAT, de esa manera, ya

que al abrir la puerta de la cámara, su diferencial de temperatura deber muy pequeña.

Este ensayo se basa en la normativa europea CEN 12697-26: 2006 anexo C, pruebas de tensión indirecta en probetas cilíndricas.

Esta prueba es conocida como tensión indirecta, que consiste en un método no destructivo en el cual permite estipular el módulo de rigidez de las mezclas asfálticas ante la deformación controlada.

En el equipo NAT, para realizar esta y otras pruebas de desempeño, se realizan generalmente, briquetas con diámetros de 100 ó 150 mm, con espesores que van de 50 a 70 mm.

4.3.2.1. Descripción del ensayo

Para la descripción de la prueba de rigidez, se van a utilizar implementos para el uso de las muestras asfálticas de las vías correspondientes (ver Figuras 4-9, 4-10 y 4-11).

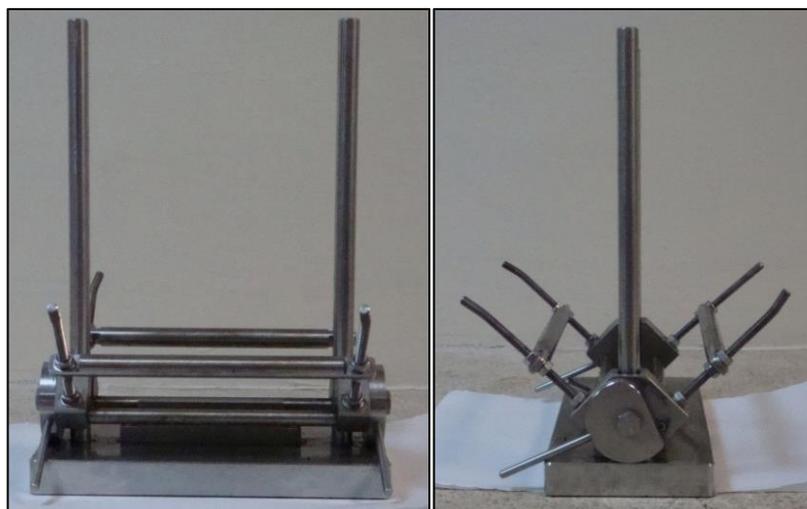


Figura 4-9: Plantilla de alineación del LVDT



Figura 4-10: Patrón de carga superior

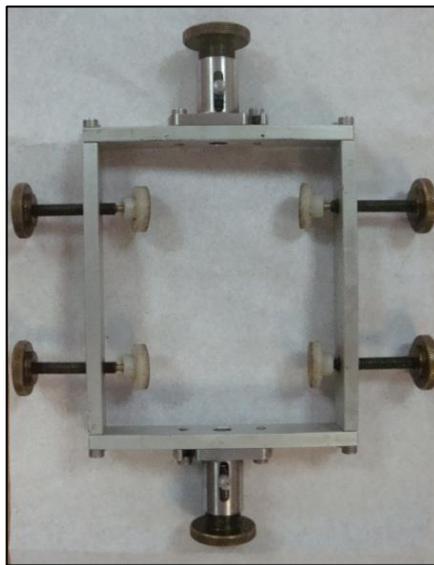


Figura 4-11: Dispositivo para la medición de deformación horizontal

Para obtener el módulo de rigidez, se ensayaron 3 muestras de las vías de la región Costa, para ello contaremos con el programa de software “Stiffness Micron”. Los datos que debemos ingresar son los siguientes:

- Temperatura de ensayo: 20°C
- Relación de Poisson (μ) = 0.35
- Plazo deseado para carga total: 120 milisegundos
- Deformación horizontal deseada: 5 μ m (para diámetros de 100 mm)
- Número de pulsos de preparación: 5
- Los datos de los espesores y diámetros de cada muestra, serán ingresadas al programa Stiffness Micron.

4.3.2.2. Resultados

Los resultados de los módulos de rigidez de cada muestra se registraron por el programa Stiffness Micron, y que serán mostradas mediante las Tablas 4-7, 4-8 y 4-9.

Además se calcularon el promedio del módulo de rigidez para cada vía, con su desviación estándar y el coeficiente de variación.

Los valores de cada vía se mostrarán a través de un diagrama de barras mostradas en las Figuras 4-12, 4-13 y 4-14.

Tabla 4-7: Resultados de módulos de rigidez Progreso-Playas

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	1-PP	53	100	4063
2	2-PP	51	100	4099
3	10-PP	54	100	4877

PROMEDIO	4346
DESV. EST.	459,92
COEF. VARIACIÓN (%)	10,58

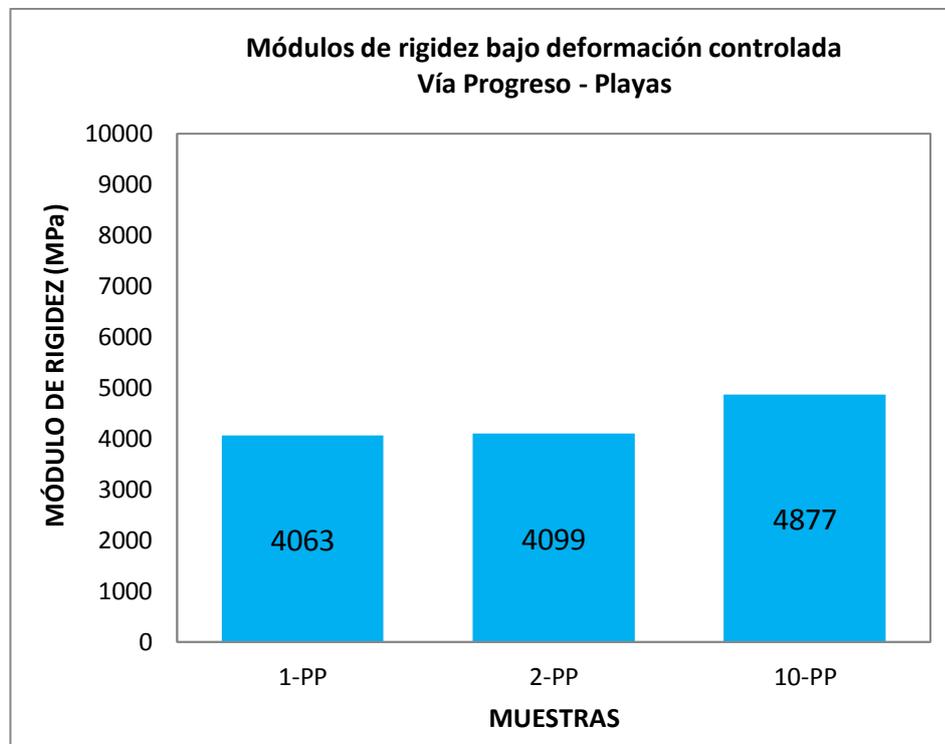


Figura 4-12: Módulo de rigidez Progreso – Playas, diagrama de barras

Tabla 4-8: Resultados de módulos de rigidez Progreso-Salinas

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	5-PS	51	100	3002
2	8-PS	47	100	2919
3	10-PS	44	100	3154

PROMEDIO	3025
DESV. EST.	119,18
COEF. VARIACIÓN (%)	3,94

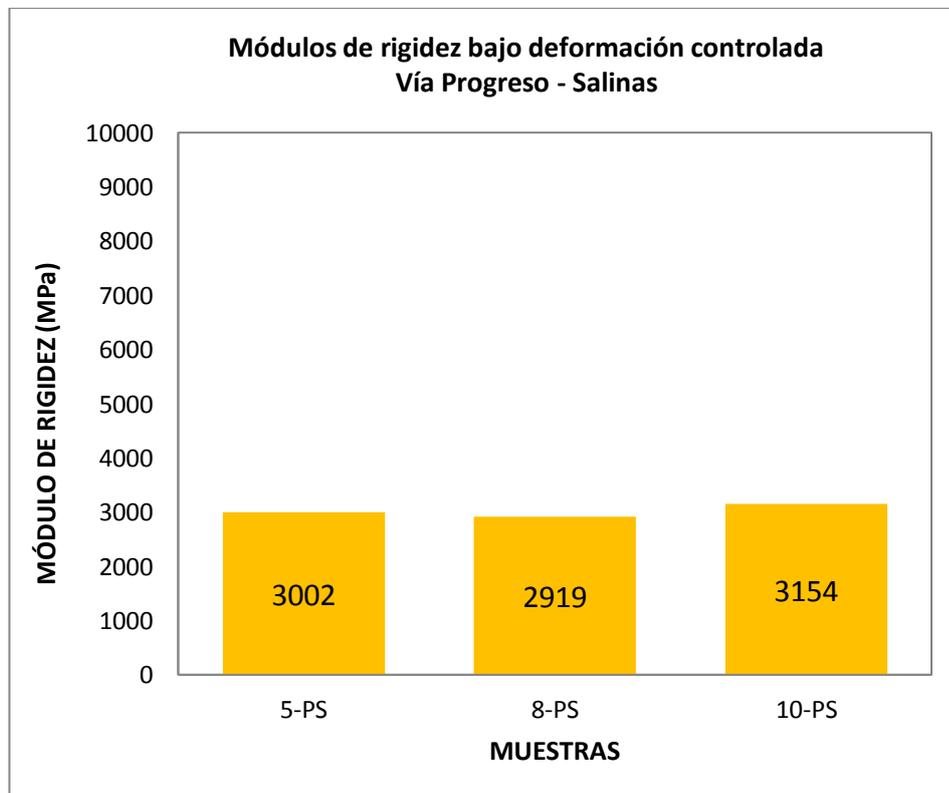


Figura 4-13: Módulo de rigidez Progreso – Salinas, diagrama de barras

Tabla 4-9: Resultados de módulos de rigidez Manta-Crucita

NÚMERO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	DIÁMETRO (mm)	M. RIGIDEZ (MPa)
1	3-MC	45	100	9230
2	11-MC	46	100	8366
3	12-MC	43	100	7255

PROMEDIO	8284
DESV. EST.	990,07
COEF. VARIACIÓN (%)	11,95

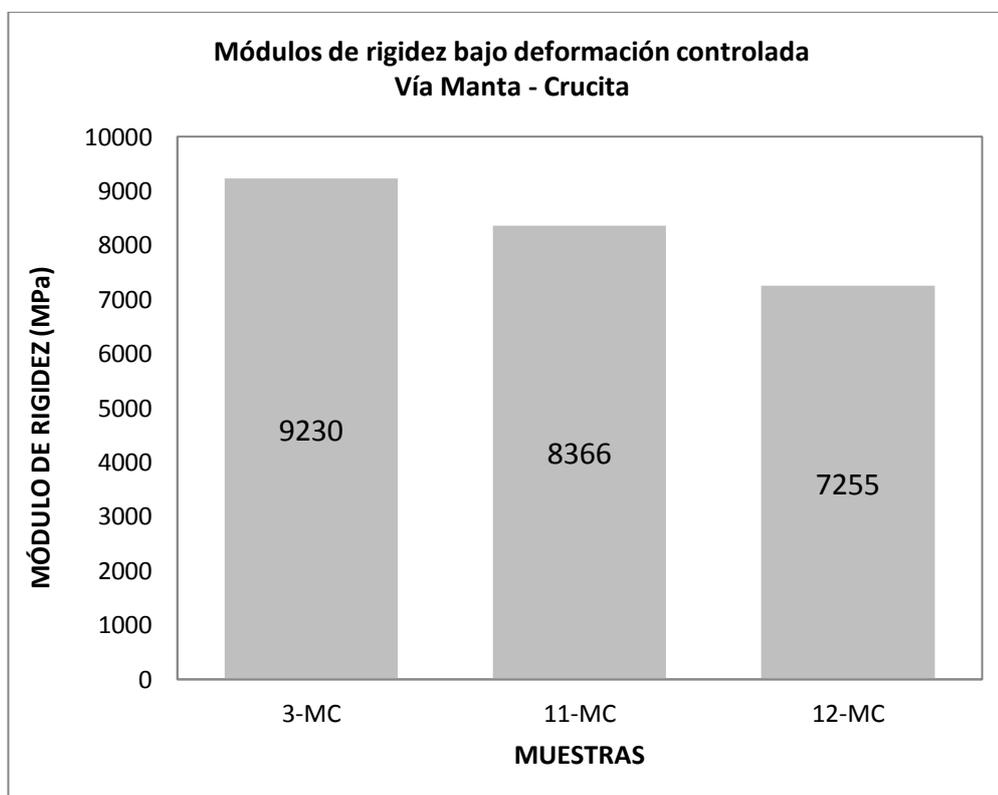


Figura 4-14: Módulo de rigidez Manta-Crucita, diagrama de barras

Por consiguiente, en la figura 4-15 se detallan las variaciones de los promedios de los módulos de rigidez para cada vía.

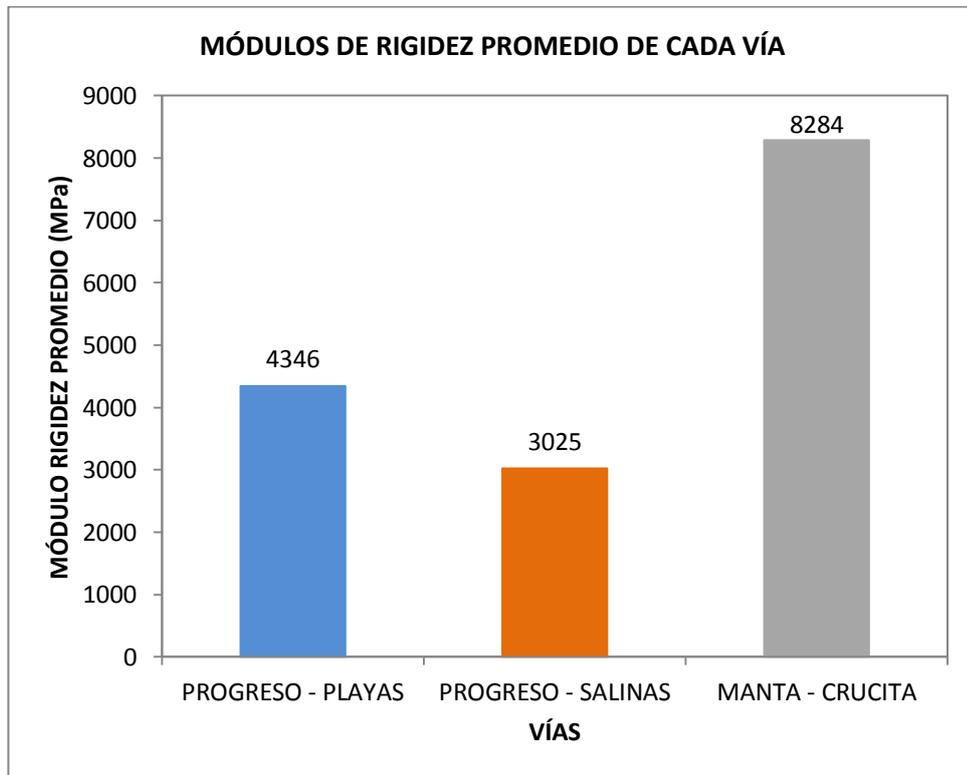


Figura 4-15: Módulos promedio de rigidez de cada vía

4.3.3. Fatiga

La fatiga y el exceso de deformación permanente en la dirección vertical, son los principales procesos de degradación, el cual se intenta controlar tanto el método empírico como mecanicista para el diseño de pavimentos.

El fenómeno de fatiga es uno de los mecanismos principales de daño en cuanto a las mezclas asfálticas de servicio (Rondón, et ál., 2012).

Esto ocurre en las capas ligadas del pavimento y para el caso de pavimentos flexibles, se presenta cuando se formen valores elevados de deformación a tensión en el borde inferior de la capa asfáltica debido a las cargas impuestas por los vehículos (repeticiones).

El paso continuo de los vehículos, hace que la capa asfáltica flexione, creando una cantidad de esfuerzos de tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica.

Con la repetición de cargas, lo que provoca es que la mezcla asfáltica pierda rigidez y originan deformaciones plásticas a tracción, el mismo que llevan a la formación de microfisuras.

Debido a las repeticiones continuas de carga y la disminución de rigidez de la mezcla asfáltica, produce coalescencia de microfisuras, produciendo una formación de una visible fisura conocida como macrofisura a nivel de la rasante.

Una vez que surja de manera superficial las grietas, la vida del pavimento comienza a disminuirse de forma exponencial, ya que permiten la penetración tanto del agua como la del aire.

4.3.3.1. Descripción del ensayo

En general, los ensayos de fatiga de mezclas asfálticas consisten en someter una muestra, de geometría específica, a solicitaciones repetitivas e idénticas para poder hallar el “Número de Ciclos de Carga” que puedan soportar. Este número de ciclos de carga soportados antes de la falla, se denomina vida a la fatiga (Rondón, et ál., 2012)

Existen varios métodos de ensayo para medir el comportamiento a la fatiga, en las cuales se destacan los siguientes:

- Ensayos de flexión simple.
- Ensayos de flexión con apoyos.
- Ensayos axiales directos.
- Ensayos diametrales.

- Ensayos triaxiales.
- Ensayos de pistas.

Para nuestro trabajo se va a usar el ensayo “Diametral” y se la conoce como el “Ensayo de Fatiga de Tensión Indirecta”, el que se la puede realizar mediante el equipo NAT (Nottingham Asphalt Tester).

El ensayo de fatiga o de tensión indirecta simula un estado de esfuerzos biaxial que, comparado con los ensayos uniaxiales, representa mejor las condiciones de campo (Rondón, et ál., 2012).

Para el ensayo de fatiga, la muestra es cargada repetitivamente con un esfuerzo que actúa tanto en dirección vertical como paralela a la sección transversal de la muestra (ver Figura 4-16).

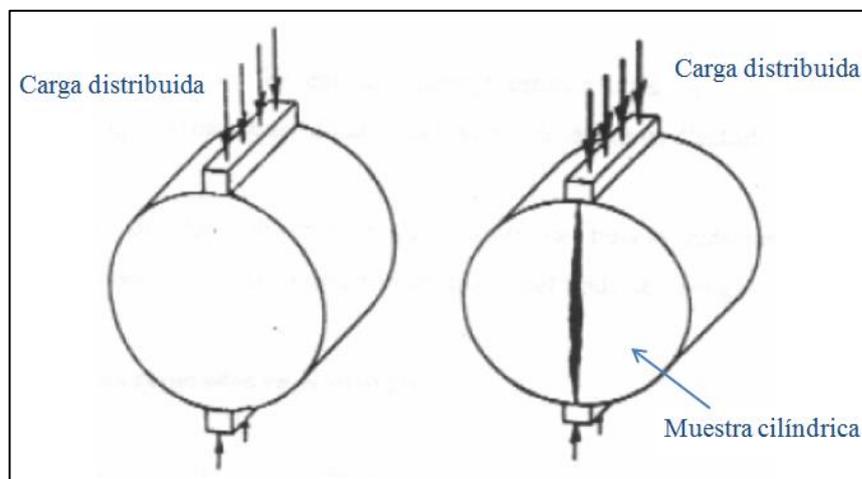


Figura 4-16: Configuración de carga y falla en el ensayo diametral

Fuente: Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González; L.A.; Vásquez S. E. *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá – Colombia: Editorial UD. Primera Edición, 2012.

Existen formas de identificar las principales fallas de las muestras que pueden ocurrir durante el ensayo de fatiga:

- Inicio de la falla en el centro o muy cercano al centro de la muestra.

- La falla inicia en la parte superior de la muestra, disminuyéndose linealmente las fisuras, quedando en forma de V.
- La falla real no ocurre, pero en la muestra termina una deformación plástica.

Estas formas ya antes mencionadas, también pueden ocurrir fallas combinadas, tal como se ve en la Figura 4-17.

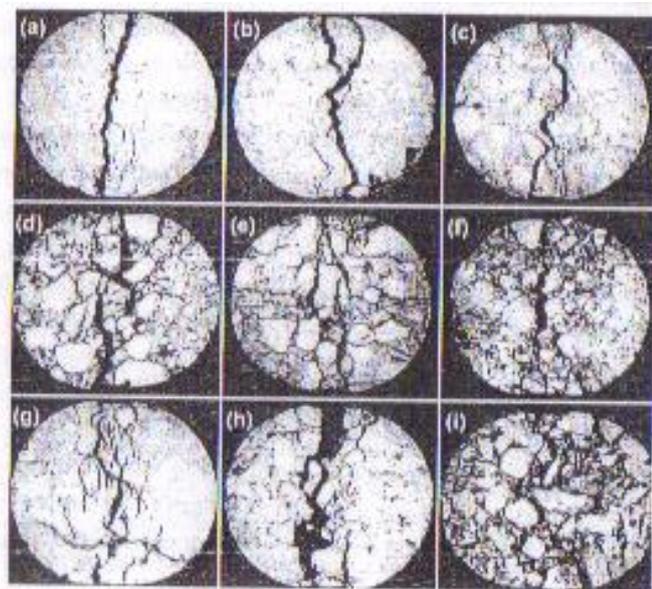


Figura 4-17: Formas de falla de las muestras por fatiga

Fuente: Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González, L.A.; Vásquez S. E. *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá – Colombia: Editorial UD. Primera Edición, 2012.

4.3.3.2. Pasos para el ensayo de fatiga

Previamente al determinar el número de repeticiones mediante ensayo de fatiga, se realizó la prueba del módulo de rigidez a través del programa Stiffness Stress, el cual se hará bajo un esfuerzo controlado, es decir, que el módulo que se obtiene ante dicho esfuerzo, el ensayo de fatiga se aplica para el mismo.

Para este ensayo, se van a utilizar implementos para el uso de las muestras asfálticas de las vías correspondientes (Figuras 4-18 y 4-19).



Figura 4-18: Plantilla de alineación – patrón de carga inferior.



Figura 4-19: Patrón de carga superior.

Se realizó con esfuerzos que oscilan entre 300 y 750 kPa, obteniendo así el número de golpes requeridos para alcanzar a una deformación máxima de 5 mm, dicha condición la muestra se puede considerar como fallida. Los golpes también poseen un tiempo de aplicación de carga de 120 milisegundos y la temperatura para este ensayo fue de 20°C.

4.3.3.3. Resultados

Podremos interpretar los resultados de acuerdo a las denominadas “Leyes de Fatiga”, que constan de gráficas a escala logarítmica, es decir tanto para el número de repeticiones en el eje de las abscisas como la deformación o los esfuerzos en eje de las ordenadas, ambos ejes estarán bajo la escala

logarítmica, es decir, serán rectas de pendiente negativa (ver Figura 4-20). Es decir que: $S_{m1} > S_{m2} > S_{m3}$.

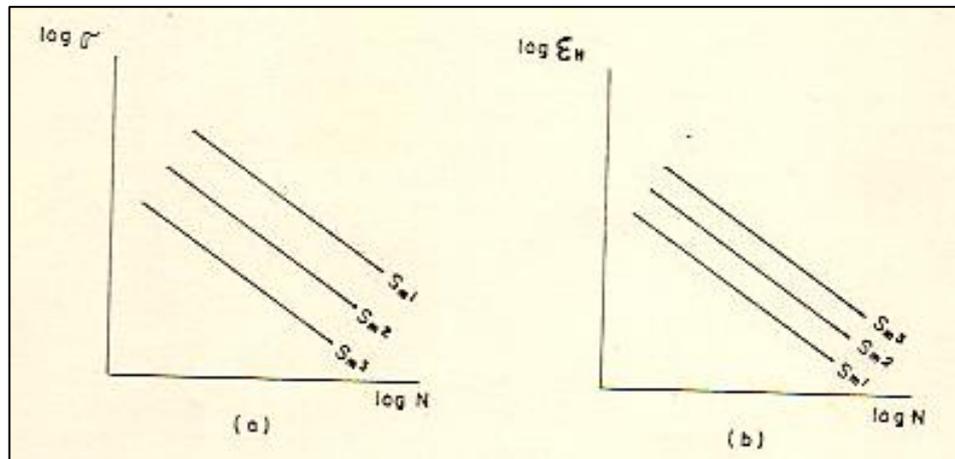


Figura 4-20: Diagramas esfuerzo, deformación horizontal versus número de repeticiones (escala logarítmica)

Fuente: Taller sobre mezclas asfálticas rígidas, recicladas y micropavimentos. Editorial EMOP-Q, 1997.

El desarrollo del ensayo de fatiga inicia con la determinación del módulo de rigidez denominado “Sm” bajo un esfuerzo “σ” que se le aplique a las muestras, de esta manera se puede obtener la deformación por tracción inicial “ε”, a través de la ecuación (4.1):

$$\varepsilon = \frac{\sigma \cdot (1 + 3\mu)}{S_m} \quad (4.1)$$

Las unidades de σ y Sm, deben ser consistentes; ya que para la ecuación (4.1), los dos parámetros de resistencia están dados en kPa.

En la pruebas de fatiga bajo esfuerzo controlado, la vida a la fatiga no incluye mucho tiempo de propagación de fisuras y el punto final de la prueba es bien definida. El coeficiente de Poisson “μ” empleado es de 0,35.

Los resultados de la deformación de cada briqueta de las 3 vías de la Costa se pueden observar en la Tabla 4-10. Y las Figuras 4-21 y 4-22 se detallan los diagramas de Esfuerzo y Deformación, respecto al Número de repeticiones por fatiga.

VÍAS ESFUERZO KPa	PROGRESO-PLAYAS			PROGRESO-SALINAS			MANTA-CRUCITA		
	REPETI- CIONES	DEFOR- MACIÓN (x 10 ^{^-6})	MÓDULO RIGIDEZ MPa	REPETI- CIONES	DEFOR- MACIÓN (x 10 ^{^-6})	MÓDULO RIGIDEZ MPa	REPETI- CIONES	DEFOR- MACIÓN (x 10 ^{^-6})	MÓDULO RIGIDEZ MPa
50									
100									
150									
200									
200									
250									
300	17576	136	4507	17072	256	2405			
350	4400	331	2167	4306	327	2196			
400	8102	159	5164	2890	357	2295			
450	3062	187	4924	1150	415	2221			
500	1585	295	3478	662	473	2167			
550	374	616	1830	561	550	2051	19157	169	6673
600				496	469	2625	8392	189	6500
650							2906	182	7335
700							487	267	5375
750							379	331	4643

Tabla 4-10: Valores de repeticiones, módulos de rigidez y la deformación para cada carga que se sometían a las muestras de cada vía.

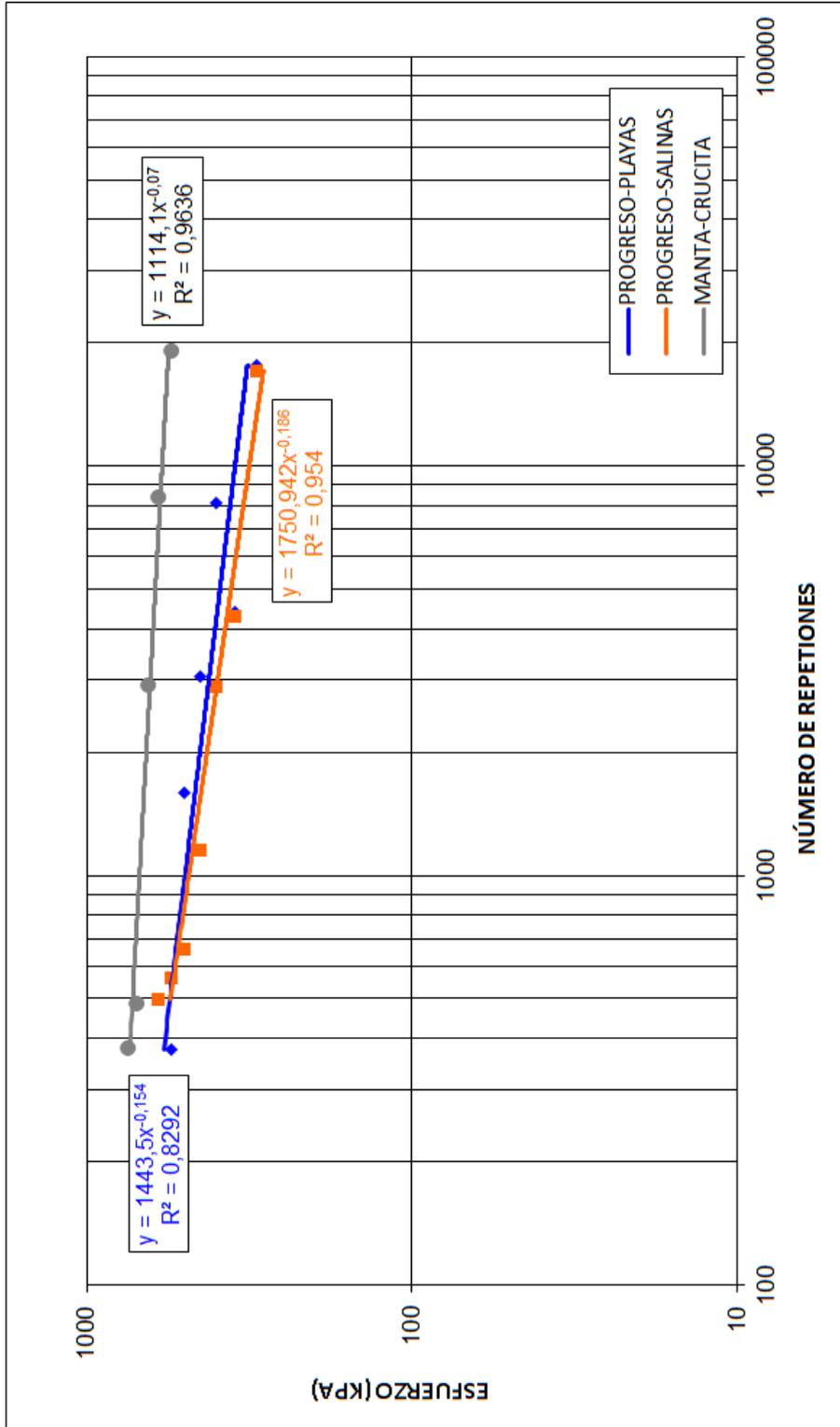


Figura 4-21: Gráfico de esfuerzo versus número de repeticiones (ambas en escala logarítmica) de las 3 vías de la región Costa.

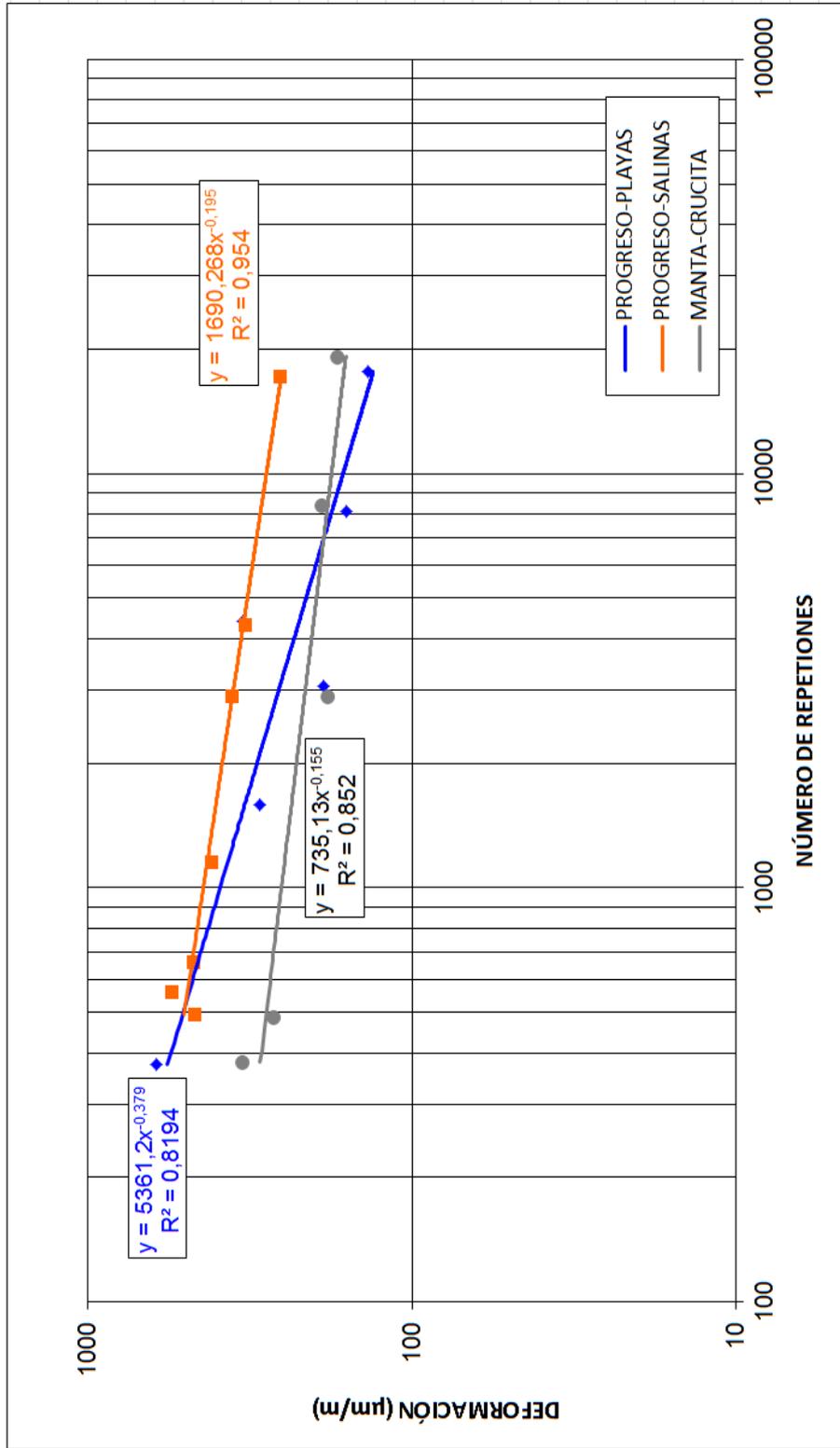


Figura 4-22: Gráfico de deformación versus número de repeticiones (ambas en escala logarítmica) de las 3 vías de la región Costa.

4.3.4. Prueba de Deformación Permanente (Creep Dinámico)

4.3.4.1. Descripción del ensayo

El objetivo de este ensayo es evaluar la mayor o menor tendencia a la deformación permanente o plástica de una mezcla asfáltica mediante la prueba de compresión cíclica uniaxial (creep dinámico) realizada a 3 núcleos extraídos de las vías de la región Costa.

Para este ensayo se van a usar transductores de la celda de carga, y los patrones de carga superior e inferior mostradas en la Figura 4-23.



Figura 4-23: Equipos para el ensayo del creep dinámico

Un ciclo de carga consiste en la aplicación de un esfuerzo durante 1 segundo seguido por 1 segundo de descanso, es decir, se emplean ondas cuadradas. Para este ensayo se realizará con muestras a una temperatura de 40°C, midiendo así las deformaciones provocadas por 3600 repeticiones de cargas de 100 kPa.

4.3.4.2. Resultados

Según criterios británicos (Cooper, 2002) bajo estas condiciones de ensayo una mezcla con un buen comportamiento a la deformación tendrá valores por debajo de 1%. Para deformaciones superiores a 2% la mezcla tendrá asegurado un mal comportamiento y entre 1 y 2% existe incertidumbre en el desempeño respecto a las deformaciones.

A continuación, en la Tabla 4-11 y la Figura 4-25 se detallan los porcentajes de deformación de las 3 muestras correspondientes a las tres vías de la región Costa, con su promedio, desviación estándar y su coeficiente de variación correspondientes.

Tabla 4-11: Resultados del ensayo del creep dinámico

VÍA	NÚMERO	MUESTRA	% Deformación	Promedio	Desviación Estándar	COEF. VAR. (%)
PROGRESO - PLAYAS	1	1-PP	0,793	0,890	0,139	15,629
	2	2-PP	1,049			
	3	10-PP	0,828			
PROGRESO - SALINAS	1	5-PS	1,290	1,395	0,143	10,250
	2	8-PS	1,558			
	3	10-PS	1,337			
MANTA - CRUCITA	1	3-MC	0,257	0,290	0,036	12,574
	2	11-MC	0,282			
	3	12-MC	0,329			

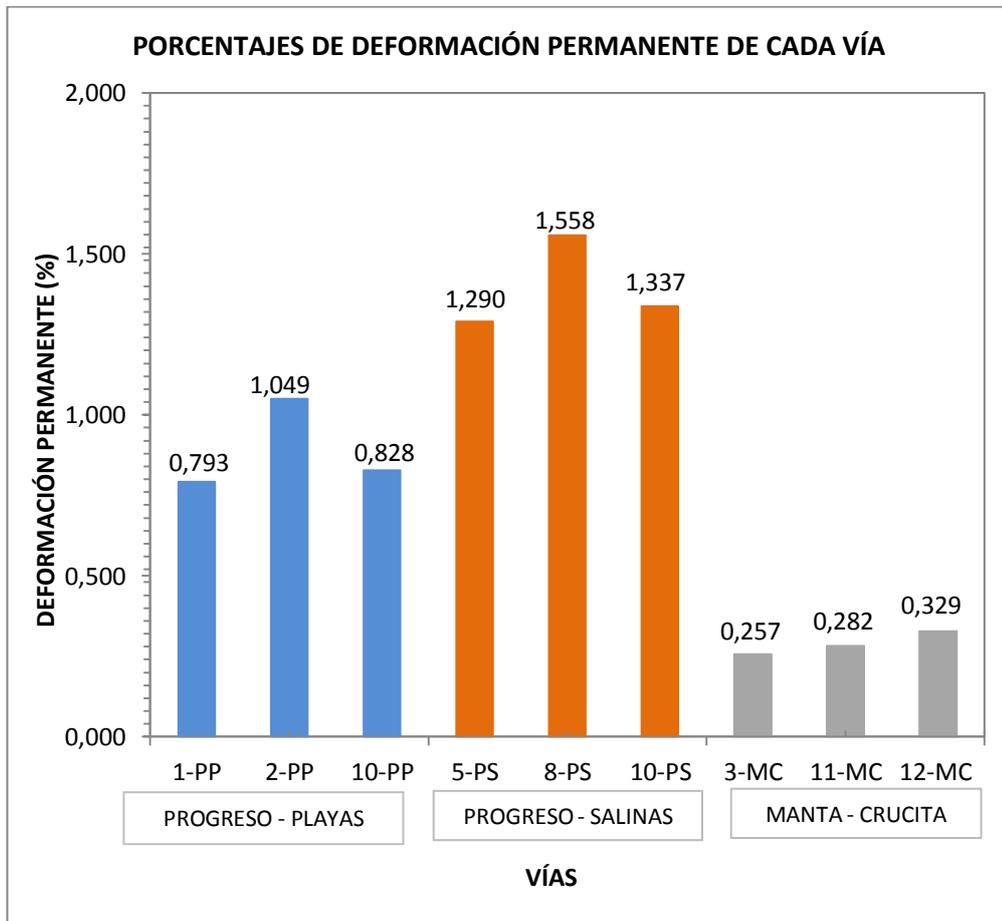


Figura 4-24: Porcentajes de deformación permanente de las 3 muestras de cada vía correspondiente.

En la figura 4-25 se detallan las variaciones de los porcentajes de deformación permanente promedios para cada vía.

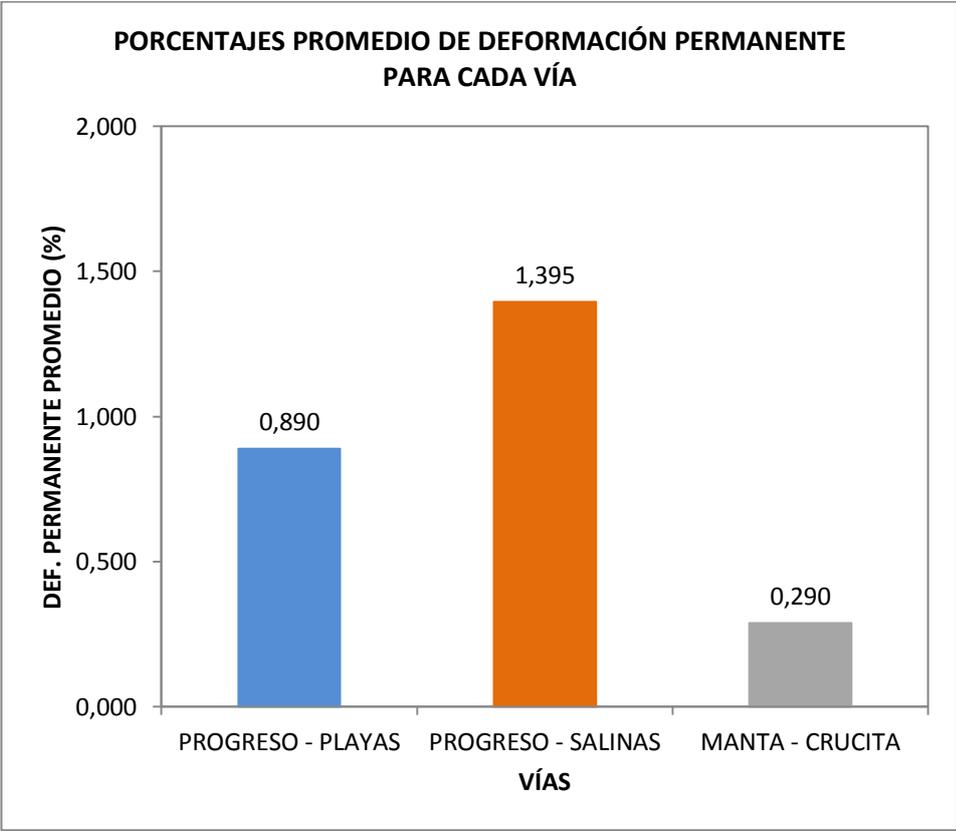


Figura 4-25: Porcentajes promedios de deformación de cada vía

4.4. Análisis de resultados

Módulo de rigidez

Los valores obtenidos para las mezclas correspondientes a la vía Manta – Crucita son muy elevados con un rango aproximado de 7000 y 9000 MPa, muy superiores a los dos vías restantes cuyos valores oscilan entre 3000 y 5000 MPa. Esto significa que dicha vía se encuentra muy envejecida debido a factores que necesitan ser investigados, ya que el asfalto original, el tiempo de colocación y la temperatura ambiente es aproximadamente similar en todas las vías estudiadas. Los coeficientes de variación de las 3 vías estudiadas fueron menores al 12%.

Fatiga

Se puede observar en la Figura 4-21, se relacionan el esfuerzo versus número de repeticiones. Las mezclas que contienen mayor rigidez corresponden a las recta de ajuste que se encuentran más desplazadas hacia la parte superior del gráfico.

De manera general, las muestras que fueron ensayadas con un mismo esfuerzo motivan que al obtener un alto módulo de rigidez sea menor el nivel de deformación.

En la Figura 4-21 se observa que la vía Manta – Crucita (color gris) tiene mayor valor de rigidez, y por lo tanto la recta se localiza en la parte superior del gráfico. La recta inferior que le sigue corresponde a la vía Progreso – Playas (color azul), y finalmente se ubica la recta de la vía Progreso – Salinas (color naranja). Aunque llama la atención que las dos últimas rectas están muy próximas.

En la Figura 4-22 que muestra el diagrama de deformación versus número de repeticiones. El orden de ubicación de las rectas debería ser ahora el

opuesto al de la Figura 4-21, es decir, la recta de ajuste correspondiente a mezclas de mayor rigidez debe ubicarse en la parte inferior del gráfico.

Sin embargo, en el caso particular estudiado, aunque se mantiene esta tendencia en general, se observa una gran diferencia de pendiente en la recta de ajuste de la vía Progreso – Playas (color azul). Esta diferencia (mayor pendiente) a nuestro juicio está influenciado por los parámetros involucrados en el cálculo de la deformación, o sea, el esfuerzo aplicado y el módulo obtenido bajo dicho esfuerzo. Precisamente la recta de ajuste de Progreso – Playas es la que posee un menor coeficiente de correlación “R²”, en este caso de 0,82.

Creep dinámico

A partir de los resultados de la Tabla 4-11, pueden concluirse:

- Los valores más bajos respecto a la deformación permanente pertenecen a la vía Manta – Crucita, algo lógico ya que esta vía presenta una superficie muy envejecida, con módulos de rigidez muy elevados.
- Para la vía Progreso – Playas se presentan valores de deformación permanente cercanos a la unidad, por lo que podríamos decir que cumplen con las exigencias británicas (menores a 1%). La mezcla en general se fabricó en agregados de muy buena calidad (roca basáltica de la cantera Petrillo).
- La vía Progreso – Salinas es la que ofrece mayores resultados con respecto a las deformaciones permanentes, lo que significa que pese a cumplirse con los controles de calidad convencionales a las mezclas en su momento, se hacen necesarias pruebas de desempeño adicionales.

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) En las vías estudiadas, el porcentaje de vacíos que se asocia a la efectividad de la compactación es muy variable de acuerdo a nuestras mediciones y cálculos. Si bien en la vía Progreso – Playas (4,30%) y Progreso – Salinas (5,38%), los valores están acordes con las densidades relativas permitidas. En la vía Manta – Crucita el porcentaje de vacíos de 6,91% es un valor más elevado, que sin dudas tiene que haber incidido en el mayor diseño que existe en esta vía.
- 2) Los altos módulos de rigidez obtenidos en la vía Manta – Crucita junto a su nivel de daños elevados, alertan que en la vía se presentaron posiblemente problemas con la calidad del asfalto original empleado o durante la manipulación del mismo para la fabricación de mezclas (sobrecalentamiento). Esta situación sin duda podía haberse determinado en las fases iniciales del proceso constructivo, de haberse realizado entonces pruebas de desempeño.
- 3) Las leyes de fatiga obtenidas en las diferentes vías muestran que para un mismo nivel de deformación, las mayores repeticiones (a nivel de laboratorio) las originan la vía Progreso – Salinas, aunque el comportamiento de estas a nivel de obra (realidad) puede calificarse como regular. Sin duda, también incide en este comportamiento: la calidad de los materiales, el proceso constructivo y de manera decisiva, la estructura de pavimentos que origina dicha deformación bajo el esfuerzo. Las menores repeticiones para un mismo nivel de deformación lo daría la vía Manta – Crucita.
- 4) El estudio del creep con pruebas dinámicas, los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios. Dos de las vías estudiadas (Progreso

– Playas y Manta – Crucita) cumplen con las exigencias británicas, es decir, deformaciones permanentes menores a 1%. Sin embargo, en la vía Progreso – Salinas se presentaron valores mayores a los permitidos, teniendo la vía más potencial para deformarse.

CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- ✓ American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures. U.S.A., 1993.
- ✓ Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 26: Stiffness. Annex C. 2000.
- ✓ Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 25: Cyclic compression test. Part A. 2000.
- ✓ Cooper Research Technology Limited. NU-10 & NU-5. Operation & Maintenance Manual. United Kingdom, 2002.
- ✓ Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones Técnicas para la construcción de Carreteras y Puentes. MOPT-001-F, Quito – Ecuador, 2002.
- ✓ Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González; L.A.; Vásquez S. E. *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá – Colombia: Editorial UD. Primera Edición, 2012.
- ✓ Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras. Tomo III. Materiales y mezclas asfálticas. Instituto Nacional de Vías. Bogotá – Colombia, 1998.
- ✓ ASEFMA. IV Jornada Nacional. Madrid, 2009.
- ✓ Asphalt Institute. Mix design methods for asphalt concrete. MS-2. Sixth Edition, 2002.
- ✓ E.R.Brown, P.S.Kandhal. Performance testing for hot mix asphalt. Auburn University. NCAT Report 01-05, 2001.
- ✓ H.Yang. *Pavement analysis and systems*. Mc. Graw-Hill, 1995.
- ✓ Taller sobre mezclas asfálticas rígidas, recicladas y micropavimentos. Editorial EMOP-Q, 1997.
- ✓ Kraemer, C.; Del Val, M. A. Firmes y Pavimentos. Madrid, 1993.