



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Caracterización del asfalto ecuatoriano recuperado en vías de la  
Región Sierra**

**AUTOR:**

**Guerrero Benítez, Mateo Estefano**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**17 de febrero del 2022**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Guerrero Benítez, Mateo Estefano** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero civil**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther MSc.**

**Guayaquil, a los 17 días del mes de febrero del año 2022**



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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Guerrero Benítez, Mateo Estefano**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Caracterización del asfalto ecuatoriano recuperado en vías de la Región Sierra**, previo a la obtención del título de **Ingeniero civil** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

**Guayaquil, a los 17 días del mes de febrero del año 2022**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Guerrero Benítez, Mateo Estefano**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Guerrero Benítez, Mateo Estefano**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Caracterización del asfalto ecuatoriano recuperado en vías de la Región Sierra**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 17 del mes de febrero del año 2022**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Guerrero Benítez, Mateo Estefano**

# REPORTE URKUND



## Document Information

---

Analyzed document	Mateo_Guerrero.docx (D128777431)
Submitted	2022-02-24T20:12:00.0000000
Submitted by	Clara Glas
Submitter email	claglas@hotmail.com
Similarity	7%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / TESIS - URETA Y MÁRQUEZ.docx</b> Document TESIS - URETA Y MÁRQUEZ.docx (D35654466) Submitted by: iifiuc.ucatolica@cu.ucsg.edu.ec Receiver: rolando.vila.ucsg@analysis.orkund.com		6
<b>W</b>	URL: <a href="https://1library.co/article/envejecimiento-asfalto-bases-teoricas-relacionadas-tema.qvl0v60y">https://1library.co/article/envejecimiento-asfalto-bases-teoricas-relacionadas-tema.qvl0v60y</a> Fetched: 2022-02-24T20:12:19.6500000		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16609/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-394.pdf">http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16609/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-394.pdf</a> Fetched: 2022-02-24T20:12:35.5230000		4
<b>SA</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / TESIS GARCIA Y FRANCO PARA URKUND.docx</b> Document TESIS GARCIA Y FRANCO PARA URKUND.docx (D55243410) Submitted by: rolando.vila@cu.ucsg.edu.ec Receiver: rolando.vila.ucsg@analysis.orkund.com		3
<b>SA</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACION 2019 Dr. Vila (final).pdf</b> Document PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACION 2019 Dr. Vila (final).pdf (D47620904) Submitted by: tanya.donoso@cu.ucsq.edu.ec		7

## AGRADECIMIENTO

Al primero que quiero agradecer es a Dios y a mi abuelita Martha que sé que desde el cielo ilumino mi camino y me dio la fuerza para levantarme cada día y cumplir mi sueño, no importaba en qué circunstancias me encontraba nunca me dejó solo.

Un pilar definitivamente que no podía excluir es mi familia. Mi papa que es mi motor en mi vida todos sus consejos y su apoyo incondicional me han servido para que nunca me dé por vencido y siga siempre para adelante. Mi mama que fue la primera persona que creyó en mí que estuvo conmigo siempre y nunca me dejó solo gracias y mil veces gracias, me va faltar la vida para agradecerte tanto, si estoy seguro de algo es que cada meta cumplida en mi vida es por tu amor incondicional. Mi hermana y mi primo que son los ejemplos más cercanos que con trabajo duro y responsabilidad se puede llegar a cumplir los sueños.

También quiero agradecer a mis abuelitos y a mis tíos por su sabiduría y bondad que me han inculcado desde pequeño y también por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis amigos y compañeros de la Universidad por su amistad y por ayudarme a superar cualquier obstáculo junto a ellos.

Para finalizar quiero agradecer a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil y a sus profesores que han sido clave para mi formación académica. En especial al Dr. Rolando Vila Romaní por ser un guía para poder concluir este trabajo de titulación.

## **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación quiero dedicarla a mi familia y a Dios, además quisiera dedicar a dos ángeles que me cuidan desde el cielo

Le dedico a mi abuelito materno Eduardo Benítez que a pesar de que no le conocí él fue una persona trabajadora y además era el hombre que cuidó a mi mamá quien a su vez es la persona que más amo porque siempre me ha dado su apoyo sin importar las circunstancias.

También le dedico este trabajo a mi abuelita materna Martha Amanche que, aunque fue poco el tiempo que le pude tener en mi vida jamás le olvidaré y siempre vivirá en mi corazón y en el de mi hermana y primos.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación e importancia del tema .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Alcance .....	6
1.5 Metodología .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	8
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1 Cementos asfálticos .....	8
2.1.1. Generalidades .....	8
2.1.2 Composición química de los asfaltos .....	9
2.1.3. Caracterización física y reológica .....	10
2.1.4. Sistemas de clasificación existentes .....	12
2.2. Pruebas para el control de los cementos asfálticos según la clasificación por viscosidad .....	12
2.2.1. Ensayo de viscosidad .....	13
2.2.2. Ensayo de penetración .....	14
2.2.3 Punto de ablandamiento .....	15
2.2.4. Gravedad específica .....	16
2.2.5. Punto de inflamación .....	16
2.2.6. Ductilidad .....	17
2.2.7. Prueba de envejecimiento en horno de película delgada rotatoria .....	18
2.3. El envejecimiento del asfalto .....	19
2.3.1. Principales mecanismos de envejecimiento del asfalto en una mezcla .....	19
2.3.1.1. Volatización .....	20
2.3.1.2 Oxidación .....	21
2.3.1.3. Acción del agua .....	21
2.3.1.4. Efecto de la radiación ultravioleta .....	22



2.3.2 Diferencias entre el envejecimiento térmico en el laboratorio y a la intemperie en las vías .....	24
2.4. Precisiones sobre los factores que impactan el envejecimiento en las regiones costa y sierra del Ecuador .....	25
2.4.1. Temperatura .....	26
2.4.2. Radiaciones ultravioletas.....	27
2.4.3. Acción del agua .....	28
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>30</b>
3. Trabajo experimental .....	30
3.1. Extracción de núcleos de mezclas y preparación de muestras .....	30
3.2. Procedimiento para la recuperación de asfaltos en mezclas envejecidas .....	32
Paso 1 .....	32
Paso 2.....	34
Paso 3.....	35
Paso 4.....	36
3.3. Ensayos que realizar sobre los asfaltos recuperados .....	39
3.4. Resultados obtenidos .....	39
3.4.1. Penetración.....	40
3.4.2. Punto de ablandamiento .....	40
3.4.3. Ductilidad .....	41
3.4.4. Viscosidad.....	42
3.5. Comparación de los resultados de las regiones sierra y costa.....	43
3.5.1. Penetración.....	44
3.5.2. Punto de ablandamiento .....	45
3.5.3. Ductilidad .....	46
3.5.4. Viscosidad.....	46
<b>Capitulo IV.....</b>	<b>48</b>
4.Conclusiones y Recomendaciones.....	48
4.1 Conclusiones.....	48
4.2. Recomendaciones.....	49
Referencias Bibliográficas.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fallas comunes en las capas asfálticas del Ecuador. ....	3
<b>Figura 2.</b> Modelo del diseño experimental .....	7
<b>Figura 3.</b> Esquema del procesamiento de crudos en una refinería. ....	9
<b>Figura 4.</b> Procedimiento del análisis SARA. ....	10
<b>Figura 5.</b> Fracciones obtenidas en el análisis SARA. ....	11
<b>Figura 6.</b> Ensayo de viscosidad.....	14
<b>Figura 7.</b> Ensayo de penetración.....	14
<b>Figura 8.</b> Ensayo punto de ablandamiento .....	15
<b>Figura 9.</b> Ensayo punto de ablandamiento .....	15
<b>Figura 10.</b> Ensayo de punto de inflamación .....	17
<b>Figura 11.</b> Ensayo de ductilidad .....	17
<b>Figura 12.</b> Horno para prueba de película delgada rotatoria. ....	18
<b>Figura 13.</b> Efecto del envejecimiento de un asfalto. ....	20
<b>Figura 14.</b> Máximo valor diario del índice UV (IUV) para cielos despejados. ....	24
<b>Figura 15.</b> Regiones del Ecuador continental. ....	25
<b>Figura 16.</b> Ubicación aproximada de los sitios de extracción de núcleos .....	30
<b>Figura 17.</b> Extracción de núcleos en el Tramo 1. ....	31
<b>Figura 18.</b> Corte de núcleos con espesor 12 mm. ....	31
<b>Figura 19.</b> Núcleos cortados para extracción de asfalto. ....	32
<b>Figura 20.</b> Disgregación de una muestra.....	33
<b>Figura 21.</b> Extracción inicial del asfalto de las mezclas con solvente.....	34
<b>Figura 22.</b> Centrífuga empleada para extracción de sedimentos .....	35

<b>Figura 23.</b> Recolección de los lavados en frascos identificados.....	36
.....	37
<b>Figura 24.</b> Esquema básico de un sistema de recuperación con Rotavapor .....	37
<b>Figura 25.</b> Chequeo de la temperatura en el baño. ....	37
<b>Figura 26.</b> Equipo Rotavapor empleado en funcionamiento .....	38
<b>Figura 27.</b> Variación de la penetración con el tiempo.....	40
<b>Figura 28.</b> Variación del punto de ablandamiento con el tiempo .....	41
<b>Figura 29.</b> Variación de la ductilidad con el tiempo .....	42
<b>Figura 30.</b> Variación de la viscosidad con el tiempo .....	43
<b>Figura 31.</b> Comparación de la penetración en ambas regiones .....	44
<b>Figura 32.</b> Comparación del punto de ablandamiento en ambas regiones.....	45
<b>Figura 33.</b> Comparación de la ductilidad en ambas regiones .....	46
<b>Figura 34:</b> Variación de viscosidad con el tiempo en ambas regiones .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Pruebas para el control de los cementos asfálticos según la clasificación por viscosidad .....	13
<b>Tabla 2.</b> Rangos de temperaturas en los pavimentos según Superpave. ....	26
<b>Tabla 3.</b> Radiación solar global medida. ....	28
<b>Tabla 4.</b> Tamaño de la muestra a ensayar .....	33
<b>Tabla 5.</b> Resultados de los ensayos en la región sierra.....	39
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los ensayos en la región costa .....	43

## Resumen

El objetivo de este trabajo es caracterizar mediante pruebas físicas y reológicas el comportamiento del asfalto ecuatoriano envejecido, recuperado con equipo Rotavapor, de núcleos barrenados en capas asfálticas con tres tiempos de colocación diferentes en la región sierra. Se seleccionaron tres tramos en la carretera “Alóag-Santo Domingo”, ubicados en zonas de gran altitud (2500 a 3000 m). Para la recuperación del asfalto, se emplearon los procedimientos indicados en las normas ASTM D2172 y ASTM D5404. Una vez recuperado el asfalto se procedió a realizar las respectivas pruebas físicas de penetración (25 °C, 100 g, 5 s), punto de ablandamiento y ductilidad (15 °C, 1 cm/s), así como la caracterización reológica mediante la prueba de viscosidad Brookfield (135 °C).

Todas las propiedades evaluadas reflejan de manera clara el impacto del envejecimiento, ya que el asfalto se hace más duro y menos dúctil con el tiempo. La penetración disminuyó su valor inicial en 64%, el punto de ablandamiento se incrementó en 27%, la ductilidad disminuyó en 73% y finalmente la viscosidad se incrementó en un elevado 502%. Una comparación con valores obtenidos en estudios precedentes realizados en la región costa, muestra que para todas las propiedades evaluadas existe un mayor impacto del envejecimiento en la región costa que en la sierra. Esto corrobora el criterio de que el principal factor que afecta el envejecimiento es la alta temperatura promedio (oxidación térmica).

**Palabras claves:** cemento asfáltico, asfalto recuperado, envejecimiento, equipo rotavapor, regiones geográficas.

## Abstract

The objective of this work is to characterize, through physical and rheological tests, the behavior of aged Ecuadorian asphalt, recovered with Rotavapor equipment, from drilled cores in asphalt layers with three different placement times in the Sierra region. Three sections of the “Alóag-Santo Domingo” highway were selected, located in high-altitude areas (2,500 to 3,000 m). For the recovery of the asphalt, the procedures indicated in the standards ASTM D2172 and ASTM D5404 were used. Once the asphalt was recovered, the respective physical penetration tests (25 °C, 100 g, 5 s), softening point and ductility (15 °C, 1 cm/s) were carried out, as well as the rheological characterization by means of the Brookfield viscosity (135 °C).

All properties evaluated clearly reflect the impact of aging, as asphalt becomes harder and less ductile over time. The penetration decreased its initial value by 64%, the softening point increased by 27%, the ductility decreased by 73% and finally the viscosity increased by a high 502%. A comparison with values obtained in previous studies carried out in the coastal region shows that for all the properties evaluated there is a greater impact of aging in the coastal region than in the mountains. This corroborates the criterion that the main factor that affects aging is the high average temperature (thermal oxidation).

**Keywords:** asphalt cement, reclaimed asphalt, aging, rotary evaporator equipment, geographic regions

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Es innegable la importancia del asfalto en la industria de la construcción, principalmente por ser un material altamente impermeable y adherente. Su uso se remonta varios siglos antes de Cristo a los imperios babilónico y egipcio, pero es en el siglo XIX cuando se comenzaron las primeras pruebas de pavimentado con asfaltos naturales (Larraz, 2019).

La relación del asfalto con la vialidad evolucionó desde el origen de las primeras civilizaciones, las cuales tenían que movilizarse por la búsqueda de refugio y alimento, lo que generó la necesidad de crear caminos y calzadas que se extendieron paulatinamente hasta convertirse en redes de comunicación (Chilon & Palomino, 2020). Es así, que el desarrollo de la humanidad derivó en una mayor necesidad de movilidad, que a su vez llevó al perfeccionamiento de los medios de transporte y carreteras de primer orden. En este punto, las características de impermeabilización y adherencia del asfalto lo convirtieron en la materia prima adecuada para el desarrollo vial de las sociedades.

En el Ecuador, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es el responsable del Sistema Nacional de Transporte, el cual se encarga de la construcción y mantenimiento de la Red Vial del país. Esta red está conformada por un conjunto de vías primarias y secundarias que alcanzan una longitud total aproximadamente 10.000 km (Benavides & Fiallos, 2019).

Los pavimentos flexibles del Ecuador se construyen exclusivamente con asfalto AC-20, el cual es producido en la Refinería Estatal de Esmeraldas. Este detalle de

por si limita la posibilidad de mejorar comportamientos de las mezclas en determinados sitios empleando otros tipos de asfaltos. ni permite valorar correcciones al respecto. Además, el mejoramiento de asfaltos con aditivos es muy limitado en el Ecuador, salvo los de adherencia.

Según Franco y García (2019) en las carreteras del país es muy común encontrar pavimentos asfálticos que a los pocos años de ser construidos o rehabilitados exhiben altos deterioros. Es importante acotar que estos períodos de tiempo en la práctica están en el orden de 5 a 6 años. Por lo general, las carreteras de la costa sufren agrietamientos por fatiga, especialmente las descendentes o “top-down” en vías principales de alto tráfico con espesores grandes de capas asfálticas. En la sierra son más comunes los agrietamientos por bloques. Si bien en ambos casos incide el envejecimiento del ligante asfáltico y por ende de la mezcla, en el segundo es mayor la influencia de la variación diaria de temperatura. Ver Figura 1.



Fatiga (en todas las regiones)



Bloques (en la región sierra)

**Figura 1.** Fallas comunes en las capas asfálticas del Ecuador.

*Tomado de: “Análisis de la calidad del cemento asfáltico ecuatoriano durante el 2018”. Vila, R. et al. XX CILA. Guadalajara. México. 2019.*

Esta situación de poca durabilidad se le atribuye en parte a la calidad del asfalto empleado, proveniente de la Refinería de Esmeraldas, que es proclive al envejecimiento prematuro, lo que puede detectarse en el residuo de la prueba de película delgada rotatoria (RTFO) donde es usual obtener valores altos de



viscosidad y/o bajos en la ductilidad (Franco & García, 2019). Es decir, que el deterioro acelerado de las carreteras del Ecuador es consecuencia del fuerte envejecimiento del asfalto, provocado por las condiciones ambientales (temperatura, radiaciones ultravioletas y lluvias), más los esfuerzos mecánicos producidos por las cargas del tráfico para el caso de la fatiga.

King et al. (2012) afirman que la evolución de las propiedades reológicas del asfalto envejecido puede ser lo suficientemente dañina por si sola para causar agrietamientos, que es uno de los daños superficiales que contribuyen al deterioro en el tiempo de las mezclas asfálticas. Al respecto, estudios realizados mediante pruebas reológicas avanzadas demuestran que con los tiempos de envejecimiento usuales en el laboratorio (equivalen entre 7 a 10 años en obra) el asfalto ecuatoriano “se encuentra en zona de falla por agrietamiento y durabilidad” (Franco & García, 2019, pág. 61).

Puede concluirse que el envejecimiento asfáltico cambia las propiedades fisicoquímicas del material y disminuye la durabilidad del pavimento. Esto representa pérdidas para el estado debido a los costos que implica el mantenimiento anticipado de las vías.

## **1.2 Justificación e importancia del tema**

La presente tesis se relaciona con el proyecto de investigación titulado: “Estudio del envejecimiento del asfalto ecuatoriano y su impacto en la durabilidad de los pavimentos”, que se desarrolla en el Laboratorio de Carreteras de UCSG, y donde ya se ha investigado el envejecimiento en la región costa. Por lo que, ahora se plantea el análisis de esta problemática en la sierra.

La investigación es necesaria para establecer los parámetros adecuados para el manejo del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas a nivel de mezclas asfálticas para carreteras. Cabe destacar que la información suministrada en este

documento será de gran utilidad para mejorar la durabilidad de los pavimentos asfálticos del Ecuador.

El trabajo aportará con:

- Conocimientos sobre el efecto real del envejecimiento del asfalto ecuatoriano ante el clima de la región sierra.
- Una comparación entre las propiedades evaluadas en las regiones costa y sierra, que permitirá valorar y contrastar ambas problemáticas.

Lo anteriormente mencionado incluye un significativo aporte en el orden teórico práctico.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Caracterizar mediante pruebas físicas y reológicas el comportamiento del asfalto ecuatoriano envejecido, recuperado con equipo Rotavapor, de núcleos barrenados en capas asfálticas con 3 tiempos de colocación diferentes en la región sierra.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estudiar las particularidades del envejecimiento de asfaltos y mezclas, así como los procedimientos de las pruebas a realizar.
- Recuperar el asfalto de los núcleos extraídos de la vía Alóag-Santo Domingo (zona sierra) por procedimientos de centrifugado y Rotavapor con solvente diclorometano.
- Realizar las pruebas físicas y reológicas previstas: penetración, punto de ablandamiento, ductilidad y viscosidad, a los asfaltos recuperados en cada uno de los 3 tramos con diferentes tiempos de colocación.
- Establecer relaciones entre los resultados empleando criterios estadísticos y comparar con los resultados ya conocidos de vías de la costa.

## **1.4 Alcance**

De acuerdo con los objetivos planteados, el presente trabajo tiene un alcance local y nacional, porque los resultados que se obtengan serán de interés y posible aplicación por el MTOP, consultores y técnicos en general vinculados a la industria de la construcción.

Con los resultados de la aplicación del modelo experimental que se presentan en los próximos capítulos; ingenieros y otros técnicos relacionados con esta temática podrán considerar de manera real la implicación del cemento asfáltico en la explotación de vías construidas o rehabilitadas en la región sierra, asociada a su tiempo de colocación, lo que impacta en el envejecimiento del asfalto y por ende de la mezcla, así como en el comportamiento de esta última.

## **1.5 Metodología**

La metodología para el desarrollo de la investigación se plantea considerando el método general de análisis y síntesis. Se hará estudio bibliográfico, procesamiento de datos experimentales y aplicación de modelos estadísticos. El desarrollo del diseño experimental se resume en la Figura 2.



**Figura 2.** Modelo del diseño experimental

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Cementos asfálticos

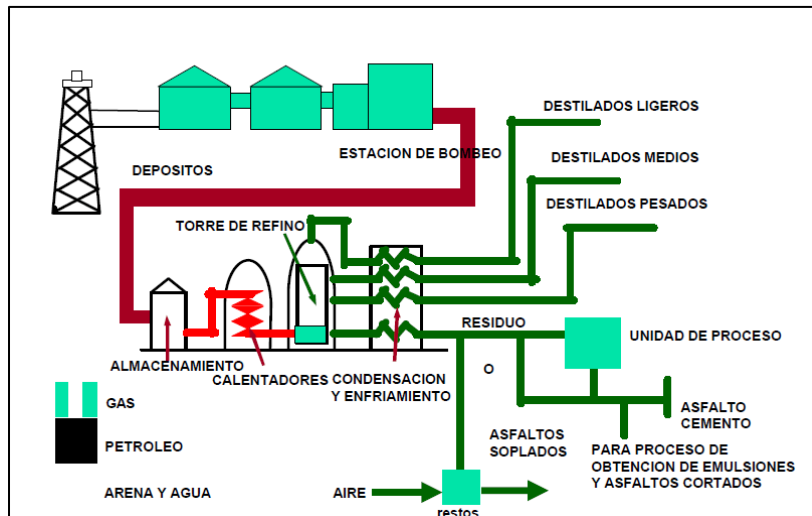
##### 2.1.1. Generalidades

Según a la American Society for Testing and Materials (ASTM) el asfalto se define como un material bituminoso con coloración marrón oscuro a negro, constituido por elementos y compuestos en los cuales los hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono cuyos componentes principales son: los asfáltenos, resinas y aceites. Estos elementos aportan características de consistencia, aglutinación y ductilidad (Arenas, 2000).

Existen tres tipos de asfalto para obras viales:

- Cementos asfálticos (para mezclas calientes)
- Asfaltos diluidos (para riegos, mezclas frías o tratamientos superficiales)
- Emulsiones asfálticas (para riegos, mezclas frías, tibias o slurry seal)

Los cementos asfálticos, que son los tratados en este estudio, se obtienen del residuo de la destilación de crudos del petróleo en refinería. Ver Figura 3. Por esta razón sus propiedades dependerán principalmente de la composición química, que viene condicionada por la naturaleza del crudo de partida y por el proceso utilizado en su fabricación.



**Figura 3.** Esquema del procesamiento de crudos en una refinería.

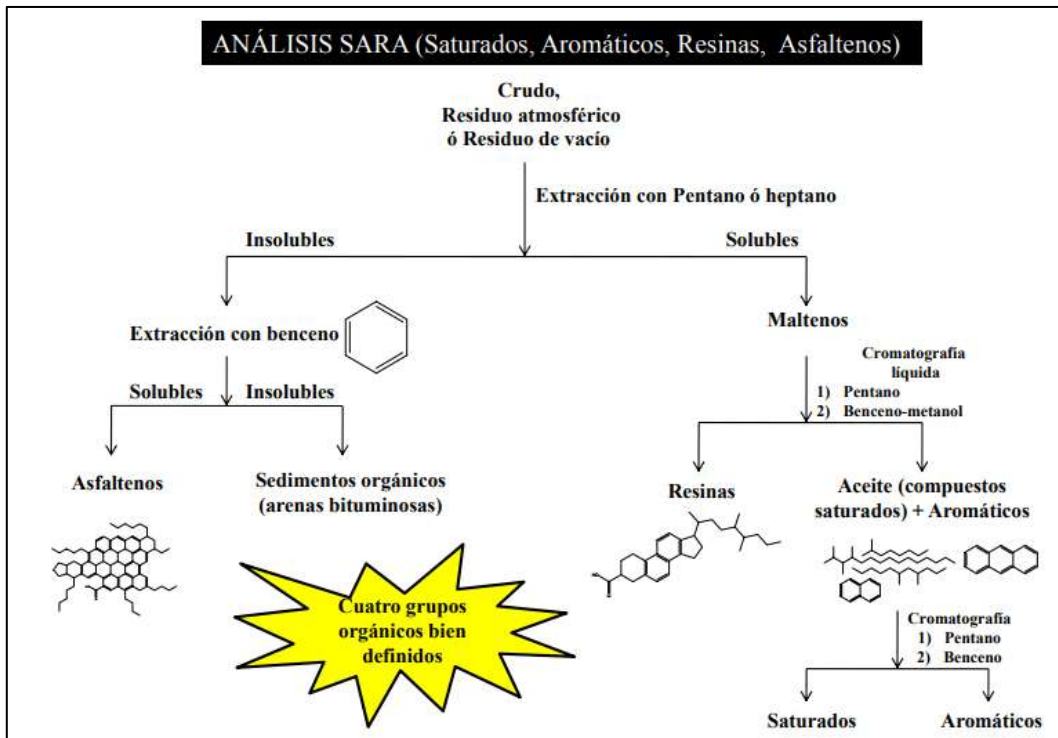
Tomado de: *Curso “Asfaltos y mezclas asfálticas para obras viales”*. Rolando Vila. UCSG. 2017.

### 2.1.2 Composición química de los asfaltos

En general los cementos asfálticos presentan una composición química conformada por:

- 82 a 88% de carbono
- 8 a 11% de hidrógeno
- 0 a 1,5% de oxígeno
- 0 a 6% de azufre
- 0 a 1% de nitrógeno
- pequeñas cantidades de metales

La composición en particular que presente el asfalto y su estructura molecular van a determinar sus propiedades físicas, las que incidirán en el comportamiento del pavimento asfáltico. En la actualidad, para conocer la estructura química de los asfaltos se emplean básicamente técnicas de fraccionamiento con solventes, de acuerdo con la normativa ASTM D4124, basada en la denominada composición SARA (Saturados-Aromáticos-Resinas-Asfáltenos). Ver Figura 4.



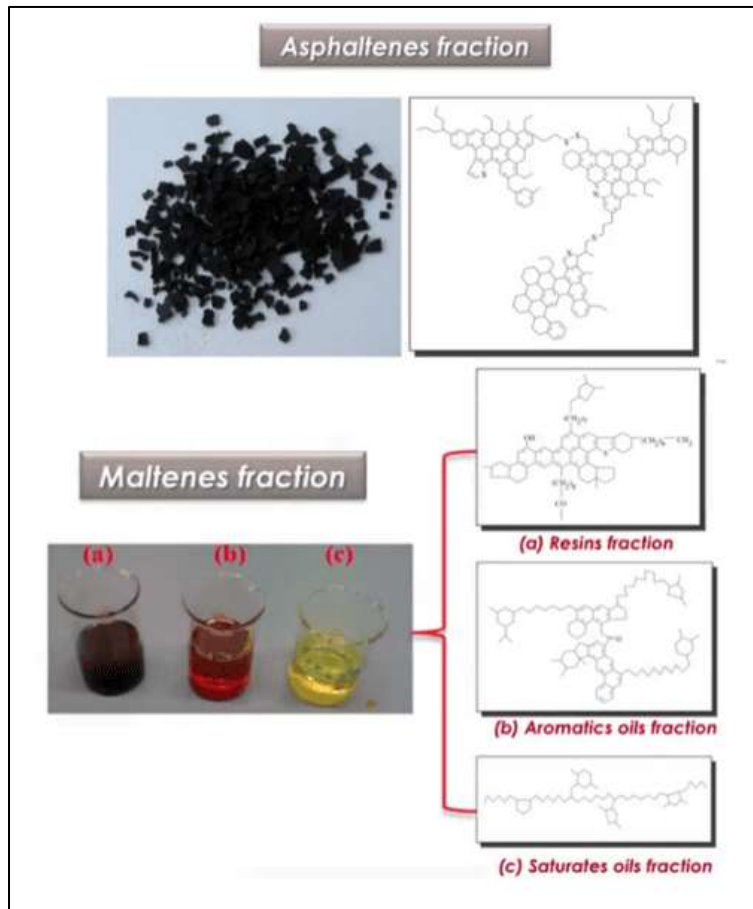
**Figura 4.** Procedimiento del análisis SARA.

Tomado de: Curso “Asfaltos y mezclas asfálticas para obras viales”. Rolando Vila. UCSG. 2017.

Los asfáltenos son partículas sólidas de un alto peso molecular, que permiten darle dureza y estabilidad al asfalto. También le proveen de elasticidad y adhesión. Las resinas actúan como un agente estabilizador de los asfáltenos, siendo compuestos muy polares, fuertemente adhesivos. Los aromáticos son las fracciones de menor peso molecular en los asfaltos, constituidos por moléculas insaturadas no polares, mientras que los saturados son compuestos de aceites viscosos no polares, de baja reactividad (Franco y García, 2019). Ver Figura 5.

### 2.1.3. Caracterización física y reológica

Caracterización física: Comprenden toda una serie de propiedades evaluadas a través de ensayos que se han desarrollado a lo largo de los últimos 100 años. Estos comprenden pruebas de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento Anillo y Bola, punto de inflamación y punto de fragilidad Fraass.



**Figura 5.** Fracciones obtenidas en el análisis SARA.

*Tomado de: Curso "Asfaltos y mezclas asfálticas para obras viales". Rolando Vila. UCSG. 2017.*

Caracterización reológica: Comprende el ensayo de viscosidad rotacional a diferentes temperaturas. En años más recientes se incluyen la determinación de parámetros como el módulo complejo y el ángulo de fase con el reómetro de corte dinámico, así como otros parámetros con el reómetro de viga en flexión, los que corresponden a la tecnología denominada Superpave.

Algunas de estas pruebas físicas y reológicas se desarrollaron en este estudio.



#### **2.1.4. Sistemas de clasificación existentes**

Los cementos asfaltos que se usan comúnmente para la construcción de pavimentos se clasifican por alguna de las siguientes metodologías:

- a) Por grado de penetración. Utiliza la prueba de penetración para estandarizar una clasificación por grados de penetración, por ejemplo, un asfalto en su estado original calificado como 60-70 debería tener siempre una penetración, medida en décimas de milímetro, dentro de ese rango. La prueba de penetración se describirá más adelante en este estudio. Esta clasificación responde a la normativa ASTM D-946-09.
- b) Por grado de viscosidad. Esta clasificación se la puede realizar a asfaltos en su estado original o después de envejecido en horno, a partir de su viscosidad absoluta evaluada a 60 °C. Esta clasificación se rige por la normativa ASTM D3381/D3381M – 09.
- c) Por comportamiento o desempeño. Esta clasificación se conoce como sistema Superpave y se describe en la normativa AASHTO M 320-10. La misma se basa en clasificar el asfalto por un grado de desempeño (PG) que indica el rango de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento donde dicho asfalto tendrá un buen comportamiento a las deformaciones y fatiga.

#### **2.2. Pruebas para el control de los cementos asfálticos según la clasificación por viscosidad**

Este método de clasificación es el empleado en el Ecuador. Las pruebas comprendidas se muestran en la Tabla 1 con las exigencias correspondientes para cada tipo de asfalto, el cual se identifica a partir de la viscosidad absoluta o dinámica medida a 60°C. Así, por ejemplo, el asfalto AC 20 debe poseer una viscosidad en su estado original de  $200 \pm 40$  Pa.s.

**Tabla 1.** Pruebas para el control de los cementos asfálticos según la clasificación por viscosidad

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, <sup>c</sup>	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración <sup>a</sup>		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad <sup>a</sup> , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
<sup>a</sup> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min. <sup>a</sup> Índice de penetración = $\frac{1952-500 \log pen-20 SP}{50 \log pen-SP-120}$ donde: pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36 <sup>c</sup> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

Tomado de: Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 2515. Enmienda1 (INEN, 2010)

### 2.2.1. Ensayo de viscosidad

La viscosidad absoluta a una temperatura de 60°C según la norma ASTM D2171, se asemeja con la máxima temperatura a la que se someterá un pavimento asfáltico en climas calientes. La viscosidad cinemática a 135°C según la norma ASTM D2170, cuyo ensayo enfoca que el cemento asfáltico tenga la capacidad para fluir y pueda ser manejable al mismo tiempo que se realiza el bombeo, transporte y manipulación.

Si bien en ambas normas los ensayos se refieren a viscosímetros capilares, en el trabajo se utilizó un viscosímetro rotacional Brookfield que corresponde a una tecnología más moderna, empleando la normativa ASTM D-4402. Ver Figura 6.



**Figura 6.** Ensayo de viscosidad

### **2.2.2. Ensayo de penetración**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia de los cementos asfálticos, se la realiza en base a la norma ASTM D5. La prueba consiste en preparar una muestra de asfalto en un recipiente estandarizado y sumergirlo al agua a 25 °C durante un tiempo, para luego medir en decimas de milímetro la penetración que se obtiene con una aguja de dimensiones estandarizadas bajo una carga de 100 gramos durante 5 segundos con ayuda del equipo penetrómetro. Ver Figura 7. El resultado del ensayo será el promedio de las 3 mediciones de penetración contiguas en la misma muestra.

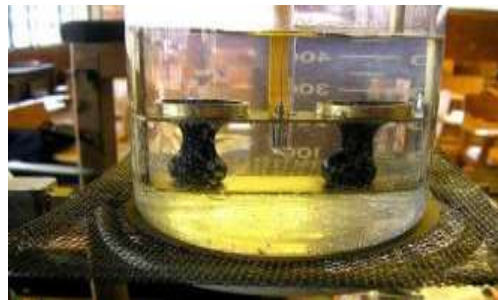


**Figura 7.** Ensayo de penetración

### 2.2.3 Punto de ablandamiento

La norma ASTM D-36 describe el procedimiento para la determinación del punto del ablandamiento de cementos asfálticos que tengan un rango de ablandamiento de 30 a 157°C utilizando el aparato de anillo y bola. Ver Figura 8. Para este ensayo se debe preparar la muestra de asfalto en los anillos y colocarlos en un recipiente con agua a una temperatura de 5°C. Después de 15 minutos a la temperatura con la que se colocó la muestra en el recipiente ya podrá realizarse el ensayo respectivamente.

Cuando se inicia el ensayo, con un mechero se calienta el agua del recipiente controlando el incremento de la temperatura con la ayuda de un termómetro a razón de 5°C por minuto. La temperatura a la cual el asfalto que rodea la bola en su descenso toca la placa de fondo del dispositivo de prueba, se identifica como el punto de ablandamiento.



**Figura 8.** Ensayo punto de ablandamiento



**Figura 9.** Ensayo punto de ablandamiento

#### **2.2.4. Gravedad específica**

De acuerdo con la norma ASTM D70 se utiliza un picnómetro de 24 a 30 ml de capacidad calibrado correctamente, determinándose su peso propio y con agua. Ver Figura 9. Posteriormente, con el picnómetro ya seco la muestra de asfalto se vierte y se pesa. El remanente de volumen que queda con aire es completado con agua. El picnómetro lleno es colocado en un baño a temperatura y se le determina su peso.

Cuando se obtienen los resultados de los distintos pesos se procede a calcular la gravedad específica según:

$$G.E = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

Donde:

A= Peso picnómetro

B= Peso del picnómetro con agua

C= Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto.

D= Peso del picnómetro con asfalto y con agua.

#### **2.2.5. Punto de inflamación**

Determina el punto máximo de temperatura del asfalto en que se lo puede manipular y almacenar sin peligro a que se inflame, tomando como referencia la norma ASTM D92. El procedimiento consiste en colocar tomar una muestra de asfalto en la denominada copa Cleveland y mediante un dispositivo calentarla, como se muestra en la Figura 10. Posteriormente a intervalos de tiempo se pasa una pequeña llama sobre su superficie hasta que ocurre una inflamación instantánea de los vapores altamente inflamables, generados por el asfalto a elevadas temperaturas.



**Figura 10.** Ensayo de punto de inflamación

### **2.2.6. Ductilidad**

Este ensayo se basa en la norma ASTM D-113 empleando el equipo ductilómetro. El procedimiento consiste en formar tres moldes de forma y dimensiones estándares para luego ser sometidas a la prueba con ductilómetro dentro de un baño de agua. Se deben establecer las condiciones tanto de temperatura como de velocidad del ensayo, siendo estas normalmente de 25°C y 5 cm por minuto de estiramiento, aunque estas pueden variar. La ductilidad será el promedio de las máximas distancias en centímetros que fueron capaces de alargarse los hilos de las tres muestras del betón hasta el momento de su rotura. Ver Figura 11.



**Figura 11.** Ensayo de ductilidad

### **2.2.7. Prueba de envejecimiento en horno de película delgada rotatoria**

Este ensayo se rige por la norma ASTM D-2872 y consiste en someter a los efectos del calor y del aire a las muestras de asfalto, empleando un horno especial, que se encuentran distribuidas dentro de recipientes de vidrio en forma de una película delgada, a una temperatura de 163°C durante 85 minutos. Ver Figura 12. El residuo que se obtiene es utilizado para hacer pruebas adicionales como viscosidad y ductilidad.

A través de este método se puede realizar una evaluación del efecto del endurecimiento o envejecimiento que presentará el asfalto luego del proceso de mezclado en planta con agregados, así como la transportación y colocación en obra. Es decir, permite estimar las características reales del asfalto al momento de comenzar su vida útil dentro de una capa asfáltica, las que son muy diferentes al asfalto original producido en la refinería.



**Figura 12.** Horno para prueba de película delgada rotatoria.

## 2.3. El envejecimiento del asfalto

El término envejecimiento se refiere al fenómeno global de alteración lenta e irreversible de las propiedades físico-químicas del ligante asfáltico. Esta alteración se inicia en el proceso de fabricación en planta, continúa durante el tendido y compactación de la mezcla asfáltica, prologándose durante el tiempo de servicio de la vía, donde es causada principalmente por la acción del medio ambiente (como oxígeno, radiación solar global, temperatura ambiente, agua y sales). La celeridad y severidad de este proceso depende, entre otros, de la calidad de la materia prima, es decir, del asfalto y los agregados (Reyes & Camacho, 2008).

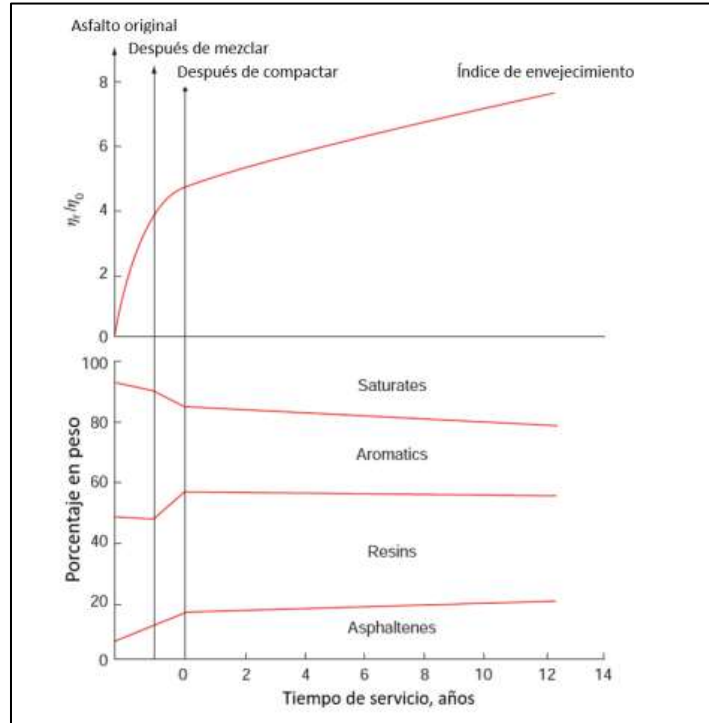
### 2.3.1. Principales mecanismos de envejecimiento del asfalto en una mezcla

Con el paso del tiempo el asfalto sufre cambios en su composición química y sus propiedades físicas y reológicas, ya que se encuentra expuesto a las condiciones climáticas imperantes en el sitio o la región. Una medida de esta variación es el denominado índice de envejecimiento, que se calcula como:

$$\text{Índice de envejecimiento} = \frac{\text{Viscosidad del asfalto recuperado}}{\text{Viscosidad del asfalto original}} = \frac{\eta_t}{\eta_0}$$

En la Figura 13 se pueden observar, como ejemplo, las implicaciones del envejecimiento del asfalto desde su fabricación hasta luego de años de colocación en una obra formando parte de una mezcla.





**Figura 13.** Efecto del envejecimiento de un asfalto.

Tomado de: *The Shell Bitumen Handbook*. ICE Publishing. 6th edición. 2014.

A continuación, se hacen algunas precisiones sobre los mecanismos más importantes que influyen en el envejecimiento del asfalto.

### 2.3.1.1. Volatilización

Es aquel mecanismo de envejecimiento denominado como corto plazo que se genera entre el incremento de temperatura durante la fabricación de la mezcla, su almacenamiento, transporte y posterior colocación en sitio, que conlleva a la evaporación de los constituyentes volátiles del ligante. Durante el proceso de mezclado, el volumen de asfalto necesario para producir la mezcla, se extiende formando una película delgada hasta cubrir totalmente la superficie de los agregados, quedando expuesto al contacto con el oxígeno y a elevada temperatura. Dicha película presenta espesores que van entre los 6 a 8 micrones.

La volatilización ocurre principalmente en el mezclado cuando las temperaturas van por encima de los 150 °C, si se llega a incrementar del valor mencionado entre 10 a 12 °C se podría duplicar la emisión de volátiles, por esta razón la viscosidad puede aumentar de 150 a 400%, afectando a las propiedades de flujo (Fernández et al., 2013).

### **2.3.1.2 Oxidación**

La oxidación es una reacción química que se produce cuando las moléculas del asfalto se oxigenan ocasionando que se endurezca y se vuelva más frágil, lo que implicará la pérdida de resistencia a la fractura de los pavimentos flexibles. Este procedimiento de oxidación se da generalmente de forma lenta y con los años, pero se incrementa con las altas temperaturas que puedan afectar una región. También incide en la oxidación las carpetas asfálticas mal compactadas, ya que el mayor porcentaje de vacíos, generará una mayor acción del oxígeno en la mezcla (Molina & Fernández, 2013)

Este fenómeno se ha venido estudiando durante un siglo y para descubrir que cambios ocurren de una forma más objetiva se utiliza actualmente la espectroscopía infrarroja FTIR, que permite determinar las concentraciones de grupos de carbonitos, sulfóxidos, hidroxilos, compuestos aromáticos, compuestos saturados e insaturados, entre otros que intervienen en el proceso oxidativo del ligante.

La oxidación incrementa el tamaño y complejidad de las moléculas de los cementos asfálticos, haciendo que disminuyan tanto los aromáticos como las resinas que les dan flexibilidad a los asfaltos y aumenten los saturados y asfáltenos, por ende, el asfalto tiende a endurecerse (Franco & García, 2019).

### **2.3.1.3. Acción del agua**

El daño por humedad es otra forma de deterioro que se potencia con la oxidación del asfalto, puesto que es causa de un debilitamiento entre las fuerzas de

adhesión asfalto-agregado ya que producto del daño oxidativo se forman ácidos carboxílicos y sulfóxidos los cuales son solubles en agua, contribuyendo al desprendimiento de asfalto y agregados (Calabi, 2012).

#### **2.3.1.4. Efecto de la radiación ultravioleta**

La radiación solar posee tres clases de ondas de acuerdo con sus longitudes: ultravioleta (UV) entre 100 y 400 nm, visible entre 400 y 780 nm, e infrarroja entre 780 y 10.000 nm. La región UV se divide en las tres bandas siguientes: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) y UVC (100–280 nm). Cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono absorben toda la radiación UVC y aproximadamente el 90% de la radiación UVB. En consecuencia, la radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos UVA, con una pequeña parte de rayos UVB (OMS, 2003). Dicha radiación UV representa aproximadamente un 7% de la radiación total que nos llega (Reyes & Camacho, 2008).

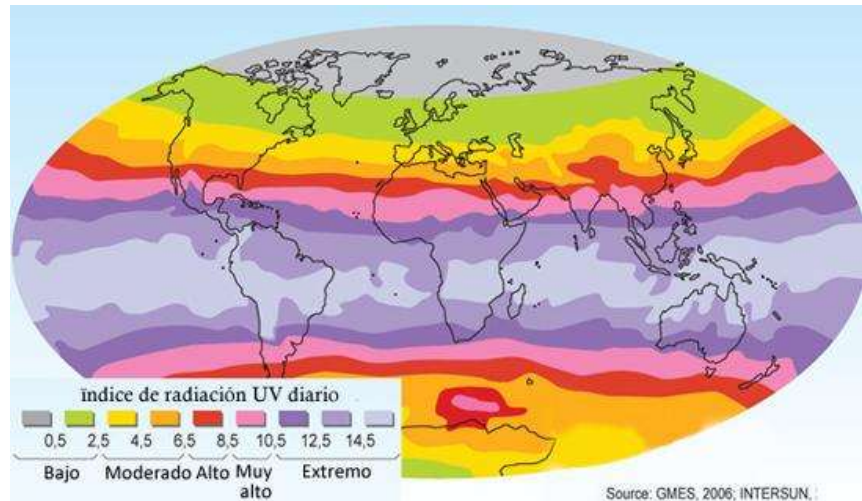
Es conocido que los rayos UV envejecen al cemento asfáltico reduciendo su vida útil, aunque su impacto se concentra más en la superficie de las capas asfálticas. El espesor de la película de ligante es un parámetro importante en el envejecimiento UV, que a menudo es ignorado por los investigadores. El asfalto, después de dicho envejecimiento puede mostrar resultados diferentes si los espesores de películas son diferentes.

Por ejemplo, la radiación ultravioleta se ha demostrado que tiene un efecto significativo en la película bituminosa con un espesor de 3  $\mu\text{m}$  debido a reacciones fotoquímicas. Si el espesor de la película es mayor, el efecto de envejecimiento será relativamente menor (Hu et al., 2018). Otros resultados mostraron que las películas de asfalto más gruesas tenían un módulo elástico más bajo, una viscosidad más alta y una producción relativamente menor de grupos carbonilo.

Por otra parte, algunas investigaciones indican que la radiación ultravioleta afecta de forma diferente al ligante dependiendo del origen de la muestra; o sea, que las afectaciones dependen de la composición particular que presenten los asfaltos, lo que implica que la fuente de procedencia es determinante (Rojas et al., 2012). A nuestro juicio esto debe incluir tanto el yacimiento como el proceso de refinación empleado para producir el asfalto.

A pesar de que los índices de radiación UV son usualmente conocidos y estudiados por estar relacionados a enfermedades cutáneas, los parámetros que intervienen en la formulación de ese índice, como la concentración de ozono, la nubosidad, la irradiación espectral solar pueden servir para considerar su efecto en el envejecimiento del asfalto. En la Figura 14 se puede observar un mapa del máximo valor diario del índice UV, donde en la línea ecuatorial se observa un índice extremadamente alto de radiación UV.

Existen autores que aluden sobre estudios de radiación ultravioleta desde hace varios años, considerando a la radiación UV como un catalizador del proceso de oxidación, proponiendo el uso de la radiación ultravioleta como un simulador oxidativo de la capa asfáltica. Es decir, que más allá de las pruebas de envejecimiento usuales al asfalto mediante calor, como la prueba de película delgada rotatoria (RTFO) o la cámara de envejecimiento a presión (PAV), deben aplicarse otros métodos para chequear el impacto de los rayos UV que en realidad inciden en las carreteras. Varios trabajos en este sentido ya se han adelantado.



**Figura 14.** Máximo valor diario del índice UV (IUV) para cielos despejados.  
 Tomado de: GMES, INTERSUN, Emmanuelle Bournay, UNEP/GRID-Arenda. 2006.

### 2.3.2 Diferencias entre el envejecimiento térmico en el laboratorio y a la intemperie en las vías

Según Villegas (2018) realizaron en Costa Rica una investigación donde sometieron diversas muestras de asfalto previamente envejecidos en el RTFO (para simular el proceso de fabricación en planta y colocación en obra) y con 1 mm de grosor, a la intemperie durante dos años, pero realizando análisis mensuales de las mismas. Al comparar la oxidación de las muestras a la intemperie y las tratadas en PAV pudieron observar diferencias claras.

Tras ambos tratamientos se observa un mayor incremento en compuestos oxigenados, tales como sulfóxidos y carbonilos, para las muestras que han sido expuestas a la intemperie, en comparación con las muestras de PAV. Por otro lado, se observa una diferencia cuantificable en especies químicas que aportan rigidez a las moléculas de asfalto, como enlaces dobles carbono-carbono y

compuestos aromáticos, siendo las muestras oxidadas a la intemperie afectadas en mayor magnitud.

Los resultados de estos investigadores sugieren que la superficie de asfalto expuesta a condiciones ambientales durante un período corto de tiempo (6 meses) experimenta una oxidación más severa que el betún sometido a tratamiento térmico en PAV, el cual pretende simular hasta 10 años de servicio. Es interesante notar que la posición geográfica de Costa Rica está cercana al Ecuador, con un clima tropical.

#### **2.4. Precisiones sobre los factores que impactan el envejecimiento en las regiones costa y sierra del Ecuador**

En el Ecuador continental existen tres zonas o regiones geográficas bien definidas, como se representan en la Figura 15. Las observaciones que se realizarán a continuación se centran fundamentalmente en la costa y sierra, ya que la densidad de vías y tráfico existente en la región amazónica es muy baja.



**Figura 15.** Regiones del Ecuador continental.

## 2.4.1. Temperatura

En la Tabla 2 se muestran los rangos de variación correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas del pavimento procesadas de acuerdo a la metodología Superpave para una confiabilidad del 98%. Las mismas fueron obtenidas de un proyecto de investigación realizado en el laboratorio de Carreteras de la UCSG, donde se procesó la información de 56 estaciones meteorológicas (Vila & Jaramillo, 2018). Las temperaturas intermedias fueron calculadas como la semisuma entre la temperatura máxima y la mínima más 4°C.

**Tabla 2.** Rangos de temperaturas en los pavimentos según Superpave.

Región	Rango de temperatura (°C)		
	Máxima	Mínima	Intermedia
Costa	54 – 58	8 – 16	35 – 41
Sierra	42 – 52	-3 – 8	24 – 34
Amazonía	52 – 57	7 – 15	34 – 40

Tomado de: “Estudio del asfalto ecuatoriano a temperaturas intermedias con la tecnología Superpave”. Vila, R., García, G., Jaramillo, J. y Troya, H. XIX CILA. Medellín. 2017.

Observando la magnitud de las temperaturas máximas en todas las regiones, se pudiera pensar que los deterioros por deformación plástica en las mezclas deberían ser los más frecuentes, sin embargo, y pese al empleo usual de arenas naturales en rangos de 10 a 20% por la mayoría de las plantas, la elevada rigidez del asfalto en general no permite que esto ocurra. Siendo por lo contrario la fatiga el deterioro más común.

Si bien los datos de la Tabla 2 nos dan una información muy valiosa, por la forma obtenerse hay que tener cuidado al comparar los máximos y los mínimos. Los primeros corresponden a las temperaturas máximas diarias de los siete días consecutivos más calurosos del año, registrados a 20 mm bajo la superficie del pavimento y como temperatura mínima de servicio, la temperatura mínima anual media en la superficie del pavimento.

De acuerdo con mediciones y estimaciones realizadas, pueden ser comunes en la superficie del pavimento variaciones diarias de unos 20 a 25 °C en la región costa y de 30 a 40°C en la sierra. Estas variaciones diarias pudieran ser unas de las causas de los agrietamientos en bloques usuales en la sierra, a todo el ancho de las vías, que son deterioros no asociados al tráfico vehicular.

#### **2.4.2. Radiaciones ultravioletas**

Es conocido que cuanto más cerca se está de la línea ecuatorial, más intensa es la radiación UV. La intensidad de los rayos solares es más fuerte allí ya que el sol pasa por la parte más alta del cielo y la distancia recorrida por los rayos ultravioleta dentro de la atmósfera es más corta. Además, el espesor de la capa de ozono es menor en los trópicos que en las latitudes medias y altas, por lo que hay menos ozono para absorber la radiación ultravioleta mientras atraviesa la atmósfera (González , 2016). Es decir, que, por la propia posición del país en el globo terráqueo, la radiación UV que nos llega es muy alta,

Pero nos afecta otro factor importante: la altitud. A mayor altitud la atmósfera es más delgada y absorbe una menor proporción de radiación UV. Con cada 1000 metros de incremento de la altitud, la intensidad de la radiación UV aumenta en un 10 a 12% (OMS, 2003). Para nuestro país en particular, sería interesante chequear estos porcentajes. En la Tabla 3 que se muestra a continuación, pueden observarse los valores de radiación solar global ( $W/m^2/h/día$ ) en 3 estaciones del INAMHI, evaluados con datos que van entre el 2013 y el 2019. Esas estaciones corresponden precisamente a las diferentes regiones.



**Tabla 3.** Radiación solar global medida.

Código	Periodo			Máx.	Min.	MEDIA	SD	CV
	desde	hasta	total					
M0003 Izobamba	2013	2019	230	8443.1	1344.2	4788.5	1224.1	0.25
M0168 Pedernales	2013	2019	163	7123.1	861.2	3701.5	1321.6	0.35
M0008 Puyo	2013	2019	143	7407.6	490.9	3540.3	1356.2	0.38

Tomado de: “Análisis y conversión de heliofanía a radiación solar global y derivación a radiación ultravioleta en las tres regiones continentales del Ecuador”. Chiguano, S.G. y Tigasi J.M. Proyecto de Investigación. Universidad Técnica de Cotopaxi. Septiembre 2020.

Puede observarse en dicha tabla que la media de las radiaciones en la estación Izobamba de la Sierra central es de 4.788,5 W/m<sup>2</sup>/h/día, mientras que un sitio costero como Pedernales, es de 3.701,5 W/m<sup>2</sup>/h/día. Si se considera que un 7% de estas radiaciones corresponden a rayos UV, se tendrá que las radiaciones UV en esos sitios serán de 335 y 259 W/m<sup>2</sup>/h/día, o sea, que desde 0 m a 3000 m de altitud (valores aproximados para esas estaciones) la intensidad aumentó en 30%, valor que coincide con lo indicado por la OMS. Se ratifica que el impacto de las radiaciones en la región sierra es mucho mayor que en la costa.

### **2.4.3. Acción del agua**

En la región costa los patrones de precipitación anuales están influenciados por dos corrientes importantes del Océano Pacífico: la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida ecuatorial. Dicha corriente cálida trae consigo aire húmedo y lluvias. Esta corriente usualmente baja más hacia el sur de la línea ecuatorial por unos cuantos meses, por lo general de diciembre a abril, trayendo consigo lluvias

(Vila R. , 2017). Las lluvias son variables entre 500 y 2000 mm anuales. En Guayaquil alcanza los 1400 mm anuales.

En la región Sierra los patrones están profundamente influenciados por las oscilaciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la baja presión en medio de enormes corrientes de masas de aire continental al norte y al sur de la línea ecuatorial, que está asociada con la nubosidad y fuertes lluvias. La ZCIT pasa sobre el Ecuador dos veces al año, los que producen dos períodos lluviosos y dos períodos secos durante el año. Los períodos de fuertes lluvias para la mayoría las localidades andinas ocurren durante marzo–mayo y octubre–noviembre (Vila R. , 2017). El promedio de precipitación anual varía entre 1000 y 2000 mm anuales, en la ciudad de Quito es de 1850 mm.

A juicio de los expertos el impacto del agua es más notorio en mezclas con compactación deficiente o con insuficiente asfalto, lo que causaría el denominado stripping o despegue del asfalto con el agregado y el desmoronamiento de la mezcla a futuro. Por esta razón se considera un factor secundario en nuestra investigación, con una acción principalmente superficial en el pavimento.

## CAPÍTULO III

### 3. Trabajo experimental

#### 3.1. Extracción de núcleos de mezclas y preparación de muestras

La extracción de núcleos a emplear para este trabajo de titulación se realizó previamente como parte de las tareas del proyecto de investigación sobre durabilidad de pavimentos que desarrolla el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. La vía seleccionada fue la parte alta de la carretera “Alóag-Santo Domingo” en la región sierra o andina, donde previamente se contactaron a los directivos de la concesión vial que existe en dicha vía y se seleccionaron ciertos tramos con diferentes tiempos de colocación. En ellos se empleó una mezcla asfáltica de similar constitución con el mismo tipo de asfalto AC 20 producido en la Refinería de Esmeraldas.

En la Figura 16 se puede apreciar en un mapa la ubicación de los sitios de extracción, que fueron:

Tramo 1: Abscisa 24+650. Tiempo de colocación 12 años.

Tramo 2: Abscisa 15+520. Tiempo de colocación 4 años.

Tramo 3: Abscisa 5+100. Tiempo de colocación 8 años.



**Figura 16.** Ubicación aproximada de los sitios de extracción de núcleos

El barrenado de núcleos se realizó empleando una broca de diámetro 150 mm, para tener mayor volumen de muestra, ya que en el estudio solo se extraerá y recuperará el asfalto de los 12 mm superiores, que son los más afectados por el intemperismo. Es decir, que los núcleos extraídos, que en general tuvieron espesores muy grandes, entre 20 y 30 cm, tuvieron que ser cortados en el laboratorio antes de iniciar el proceso de extracción de asfalto. Ver Figuras 17, 18 y 19.



**Figura 17.** Extracción de núcleos en el Tramo 1.



**Figura 18.** Corte de núcleos con espesor 12 mm.



**Figura 19.** Núcleos cortados para extracción de asfalto.

### **3.2. Procedimiento para la recuperación de asfaltos en mezclas envejecidas**

Para la recuperación del asfalto existente en los núcleos cortados de las mezclas envejecidas, se emplearon los procedimientos indicados en las normas ASTM D2172 – 01 y ASTM D5404/D5404M – 12, que se describen en una serie de pasos para su mejor comprensión.

Antes de comenzar con la extracción de asfalto se tienen que considerar todas las medidas de seguridad como: mandil, gafas y mascarillas especiales para evitar respirar gases tóxicos. Todos estos suplementos fueron entregados por el Laboratorio de Carreteras de la UCSG.

#### **Paso 1**

Las muestras cilíndricas una vez cortadas deberán ser colocadas en una bandeja grande y plana para ser calentada por el horno a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , hasta que se encuentren lo suficientemente blandas para disgregarlas con una espátula.



En la Tabla 4 se muestran el tamaño de la muestra que se necesitará para el ensayo de extracción con centrífuga convencional.

**Tabla 4.** Tamaño de la muestra a ensayar

Tamaño nominal máximo del agregado mm	agregado pul	Masa mínima de la Muestra kg
4.75	No.4	0.5
9.5	3/8"	1.0
12.5	1/2"	1.5
19.0	1/4"	2.0
25.0	1"	3.0
37.5	1-½"	4.0

*Tomado de: I.N.V. E – 732 – 07. Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos.*

En la Figura 20 se observa el proceso de disgregación de la muestra asfáltica, puesto que de esta manera contará con mayor área de contacto y será más fácil de manipular y lavar con solvente.



**Figura 20.** Disgregación de una muestra

## Paso 2

Ya disgregada la muestra, se procede a realizar la extracción del asfalto con el solvente empleado, en nuestro caso diclorometano. Para ello se debe emplear un aparato de extracción consistente en una taza metálica conectada a un motor que le permita rotar la taza a una velocidad variable y controlada hasta de 3600 rpm. La taza tiene un mecanismo de sellado hermético. El aparato debe estar provisto de un desagüe para remover dicho solvente con el asfalto diluido y un recipiente para su recolección. Ver Figura 21.



**Figura 21.** Extracción inicial del asfalto de las mezclas con solvente

Se coloca la muestra de mezcla en la taza y se cubre con solvente. Se deja el tiempo suficiente para que el solvente desintegre la mezcla por la acción del lavado (no más de 1 hora). La centrifugación inicia girando lentamente y aumentando gradualmente la velocidad al máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir el solvente con asfalto por el desagüe. Se detiene la máquina y se agregan 200 ml (o más, según sea apropiado para la masa de la muestra) del solvente y se repite el procedimiento. Se deben emplear suficientes adiciones de solvente (no menos de tres), hasta que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja (INVE-732, 2007).

El proceso utilizado en nuestro caso fue con 3 lavadas: la primera colocando 500 ml de solvente en la taza y esperando un tiempo de 25 a 30 minutos y la segunda y tercera con 200 ml y un tiempo de 25 a 30 minutos cada una. Con este procedimiento se obtuvieron lavados adecuados.

### Paso 3

Debido a que el asfalto disuelto en diclorometano contiene trazas de agregados finos, estos contaminantes deberán eliminarse antes del proceso de recuperación con el equipo Rotavapor. Por esto se debe centrifugar la solución de la extracción previa, por un mínimo de 30 minutos a 770 veces la fuerza de gravedad en tubos centrifugos.

La centrífuga empleada, mostrada en la Figura 22, fue un modelo de 8 tubos de 50 ml, con 4000 rpm como máxima velocidad de giro y capaz de generar una máxima fuerza 2395 veces la fuerza de gravedad. Para el asfalto disuelto extraído de las mezclas de cada tramo se aplicaron 5 lavadas en la centrífuga de tubos. Cada una de ellas se realizó entre 2500 y 3000 rpm, por 25 minutos.



**Figura 22.** Centrífuga empleada para extracción de sedimentos



El líquido proveniente de cada lavado se almacenaba en frascos limpios de vidrio debidamente identificados para pasar a la próxima lavada luego de limpiar cuidadosamente los tubos de ensayo. Ver Figura 23. Con este procedimiento se garantizó que al final (última lavada) ya no quedarán sedimentos pegados en el fondo de los tubos.

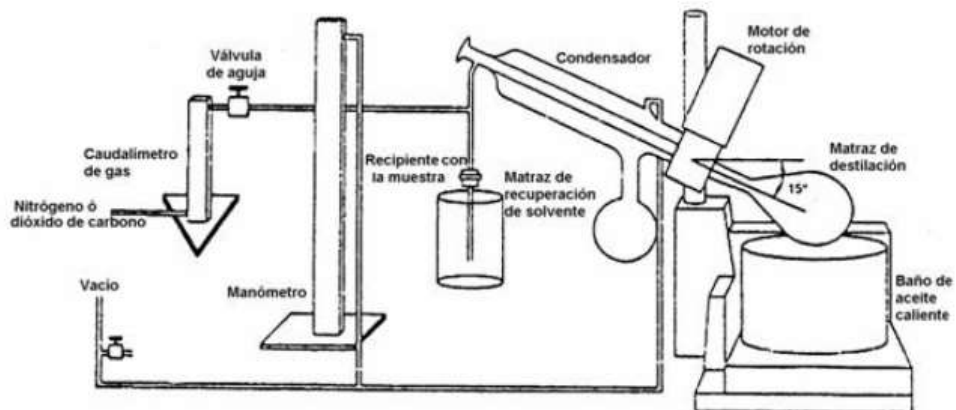


**Figura 23.** Recolección de los lavados en frascos identificados

#### **Paso 4**

Para poder separar el solvente del asfalto se hará uso del equipo Rotavapor que se encuentra en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG. Este equipo está conformado por un matraz de destilación, además de un motor de velocidad variable capaz de rotar el matraz a una velocidad de, por lo menos, 50 revoluciones por minuto, condensador, matraz de recuperación de solvente, y baño de aceite caliente. Ver Figura 24.

El procedimiento de trabajo a continuación es el descrito en la norma INVE – 759 – 07, muy similar a mencionada ASTM D5404/D5404M. Se comienza calentando el baño de aceite a una temperatura de  $140 \pm 3$  °C. Ver Figura 25. Se hace circular entonces agua fría a través del condensador.



**Figura 24.** Esquema básico de un sistema de recuperación con Rotavapor  
*Tomado de: I.N.V. E – 759 – 07. Recuperación del asfalto de una solución utilizando el Rotavapor.*



**Figura 25.** Chequeo de la temperatura en el baño.

Se aplica un vacío de  $5.3 \pm 0.7$  kPa bajo la presión atmosférica y trasvasan aproximadamente 600 ml de la solución con asfalto del recipiente que contiene

la muestra, al matraz de destilación. Se comienza un flujo de nitrógeno de unos 500 ml/minuto a través del sistema. Se inicia la rotación del matraz de destilación a 40 rpm y se introduce el mismo dentro del baño de aceite. La profundidad inicial de inmersión quedará determinada por la necesidad de alcanzar una rata controlada de evaporación de solvente. La rata correcta de evaporación puede ser advertida como una corriente continua de solvente condensado que se recoge en el matraz de recuperación.

Cuando todo el solvente ha sido destilado del asfalto y no esté ocurriendo condensación en el condensador, se sumerge el matraz a la máxima profundidad de inmersión de aproximadamente 40 mm. Se aplica lentamente un vacío de  $80 \pm 0.7$  kPa bajo la presión atmosférica. Se aumenta el flujo de nitrógeno a 600 ml/minuto aproximadamente y la velocidad de giro a unos 45 rpm. Se recomienda una espera de 2 minutos, antes de aplicar el vacío. Esta condición se debe mantener por  $15 \pm 1$  minutos. Ver Figura 26.



**Figura 26.** Equipo Rotavapor empleado en funcionamiento

Finalmente se remueve cuidadosamente el matraz de destilación del aparato y se vierte el asfalto en un recipiente apropiado. Si es necesario, el matraz se invierte y

se coloca en un horno a  $165^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  por espacio 10 a 15 minutos, para que el asfalto fluya en el recipiente.

### 3.3. Ensayos que realizar sobre los asfaltos recuperados

De acuerdo con los objetivos planteados a los asfaltos recuperados se les realizarán algunas pruebas de caracterización física y reológica. Dentro de las primeras se considerarán en particular pruebas de penetración, punto de ablandamiento (Anillo y Bola) y ductilidad. Para la caracterización reológica el estudio se centra en el ensayo de viscosidad rotacional Brookfield a  $135^{\circ} \text{C}$  de temperatura.

La prueba de ductilidad se hará a  $15^{\circ} \text{C}$  y con velocidad de estiramiento de 1 cm/min, ya que estudios precedentes han utilizado estas condiciones como un mejor indicador para el análisis del envejecimiento de los asfaltos (Anderson et al., 2011).

Las pruebas indicadas ya han sido tratadas en el Capítulo 2 de este trabajo.

### 3.4. Resultados obtenidos

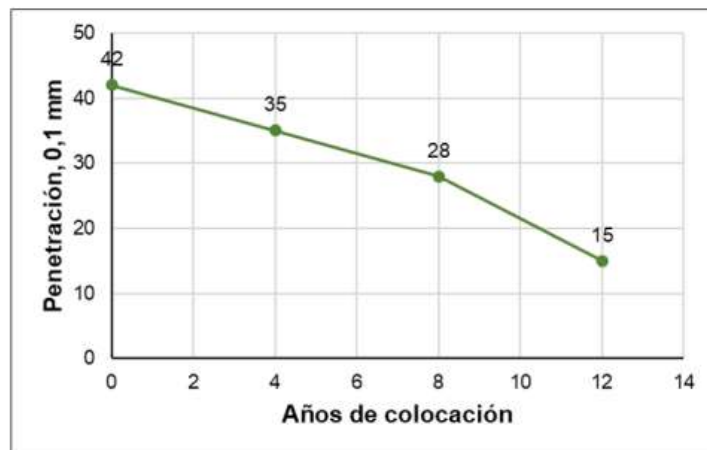
Acorde con los objetivos planteados, se muestran en la Tabla 5 los resultados de los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, ductilidad y viscosidad realizados a los asfaltos recuperados de los tramos con diferentes tiempos de colocación, en la carretera “Alóag-Santo Domingo”. En todos los casos las ubicaciones de los tramos presentan altitudes elevadas y corresponden a la región sierra o andina.

**Tabla 5.** Resultados de los ensayos en la región sierra

Región	SIERRA			
Años de colocación	0	4	8	12
Penetración, 0.1 mm	42	35	28	15
Punto de Ablandamiento, °C	56	58	62	71
Ductilidad $15^{\circ} \text{C}$ y 1 cm/min, cm	13,4	10,0	8,3	3,6
Viscosidad $135^{\circ} \text{C}$ , Pa.s	0,662	0,833	1,110	3,965

### 3.4.1. Penetración

Este ensayo se realiza en base a la norma ASTM D5 y consiste en determinar la dureza o consistencia de cementos asfálticos a la temperatura de 25 °C bajo una prueba estandarizada. Con el envejecimiento varia la consistencia, el asfalto se hace más duro con menor penetración. Ver Figura 27.



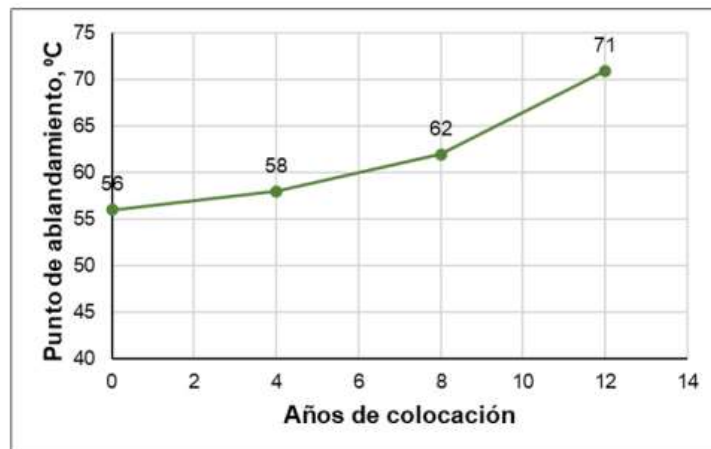
**Figura 27.** Variación de la penetración con el tiempo

En la Figura 27 se observa que al momento de su colocación la penetración fue de 42 mm/10. Luego de 4 años en obra la penetración cae a 35 mm/10 (16 % de disminución respecto a la inicial) y a los 8 años a 28 mm/10 (33%). Es decir, el asfalto en su proceso de envejecimiento se va endureciendo. A partir del año 8 aumenta el ritmo del endurecimiento, alcanzándose en el año 12 de colocación una penetración de 15 mm/10 (64 %), que es un valor muy bajo.

### 3.4.2. Punto de ablandamiento

Para este ensayo se empleó la norma ASTM D-36 en la cual se explica el procedimiento para la determinación del punto del ablandamiento de cementos asfálticos que tengan un rango de ablandamiento de 30 a 157°C utilizando el aparato de anillo y bola. El punto de ablandamiento representa una temperatura de igual viscosidad para todos los asfaltos. Al endurecerse los mismos con el

envejecimiento necesitarán mayor temperatura para fluir bajo el peso de la bola. Los resultados y su variación se muestran en la Figura 28.



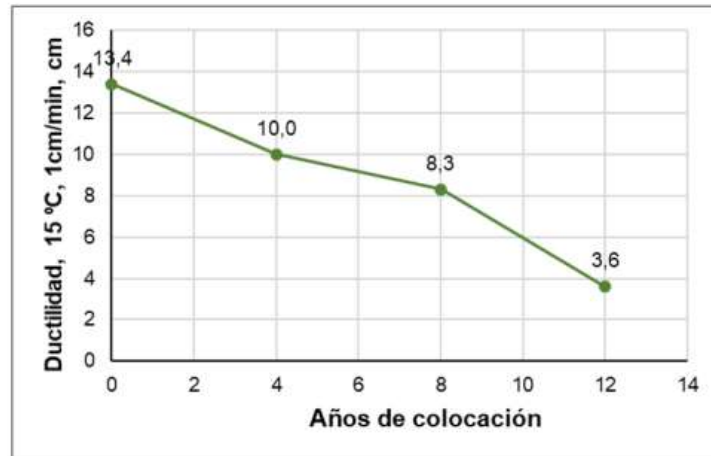
**Figura 28.** Variación del punto de ablandamiento con el tiempo

Se muestra en la Figura 28 que en el año 0 de colocación (inicio), el punto de ablandamiento fue de 56 °C, pasando a 58 °C a los 4 años (4% de incremento respecto al valor inicial) y a 62 °C a los 8 años (11%). Luego de los 8 años se observa un incremento más fuerte de la temperatura de ablandamiento. En los próximos 4 años la misma se incrementa en 9 °C, lo que origina un 27% de incremento en relación con el valor inicial. Si en la muestra inicial se necesitaron 56 °C para alcanzar el punto de equiviscosidad de la prueba Anillo y Bola, a los 12 años se necesitarían 71 °C, o sea, 15 °C más.

### 3.4.3. Ductilidad

Para este ensayo se aplicó la norma ASTM D-113 que emplea el equipo ductilómetro. La ductilidad es una medida de cuánto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. En una publicación que sirve de referente para muchos investigadores, Kandhal (1977) sugiere que los agrietamientos en bloques y las peladuras están ligado a la baja ductilidad del

asfalto después que se envejece. Dicho autor sugirió que el daño por envejecimiento del aglomerante se iniciaba cuando la ductilidad, evaluada a 15 °C y 1 cm/min, caía a 5 cm y el agrietamiento era grave cuando la ductilidad alcanzaba los 3 cm. Ver Figura 29.



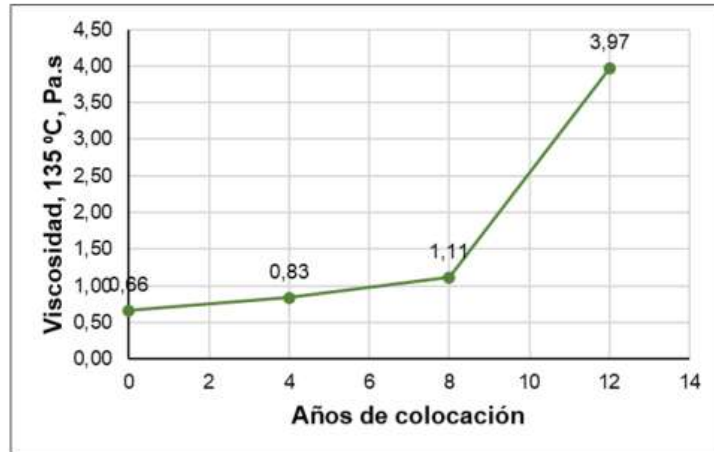
**Figura 29.** Variación de la ductilidad con el tiempo

En la Figura 29 se observa que en el año 0 de colocación la ductilidad fue de 13.4 cm, descendiendo a 10 cm a los 4 años (25% de disminución respecto al valor inicial) y a 8,3 cm a los 8 años (38%). Es decir, el asfalto recuperado se hace cada vez menos dúctil. En el último año de colocación estudiado, 12 años, se observa una disminución más grande, llegándose a 3,6 cm (73%). De acuerdo a los criterios de Kandhal a partir del año 11 el asfalto debería comenzar a presentar problemas de fallas tipo bloques y desmoronamientos, si bien estos criterios se determinaron para otras condiciones climáticas.

#### **3.4.4. Viscosidad**

Para el ensayo de viscosidad a 135 °C se utilizó un viscosímetro rotacional Brookfield, empleando la normativa ASTM D-4402. La viscosidad es una

propiedad del asfalto que describe su resistencia al flujo, en este caso a 135 °C. A mayor envejecimiento la viscosidad se incrementa. Ver Figura 30.



**Figura 30.** Variación de la viscosidad con el tiempo

En la Figura 30 se puede comprobar que la muestra de asfalto al momento de su colocación (año 0) presentaba una viscosidad a 135 °C de 0.66 Pa.s, la misma que va aumentando casi de manera lineal y con poca pendiente hasta el año 8. En este sector la viscosidad es en el año 4 de 0,83 Pa.s (26% de incremento respecto al valor inicial) y en el año 8 de 1,11 Pa.s (68%). En el último tramo la viscosidad se incrementa de manera agresiva hasta 3,97 Pa.s (502%), lo que muestra un asfalto sumamente endurecido pese a realizarse las mediciones a 135 °C.

### **3.5. Comparación de los resultados de las regiones sierra y costa**

Uno de los objetivos específicos de este trabajo es comparar los resultados obtenidos en la región sierra, con valores ya existentes de investigaciones precedentes en la región costa. Dichos valores se muestran en la Tabla 6.

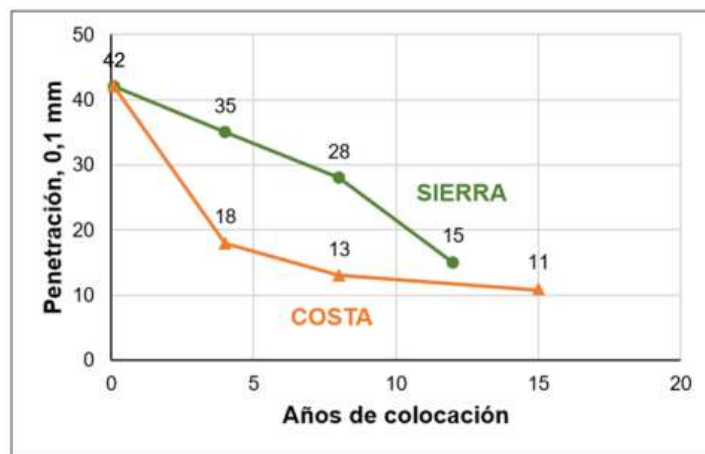
**Tabla 6.** Resultados de los ensayos en la región costa



Región	COSTA			
Años de colocación	0	4	8	15
Penetración, 0.1 mm	42	18	13	11
Punto de Ablandamiento, °C	56	74	79	82
Ductilidad 15°C y 1 cm/min, cm	13,4	4,1	3,4	2,9
Viscosidad 135°C, Pa.s	0,662	1,667	4,083	6,100

### 3.5.1. Penetración

En la Figura 31 se representan los valores de la penetración obtenidos en ambas regiones y su variación con los años de colocación, lo que equivale a tiempo de envejecimiento.



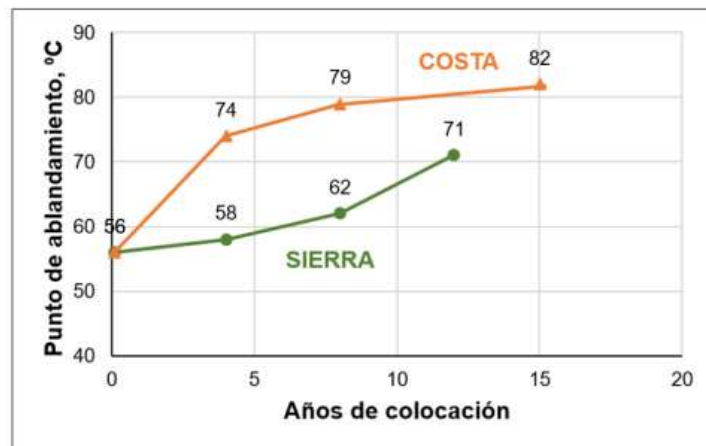
**Figura 31.** Comparación de la penetración en ambas regiones

En la Figura 31 se puede observar que los valores de la penetración en la región costa son mucho menores que en la sierra, lo que indica que el efecto del envejecimiento ha sido mucho mayor en la costa. Otro detalle interesante en la penetración, que a nuestro juicio también ocurre en las restantes propiedades evaluadas, como se mostrará posteriormente, es que el efecto del envejecimiento en la sierra tiene un impacto más atenuado en los primeros 8 años y luego se acentúa. Sin embargo, en la región costa el impacto más fuerte se detecta en los 4 primeros años y luego su ritmo decrece.

Debe notarse que si bien los valores finales de 15 mm/10 (12 años) en la sierra y 11 mm/10 (15 años) en la costa son muy bajos, el valor de 15 mm/10 se obtendría en la costa a los 6 años aproximadamente.

### 3.5.2. Punto de ablandamiento

En la Figura 32 se representan los valores del punto de ablandamiento obtenidos en ambas regiones y su variación con los años de colocación.

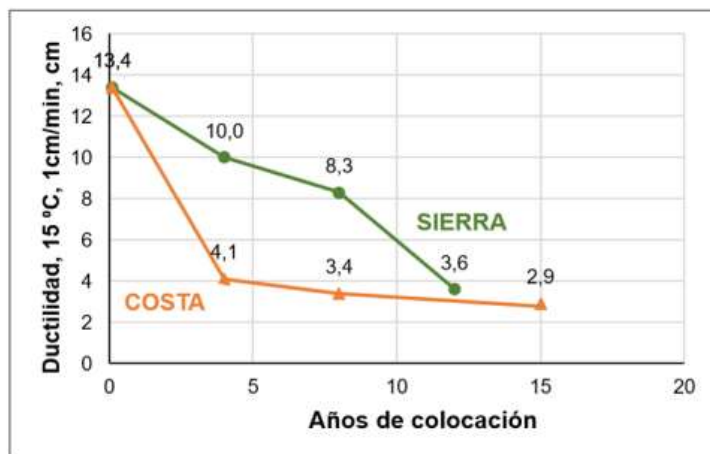


**Figura 32.** Comparación del punto de ablandamiento en ambas regiones

Los resultados mostrados indican que los puntos de ablandamiento son mucho mayores en la región costa que en la sierra, lo que demuestra que el efecto del envejecimiento evaluado por este parámetro es mucho mayor en la costa. Es decir, que al endurecerse excesivamente el asfalto se necesitaría mayor temperatura para llegar a un punto de equiviscosidad. El mayor punto de ablandamiento en la sierra de 71 °C a los 12 años, se obtendría en la costa en un tiempo de 3 a 4 años aproximadamente.

### 3.5.3. Ductilidad

En la Figura 33 se representan los valores de ductilidad obtenidos en ambas regiones y su variación con los años de colocación.

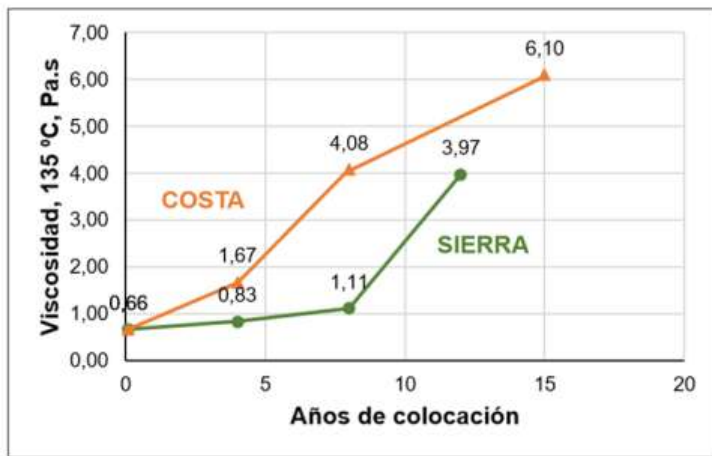


**Figura 33.** Comparación de la ductilidad en ambas regiones

Como puede apreciarse en la Figura 33 el impacto de la ductilidad es mucho mayor en la región costa, en especial en los primeros 4 años. Tomando como referencia una ductilidad baja de 5 cm, que es un referente según Kandhal para el inicio de daños acelerados en el asfalto, puede verse que dicho valor se alcanzaría a los 11 años en la sierra y tan solo entre los 3 y 4 años en la costa. Evidentemente, en nuestras condiciones climáticas ese referente no se considera que pueda ser el mismo para ambas regiones.

### 3.5.4. Viscosidad

En la Figura 34 se representan los valores de viscosidad obtenidos en ambas regiones y su variación con los años de colocación.



**Figura 34:** Variación de viscosidad con el tiempo en ambas regiones

Es conocido que los asfaltos más envejecidos tienen mayor consistencia y viscosidad. Puede observarse en los resultados de la Figura 34 que el efecto del envejecimiento es mucho mayor en la región costa. Por ejemplo, la mayor viscosidad en la sierra de 3,97 Pa. s a los 12 años se alcanzaría en la costa aproximadamente a los 8 años.

## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

1. Se logró caracterizar mediante pruebas físicas y reológicas el asfalto recuperado con equipo Rotavapor, de los 12 mm superiores de núcleos barrenados en capas asfálticas de la región sierra con tiempos de colocación de 4, 8 y 12 años. La calidad del asfalto recuperado en la mezcla recién colocada ya era conocida. Es importante señalar que todas esas mezclas fueron producidas empleando siempre el asfalto AC 20 producido en la Refinería de Esmeraldas, que es ampliamente conocido, y agregados minerales provenientes de la trituración de cantos rodados (aluviales) más arena natural.
2. En la región sierra todas las propiedades evaluadas reflejan de manera clara el envejecimiento sufrido a lo largo del tiempo, ya que el asfalto en la medida que envejece se hace más duro y menos dúctil, lo que afecta su capacidad como ligante y facilita la fractura de la mezcla. La penetración varió de un valor inicial de 42 hasta 15 mm/10 a los 12 años, con una disminución del 64%. El punto de ablandamiento inicial de 56 °C se incrementó hasta 71 °C, que representa un 27%. La ductilidad de acuerdo con el procedimiento empleado disminuyó de 13,4 cm hasta 3,6 cm, con una caída del 73%. Finalmente, la viscosidad evaluada a 135 °C varió entre 0,66 Pa. s y 3,97 Pa.s, valor muy elevado que representa un incremento de 502%.
3. La comparación de las propiedades evaluadas en las regiones costa y sierra muestra que para todas ellas existe un mayor impacto del envejecimiento en la región costa. Siendo el valor de partida (año cero) el mismo en cada propiedad de ambas regiones, ya que las mezclas tuvieron una constitución similar, puede observarse que para la región costa la

penetración llegó a 11 mm/10 a los 15 años de colocación, lo que representa el 74% de disminución. El punto de ablandamiento se incrementó hasta 82 °C, que significa un 46%. La ductilidad cayó hasta 2,9 cm, o sea, tuvo una disminución de 78%. Por otra parte, la viscosidad se elevó hasta 6,10 Pa.s para un extraordinario 824% de incremento. Esto corrobora el criterio de que el principal factor que afecta el envejecimiento es la alta temperatura promedio (oxidación térmica). Si bien los porcentajes de variación calculados respecto al valor de partida son interesantes, no se pueden comparar los mismos entre regiones de manera precisa, ya que los tiempos de colocación final son diferentes.

4. En la región sierra en todas las propiedades se observa que a partir de los 8 años aumenta significativamente el ritmo del envejecimiento, lo que se refleja en una mayor pendiente de incremento o disminución según la propiedad evaluada. Sin embargo, en la región costa esta situación se genera en los primeros 4 años, donde las pendientes son mayores, con la excepción de la viscosidad donde el aumento mayor comprendería los primeros 8 años.

## **4.2. Recomendaciones**

- 1) Ampliar la investigación realizada determinando los parámetros asociados a la tecnología Superpave, mediante el empleo del reómetro de corte dinámico (DSR) y el reómetro de viga en flexión (BBR), equipos existentes en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG.
- 2) Relacionar la información analizada con los niveles de daños existentes en los tramos de carreteras estudiadas, para de una manera preliminar tratar de establecer las condiciones límites para que se generen fallos por agrietamientos o desmoronamientos en ambas regiones.
- 3) Valorar el empleo de aditivos que permitan mejorar el envejecimiento acelerado, como puede ser el caso de los rejuvenecedores.

## Referencias Bibliográficas

- ASTM D2172 – 01. (2018). Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures. ASTM International, West Conshohocken, PA. Retrieved from [www.astm.org](http://www.astm.org) .
- ASTM D5404/D5404M – 12. (2021). Standard Practice for Recovery of Asphalt Binder from Solution Using the Rotary Evaporator. ASTM International, West Conshohocken, PA. Retrieved from [www.astm.org](http://www.astm.org) .
- Arenas, H. L. (2000). Tecnología del cemento asfáltico. Cali.
- Benavides, K., & Fiallos, L. (2019). Propuesta de un modelo para la valoración de la gestión de seguridad vial en vías estatales del Ecuador - Caso de estudio, vía Riobamba - Biblián. Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Calabi, A. (2012). Control del envejecimiento del asfalto a través de la adición polvo deshidratado de orujo, bioproducto de la industria enológica. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Chilon, D., & Palomino, W. (2020). Evaluación de calidad de materiales pétreos para la elaboración de asfalto en la carretera Otuzco - Combayo, Cajamarca - 2020. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Fernández, W., Rondón, H., & Reyes, F. (2013). El fenómeno de envejecimiento en asfaltos y mezclas asfálticas. Una revisión. Ingeniería e Investigación, 5-12.
- Franco, J., & García, W. (2019). Comportamiento del asfalto ecuatoriano ante el envejecimiento . Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Franco, J., & García, W. (2019). Comportamiento del asfalto ecuatoriano ante el envejecimiento . Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- González , G. (2016). Radiaciones ultravioletas como factor de riesgo vinculado a la génesis del pterigión en trabajadores expuestos. Revista Cubana de Enfermería.

- Hu, W., Nie, Q., Huang, B., Su, A., Du, Y., Shu, X., & He, Q. (2018). Mechanical property and microstructure characteristics of geopolymer stabilized aggregate base. *Construction and Building Materials*, 1120-1127.
- Kandhal, P.S., "Low-Temperature Ductility in Relation to Pavement Performance", *ASTM STP 628: Low-Temperature Properties of Bituminous Materials and Compacted Bituminous Paving Mixtures*, C.R. Marek (Ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1977.
- King, G., Anderson, M., Hanson, D., & Blankenship, P. (2012). Using Black Space Diagrams to predict age-induced cracking. *Rilem International Conference on Cracking in Pavements, 7th, 2012, Delft, Netherlands*.
- Molina, M., & Fernández, P. (2013). Evolución del comportamiento térmico en viviendas tradicionales de piedra y cubierta de paja. Puesta en valor de un modelo sostenible en el noroeste de España. *Revista de la Construcción*, 102-115.
- OMS. (2003). *Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Reyes, O., & Camacho, J. (2008). Efecto de la radiación ultravioleta en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica . *Revista Ingeniería e Investigación*, 22-27.
- Rojas, J., Amado, H., Fernández, W., & Reyes, F. (2012). Efectos de la radiación ultravioleta en asfaltos colombianos. *Ciencia e Ingeniería*, 96-104.
- Rolando, V., & García, G. (2014). Pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador. Una necesidad imperiosa. *Rev. Alternativas UCSG*, 24-31.
- Vila, R. (2017). *Estudio del asfalto ecuatoriano a temperaturas intermedias con la tecnología superpave*. Medellín: CILA XIX.
- Vila, R., & Jaramillo, J. (2018). Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto. *Revista Lasallista de Investigación*, 315-326.
- Villegas, R. (2018). Introducción a los modelos reológicos del asfalto. *Boletín Técnico*, 1-8.





## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Guerrero Benítez, Mateo Estefano**, con C.C: # 0202333845 autor del trabajo de titulación: **Caracterización del asfalto ecuatoriano recuperado en vías de la Región Sierra**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de febrero de 2022

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Guerrero Benítez, Mateo Estefano**

C.C: **0202333845**

## **REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	<b>Caracterización del asfalto ecuatoriano recuperado en vías de la Región Sierra</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	Guerrero Benítez, Mateo Estefano.		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Vila Romaní, Rolando PhD.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniería Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	17 de febrero del 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	63
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Cemento Asfáltico, pavimentos		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Cemento Asfáltico, Asfalto Recuperado, Envejecimiento, Equipo Rotavapor, Regiones Geográficas.		

**RESUMEN/ABSTRACT** (150-250 palabras): El objetivo de este trabajo es caracterizar mediante pruebas físicas y reológicas el comportamiento del asfalto ecuatoriano envejecido, recuperado con equipo Rotavapor, de núcleos barrenados en capas asfálticas con tres tiempos de colocación diferentes en la región sierra. Se seleccionaron tres tramos en la carretera “Alóag-Santo Domingo”, ubicados en zonas de gran altitud (2500 a 3000 m). Para la recuperación del asfalto, se emplearon los procedimientos indicados en las normas ASTM D2172 y ASTM D5404. Una vez recuperado el asfalto se procedió a realizar las respectivas pruebas físicas de penetración (25 °C, 100 g, 5 s), punto de ablandamiento y ductilidad (15 °C, 1 cm/s), así como la caracterización reológica mediante la prueba de viscosidad Brookfield (135 °C). Todas las propiedades evaluadas reflejan de manera clara el impacto del envejecimiento, ya que el asfalto se hace más duro y menos dúctil con el tiempo. La penetración disminuyó su valor inicial en 64%, el punto de ablandamiento se incrementó en 27%, la ductilidad disminuyó en 73% y finalmente la viscosidad se incrementó en un elevado 502%. Una comparación con valores obtenidos en estudios precedentes realizados en la región costa, muestra que para todas las propiedades evaluadas existe un mayor impacto del envejecimiento en la región costa que en la sierra. Esto corrobora el criterio de que el principal factor que afecta el envejecimiento es la alta temperatura promedio (oxidación térmica).

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +5930996505651	<b>E-mail:</b> guerreromatheo30@gmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos	
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956	
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	

#### **SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA**

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	