



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA  
ESTABILIDAD Y FLUJO, EMPLEANDO: BETÚN AC-20, ÁRIDOS NATURALES Y  
ÁRIDOS RECICLADOS PROVENIENTES DE ASFALTOS FRESADOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingenieros Civiles

**AUTORES:** Juan Mateo Cisneros Acevedo  
Danilo Alexander Sandoval Toapanta

**TUTOR:** Francisco Roberto Ortiz Navas

Quito - Ecuador  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Juan Mateo Cisneros Acevedo con documento de identificación N° 1752740744 y Danilo Alexander Sandoval Toapanta con documento de identificación N° 0502530405; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

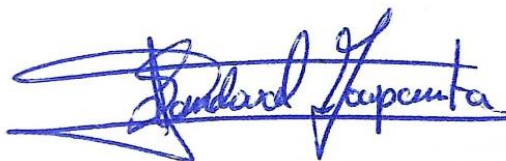
Quito, 08 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Juan Mateo Cisneros Acevedo  
1752740744



---

Danilo Alexander Sandoval Toapanta  
0502530405

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Juan Mateo Cisneros Acevedo con documento de identificación N° 1752740744 y Danilo Alexander Sandoval Toapanta con documento de identificación N° 0502530405; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “ Efecto del Recalentamiento de Mezclas Asfálticas en la Estabilidad y Flujo, Empleando: Betún AC-20, Áridos Naturales y Áridos Reciclados Provenientes de Asfaltos Fresados”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Juan Mateo Cisneros Acevedo

1752740744



---

Danilo Alexander Sandoval Toapanta

0502530405

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Francisco Roberto Ortiz Navas con documento de identificación N° 1717631244, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EFECTO DEL RECALENTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA ESTABILIDAD Y FLUJO, EMPLEANDO: BETÚN AC-20, ÁRIDOS NATURALES Y ÁRIDOS RECICLADOS PROVENIENTES DE ASFALTOS FRESADOS, realizado por Juan Mateo Cisneros Acevedo con documento de identificación N° 1752740744 y por Danilo Alexander Sandoval Toapanta con documento de identificación N° 0502530405, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de febrero del 2023

Atentamente,



---

Ing. Francisco Roberto Ortiz Navas, PhD.

1717631244

# **EFFECTO DEL RECALENTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA ESTABILIDAD Y FLUJO, EMPLEANDO: BETÚN AC-20, ÁRIDOS NATURALES Y ÁRIDOS RECICLADOS PROVENIENTES DE ASFALTOS FRESADOS**

## **EFFECT OF OVERHEATING OF ASPHALT MIXTURES ON STABILITY AND FLOW, USING: AC-20 BITUMEN, NATURAL AGGREGATES AND RECYCLED AGGREGATES FROM MILLED ASPHALT**

Juan Cisneros - Acevedo<sup>1</sup>, Danilo Sandoval - Toapanta<sup>2</sup>, Francisco Ortiz - Navas<sup>3</sup>

### **Resumen**

Las vías son obras de gran importancia, son las que determinan el desarrollo de una sociedad con actividades como el turismo, el transporte de alimentos, el comercio, la comunicación, entre muchas otras más. Su construcción y su posterior vida útil dependen de muchos aspectos, entre ellos los materiales empleados y los procesos constructivos que se llevan a cabo. En el Ecuador existen muchas vías que no han cumplido con su vida útil y que ya se encuentran en condiciones deplorables, una de las muchas razones por las cuales se puede presentar este pronto deterioro, es la manipulación del material ligante de los agregados para la fabricación de la capa asfáltica (AC-20).

### **Abstract**

The roads are works of great importance, they are the ones that determine the development of a society with activities such as tourism, food transport, commerce, communication, among many others. Its construction and its subsequent useful life depend on many aspects, including the materials used and the construction processes that are carried out. In Ecuador there are many roads that have not fulfilled their useful life and that are already in deplorable conditions, one of the many reasons why this early deterioration can occur is the handling of the binding material of the aggregates for the manufacture of the asphalt layer (AC-20). For this reason, in the present study, tests will be carried out on this material, which is used in the country for the construction of roads,

---

<sup>1</sup> Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador.

<sup>2</sup> Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador.

<sup>3</sup> Docente de la Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador.

Autor para correspondencia: [jcisnerosa@est.ups.edu.ec](mailto:jcisnerosa@est.ups.edu.ec); [dsandovalt@est.ups.edu.ec](mailto:dsandovalt@est.ups.edu.ec)

Es por esto que en el presente estudio se realizaron pruebas a este material, que es el utilizado en el país para la construcción de vías, se lo sometió a ensayos para determinar sus propiedades y a diferentes acciones de recalentamiento para la fabricación de briquetas de asfalto, con agregados naturales (sin previa utilización), con agregados fresados (obtenidos de pavimentos viejos y ya retirados), y con una mezcla de ambos, observando que el cemento asfáltico presenta un envejecimiento que deterioran sus características y hacen que este no sea considerado de buena calidad a medida que se lo recaliente una y otra vez. Además, se pudo observar que el material fresado es una opción viable en cuanto a su reutilización, presentando una composición estable vista en el estado de las muestras y los resultados arrojados en los ensayos realizados. Se puede afirmar que el estudio es una guía para futuras investigaciones que pueden seguir comparando ámbitos económicos o viables que involucre la utilización de estos materiales en la construcción de nuevas redes viales, además de seguir con la comparación de los diferentes estados en los que se puede presentar el cemento asfáltico en una mezcla.

**Palabras Clave:** AC-20, agregados, asfaltos, briquetas, fresados, ligante.

it will be subjected to tests to determine its properties and different reheating actions for the manufacture of asphalt briquettes. with natural aggregates (without prior use), with milled aggregates (obtained from old and already removed pavements), and with a mixture of both, observing that the asphalt cement presents an aging that deteriorates its characteristics and makes it not be considered of good quality as it is reheated over and over again. In addition, it was possible to observe that the milled material is a viable option in terms of its reuse, presenting a stable composition seen in the state of the samples and the results obtained in the tests carried out. It can be affirmed that the study is a guide for future research that can continue comparing economic or viable areas that involve the use of these materials in the construction of new road networks, in addition to continuing with the comparison of the different states in which it can be Present the asphalt cement in a mixture.

**Keywords:** AC-20, aggregates, asphalts, briquettes, milled, binder.

## **1. Introducción**

La mezcla asfáltica está constituida por la mezcla de agregados gruesos, agregados finos, así como de betún, que servirá como componente ligante, que conglomerará todos los componentes de la mezcla [1]. Esta configuración tiene la capacidad de tolerar distintas cargas que conlleva el tráfico y resistir agentes ambientales según la región de su construcción.

En el país como agente ligante es empleado el cemento asfáltico AC-20, material originario del petróleo tras un proceso de refinación, mismo que tendrá sus propias propiedades (viscoelásticas y ligantes) [2].

Un aglomerado para transformarse en una mezcla con la que se pueda trabajar debe pasar por un tratamiento de calentamiento. Cuando en el proceso la mezcla se enfría, el asfalto tendrá que ser recalentado, causando un envejecimiento prematuro, perdiendo rápidamente sus propiedades iniciales. A más número de calentamientos la mezcla presenta un menor valor de penetración, lo que denota un endurecimiento del material [3].

El proceso de construcción, ejecución, implementación y mantenimiento de la red vial en el país conlleva el movimiento de gran cantidad de recursos económicos. En el entorno en el que nos movemos, es importante la implementación de técnicas de reciclaje con el fin de menguar el impacto ambiental que produce la extracción de sus elementos. [4]

El desarrollo sostenible es la senda a seguir para poder satisfacer las exigencias de una población en progreso. La construcción y ampliación de la red vial se encamina a reducir el daño al medio ambiente, estableciendo prácticas que no afecten recursos en la zona de construcción como son recursos hídricos, energéticos, mineros, hidrocarbúricos [5].

La práctica de reusar materiales es de gran importancia en los pavimentos ya que todos sus elementos pueden volver a ser usados después de un proceso de fresado (material triturado proveniente del levantamiento de una capa de rodadura existente).

En su investigación, Méndez y Torres (2022) mencionan que, aunque el pavimento se encuentre

deteriorado en su estructura, los componentes que conforman su mezcla se pueden hallar en buen estado [6], siendo este argumento como la base principal del reciclaje de pavimentos.

Han existido estudios que con la implementación de material fresado se puede aumentar su resistencia estructural por medio de reforzamientos en su mezcla o utilización completa de material fresado [7].

La utilización de material fresado de ha empleado de diferentes formas como el uso parcial del mismo, con la integración de reducidas porciones de betún y áridos; también se lo ha venido aprovechando íntegramente con emulsiones en frío [8].

De acuerdo con Restrepo y Stephens (2015), la implementación de procesos de reciclado en la fabricación de mezclas asfálticas, influyen directamente en lo económico, por el ahorro en el uso de betún y materiales pétreos; esta reutilización disminuye considerablemente los costos en fabricación y mantenimiento de pavimentos en las vías del país [9].

Después de haber sido investigado y publicados resultados del uso de materiales fresados en mezclas asfálticas se ha llegado a la conclusión de su mejora significativa en sus valores rigidez y resistencia, pero presentando problemas en su rendimiento frente a la fatiga [10].

Durante años el uso de material fresado en fabricación de pavimentos se ha realizado en porcentajes bajos, siendo incorporado con betún y materiales pétreos nuevos, o se ha venido usando solo en procesos de bacheo. Luego de analizar diferentes investigaciones que rodea el reciclado de material fresado, se ha comprobado que es factible el uso íntegro del mismo para la elaboración de mezclas asfálticas, pudiendo conseguir mejores propiedades estructurales en dichas vías.

Es por eso que, dentro de este contexto, la presente investigación aborda el análisis del recalentamiento del betún AC-20, así como también la reutilización de material fresado para realizar mezcla asfáltica en caliente. Posterior a diferentes ensayos se podrá verificar la viabilidad de dicho procedimiento llegando a conclusiones claras y certeras.

## 2. Materiales y Métodos

Para la investigación se cuenta con materiales provenientes de las localidades de Pintag (árido grueso y medio) y San Rafael Bellavista (árido fino), materiales con procedencia de río y que fueron sometidos a un proceso de trituración para su uso en el diseño asfáltico. Además del betún AC-20, que es donado por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP); de la misma entidad se recolecta el material fresado, que se encuentra acumulado en una zona de la planta asfáltica sin ser utilizado, (Ver figura 1).



Figura 1: Montículos de material fresado, ubicados EPMOP

### 2.1. Materiales

Las propiedades de los elementos que conforman la mezcla asfáltica son determinadas mediante ensayos en laboratorio, obteniendo los siguientes resultados.

#### 2.1.1 Agregados Pétreos

Los agregados provenientes de la zona de Pintag (material grueso y medio) por su origen, se encuentran en depósitos de lava joven con valores de 30.75 de abrasión [11].

Análisis realizados a muestras extraídas en estos sectores se ha llegado a demostrar que tienen valores de desgaste que fluctúan entre 3.16% y 1.88%, características dentro de las especificaciones, calificando como óptimo a dicho material [12].

En laboratorio se determinan las granulometrías de los diferentes grupos de materiales pétreos. Ensayo que consta de la separación del material en porciones más pequeñas, que son divididas según su tamaño máximo nominal [13].

Granulometría que cuenta con un tamaño máximo de las partículas TM de 1'' (25,4 mm) y un tamaño máximo nominal TMN de 3/4'' (19 mm) para el agregado grueso, (Ver figura 2).

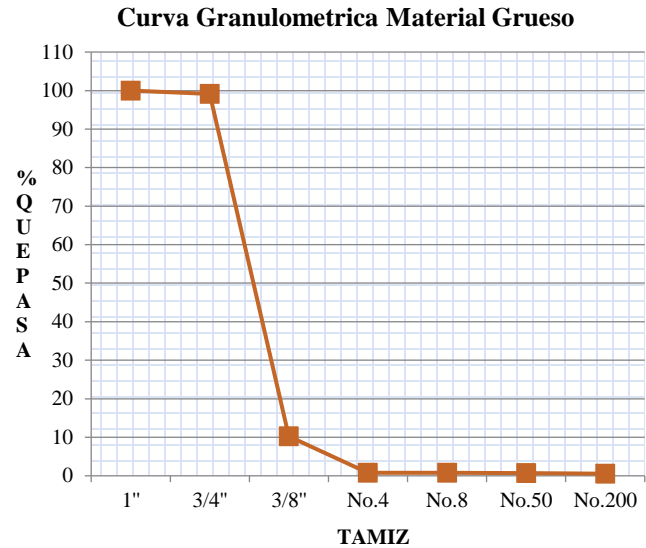


Figura 2: Curva granulométrica del material Grueso

Mientras que para los agregados medios cuenta con un TM de 3/4'' (19 mm) y un TMN de 3/8'' (9,5 mm), (Ver figura 3).

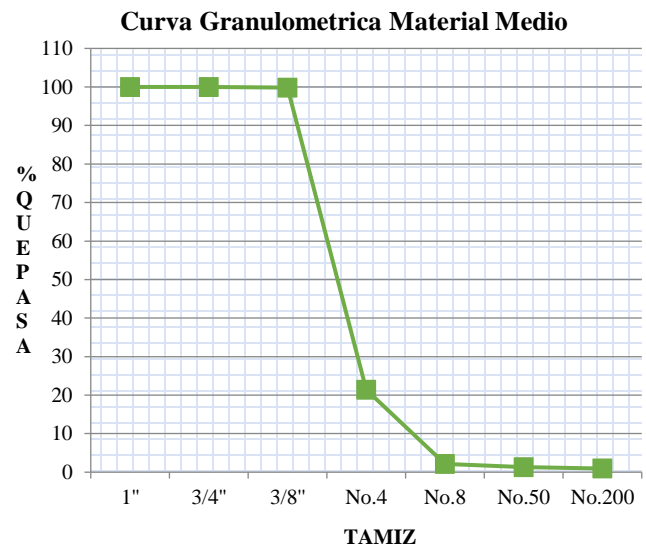


Figura 3: Curva granulométrica del material Medio



Los agregados finos tienen un TM de 3/8'' (9,5 mm) y un TMN de 4,75 mm, (Ver figura 4).

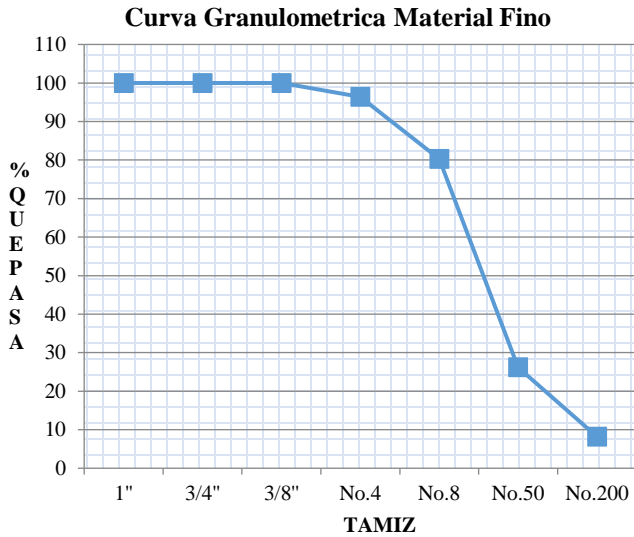


Figura 4: Curva granulométrica del material Fino

Otro de los ensayos que se realiza en los agregados es la determinación de la gravedad específica, que es el resultado de la relación entre densidades, la del material sobre la del agua, (Ver tabla 1). Indica el volumen que ocupan los áridos y los vacíos, cuando las muestras están húmedas y secas [14].

Tabla 1: Gravedad específica de los agregados

Agregado Grueso	Gravedad específica de masa	2.321
	Gravedad específica sss	2.392
	Gravedad específica aparente	2.499
	% de absorción	3.08
Agregado Medio	Gravedad específica de masa	2.337
	Gravedad específica sss	2.418
	Gravedad específica aparente	2.542
	% de absorción	3.45
Agregado Fino	Gravedad específica de masa	2.389
	Gravedad específica sss	2.446
	Gravedad específica aparente	2.533
	% de absorción	2.375

### 2.1.2. Material Ligante (betún AC-20)

Con el objetivo de conocer sus propiedades el cemento asfáltico es sometido a diferentes ensayos:

Penetración, ductilidad y punto de ignición tomados de las normas ASTM D 5-97 [15], ASTM D 113-99 [16] y ASTM D 3143-98 [17] respectivamente, (Ver tabla 2).

Tabla 2: Propiedades del cemento asfáltico

<b>GRADO DE PENETRACIÓN (dmm)</b>	
Promedio	57.63
<b>Ductilidad (cm)</b>	
Promedio	103.5
<b>Ignición (°C)</b>	
Lectura	190
<b>Llama (°C)</b>	
Lectura	210

### 2.2. Diseño de mezcla

La investigación parte de la determinación de las propiedades de los materiales recolectados para la fabricación de la mezcla asfáltica. Propiedades como la granulometría como se muestra en las figuras 2, 3, 4, y la gravedad específica, (Ver tabla 1), para los tres tipos de áridos naturales (grueso, mediano y fino). Para el cemento asfáltico AC-20 propiedades como el grado de penetración, la ductilidad, punto de ignición y de flama, (Ver tabla 2).

El árido fresado tiene que ser tamizado hasta alcanzar los tamaños necesarios para fabricar una granulometría similar a la de los áridos naturales, con el fin de que este no sea un factor que pueda alterar los resultados del estudio.

A partir de la granulometría de los áridos, se determinan los porcentajes de cada tamaño del material, (Ver tabla 3), con los mismos se obtiene las cantidades de cada material para la mezcla asfáltica, buscando que se encuentre dentro de los parámetros especificados en normativa, (Ver figura 5), y se determina, teóricamente, un contenido de asfalto. Con el contenido de asfalto teórico, se fabrican muestras en caliente, también denominadas briquetas (mezcla asfáltica ya compactada con determinadas dimensiones), para ser ensayadas y así obtener un porcentaje de betún óptimo para el estudio.

Tabla 3: Graduación combinada de la mezcla.

TAMIZ	% GRUESO	% MEDIO	% FINO
1"	30	20	50
3/4"	30	20	50
3/8"	3	20	50
No.4	0.3	4.2	48
No.8	0.3	0.4	40
No.50	0.3	0.2	13
No.200	0.3	0.2	4
% USADO	30	20	50

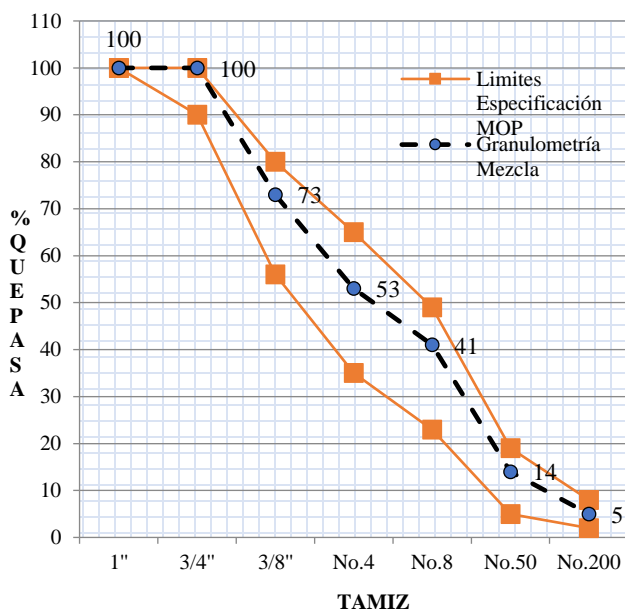


Figura 5. Curva granulométrica de material natural y fresado.

El método a utilizar para el ensayo de las briquetas compactadas en caliente es el conocido como Método Marshall, (Ver figura 6), que tiene como propósito determinar un contenido de asfalto óptimo para una mezcla determinada de agregados [18].

Para poder conocer el porcentaje de asfalto con el que cuenta el material fresado, se lo somete a un ensayo en el horno de ignición, que con una balanza determina el porcentaje exacto de asfalto con el que cuenta el árido, además de obtener datos importantes como la degradación de la mezcla en caliente [19].

Al comparar el porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla fabricada con agregados naturales,

después de haber sido ensayada (6,69%), con el porcentaje arrojado del ensayo en el horno de ignición para el asfalto fresado (6,85%); se concluye que el porcentaje de asfalto con el que ya viene el material fresado recolectado es superior al de la mezcla obtenido en el ensayo. Como consecuencia de esto, se adopta el contenido de asfalto del agregado reciclado.

Con todos los datos necesarios ya obtenidos, se planifica que los materiales son utilizados para la fabricación de 27 briquetas, las mismas que se dividen en 3 grupos; las primeras 9 briquetas conformadas con áridos naturales, las siguientes 9 muestras conformadas con áridos fresados y las 9 últimas con una combinación de mitad con áridos naturales y la otra mitad con reciclados. Cada grupo de especímenes es fabricado con uno, dos y hasta tres recalentamientos del cemento asfáltico (betún AC-20).

Durante el proceso de fabricación de las briquetas con los diferentes tipos de muestras, se visualiza una distinta trabajabilidad según su combinación. Al momento del mezclado, para las muestras compuestas por agregado fresado, el tiempo para que todas sus partículas estén recubiertas del betún era mucho menor, en comparación a las muestras con material natural. En el proceso de compactación, presentan una menor dificultad al encontrar las partículas de material fresado un mejor acomodo en el molde, incluso las muestras cuentan con una apariencia más sólida.

### 2.3. Ensayos en laboratorio

Es necesario determinar las características de las briquetas ya fabricadas, aspectos como su peso en diferentes condiciones. Además de obtener la densidad máxima teórica RICE para así analizar las propiedades volumétricas de las muestras, como el contenido de vacíos y asfalto efectivo [19].

Se pesan las briquetas bajo tres condiciones, la primera es la masa seca al aire, la segunda la masa sumergida en agua y la tercera es la masa saturada superficialmente seca (S.S.S), es decir que después de haber sido sumergida se le retira el exceso de agua de la superficie y se la pesa.

$$v = \frac{e}{f} \quad (1)$$

Donde:

- v: Volumen incorporado en los vacíos de la muestra.
- e: Masa saturada superficialmente seca.
- f: Masa sumergida en agua.

Para el cálculo del peso específico Bulk, se utiliza la ecuación 2:

$$g = \frac{d}{v} \quad (2)$$

Donde:

- g: Peso específico Bulk.
- d: Peso seco de la muestra.
- v: Volumen incorporado en los vacíos de la muestra.

Otro de los procedimientos que se realiza en laboratorio, es la determinación de la densidad máxima teórica. En donde se pesa una cantidad de material representativa, enfriada a temperatura ambiente (A), se la sumerge en agua a una temperatura de 25°C, removiendo el aire atrapado aplicando un vacío parcial de 4 kPa o menor a una presión absoluta, de 5 a 15 minutos; con el procedimiento manual se requiere de agitar al recipiente en intervalos de 2 minutos. Se llena un picnómetro con agua a 25°C y se lo pesa (D), se coloca la muestra dentro del picnómetro y se la pesa (E). Ecuación 3:

$$Rice (i) = \frac{A}{A+D-E} \quad (3)$$

Es necesario conocer la gravedad específica de los agregados en la mezcla, mediante la ecuación 4.

$$m = \frac{100}{\frac{F}{I+J} + \frac{H}{L}} \quad (4)$$

Donde:

- m: Gravedad específica de los agregados en la mezcla.
- F: Porcentaje de agregados gruesos en la mezcla.
- G: porcentaje de agregados medios en la mezcla.
- H: porcentaje de agregados finos en la mezcla.
- I: Gravedad específica de masa en los agregados gruesos.
- J: Gravedad específica de masa en los agregados medios.

- L: Gravedad específica de masa en los agregados finos.

Con las características ya obtenidas y con el porcentaje de asfalto empleado en la briqueta (b), se puede determinar el porcentaje del volumen total que ocupan los agregados en la briqueta de asfalto con la ecuación 5; así como también el porcentaje de vacíos con la ecuación 6 y de asfalto efectivo en la muestra con la ecuación 7.

$$V. agregados (k) = \frac{(100-b)*g}{m} \quad (5)$$

$$V. vacios (l) = \left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100 \quad (6)$$

$$V. asfalto efec. (m) = 100 - k - l \quad (7)$$

Para una mejor evaluación de la mezcla asfáltica, se determina el porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.M.A) y el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (V.F.A) con las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

$$V. M. A (n) = 100 - k \quad (8)$$

$$V. F. A (\tilde{n}) = \left(\frac{n-l}{n}\right) * 100 \quad (9)$$

Otros parámetros medidos son la estabilidad y el flujo, valores que se obtienen con el ensayo Marshall detallado en la norma ASTM D1559-76 [20].

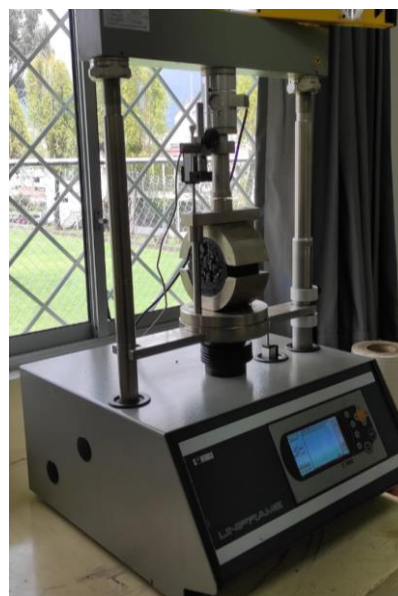


Figura 6. Máquina para ensayos de estabilidad Marshall.

La estabilidad en una mezcla asfáltica es la capacidad que esta tiene para resistir

deformaciones y desplazamientos bajo sollicitaciones de tránsito. Una mezcla estable tiene la capacidad de mantener su forma y rugosidad ante cargas repetitivas [21]. Los valores que son arrojados por el ensayo se corrigen de acuerdo al valor del volumen de la briqueta y siguiendo la tabla de correlación de la estabilidad y los radios de las muestras de la norma ASTM D 1559-76 [20].

Mientras que el flujo se define como la deformación de la briqueta en un punto en el que se le aplica una carga máxima [21]. En el estudio se mide la estabilidad y el flujo de los especímenes fabricados, tomando en cuenta las diferencias y combinaciones de los materiales en su mezcla y el recalentamiento del cemento asfáltico.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Efecto del recalentamiento del betún

El cemento asfáltico es colocado en el horno a una temperatura de 140°C, misma que permite su fácil manejo. Cada proceso de recalentamiento del betún se resume en someter al material a la temperatura mencionada durante 24 horas, para después retirarlo del horno y dejarlo reposar y enfriar al ambiente durante otras 24 horas más.

Después de pasar por este proceso y haber sido ensayado, el betún presenta que sus características se alejan cada vez más de las óptimas con cada recalentamiento. Demostrando que el betún si presenta un llamado envejecimiento, que cambia las propiedades del cemento asfáltico, haciendo que este disminuya los valores de sus características a medida que se le vaya realizando un recalentamiento.

##### 3.1.1. Grado de penetración

Los valores establecidos en la norma NTE INEN 2 15:2010 [22], para la penetración del cemento asfáltico AC-20, tiene como mínimo 60 dmm (décimas de milímetro). El betún utilizado en el estudio presenta los valores de la tabla 4.

Con mayor número de recalentamientos, el valor de penetración del betún que se utiliza en el estudio disminuye, como observamos en las tablas 5 y 7, es decir que su consistencia se considera más firme o resistente.

Tabla 4: Grado de penetración del cemento asfáltico.

	Temperatura		Penetración (mm*10 <sup>2</sup> )
	Datos	(°C)	
Primer Recalentamiento	Primera		
	Lectura	25	54.4
	Segunda		
	Lectura	25	55.2
	Tercera		
	Lectura	25	57.8
	Promedio		55.8
Segundo Recalentamiento	Datos	Temperatura	Penetración
		(°C)	(mm*10 <sup>2</sup> )
	Primera		
	Lectura	25	53.5
	Segunda		
	Lectura	25	53.9
	Tercera		
Lectura	25	57.7	
	Promedio		54.4
	Coef. Variación		2.58

##### 3.1.2. Ductilidad

La ductilidad, según la norma NTE INEN 2 15:2010 [22], para el betún AC-20 tiene como valor mínimo 100 cm (centímetros). Los valores de ductilidad que se obtienen en el ensayo se pueden observar en la tabla 5.

Tabla 5: Ductilidad del cemento asfáltico.

	Temperatura		Dist. Rot (cm)
	Datos	(°C)	
Primer Recalentamiento	Primera		
	Lectura	25	96.5
	Segunda		
	Lectura	25	104.8
	Tercera		
	Lectura	25	109.7
	Promedio		103.67
Segundo Recalentamiento	Datos	Temperatura	Dist. Rot
		(°C)	(cm)
	Primera		
	Lectura	25	98.9
	Segunda		
	Lectura	25	105.6
	Tercera		
Lectura	25	110.7	
	Promedio		105.1
	Coef. Variación		4.98

La ductilidad con cada recalentamiento del cemento asfáltico aumenta en promedio; lo que se traduce en una mayor adherencia y capacidad ante sollicitaciones de ruptura por parte del material.

### 3.1.3. Punto de ignición y llama

La NTE INEN 2 15:2010 [22], establece 232°C como valor mínimo de punto de flama del AC-20. Obteniendo en el ensayo valores resumidos en la tabla 6.

**Tabla 6:** Valores de recalentamiento de ensayo de ignición y llama.

<b>PRIMER RECALENTAMIENTO</b>	
<b>Punto de Ignición</b>	<b>Datos</b> <b>Temperatura (°C)</b>
	<b>Lectura</b> 200
<b>SEGUNDO RECALENTAMIENTO</b>	
<b>Punto de Ignición</b>	<b>Datos</b> <b>Temperatura (°C)</b>
	<b>Lectura</b> 205
	<b>Coef. Variación</b> 0.87
<b>PRIMER RECALENTAMIENTO</b>	
<b>Punto de Llama</b>	<b>Datos</b> <b>Temperatura (°C)</b>
	<b>Lectura</b> 222
<b>SEGUNDO RECALENTAMIENTO</b>	
<b>Punto de Llama</b>	<b>Datos</b> <b>Temperatura (°C)</b>
	<b>Lectura</b> 227
	<b>Coef. Variación</b> 0.78

A pesar de aumentar el valor de esta característica con cada recalentamiento, el cemento asfáltico utilizado no cumple con la normativa, teniendo como valor máximo 227°C.

Este estudio presenta la información de hasta tres recalentamientos, a una temperatura de 140°C, sin sobrepasar los valores límites establecidos en la norma para cementos asfálticos tipo AC-20.

### 3.1.4. Estabilidad

El recalentamiento del cemento asfáltico AC-20 no representa un valor de influencia en este parámetro; si bien es cierto que los valores de estabilidad en las muestras diseñadas con agregados naturales van disminuyendo con cada recalentamiento, esta misma tendencia no se presenta para las briquetas

realizadas con la mezcla de agregados naturales y fresado, ni con las de material fresado. Analizando únicamente los resultados con el material natural, se puede decir que el recalentamiento del betún afecta en la capacidad de soportar deformaciones de la mezcla asfáltica, haciéndola menos capaz de soportar ese tipo de sollicitaciones.

### 3.1.5. Flujo

Al igual que con la estabilidad, no se puede observar una tendencia clara de afectación del recalentamiento del betún a las mezclas con los diferentes materiales. Si tomamos los especímenes diseñados con agregados naturales, se puede decir que el flujo en estas muestras aumenta con cada recalentamiento, haciéndolas capaces de deformarse fácilmente.

### 3.2. Efecto del recalentamiento en la mezcla

El diseño de la mezcla para los agregados naturales, cuenta con un porcentaje de asfalto superior al obtenido en los ensayos realizados para este tipo de material; por lo que los valores promedios de vacíos con respecto al volumen total de la briqueta, y los vacíos en los agregados minerales de las muestras, detallados en la tabla 7, son superiores a los límites recomendados para una mezcla asfáltica óptima. Demostrando que un porcentaje de asfalto superior al adecuado afecta a los agregados en la conformación de un elemento compacto, sin muchos vacíos y con un mejor acomodo de las partículas entre sí. Sin embargo, en los aspectos como la estabilidad y el flujo se cuenta con valores promedios aceptables para un asfalto.

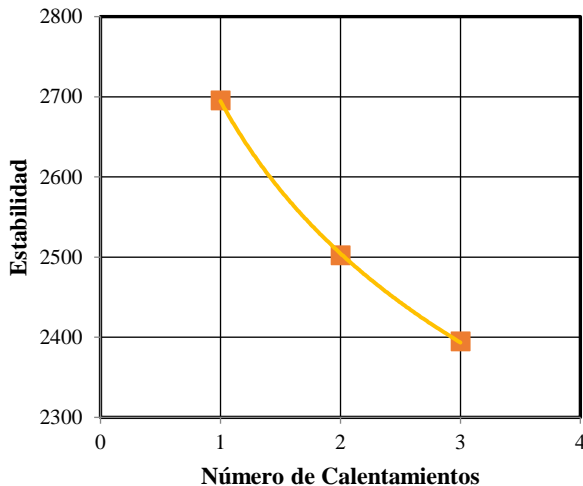
Los especímenes fabricados con la mezcla de agregados naturales y reciclados, (Ver tabla 8), presentan valores promedios de vacíos, en relación al volumen de toda la muestra, dentro del rango aceptable, con lo que se puede decir que existe menor cantidad de vacíos en las muestras; con respecto a los vacíos entre partículas de las briquetas, se siguen obteniendo valores superiores al 13% que siguen siendo muy elevados, y demuestran que las partículas no tienen un buen acomodo entre sí. En este caso, la mezcla realizada con material natural y reciclado cuenta con una mayor capacidad de resistir deformaciones y

desplazamientos, haciendo al pavimento más rígido, lo que para climas fríos es de gran problema porque puede presentar fisuras y fallas a temprana edad. La capacidad de resistir cargas de esta mezcla también es considerablemente mayor a las anteriores briquetas, que únicamente contaban con agregados naturales.

El diseño asfáltico que cuenta con material fresado, (Ver tabla 9), tiene un mejor acomodo de partículas, observando en las briquetas un desmoronamiento del material casi nulo. Los valores de estabilidad son aún más altos que los anteriores especímenes, presentando el mismo problema de rigidez para climas fríos. De los tres grupos de mezclas, es la que presenta también una mayor capacidad de soportar cargas.

Al realizar un análisis relacionando la estabilidad, tomando en cuenta el número de recalentamientos del betún, con la mezcla asfáltica compuesta por los agregados naturales, se observa que mientras exista un incremento en el número de calentamientos, este va a afectar a la estabilidad del espécimen haciendo que sus valores disminuyan, tal y como se observa en la figura 7.

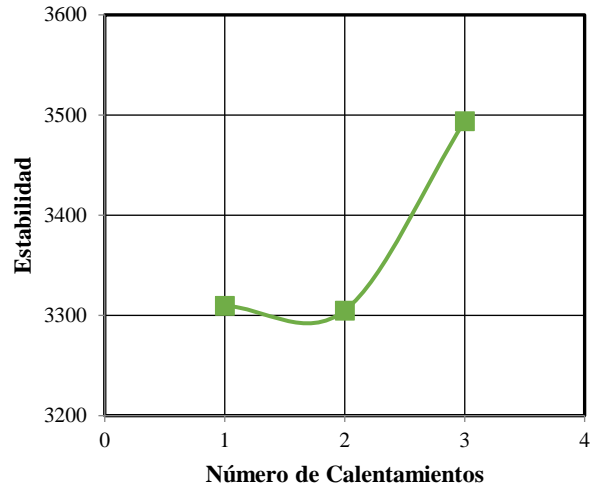
**Figura 7:** Estabilidad vs Número de calentamientos, de mezcla asfáltica con material natural



Con la adición de material fresado en la mezcla asfáltica, se tiene un aumento en los valores de estabilidad con un mayor número de recalentamientos, y se identifica un importante

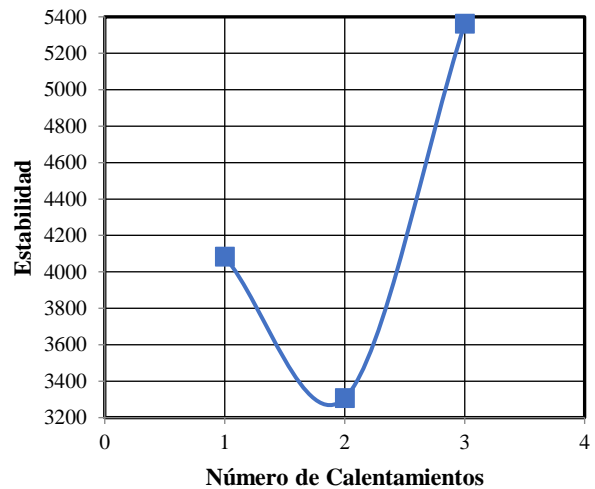
ascenso a partir de su tercer recalentamiento, figura 8.

**Figura 8:** Estabilidad vs Número de calentamientos, de mezcla asfáltica con material natural y fresado



Con el uso integro de material fresado en la mezcla asfáltica, se puede ver el mismo comportamiento, pero alcanzando valores elevados en comparación a los dos anteriores diseños, figura 9.

**Figura 9:** Estabilidad vs Número de calentamientos, de mezcla asfáltica con material fresado

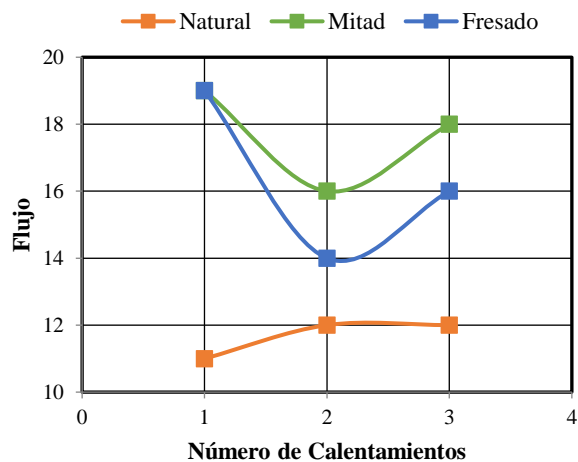


Con este análisis de estabilidad, se puede decir que el recalentamiento del cemento asfáltico influye en su mayor parte en la mezcla conformada por material fresado, presentando cambios importantes en los valores obtenidos

haciéndola mucho más resistente a las deformaciones en su tercer recalentamiento.

Otro parámetro a relacionar es el flujo con la cantidad de recalentamientos realizados en el cemento asfáltico, para cada tipo de mezcla, (Ver figura 10). En esta comparación se observa que el flujo obtiene valores superiores en las mezclas fabricadas con material natural y fresado. Además, a simple vista se puede observar que existe una tendencia, en los valores de flujo del segundo recalentamiento en las mezclas de material combinado y fresado, estos valores descienden para posteriormente volver a incrementarse con un tercer recalentamiento. Misma tendencia que no se puede observar con los especímenes de material natural, al ver que los valores de un segundo y tercer recalentamiento prácticamente se mantienen constantes.

Figura 10: Flujo vs Número de calentamientos, de mezcla asfáltica

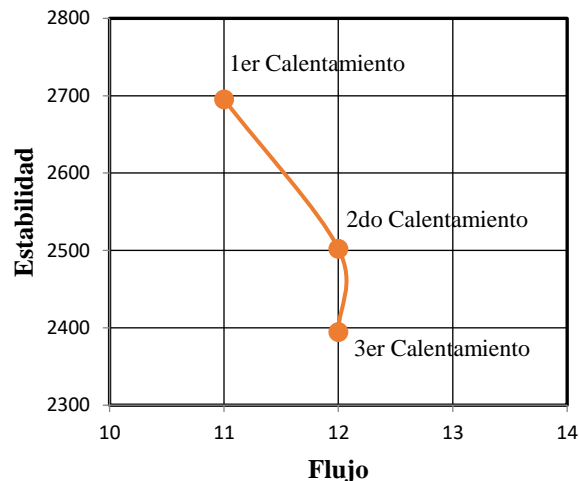


Como resultado de esta comparación, se extrae que el recalentamiento del cemento asfáltico influye únicamente en las muestras que contienen, ya sea parcial o totalmente, material fresado. Una de las razones por las que esto puede ocurrir es la diferencia del betún que existe entre el que se le tiene que agregar al agregado natural, con el que ya cuenta el agregado reciclado.

Al relacionar la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica conformada únicamente por agregados naturales, (Ver figura 11), se concluye que entre menor sea el valor de flujo mayor será el valor de

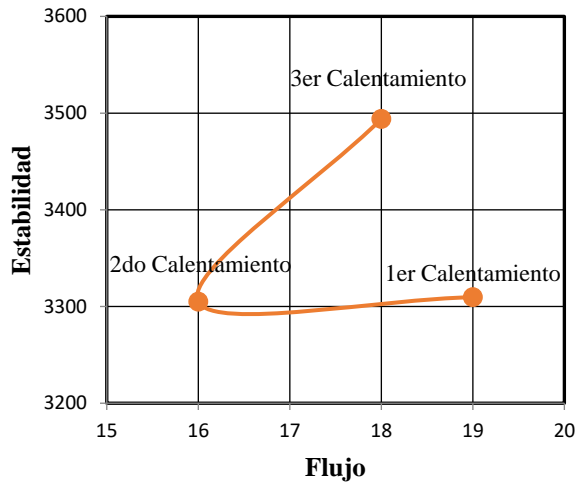
la estabilidad. Aunque esto se observe únicamente en el primer calentamiento del cemento asfáltico; los valores de flujo se mantienen en un segundo y tercer recalentamiento, a pesar de que la estabilidad disminuya.

Figura 11: Estabilidad vs Flujo, de mezcla asfáltica con material natural



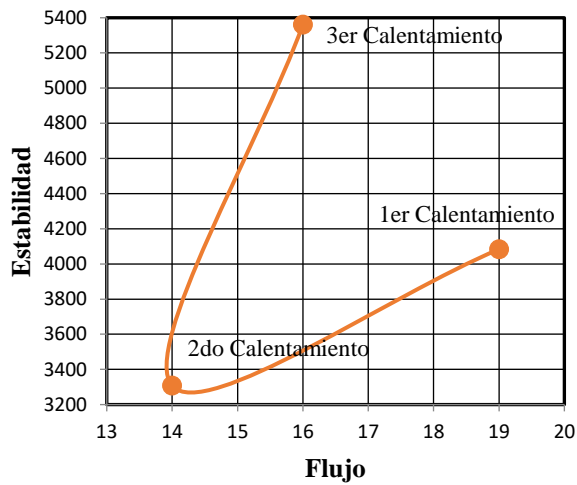
En cuanto a la estabilidad vs el flujo en las briquetas de material combinado, se puede ver que no existe una tendencia clara, tampoco se puede afirmar que la estabilidad dependa del flujo o viceversa. Para un segundo y tercer recalentamiento del betún, se mantienen los valores de estabilidad aumentando los de flujo, es decir que la mezcla aumenta en rigidez, pero no en su capacidad de deformación para un tercer recalentamiento.

Figura 12: Estabilidad vs Flujo, de mezcla asfáltica con material natural y fresado



El flujo vs la estabilidad para briquetas de material fresado, presenta la misma variabilidad en sus resultados que el anterior tipo de mezcla. No se puede relacionar a los dos valores con los recalentamientos realizados al cemento asfáltico.

**Figura 13:** Estabilidad vs Flujo, de mezcla asfáltica con material fresado





Cisneros, Sandoval / Efecto del recalentamiento de mezclas asfálticas en la estabilidad y flujo, empleando: betún AC-20, áridos naturales y áridos reciclados provenientes de asfaltos fresados

**Tabla 7:** Resultado del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica con agregados naturales

b	P E S O (gramos)					PESO ESPECIFICO		VOLUMEN - % TOTAL			V.A.M.	VFA	Estabilidad			Flujo
	Briqueta	Seca Aire	S.S.S. Aire	En Agua	Volumen	"Bulk"	Rice	Agregados	Vacios en aire	Asfalto efectivo			Medida	Factor de Corrección	Corregida	
% asfalto	No.	d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ	q	r	s	t
					e - f	d/v	RICE	$\frac{(100-b)g}{GE \text{ agr.}}$	$\frac{(1-g)100}{i}$	100 - k - l	100 - k	$\frac{(n - l)100}{n}$				1/100"
6.85	1N1	1198.74	1209.44	631.4	578.04	2.074							3173.18	0.763	2421	13
	1N2	1195.32	1206.02	627.19	578.83	2.065							2398.49	0.752	1804	12
	1N3	1176.87	1181.46	617.41	564.05	2.086							4022.06	0.960	3861	9
	Promedio					2075	2201	81.98	5.7	12.30	18.02	68			2695	11
6.85	2N1	1192.68	1203.84	630.22	573.62	2.079							3580.98	0.763	2732	12
	2N2	1209.68	1218.24	627.45	590.79	2.048							3014.01	0.752	2267	11
	2N3	1192.79	1207.56	631.53	576.03	2.071							2612.05	0.960	2508	13
	Promedio					2059	2195	81.35	6.2	12.45	18.65	67			2502	12
6.85	3N1	1201.49	1214.73	626.29	588.44	2.042							2511.34	0.763	1916	13
	3N2	1184.53	1194.21	616.4	577.81	2.050							2743.12	0.752	2063	9
	3N3	1200.46	1210.12	629.07	581.05	2.066							3338.19	0.960	3205	14
	Promedio					2053	2172	81.09	5.5	13.39	18.91	71			2395	12
Coef. Variación															0.033	
<b>ESPECIFICADO</b>									<b>3 - 5</b>		<b>&gt;13</b>	<b>65 - 75</b>			<b>&gt;2200</b>	<b>8 - 14</b>

Tabla 8: Resultado del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica con agregados fresados

b	P E S O (gramos)					PESO ESPECIFICO		VOLUMEN - % TOTAL			V.A.M.	VFA	Estabilidad (Lb.)			
	% asfalto	Seca Aire	S.S.S. Aire	En Agua	Volumen	"Bulk" Rice	Agregados	Vacios en aire	Asfalto efectivo			Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo	
	Briqueta No.	d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ	q	r	s	t
					e - f	d/v	RICE	(100-b)g GE agr.	(1 - g)100 i	100 - k - l	100 - k	(n - l)100 n				1/100"
<b>6.85</b>	1F1	1185.22	1191.86	627.95	563.91	2.102							4282.38	0.796	3409	19.9
	1F2	1190.5	1196.41	627.86	568.55	2.094							5297.17	0.796	4217	19.2
	1F3	1190.1	1194.07	634.06	560.01	2.125							5824.8	0.794	4625	16.7
	Promedio					2107	2230	83.23	5.5	11.26	16.77	67			4083	<b>19</b>
<b>6.85</b>	2F1	1160.97	1168.25	606.19	562.06	2.066							4197.41	0.792	3324	15.4
	2F2	1160.07	1166.7	604.17	562.53	2.062							4776.96	0.794	3793	12.8
	2F3	1163.03	1172.31	590.03	582.28	1.997							3540.29	0.792	2804	12.9
	Promedio					2030	2161	80.19	6.1	13.74	19.81	69			3307	<b>14</b>
<b>6.85</b>	3F1	1183.3	1186.05	621.8	564.25	2.097							4926.69	0.788	3882	18.6
	3F2	1201.38	1203.16	642.7	560.46	2.144							8360.87	0.790	6605	15.8
	3F3	1191.52	1193.83	637.53	556.3	2.142							7084.85	0.790	5597	14.6
	Promedio					2128	2223	84.05	4.3	11.64	15.95	73			5361	<b>16</b>
															Coef. Variación	0.151
<b>ESPECIFICADO</b>									<b>3 - 5</b>		<b>&gt;13</b>	<b>65 - 75</b>			<b>&gt;2200</b>	<b>8 - 14</b>

Cisneros, Sandoval / Efecto del recalentamiento de mezclas asfálticas en la estabilidad y flujo, empleando: betún AC-20, áridos naturales y áridos reciclados provenientes de asfaltos fresados

**Tabla 9:** Resultado del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica con agregados fresados y naturales

b	P E S O (gramos)					PESO ESPECIFICO		VOLUMEN - % TOTAL			V.A.M.	VFA	Estabilidad (Lb.)			
	% asfalto	Seca Aire	S.S.S. Aire	En Agua	Volumen	"Bulk"	Rice	Agregados	Vacios en aire	Asfalto efectivo			Medida	Factor de Corrección	Corregida	Flujo
	Briqueta	d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ	q	r	s	t
	No.				e - f	d/v	RICE	$\frac{(100-b)g}{GE \text{ agr.}}$	$\frac{(1-g)100}{i}$	100 - k - l	100 - k	$\frac{(n - l)100}{n}$				1/100"
6.85	1M1	1184.42	1190.86	630.36	560.5	2.113							4894.09	0.792	3876	18.3
	1M2	1192.31	1202.69	627.75	574.94	2.074							4112.2	0.790	3249	23
	1M3	1186.6	1205.6	633.3	572.3	2.073							3540.52	0.792	2804	15.1
	Promedio					2087	2189	82.44	4.7	12.88	17.56	73			3310	19
6.85	2M1	1188.63	1200.63	637.01	563.62	2.109							5789.5	0.786	4551	14
	2M2	1185.55	1199.73	621.65	578.08	2.051							3014.01	0.790	2381	14.4
	2N3	1192.69	1203.35	613.05	590.3	2.020							3815.01	0.782	2983	19.2
	Promedio					2036	2129	80.42	4.4	15.19	19.58	78			3305	16
6.85	3M1	1190.65	1201.3	622.5	578.8	2.057							4070.39	0.788	3207	21.2
	3M2	1197.69	1202.11	623.78	578.33	2.071							5291.78	0.788	4170	14.7
	3M3	1192.22	1203.95	618.96	584.99	2.038							3959.78	0.784	3104	18.3
	Promedio					2055	2153	81.20	4.5	14.28	18.80	76			3494	18
															Coef. Variación	0.087
<b>ESPECIFICADO</b>									<b>3 - 5</b>		<b>&gt;13</b>	<b>65 - 75</b>			<b>&gt;2200</b>	<b>8 - 14</b>

## 4. Conclusiones

Mediante esta investigación se logró concluir que el contenido de asfalto con el que cuenta el material fresado es superior al óptimo calculado para el agregado natural, demostrando así que no se requiere un aumento del cemento asfáltico en este tipo de material para la fabricación de una carpeta asfáltica, únicamente es necesario calentar la mezcla a una temperatura adecuada (140°C) para que el ligante reactive sus propiedades y se logre una mezcla compacta.

El Betún AC-20 después de haber pasado un proceso de ensayos en laboratorio para determinar sus características, no cumple con algunas de ellas siendo el punto de penetración, ignición y llama muy bajos para un material con propiedades ya descritas, haciéndolo de mala calidad.

Se concluye que es posible la utilización de los dos materiales (natural y fresado) para la fabricación de mezcla asfáltica en caliente. Obteniendo una carpeta asfáltica más rígida de lo habitual pudiendo presentar problemas en climas fríos, lo que se demostraría en trabajos e investigaciones futuras con ensayos pertinentes.

El uso completo de material fresado demostró tener la capacidad de conformar una mezcla asfáltica sin requerir de un aumento en el contenido de asfalto. Aunque, en esta ocasión se obtenga una carpeta asfáltica mucho más rígida que con el resto de mezclas del estudio.

Se prueba que la viabilidad del uso de material fresado en una mezcla asfáltica, ya sea parcial o íntegramente, es positiva. Será un punto de partida para un estudio venidero que logre comprobar una ventaja frente a las condiciones actuales, pudiendo obtener un menor impacto ambiental en la extracción de sus componentes, así como reducir el valor económico de sus procesos constructivos.

## Referencias

- [1] K. Ortiz, “Diseño de Mezclas Asfálticas con Caucho SBR Usando Método Marshall” Trabajo de grado, Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador. Sep. 2016. Available: <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/599/1/TESIS%20KERLLY%20ORTIZ%2016-09-2016%20mod%202%20final.pdf>.
- [2] J. Pérez, “Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Utilizando el Método Marshall y Análisis comparativo de las Propiedades Físicas y Mecánicas con Cemento Asfáltico Nacional (Ecuador) e Importado (Perú)” Proyecto de titulación, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016. Available: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redu/g/14852/1/P%c3%88REZ\\_JUAN\\_TRABAJOTITULACION%c3%92N\\_V%c3%8cAS\\_2016.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redu/g/14852/1/P%c3%88REZ_JUAN_TRABAJOTITULACION%c3%92N_V%c3%8cAS_2016.pdf).
- [3] G. Flores, J. Gallego, “Influencia del Tipo de Energía de Calentamiento en el Envejecimiento de las Mezclas Asfálticas” [online]. México: Grupo Súrfa, 2021. Disponible en: <https://gruposurfax.wordpress.com/2021/05/06/influencia-del-tipo-de-energia-de-calentamiento-en-el-envejecimiento-de-las-mezclas-asfalticas/>.
- [4] D. López, “Evaluación y rehabilitación del pavimento flexible mediante la técnica de reciclado en frío” Proyecto de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador. Mayo. 2014. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9674/1/T-ESPE-048069.pdf>.
- [5] A. Archilaacelas, M. Aparicio, “Impactos ambientales derivados del proceso de pavimentación de vías de transporte en Colombia” Proyecto de titulación, Universidad abierta y a distancia, Bucaramanga, Colombia, 2018. Available: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/h>

- andle/10596/18318/1098694697.pdf?sequence=5&isAllowed=y.
- [6] J. Méndez, E. Torres, “Diseño de una mezcla asfáltica en frío reutilizando material asfáltico fresado (RAP) e incorporando fillers comerciales (cal hidratada / cemento) por vía seca” Proyecto de Titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2022. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/27245/1/FING-CIC-MENDEZ%20JONATHAN-TORRES%20EDWIN.pdf>.
- [7] Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Asphalt recycling methods. En F. Miller (Ed.), Basic Asphalt Recycling Manual. Annapolis: Asphalt Recycling and Reclaiming Association, 2001.
- [8] M. Morante, “Utilización de gránulos de caucho triturados de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado”, Proyecto de titulación, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Ecuador, 2019. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16263/Tesis%20Morante%20Gomez%20Mary%20Belen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [9] H. Restrepo, S. Stephens, “Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos” Proyecto de titulación, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, 2015. Available: [https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2163/TG\\_EVT\\_13.pdf?sequence](https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2163/TG_EVT_13.pdf?sequence).
- [10] I. Thanaya, S. Zoorob, J. Forth, “A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures” University of Leeds, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport, 162 (TR1). pp. 47-55, 2009.
- [11] H. Cabrera, “Módulo de elasticidad de hormigones de peso normal empleados en el Ecuador f’c: 21, 24, 28, 35 MPa” Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2014. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8627>.
- [12] P. León, “Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP” Proyecto de Grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2019. Available: T-UCE-0012-FIG-002 - P.pdf.
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696:2010; Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso (2010). Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>.
- [14] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856:2010; Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino (2010). Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/856-1.pdf>.
- [15] *Annual Book of American Society for Testing and Materials ASTM Standard, Test Method for Penetration of Bituminous Materials; ASTM designation: D 5-97.*
- [16] *Annual Book of American Society for Testing and Materials ASTM Standard, Ductility of Bituminous Materials; ASTM designation: D 113-99.*
- [17] *Annual Book of American Society for Testing and Materials ASTM Standard, Flash Point of Cutback Asphalt with Tag Open-Cup Apparatus; ASTM designation: D 3143-98.*
- [18] J. Rodríguez, “Análisis del Comportamiento de Asfalto AC-20 Proveniente de Tres Distintas Refinerías Mediante el Método UCL” Proyecto de Titulación, Universidad Michoacana de

San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán, México. Oct. 2012.

- [19] M. Córdova, C. Cornejo, “Manual de Laboratorio para los Ensayos de Vías y Pavimentos de Universidad Politécnica Salesiana”, Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Oct. 2019. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17930/1/UPS%20-%20ST004373.pdf>.
- [20] *Annual Book of American Society for Testing and Materials ASTM Standard, Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus; ASTM designation: D 1559-76.*
- [21] Y. Herrera, “Análisis comparativo de los Parámetros para la Estabilidad y el Flujo de una Mezcla Asfáltica MDC-25 con una Mezcla Asfáltica MDC-25 Modificada con Grano de Caucho Reciclado” Proyecto de titulación, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia. 2021. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33535/2021HerreraYeison.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [22] INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 2 15:2010.