



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y CALIDAD DE UN PAVIMENTO
FLEXIBLE ELABORADO CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA SMA (STONE MASTIC
ASPHALT)**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero e Ingeniera Civiles

AUTORES: Breidy Ramiro Gualoto Sangucho
Ariana Victoria Puruncajas Maldonado

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Breidy Ramiro Gualoto Sangucho con documento de identificación N° 1725970774 y Ariana Victoria Puruncajas Maldonado con documento de identificación N° 1752239283; 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, 09 de septiembre del 2024

Atentamente,



Breidy Ramiro Gualoto Sangucho

1725970774



Ariana Victoria Puruncajas Maldonado

1752239283

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

Nosotros, Breidy Ramiro Gualoto Sangucho con documento de identificación N° 1725970774 y Ariana Victoria Puruncajas Maldonado con documento de identificación N° 1752239283; 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 Proyecto de investigación: “Evaluación de parámetros de resistencia y calidad de un pavimento flexible elaborado con una mezcla asfáltica SMA (Stone Mastic Asphalt)”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera 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, 09 de septiembre del 2024

Atentamente,



Breidy Ramiro Gualoto Sangucho

1725970774



Ariana Victoria Puruncajas Maldonado

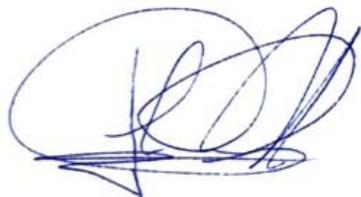
1752239283

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hugo Patricio Carrión Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y CALIDAD DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE ELABORADO CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA SMA (STONE MASTIC ASPHALT)**, realizado por Breidy Ramiro Gualoto Sangucho con documento de identificación N° 1725970774 y Ariana Victoria Puruncajas Maldonado con documento de identificación N° 1752239283, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 09 de septiembre del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Hugo Patricio Carrión Latorre, MSc.

0603015728

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y CALIDAD DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE ELABORADO CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA SMA (STONE MASTIC ASPHALT)

EVALUATION OF RESISTANCE AND QUALITY PARAMETERS OF A FLEXIBLE PAVEMENT MADE WITH AN ASPHALT MIXTURE SMA (STONE MASTIC ASPHALT)

Breidy Gualoto-Sangucho¹, Ariana Puruncajas-Maldonado², Hugo Carrion-Latorre³

Resumen

El presente artículo trata sobre la evaluación de los parámetros de resistencia y calidad de la mezcla asfáltica SMA. Es un tipo de mezcla discontinua que permite aumentar la vida útil de las capas de rodadura, ya que presenta un alto contenido de ligante, agregados de alta calidad, filler y fibra celulósica, logrando así un esqueleto mineral eficaz. A partir de la caracterización de los materiales tanto de los agregados como del asfalto AC-20, se espera determinar que estos sean de buena calidad.

La caracterización de los agregados se realizará a través de los siguientes ensayos y siguiendo sus respectivas normas: Homogenización y Reducción, Granulometría, Densidad Relativa, Degradación del Árido Grueso.

Por otra parte, los ensayos a realizar con Asfalto AC-20 son: Penetración, Ductilidad, Punto de Inflamación, Punto De Ablandamiento y Viscosidad Cinemática.

Una vez que se determine que los materiales son de óptima calidad, podrán ser utilizados en el diseño de la mezcla SMA y en la posterior fabricación de especímenes con el objetivo de evaluar las propiedades de resistencia y calidad del SMA.

Palabras Clave: ligante, filler, fibra, rodadura.

Abstract

This article will deal with the evaluation of the strength and quality parameters of the SMA asphalt mixture. It is a type of discontinuous mixture that increases the useful life of the wearing layers, since it has a high content of binder, high quality aggregates, filler and cellulosic fiber, thus achieving an effective mineral skeleton.

From the characterization of the materials of both the aggregates and the AC-20 asphalt, it is expected to determine that they are of good quality. The characterization of the aggregates will be carried out through the following tests and following their respective standards: Homogenization and Reduction, Granulometry, Relative Density, Degradation of the Coarse Aggregate.

On the other hand, the tests to be carried out with AC-20 Asphalt are: Penetration, Ductility, Flash Point, Softening Point and Kinematic Viscosity.

After determining that the materials are of optimal quality, they can be used in the design of the SMA mixture and in the subsequent manufacture of specimens in order to evaluate the strength and quality properties of SMA.

Keywords: binder, filler, fiber, tread.

¹Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador

³Docente de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: apuruncajasm@est.ups.edu.ec – bgualotos@est.ups.edu.ec

1. Introducción

Las mezclas bituminosas Stone Mastic Asphalt (SMA) se crearon con el objetivo de conseguir un pavimento que presente una mayor resistencia al desgaste y un mejor desempeño en las carreteras del continente europeo. Los primeros indicios, estudios y ensayos fueron en Alemania a mediados de los años sesenta donde se logró normalizar la mezcla asfáltica.

El SMA es un tipo de mezcla discontinua. En su composición predominan los áridos gruesos con una presencia mínima del 70% del total de la mezcla, garantizando así un mejor contacto entre partículas a la hora de la compactación. Los vacíos existentes entre las partículas de agregados gruesos serán ocupados por un pequeño porcentaje de árido fino, filler y por el asfalto que en este caso actuará como el ligante de la mezcla.

La presencia de finos proporcionará rigidez a la mezcla, y a su vez aumentará la viscosidad del ligante. Por su parte, el filler proveerá una mejor estabilidad y resistencia una vez compactado. En este tipo de mezclas también se añade una pequeña fracción de fibras celulósicas con el fin de reducir la segregación en las diferentes fases de: mezcla, almacenamiento, transporte, tendido y compactado.

En este artículo académico se evaluaron parámetros de resistencia y calidad de la mezcla SMA los cuáles son:

1. Propiedades Volumétricas:
 - VV: % vacíos de aire
 - VAM: % de vacíos en el agregado mineral.
 - VFA: Porcentaje vacíos llenos con asfalto
2. Propiedades Marshall
 - Estabilidad
 - Flujo

Por medio de los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros antes mencionados, podemos dar a conocer información de interés a toda la comunidad de ingeniería civil y personas afines, dado su escaso conocimiento sobre este tipo de mezclas bituminosas en nuestro medio.

Este proyecto se enfocó en dar a conocer por medio de investigación los criterios de diseño,

exigencias dadas por la normativa, y otros criterios técnicos para la correcta realización de una mezcla SMA.

Este artículo fue ejecutado por medio de un trabajo experimental bajo la guía de normas ecuatorianas e internacionales, dividido en dos etapas:

En la primera etapa se desarrolló la caracterización tanto de los agregados (finos y gruesos) como del asfalto, mismos que se usaron para el diseño de la mezcla asfáltica SMA. Mediante la ejecución de diferentes ensayos de laboratorio se fue realizando una tabulación de resultados obtenidos para poder determinar la calidad de los materiales que serán utilizados.

Una vez caracterizados los materiales y asegurándonos que todos cumplen con las especificaciones impuestas en las diferentes normativas; se procede con la segunda etapa, misma que abarca el diseño de la mezcla asfáltica SMA, dónde posteriormente se elaboraron briquetas con los siguientes porcentajes de asfalto: 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, con la finalidad de encontrar el porcentaje de asfalto óptimo en nuestra mezcla SMA.

Cabe mencionar que el porcentaje de asfalto óptimo que arrojen los resultados va a relacionarse con los materiales escogidos ya que en el Ecuador tenemos gran variedad de agregados que poseen características específicas diferentes y estas garantizan el buen desempeño y durabilidad en las mezclas.

2. Materiales y Métodos

En esta sección se detalla los materiales y ensayos de laboratorio que se usaron para la ejecución de este proyecto. En primera instancia se dan a conocer los materiales necesarios para preparar una mezcla asfáltica SMA. Posteriormente, se describen los diferentes ensayos de laboratorio realizados con nuestros materiales.

A partir de los distintos ensayos de laboratorio se fue caracterizando cada material y verificando su óptima calidad.

2.1. Materiales

Los agregados (grueso y fino) y el asfalto fueron obtenidos de la Planta De Asfalto Y Trituración Naranja López, ubicada en el Nororiente de Quito, sector Inga. Los materiales disponibles en la Planta son provenientes de la Mina Chaupi Chupa.

2.1.1. Agregado Grueso

Se considera cómo Agregado Grueso al material retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Los áridos gruesos deben tener características de resistencia, duración y que sean de forma cúbica (Se recomienda tener hasta un 20% máximo de agregado alargado o achatado).

Es muy importante que la forma de los agregados debe ser de tipo angular porque así podrán llegar a alcanzar una mejor adherencia entre los materiales a combinarse.

En el diseño se emplearon 2 tipos de agregado grueso clasificados por su tamaño máximo:

- Agregado Grueso ¾’’
- Agregado Grueso ½’’

2.1.2. Agregado Fino

Se considera cómo Agregado Fino al material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 0.075mm (No. 200).

El árido fino debe presentar el 50% de partículas fracturadas como mínimo, se emplea para poder aumentar la viscosidad del ligante y aumentar la rigidez de la mezcla. Cabe recalcar que no se puede utilizar arena natural. [1]

En el diseño se usó Arena triturada.

2.1.3. Ligante Asfáltico

Los asfaltos que se pueden ocupar para realizar una mezcla asfáltica SMA, clasificados por su grado de viscosidad según la norma ASTM D3381/M-13 son: AC-5, AC-10, AC-20, AC-30, AC-40.

En el diseño se utilizó el asfalto AC-20, disponible y utilizado en nuestro medio.

2.1.4. Filler o polvo mineral

El filler o también llamado polvo mineral es utilizado para fortalecer la mezcla asfáltica, este material finamente dividido es aquel que pasa por la malla N°200. Cabe mencionar que si se coloca un alto contenido de filler produciría un excesivo endurecimiento de esta, dando como desventaja la presencia de grietas de tamaño considerable.

“En las mezclas SMA se puede utilizar como filler: polvo de roca, polvo de escorias, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes y granos de tamaño inferior a los 0.075 mm.” [2]

Se utilizó como filler el polvo de roca para nuestro diseño de mezcla.

2.1.5. Fibras celulósicas

Se utiliza las fibras de celulosa o minerales, con el objetivo de evitar la segregación en la mezcla debido al escurrimiento del ligante. El porcentaje a usar de fibra es del 0.3% en peso total de la mezcla.

El uso de estas fibras no puede modificar químicamente al asfalto. El tipo de fibra escogido para nuestro diseño fueron las fibras de yute, mismas que son fáciles de conseguir en nuestro medio.

Las fibras de yute se extraen de las plantas del género Corchorus, los hallazgos de varias investigaciones mencionan que, al emplear fibras de yute en el diseño de una mezcla asfáltica, ayuda a mejorar la cohesión, aumentar la resistencia al desgaste y reducir la fisuración por fatiga. También presentan un mejor comportamiento a condiciones climáticas adversas.

Según Mansourian, Razmi, y Razavi: a partir del estudio que realizó sobre la conducta a baja temperatura del cemento asfáltico Warmmix con fibras de yute, se determinó que la presencia de estas fibras aporta con mejoras en el desempeño de la mezcla y en la resistencia a tracción. Se debe mencionar que el cemento asfáltico Warmmix es producido a 20-25°C menos que el cemento asfáltico típico. [3]

Cabe destacar que al ser fibras naturales se contribuye de manera positiva al medio ambiente al reutilizar material de desecho orgánico.

Se presenta a continuación un resumen de los agregados y la fibra celulósica utilizados para la elaboración de la mezcla asfáltica SMA:

Tabla 1. Resumen de materiales

Material	Descripción
Material A	Agregado Grueso 3/4"
Material B	Agregado Grueso 1/2"
Material C	Arena
Material D	Filler (Polvo de piedra)
Material E	Fibras de Yute

2.2. Ensayos de laboratorio

2.2.1. Ensayos con áridos gruesos y finos

En el siguiente apartado se describe a brevedad todos los ensayos de laboratorio ejecutados con los agregados escogidos para el diseño de la mezcla SMA. Con los resultados de cada ensayo se verifica que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas.

Los ensayos trabajados son los siguiente:

2.2.1.1. Muestreo (INEN 695, 2010)

Para realizar los procedimientos para la obtención de muestras de áridos finos y gruesos se utilizó la norma INEN 695:2010, esta norma nos señala las mínimas precauciones necesarias para hacer que las muestras reflejen la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Nuestro material fue tomado desde una pila, según la norma antes mencionada es difícil obtener muestras sin desviación cuando el material ha sido recogido desde una pila, ya que frecuentemente se produce la segregación. Para

realizar el muestreo se necesita maquinaria para poder preparar una pequeña pila de muestreo separada, en nuestro caso no se dispuso de la maquinaria.

La norma INEN 695 detalla que: “la muestra obtenida desde la pila debe contener por lo menos de tres porciones tomadas en el tercio superior, en el punto medio y en el tercio inferior del volumen de la pila.”

Para poder obtener el muestreo del agregado fino, primero hay que retirar la capa exterior porque hay la posibilidad de que haya alguna segregación. Para formar nuestra muestra debemos tener como mínimo cinco porciones de material. [4]

2.2.1.2. Homogenización y reducción (INEN 2566, 2010)

La INEN 2566 establece que:

El objetivo de realizar este ensayo es para reducir a tamaño de ensayo una muestra grande de agregados, utilizando métodos técnicos que garantizan una mínima variación entre las características de la muestra grande y de la muestra reducida. La norma describe los procedimientos a seguir para una correcta reducción de muestras obtenidas en laboratorio o in situ, y poder así de esta manera definir la calidad de los materiales. [5]

2.2.1.3. Granulometría (ASTM C136)

El ensayo granulométrico en agregados gruesos y finos se realiza con el objetivo de conocer la distribución de las partículas por tamaño, y de esta forma obtener información utilizada en el control de mezclas que contengan agregados y otros productos. [6]

2.2.1.4. Densidades (ASTM C-127 & INEN 856.)

Este ensayo determina: densidad, peso específico (densidad relativa) tanto para agregados finos como para agregados gruesos. La densidad es una propiedad física de los agregados y no es más que la relación entre el peso y el volumen de la masa del agregado.

Las partículas de agregados presentan poros, que pueden ser saturables o no saturables, y dependiendo de su permeabilidad, los vacíos pueden estar en las siguientes condiciones:

- Vacíos parcialmente saturados
- Vacíos llenos de agua en su totalidad

De esta forma se generan varios estados de humedad y densidad. [7]

2.2.1.5. Degradación del agregado grueso (INEN 860 & AASHTO-T96)

Utilizando la Máquina de los Ángeles podremos determinar el deterioro de nuestro material a través de un proceso de impacto y abrasión producido por la carga introducida en la Máquina de los Ángeles.

La Norma INEN 860 define al desgaste o degradación cómo: la diferencia entre la masa que tiene la muestra inicial y la masa de la muestra retenida en el tamiz de 0.075mm (N°12) después de haber culminado el ensayo. [8]

2.2.2. Ensayos en el asfalto

En el siguiente apartado se describe a brevedad todos los ensayos de laboratorio realizados con el Asfalto AC-20, utilizado para el diseño de la mezcla SMA. Con los resultados de cada ensayo se verifica que el ligante cumpla con las especificaciones requeridas.

Los ensayos trabajados son los siguientes:

2.2.2.1. Penetración (ASTM D5-05)

Con el ensayo de penetración se evalúa la consistencia de nuestro asfalto a través de una aguja normalizada que penetra la muestra de forma vertical y en condiciones específicas dadas en la norma. El resultado se lo mide en décimas de mm. El ensayo se lo realiza bajo ciertas condiciones de temperatura, carga y tiempo.

El Manual del Asfalto manifiesta: en el caso de no tener una condición adicional especificada, la temperatura de ensayo es de 25°C, la aguja de penetración es de 100g y la carga es aplicada por un tiempo de 5 segundos. Un asfalto más blando presentará valores mayores de penetración. [9]

2.2.2.2. Punto de Inflamación (ASTM D-92)

El asfalto en condiciones normales no es un material inflamable, pero si es sometido a temperaturas altas puede llegar a quemarse debido a su composición química, por lo que es importante determinar su punto de inflamación.

Se define como punto de inflamación a la temperatura mínima a la que la muestra bituminosa comenzará a arder por el incremento de la temperatura.

Para este ensayo se utilizó el Método de copa abierta de Cleveland. El ensayo consiste en calentar la muestra asfáltica en la copa Cleveland y a la vez ir pasando repetitivamente una pequeña llama sobre la muestra hasta registrar el destello que será el punto de inflamación. [9]

2.2.2.3. Ductilidad (ASTM D-113)

La ductilidad de un cemento asfáltico se define como la capacidad que tiene el material de deformarse plásticamente por la acción de una fuerza antes de su ruptura. Un asfalto con que tenga una ductilidad elevada es propenso a deformarse con facilidad.

Para este ensayo la muestra de asfalto previamente preparada será estirada bajo las condiciones especificadas en la norma hasta su ruptura, momento en el que se registra la medida de estiramiento alcanzada. Este dato medido en centímetros es la ductilidad del cemento asfáltico.

El Manual del Asfalto sustenta que: un asfalto dúctil presenta mejores propiedades aglomerantes que un asfalto que carece de la suficiente ductilidad. Y, por otro lado, los asfaltos con una ductilidad elevada se verán afectados en mayor grado por los cambios de temperatura. [9]

2.2.2.4. Ensayo de Viscosidad (ASTM D2170-07)

Por medio del ensayo de viscosidad podemos determinar la resistencia al flujo que tendrá el betún o asfalto bajo la acción de la gravedad. Así mismo se puede determinar el comportamiento del material en su aplicación a diferentes grados de temperatura. La viscosidad se mide en m²/s, unidades pertenecientes al sistema internacional (SI). [10]

2.2.2.5. Punto de Ablandamiento (ASTM D-36)

El punto de ablandamiento es la temperatura en la que el asfalto pierde su consistencia y su textura se ablanda de tal manera que éste comienza a fluir. Se realizó este ensayo con el método de: Anillo y Bola.

Un autor nos agrega lo siguiente: El ensayo consiste en colocar una muestra de asfalto en un anillo de latón normalizado para después someter la muestra a un baño de agua o glicerina mientras se va aumentando la temperatura. Producto del calentamiento la muestra es forzada a caer determinada distancia hasta llegar a su punto de ablandamiento. [11]

2.3. Metodología Marshall

El método Marshall es un método usado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, tras una serie de pasos se procede a encontrar el porcentaje óptimo de asfalto para la combinación de agregados previamente determinada.

El ensayo parte de la elaboración de briquetas. Se elaboran 3 briquetas como mínimo por cada porcentaje de asfalto. Estos porcentajes de asfalto tendrán una variación del 0.5% entre sí. El porcentaje de asfalto de partida está determinado por fórmula.

Además, a través del método Marshall podemos caracterizar las propiedades volumétricas, estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica, gravedad específica Bulk y gravedad específica máxima RICE. [12]

2.3.1. Gravedad Específica Bulk (Gmb) (ASTM D- 2726)

Es un parámetro necesario para obtener el VV (porcentaje de vacíos de aire).

Con este ensayo determinamos el peso específico aparente. Es muy importante que las muestras tengan espacios vacíos que absorban más del 2% de agua por volumen.

Para calcular la gravedad específica Bulk se usa la siguiente ecuación:

$$Gmb = \frac{Wa}{W_{ss}-W_w} \quad (1)$$

Dónde:

Wa: Peso en el aire del espécimen seco. (g)

Wss: Peso en el aire del espécimen saturado superficialmente seco. (g)

Ww: Peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido. (g)

Gsb: Gravedad específica Bulk en la mezcla asfáltica de la combinación de los agregados.

$$Gsb = \frac{P1+P2+\dots+PN}{\frac{P1}{G1}+\frac{P2}{G2}+\dots+\frac{PN}{GN}} \quad (2)$$

P1, PN = porcentajes individuales por la masa de agregado.

G1, GN = gravedad específica Bulk individual de cada agregado.

2.3.2. Gravedad Específica Máxima RICE (Gmm) (ASTM D-2041)

Del mismo modo, es un parámetro necesario para obtener el VV (porcentaje de vacíos de aire).

Ensayo consiste en disgregar la briqueta tratando de no fracturar al agregado y dejando de esta forma el espécimen en estado suelto. Posteriormente se sacan los vacíos de la muestra haciendo uso de la bomba de vacíos. [13]

El procedimiento está descrito más a detalle en la mencionada norma.

Para calcular la gravedad específica máxima RICE se usa la siguiente ecuación:

$$Gmm = \frac{A}{A+B-C} \quad (3)$$

Dónde:

A: masa de la muestra en el aire. (g)

B: masa del tazón más agua a una temperatura de 25°C. (g)

C: masa del tazón más agua y más la muestra a una temperatura de 25°C. (g)

2.3.3. Propiedades Volumétricas

Las propiedades volumétricas se subdividen en:

- VV: % vacíos de aire

Volumen de aire presente entre partículas de agregado luego de la compactación de la mezcla. [13]

Este valor debe cumplir en un rango que va de 3% el mínimo y 5% el máximo. Si en la mezcla se presenta un valor menor que el 3% de VV, es un indicador de inestabilidad. Por otra si la mezcla presenta un valor mayor al 5% quiere decir que estamos ante una mezcla permeable que se puede llegar a deteriorar con facilidad.

$$Vv = \left(1 + \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100 \quad (4)$$

Dónde:

Gmb: Gravedad específica Bulk de la mezcla compactada

Gmm: Gravedad específica teórica máxima RICE

- *VAM: % de vacíos en el agregado mineral*
Con este parámetro se determina que el asfalto presente dentro de los vacíos entre partículas de agregado sea el suficiente. El valor a cumplir debe ser >14%.

$$VAM = 100 - V_{agre} \quad (5)$$

Dónde:

$$V_{agre} = \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}} \quad (6)$$

Vagre: Porcentaje en volumen de agregado vs. volumen total

Ps= Pmm-Pb (% de masa del total de la mezcla suelta - contenido de asfalto)

Gsb: Gravedad específica Bulk en la mezcla asfáltica de la combinación de los agregados.

- *VFA: Porcentaje vacíos llenos con asfalto*
Espacios que ocupa el asfalto en los vacíos existentes.

Será un indicador de la durabilidad en la mezcla asfáltica. El rango aceptado está entre 65% y 75%.

$$VFA = \left(\frac{VAM - Vv}{VAM}\right) * 100 \quad (7)$$

Adicionalmente para determinar el Volumen de asfalto efectivo (Vae):

$$Vae = 100 - V_{agre} + Vv \quad (8)$$

Por otra parte, los parámetros de Estabilidad y Flujo obtenidos de igual manera a través de la metodología Marshall se describen a continuación:

2.3.4. Estabilidad y Flujo Marshall (ASTM D6927-06)

- Estabilidad

Conocemos como Estabilidad Marshall al valor correspondiente a la carga máxima que resiste un espécimen, hasta antes que se produzca la falla por el efecto de la aplicación de una carga de velocidad que tiende a deformarlo.

El valor de Estabilidad Marshall es un indicador de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica al ser sometida a deformaciones y desplazamientos, y puede variar dependiendo del tipo y la granulometría de los agregados presentes en la mezcla, así como también por la cantidad de asfalto existente en la misma. [14]

- Flujo

El ensayo de Flujo de Marshall es un procedimiento normalizado, el valor del flujo registrado es la deformación vertical de la briqueta producida por la carga.

La deformación vertical es un indicativo de la capacidad de la carpeta asfáltica para resistir la deformación causada por las cargas vehiculares y su comportamiento bajo condiciones de servicio. [14]

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos descritos en el apartado anterior, donde evidenciamos que son de buena calidad.

3.1. Resultados Ensayos de Asfalto

Tabla 2. Ensayos realizados en el asfalto AC-20

ENSAYOS	Resultado	Especificación
Penetración	60.1 mm	60-70 mm
Punto de Inflamación	278°C	mín. 232 °C
Ductilidad	93.2 cm	mín. 50 cm
Punto de Ablandamiento	48°C	48°C-57°C
Viscosidad Cinemática (135°C)	574.97 Pa. s	mín. 300 Pa. s

Como se puede apreciar el asfalto utilizado cumplió con las especificaciones impuestas por las MOP-001-F 2002. [15]

3.2. Resultados Ensayo de Degradación del Agregado Grueso

Tabla 3. Degradación material A (3/4")

MATERIAL A (3/4")		
Gradación de la muestra	B	
Número de esferas	11	
Masa inicial (F)	5001.5	gr
Masa retenida en el tamiz #12	3711.62	gr
Masa Pasa por el tamiz #12	1289.88	gr
$\%ABRASIÓN = \frac{H * 100}{F} = \frac{1289.88 * 100}{5001.5} = 25.79\%$		
ESPECIFICACIÓN: <40%		

Se evidencia que el material A no sobrepasa el porcentaje de desgaste máximo impuesto por la norma.

Tabla 4. Degradación material B (1/2")

MATERIA B (1/2 ")		
Gradación de la muestra	C	
Número de esferas	8	
Masa inicial (F)	5000.24	gr
Masa retenida en el tamiz #12	3634.53	gr
Masa Pasa por el tamiz #12	1365.71	gr
$\%ABRASIÓN = \frac{H * 100}{F} = \frac{1365.71 * 100}{5000.24} = 27.73\%$		
ESPECIFICACIÓN: <40%		

Se evidencia que el material B no sobrepasa el porcentaje de desgaste máximo impuesto por la norma.

3.3. Resultados Ensayo de Granulometría

a) MATERIAL A

A continuación, se presenta la tabla de Granulometría del agregado grueso 3/4 " y sus respectivos porcentajes pasantes.

Tabla 5. Granulometría del material A (3/4 ")

TAMIZ N°	ABERT. (mm)	RET. PARCIAL	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% PASA
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1" 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.80	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	68.00	0.68	0.68	99.32
1/2"	12.50	7310.00	73.18	73.18	26.82
3/8"	9.50	2520.00	25.23	98.41	1.59
N.4	4.75	56.00	0.56	98.97	1.03
N.8	2.36	0.18	0.00	98.98	1.02
N.16	1.18	0.32	0.00	98.98	1.02
N.30	0.60	0.34	0.00	98.98	1.02
N.50	0.30	0.65	0.01	98.99	1.01
N.100	0.15	0.35	0.00	98.99	1.01
N.200	0.08	7.51	0.08	99.07	0.93
pasa 200	0.00	25.07	0.25	99.32	0.68
SUMA		9988.42			

Se procede a graficar el porcentaje pasante del agregado 3/4 ":

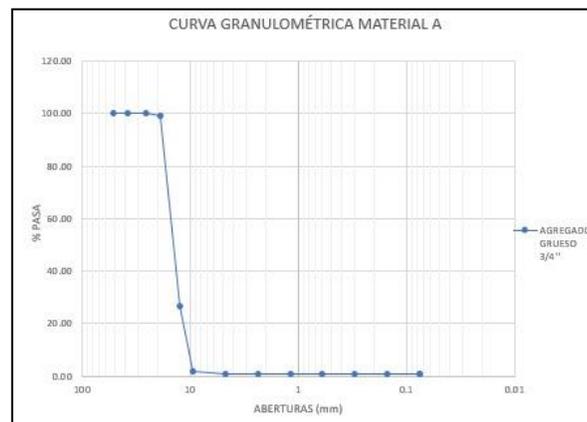


Figura 1. Curva granulométrica materia A

b) MATERIAL B

Se procedió a sacar la tabla de Granulometría del agregado grueso 1/2", en la figura 2 se presenta su curva granulométrica.

Tabla 6. Granulometría del material B (1/2")

TAMIZ N°	ABERT. (mm)	RET. PARCIAL	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% PASA
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1" 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.8	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	22.00	0.22	0.22	99.78
3/8"	9.5	1642.00	16.52	16.74	83.26
N.4	4.75	7594.56	76.40	93.14	6.86
N.8	2.36	323.87	3.26	96.40	3.60
N.16	1.18	77.80	0.78	97.18	2.82
N.30	0.6	35.88	0.36	97.54	2.46
N.50	0.3	24.76	0.25	97.79	2.21
N.100	0.15	24.23	0.24	98.04	1.96
N.200	0.075	92.35	0.93	98.97	1.03
pasa 200	0	102.82	1.03	100.00	0.00
SUMA		9940.27			

A continuación, se presenta su respectiva curva:

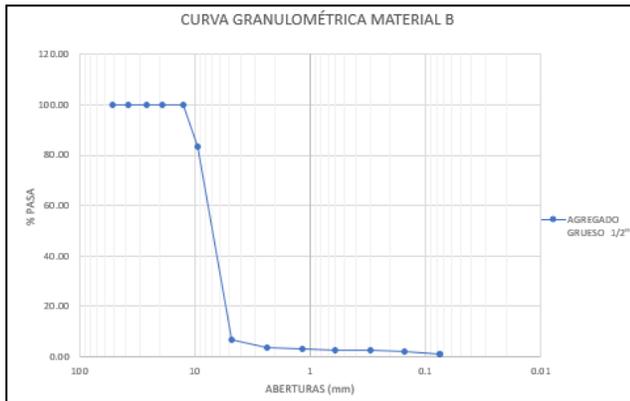


Figura 2. Curva granulométrica materia B

c) MATERIAL C

Para el material C se procedió a sacar la Granulometría del agregado fino Arena y presentarlo mediante la siguiente tabla.

Tabla 7. Granulometría del material C (arena)

TAMIZ N°	ABERT. (mm)	RET. PARCIAL	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% PASA
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1" 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.8	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N.4	4.75	61.22	3.06	3.06	96.94
N.8	2.36	441.87	22.11	25.17	74.83
N.16	1.18	398.73	19.95	45.12	54.88
N.30	0.6	274.70	13.74	58.86	41.14
N.50	0.3	271.00	13.56	72.42	27.58
N.100	0.15	198.48	9.93	82.35	17.65
N.200	0.075	214.64	10.74	93.09	6.91
pasa 200	0	138.20	6.91	100.00	0.00
SUMA		1998.84			

En la figura 3 se indica la relación abertura del tamiz en (mm) y el porcentaje pasante de la Arena

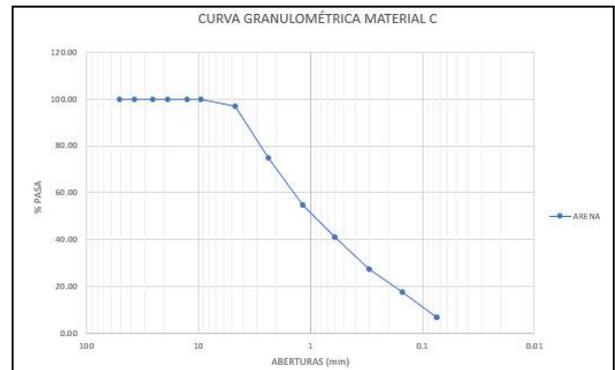


Figura 3. Curva granulométrica materia C

d) MATERIAL D

Por consiguiente, se presenta la tabla de Granulometría del agregado filler donde se aprecia tanto el porcentaje retenido acumulado como el porcentaje pasante.

Tabla 8. Granulometría del material D (filler)

TAMIZ N°	ABERT. (mm)	RET. PARCIAL	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% PASA
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00
1" 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.8	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
N.4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N.8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
N.16	1.18	0.00	0.00	0.00	100.00
N.30	0.6	0.00	0.00	0.00	100.00
N.50	0.3	0.00	0.00	0.00	100.00
N.100	0.15	794.84	39.45	39.45	60.55
N.200	0.075	559.47	27.77	67.22	32.78
pasa 200	0	660.56	32.78	100.00	0.00
SUMA		2014.87			

Finalmente se presenta la curva granulométrica del material D:

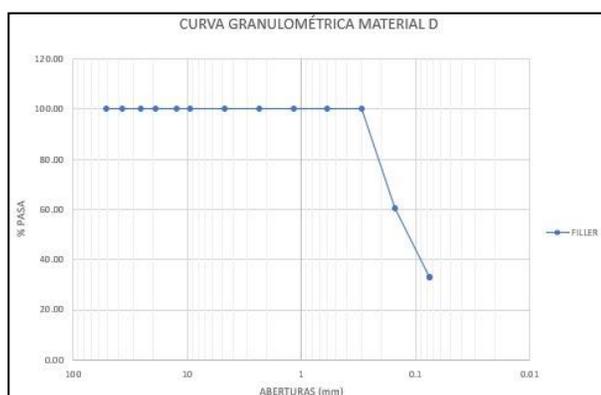


Figura 4. Curva granulométrica materia D

3.4. Resultados Ensayo de Densidades

a) CEMENTO ASAFALTICO

Peso específico solido: 1.014 gr/cm³

b) MATERIAL A

Tabla 9. Gravedad específica Material A (3/4 ")

Gravedad específica Material A (3/4 ")	
Peso muestra seca SSS (B) [gr]	5001.01
Peso muestra sumergido (C) [gr]	3080.11
Cápsula #	
Peso cápsula + muestra seca [gr]	5126.92
Peso cápsula [gr]	234.43
Peso muestra seca (A) [gr]	4892.49
A-C	1812.38
B-C	1920.9
B-A	108.52
Peso ESP. Masivo A/(B-C) [gr/cm ³] (Gsb)	2.55
Peso ESP. Masivo SSS B/(B-C) [gr/cm ³] (Gsssb)	2.60
Peso ESP. Sólidos A/(A-C) [gr/cm ³] (Gsa)	2.70
% Absorción (B-A) *100/A [%]	2.22

c) MATERIAL B

Tabla 10. Gravedad específica Material B (1/2 ")

Gravedad específica Material B (1/2 ")	
Peso muestra seca SSS (B) [gr]	5000.17
Peso muestra sumergido (C) [gr]	3068.2
Cápsula #	
Peso cápsula + muestra seca [gr]	5125.48
Peso cápsula [gr]	221.08
Peso muestra seca (A) [gr]	4904.4
A-C	1836.2
B-C	1931.97
B-A	95.77
Peso ESP. Masivo A/(B-C) [gr/cm ³] (Gsb)	2.54
Peso ESP. Masivo SSS B/(B-C) [gr/cm ³] (Gsssb)	2.59
Peso ESP. Sólidos A/(A-C) [gr/cm ³] (Gsa)	2.67
% Absorción (B-A) *100/A [%]	1.95

d) MATERIAL C

Tabla 11. Gravedad específica Material C (arena)

Gravedad específica Material C (Arena)	
Peso seco SSS (B) [gr]	500
Picnómetro #	5
Peso picnómetro (2) [gr]	151.76
Volúmen picnómetro (V)	499.602
Peso Pic. + Agua + Muestra (1)	961.64
Cápsula #	4
Peso cápsula + muestra seca [gr]	871.95
Peso cápsul [gr]	379.95
Peso muestra seca (A)	492
(1)- [(2) +(B)] (W)	309.88
V-W	189.72
500-A	8.00
(V-W) -(500-A) (X)	181.72
Peso ESP. Masivo A/(V-W) [gr/cm3] (Gsb)	2.59
Peso ESP. Masivo SSS 500/(V-W) [gr/cm3] (Gsssb)	2.64
Peso ESP. Sólidos A/X [gr/cm3] (Gsa)	2.71
% Absorción (500-A)*100/A [%]	1.63

e) MATERIAL D

Tabla 12. Gravedad específica Material D (filler)

Gravedad específica Material D (Filler)	
Peso seco SSS (B) [gr]	500.00
Picnómetro #	5.00
Peso picnómetro (2) [gr]	151.76
Volumen picnómetro (V)	499.60
Peso Pic. + Agua + Muestra (1)	964.18
Cápsula #	
Peso cápsula + muestra seca [gr]	877.93
Peso cápsul [gr]	381.36
Peso muestra seca (A)	496.57
(1)- [(2) +(B)] (W)	312.42
V-W	187.18
500-A	3.43
(V-W) -(500-A) (X)	183.75
Peso ESP. Masivo A/(V-W) [gr/cm3] (Gsb)	2.65
Peso ESP. Masivo SSS 500/(V-W) [gr/cm3] (Gsssb)	2.67
Peso ESP. Sólidos A/X [gr/cm3] (Gsa)	2.70
% Absorción (500-A)*100/A [%]	0.69

3.5. Diseño de la mezcla asfáltica SMA

Dosificaciones de cada material propuestos:

Tabla 13. Dosificaciones propuestas

% DE MEZCLA		
MATERIAL	%	DECIMAL
% MATERIAL (A)	40	0.4
% MATERIAL (B)	39	0.39
% MATERIAL (C)	10	0.1
% MATERIAL (D)	11	0.11
SUMATORIA	100	

Mezcla SMA:

Tabla 14. Mezcla de agregados

TAMIZ	MEZCLA DE AGREGADOS				MEZCLA	RET ACUM	RET PARC.
	% PASA 3/4 "	% PASA 1/2"	% PASA arena	% PASA filler			
2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1" 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
3/4"	99.32	100.00	100.00	100.00	99.73	0.27	0.27
1/2"	26.82	99.78	100.00	100.00	70.64	29.36	29.09
3/8"	1.59	83.26	100.00	100.00	54.11	45.89	16.53
N.4	1.03	6.86	96.94	100.00	23.78	76.22	30.33
N.8	1.02	3.60	74.83	100.00	20.30	79.70	3.48
N.16	1.02	2.82	54.88	100.00	18.00	82.00	2.30
N.30	1.02	2.46	41.14	100.00	16.48	83.52	1.52
N.50	1.01	2.21	27.58	100.00	15.02	84.98	1.46
N.100	1.01	1.96	17.65	60.55	9.59	90.41	5.43
N.200	0.93	1.03	6.91	32.78	5.07	94.93	4.52
pasa 200	0.68	0.00	0.00	0.00	0.27	99.73	4.80

Se presenta la curva granulométrica de la mezcla centrada en las bandas SMA:

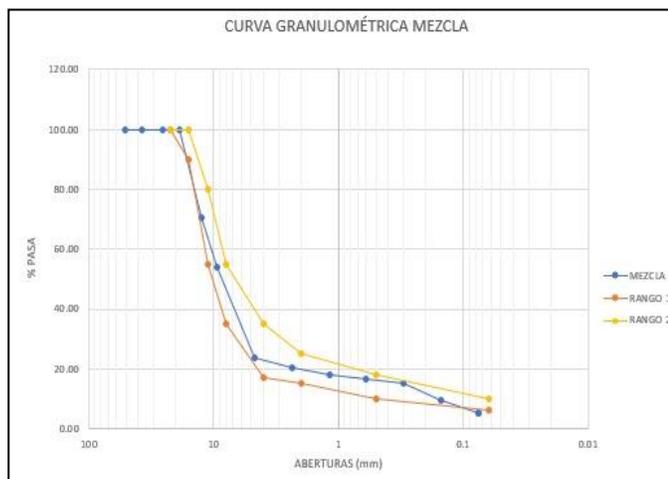


Figura 5. Curva granulométrica materia mezcla

Rangos SMA 16:

Después de haber obtenido los porcentajes de cada material y haber diseñado la mezcla, esta deberá estar en la mitad de las bandas según los husos granulométricos fijados de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1. En la mezcla asfáltica SMA existen 3 tipos de husos granulométricos, denominados SMA 8, SMA 11, SMA 16, en nuestro caso para asegurarnos que nuestra mezcla está bien realizada nos basamos en las bandas del SMA 16, ya que nuestro tamaño máximo nominal (correspondiente al menor tamiz de la serie utilizada que produce el retenido mayor al 5%) es de 3/4" de pulgada. [16]

Tabla 15. Rangos SMA 16

SMA 16		
Abertura (mm)	Rango 1	Rango 2
22.00	100.00	100.00
16.00	90.00	100.00
11.20	55.00	80.00
8.00	35.00	55.00
4.00	17.00	35.00
2.00	15.00	25.00
0.50	10.00	18.00
0.06	6.00	10.00

Porcentaje de partida de asfalto en la mezcla:

Tabla 16. Porcentaje de partida de asfaltos

Porcentaje de partida de asfalto	
Donde:	
P= % del Asfalto en peso /al Peso	
M= Coeficiente del tráfico (3.75 -425)	
S= Superficie específica de los áridos	
$S = 0.17 G + 0.33g + 2.30 A + 12a + 135f$	8.06
Donde:	
G= % material retenido en el 3/8"	Decimal 0.46
g= % material que pasa T. 3/8" y retiene en el T. N°4	0.30
A= % material que pasa T. N°4 y retiene en el T. N°50	0.09
a = % material que pasa T. N°50 y retiene en el T. N°200	0.10
f = % material que pasa T. N° 200	0.05
$M=3.75-4.25$	3.75
$P (%) = M \times (S)^{(1/5)}$	6.04

Dosificaciones de cada material para la elaboración de briquetas:

Agregado Grueso 3/4" (MATERIAL A): 1400 gr
 Agregado Grueso 1/2" (MATERIAL B): 1365 gr
 Agregado Fino (MATERIAL C): 350 gr
 Filler (MATERIAL D): 385 gr

Tabla 17. Pesos para la fabricación de briquetas

Pesos para la fabricación de briquetas.				
Asfalt o %	Asfalt o (gr)	Peso material (A+B+C+D)	Fibra yute (gr)	Mat+Asf+Fibra
4.5	165.44	3500	11.03	3676.47
5	184.79	3500	11.09	3695.88
5.5	204.35	3500	11.15	3715.5
6	224.12	3500	11.21	3735.33
6.5	244.1	3500	11.27	3755.37

Resultados Ensayos Metodología Marshall:

Tabla 18. Método Marshall para el diseño de mezclas

MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS											
CONT ASF	N.	FACTOR CORREC.	PESO (gramos)			VOL	DENSIDAD		ESTABILIDAD		FLUJO 1/100"
			Aire (Wa)	Saturado (Wss)	Agua (Ww)	cm3	BULK (Gmb)	RICE (Gmm)	Medida (Lbs)	Correg.	
4.50%	1	1.09	1119.60	1128.61	634.91	494.00	2.268		2939.00	3203.51	13.11
	2	1.04	1126.50	1137.06	641.06	496.00	2.271		3007.00	3127.28	11.73
	3	1.04	1126.30	1137.46	641.79	496.00	2.272		2776.00	2887.04	13.55
PROM:							2.270	2.372		3072.61	12.80
5.00%	1	1.09	1103.90	1108.29	622.61	486.00	2.273		3914.00	4266.26	16.63
	2	1.09	1108.70	1113.70	627.37	486.00	2.280		3439.00	3748.51	18.63
	3	1.14	1103.50	1108.55	627.40	481.00	2.293		3749.00	4273.86	16.58
PROM:							2.282	2.404		4096.21	17.28
5.50%	1	1.04	1134.40	1137.48	635.77	502.00	2.261		2682.00	2789.28	19.63
	2	1.09	1107.10	1111.57	625.27	486.00	2.276		2810.00	3062.90	21.88
	3	1.09	1124.50	1126.81	637.45	489.00	2.298		2661.00	2900.49	19.58
PROM:							2.278	2.413		2917.56	20.36
6.00%	1	1.09	1108.00	1110.26	626.31	484.00	2.289		2239.00	2440.51	19.57
	2	1.19	1049.50	1052.02	595.45	457.00	2.299		2116.00	2518.04	20.94
	3	1.14	1100.50	1102.29	626.66	476.00	2.314		2905.00	3311.70	19.40
PROM:							2.301	2.421		2756.75	19.97
6.50%	1	1.09	1127.20	1127.61	636.31	491.00	2.294		2175.00	2370.75	20.67
	2	1.09	1108.60	1109.67	626.33	483.00	2.294		2230.00	2430.70	23.46
	3	1.14	1115.50	1115.90	634.79	481.00	2.319		2236.00	2549.04	25.81
PROM:							2.302	2.430		2450.16	23.31

Resumen de resultados propiedades Marshall:

Tabla 19. Resumen de datos

RESUMEN DE DATOS						
(%) asfalto	Gmb (gr/cm3)	Vv (%)	VAM (%)	VFA (%)	Estabilidad	Flujo
4.5	2.27	4.29	15.29	71.96	3072.61	12.80
5	2.28	5.07	15.30	66.83	4096.21	17.28
5.5	2.28	5.58	15.88	64.86	2917.56	20.36
6	2.30	4.97	15.50	67.94	2756.75	19.97
6.5	2.30	5.25	15.89	66.94	2450.16	23.31

3.6. Gráficas Propiedades Marshall.

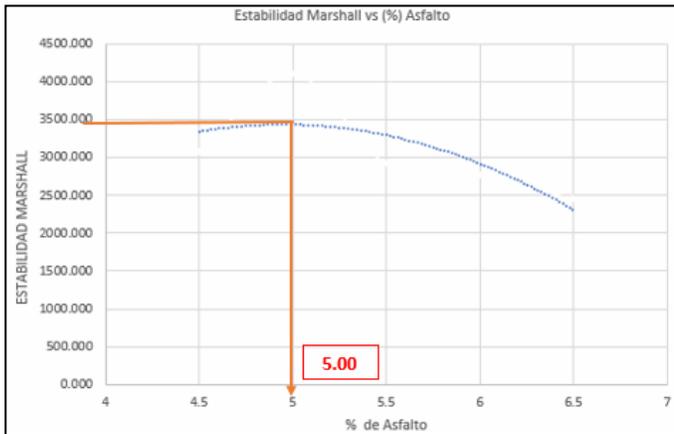


Figura 6. Estabilidad Marshall vs % Asfalto

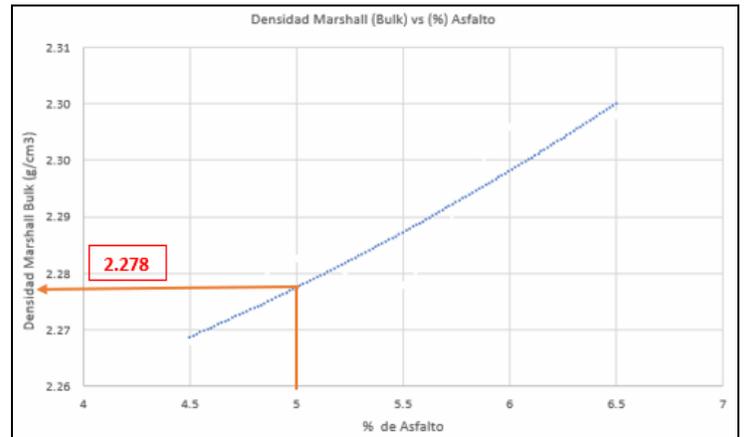


Figura 9. Densidad Marshall vs % Asfalto

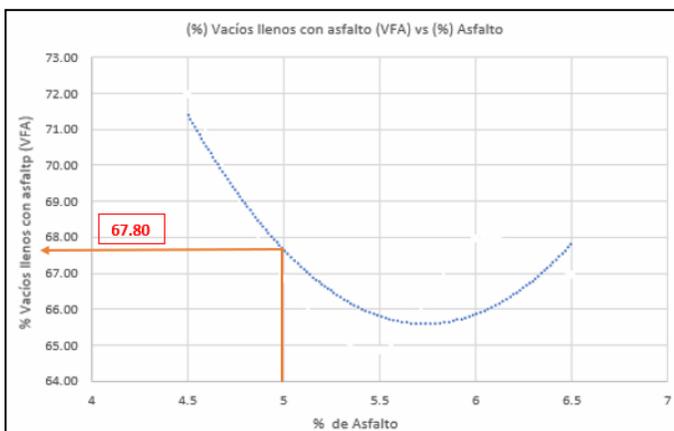


Figura 7. % VFA vs % Asfalto

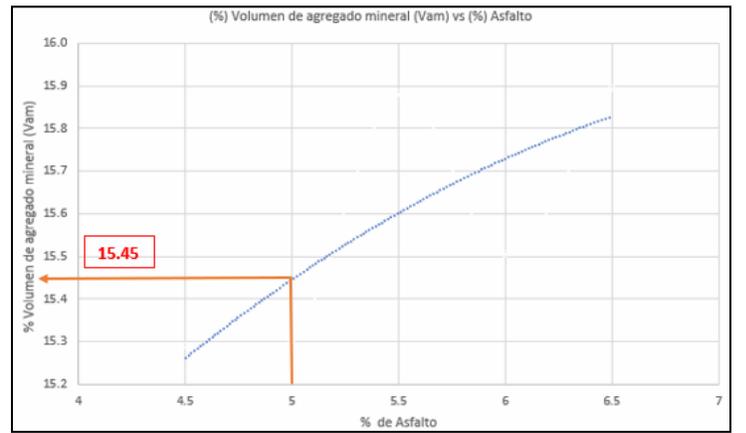


Figura 10. % VAM vs % Asfalto

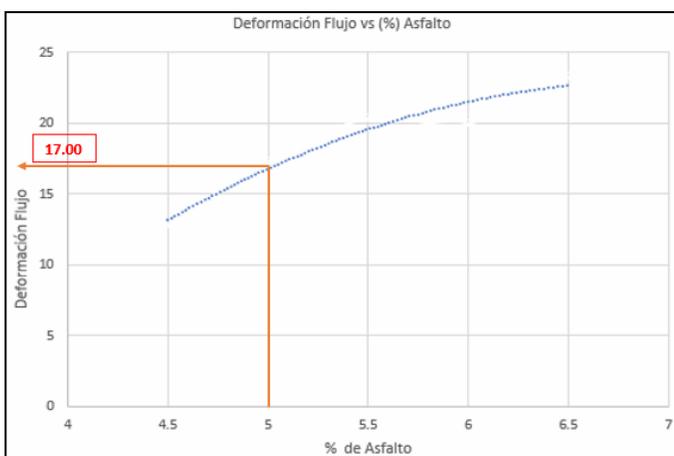


Figura 8. Deformación flujo vs % Asfalto

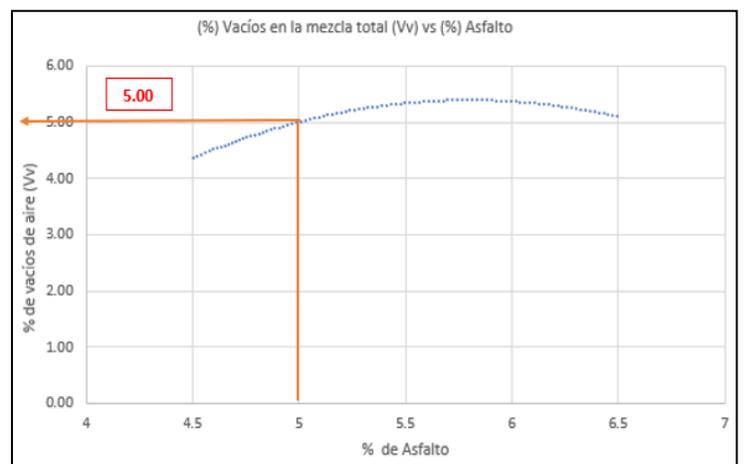


Figura 11. % Vv vs % Asfalto

Tabla 20 Comparación de resultados

PROPIEDADES DE LA MEZCLA	EXIGENCIA	VALORES DE LABORATORIO				
% asfalto	N. E	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
ESTABILIDAD (lb)	> 1800	3072.61	4096.21	2917.56	2756.75	2450.16
FLUJO (pulg/100)	8.0-14.0	13.00	17.00	20.00	20.00	23.00
PESO UNITARIO	N. E	141.67	142.39	142.18	143.56	143.66
% VACIOS EN MEZCLA (Vv)	3-5%	4.29	5.00	5.58	4.97	5.25
% VACIOS AGREGADO MINERAL (VAM)	> 14%	15.29	15.30	15.88	15.50	15.89
% VACIOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	65-75%	71.96	66.83	64.86	67.94	66.94

3.7. Detalle de las propiedades volumétricas, flujo y estabilidad del %óptimo de asfalto

Tabla 21 Resultados finales % óptimo de asfalto

PROPIEDADES DE LA MEZCLA	EXIG.	V.LAB
% asfalto	N. E	5.00
ESTABILIDAD (lb)	> 1800	3500.00
FLUJO (pulg/100)	8.0-14.0	17.00
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO (KN/mm)	2.5-4.5	3.61
% VACIOS EN MEZCLA (Vv)	3-5%	5.00
% VACIOS AGREGADO MINERAL (VAM)	> 14%	15.45
% VACIOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)	65-75%	67.80
DENSIDAD MARSAHLL BULK	-	2.28

4. Conclusiones

Se concluye que los materiales obtenidos de la Planta De Asfalto Y Trituración Naranjo López son aptos para ser utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica SMA, en base a los ensayos y normativas que ayudaron a la caracterización tanto áridos gruesos y finos cómo del asfalto AC-20.

Con referencia a la (Tabla 20) de los resultados Marshall, para las briquetas con contenidos de asfalto de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, se pudo evidenciar que a medida que se aumenta el porcentaje de asfalto el parámetro del Flujo también va creciendo.

Una mezcla con exceso de flujo es demasiado

plástica y susceptible a deformaciones permanentes.

En base a la (Tabla 20) se determinó que la mezcla con porcentajes de asfalto de 4.5% y 5% arrojaron los resultados más cercanos a las especificaciones Marshall.

En base a las gráficas de las propiedades Marshall se determinó el 5% como porcentaje de asfalto óptimo para la mezcla diseñada. Cabe mencionar que para la mezcla discontinua SMA es primordial cumplir las exigencias de las propiedades volumétricas como se puede apreciar en la (Tabla 21).

En nuestra investigación se obtuvo un porcentaje de volumen de agregado mineral (% VAM) del 15.45%, cumpliendo con la normativa. Es de suma importancia que cumpla con la exigencia porque permite tener los vacíos de aire necesarios y el volumen para que entre el asfalto efectivo y así proporcionar adhesión, cohesión y durabilidad de la mezcla, también está fuertemente influenciado por la forma en que se acomodan las partículas del agregado.

A través de todo el proceso descrito a lo largo de este artículo académico se cumplió con el objetivo establecido de evaluar los parámetros de resistencia y calidad de un pavimento flexible elaborado con una mezcla asfáltica SMA.

Referencias

- [1] E. V. A. P. MATTA, «COMPORTAMIENTO MECANICO DE LAS MEZCLAS TIPO SMA (STONE MASTIC),» Lima, 2009.
- [2] B. Salgado y L. Momm, Mezclas Asfálticas Evaluación de características físicas y químicas de los rellenos minerales de piedra caliza y polvo de piedra en la formulación de los morteros asfálticos, 2009, pp. 34-45.
- [3] A. Mansourian, A. Razmi y M. Razavi, «Evaluation of fracture resistance of warm mix asphalt containing jute fibers,» *Construction and Building Materials*, n° 117, pp. 37-46, 2016.
- [4] INEN, «ARIDOS.MUESTREO,» Quito, 2010.
- [5] INEN, «ÁRIDOS. REDUCCIÓN DE MUESTRAS A TAMAÑO DE ENSAYO.,» Quito, 2010.
- [6] ASTM, «Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,» Filadelfia, 2006.
- [7] P. Fierro y S. Asitimbay, «MANUAL DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN,» Quito, 2019.
- [8] INEN, «ARIDOS.DETERMINACION DEL VALOR DE LA DEGRADACION DEL ARIDO GRUESO DE PARTICULAS MENORES A 37.05mm MEDIANTE EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES,» Quito, 2011.
- [9] THE ASPHALT INSTITUTE, MANUAL DEL ASFALTO, M. Velázquez, Ed., Bilbao: EDICIONES URMO, 1973, pp. 38-48.
- [10] ASTM, «Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens),» FILADELFIA, 2007.
- [11] C. Díaz, «PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL CEMENTO ASFALTICO,» Tucuman, 2021.
- [12] P. Garnica, H. Delgado y C. Sandoval, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS,» Sanfandila, 2005.
- [13] M. Córdova y C. Cornejo, «MANUAL DE LABORATORIO PARA LOS ENSAYOS DE VÍAS Y PAVIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA PARTE I,» Quito, 2019.
- [14] M. SÁNCHEZ, «INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN EN EL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PERICOSSAN IGNACIO- CAJAMARCA,» 2014.
- [15] MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES, ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES, Quito, 2002.
- [16] J. Herrero, «ORDEN CIRCULAR OC 3/2019 SOBRE MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA,» Madrid, 2019.