

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

Erned Johan Rodríguez Moreno, Daniel Felipe Sepúlveda Espinel



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2023

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO ADICIONADO CON POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO PARA UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

Erned Johan Rodríguez Moreno, Daniel Felipe Sepúlveda Espinel

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Ing. Esp. Msc. Harold León Zambrano Urbano Director



Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2023

Dedicatoria

A mi madre, por su amor incondicional y su apoyo constante, a mi abuela por ser pilar en la familia y mi guía, eres mi ejemplo a seguir. A mi padre, por su sabiduría y su ejemplo de vida, siempre estaré agradecido por todo lo que has hecho por mí, a mis hermanos, por su constancia y persistencia, a mis amigos, por su compañía y su apoyo los cuales me han ayudado a crecer como persona y profesionalmente. **(Daniel Sepúlveda)**

Dedico con todo mi corazón este esfuerzo a mis padres, para que disfruten y siempre recuerden que soy lo que soy gracias al ejemplo que me brindaron, además a mi mami pecha por estar en mis buenos y no tan buenos momentos, mi hermana por ser una persona fundamental con la cual pude compartir todo mi proceso universitario sin sentirme extraño y a mi perrita Milu que estuvo trasnochando conmigo durante toda mi carrera. **(Johan Rodríguez)**

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme cumplir un reto más en mi corta vida, a mis padres por apoyarme en esta etapa tan importante de mi vida, a mi hermana por ser mi consejera, a mi sobrino por mostrarme que no solo es necesario estudiar, sino que también compartir con las personas, a el Ingeniero Harold León Zambrano Urbano por asesorarnos con este proyecto, a la Ingeniera Deisy Carolina Valderrama Buitrago por compartirnos su tiempo y conocimiento en el laboratorio, por último a mi compañero de proyecto por cumplir un reto de tal magnitud como viene siendo este proyecto.

(Johan Rodríguez)

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi carrera profesional, a mi familia, mi pareja y amigos por su amor y apoyo incondicional, a mi asesor, el Ing. Harold León Zambrano Urbano, por su orientación, apoyo y paciencia durante el desarrollo de esta investigación. A la Ing. Deisy Carolina Valderrama Buitrago por su conocimiento y experiencia esto fue fundamental para el éxito de este trabajo. Agradezco a mi compañero de tesis por su ayuda y colaboración, su apoyo ha sido muy importante para mí. Por último, quiero agradecer a la Universidad la Gran Colombia, por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y los ensayos en sus instalaciones. **(Daniel Sepúlveda)**

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

5

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
CAPITULO I. MARCO CONCEPTUAL	16
CARACTERÍSTICAS DEL POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO	16
CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO	17
CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	18
CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL	20
ASPECTOS METODOLÓGICOS	23
EJECUCIÓN DE DISEÑO MARSHALL	28
<i>Diseño de mezcla - Ensayo Marshall</i>	28
EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE DENSIDAD, ESTABILIDAD Y FLUJO	30
DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE ÓPTIMO EN ASFALTOS.	31
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO	32
CEMENTO ASFÁLTICO	32
AGREGADOS PÉTREOS	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

6

ANEXOS

49

Lista de Figura

Figura 1. "Conceptos Alrededor de la Adición de Polvo de Cáscara de Huevo"	16
Figura 2. "Proceso de Actividades Realizadas para el Desarrollo del Proyecto."	23
Figura 3. " <i>Ensayo de Penetración en Materiales Bituminosos</i> "	25
Figura 4. " <i>Ensayo de Ductilidad en Materiales Bituminosos</i> "	26
Figura 5. "Ensayo de Viscosidad Rotacional de las Mezclas Asfálticas"	26
Figura 6. "Ensayo de Punto de Ablandamiento de las Mezclas Asfálticas"	27
Figura 7. "Ensayo de RTFO de las Mezclas Asfálticas"	28
Figura 8. "Gradación de agregados pétreos"	29
Figura 9. " <i>Muestras de Mezcla Asfáltica</i> "	29
Figura 10. "Ensayo Densidad Bulk"	30
Figura 11. "Deformación de Briquetas Sometidas a Carga"	31
Figura 12. "Curva de Gradación con Máximos y Mínimos"	37
Figura 13. " Gráfica % Asfalto vs Estabilidad)	39
Figura 14. "Gráfica de Vacíos Llenos de Aire vs Porcentaje de Asfalto"	40
Figura 15. "Vacíos Llenos de Asfalto vs Porcentaje de Asfalto"	41
Figura 16. "Vacíos en los Agregados Minerales vs Porcentaje de Asfalto"	42
Figura 17. " <i>Flujo vs Porcentajes de Asfalto</i> "	43
Figura 18. "Relación Estabilidad /Flujo vs Porcentaje de Asfalto"	44

Lista de Tablas

Tabla 1. “Ensayos para la Caracterización de Ensayos para el Cemento Asfáltico”	18
Tabla 2. “Franja Granulometría para Muestras densa (MDC-25) .	19
Tabla 3 “Palabras Claves para Búsqueda de Antecedentes”	20
Tabla 4. “Ensayos de Caracterización con su correspondiente objetivo”	24
Tabla 5. “Ensayos Realizados a partir del Marshall”	30
Tabla 6. “Caracterización Muestra Patrón”	32
Tabla 7. “ <i>Ensayos Muestra con Dosificación de 0.5%</i> ”	33
Tabla 8. “Ensayos Muestra con Dosificación de 1%”	33
Tabla 9. “Ensayos Muestra con Dosificación de 1.5%”	34
Tabla 10. “Ensayos RTFO con Todas las Muestras”	35
Tabla 11. “Ensayos de Caracterización de Agregados”	36
Tabla 12. “Cantidad de Material para Muestras de Diseño Marshall”	37
Tabla 13. “Diseño Marshall MDC-25”	38

Resumen

Teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por las Naciones Unidas, los cuales buscan minimizar los impactos negativos al medio ambiente y promover prácticas más sostenibles (Naciones Unidas, 2016, párr. 2), para la industria de la construcción, se realizó este trabajo de investigación.

Si bien la industria panificadora en Colombia utiliza el huevo como materia prima para la preparación de sus productos, su sobrante es desechado y este se puede aprovechar como material reutilizable dado a que esta cáscara contiene una gran cantidad de carbonato de calcio y minerales los cuales mejoran las características mecánicas en los materiales bituminosos (Calcinor, 2018, párr. 6), para llegar a esto el material debe ser triturado de tal manera que sea eficiente al momento de incorporarlo y así modificar el cemento asfáltico.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizan diferentes pruebas de laboratorio con dosificaciones del 0.5%, 1% y 1.5%, esto con el fin de hallar un porcentaje óptimo con el cuál mejore las propiedades mecánicas del cemento asfáltico. Para determinar dicha mejora se realizan ensayos de ductilidad, punto de ablandamiento, penetración, viscosidad y envejecimientos del asfalto, no obstante, con estos resultados se busca determinar la estabilidad y flujo en la mezcla asfáltica optimizada. Como resultado de dichas pruebas se determinó que el porcentaje óptimo para la caracterización del cemento asfáltico es del 1.5%.

Para terminar con la investigación se seleccionó la dosificación de mezcla asfáltica que obtuvo un mejor rendimiento y esta procede a la del 5.5%, debido a que en las pruebas por método de diseño Marshall, se compararon las demás dosificaciones y la seleccionada obtuvo mejores resultados en el porcentaje de vacíos, flujo y estabilidad/flujo.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

10

Palabras Clave. *Polvo de cáscara de huevo, cemento asfáltico, agregado, mezcla asfáltica, porcentaje óptimo*

Abstract

Taking into account the sustainable development objectives established by the United Nations, which seek to minimize negative impacts on the environment and promote more sustainable practices for the construction industry, this research work is carried out.

Although the bakery industry in Colombia uses eggs as raw material for the preparation of its products, the leftovers are discarded. This can be used as a reusable material because this shell contains a large amount of calcium carbonate and minerals that improve the mechanical characteristics of bituminous materials (Calcinor, 2018, párr. 6); to achieve this, the material must be crushed in such a way that it is efficient at the time of incorporating it and thus modify the asphalt cement.

Taking into account the above, different laboratory tests are carried out with dosages of 0.5%, 1% and 1.5%, in order to find an optimum percentage to improve the mechanical properties of the asphalt cement. In order to determine such improvement, tests of: ductility, softening point, penetration, viscosity and aging of the asphalt were carried out, however, with these results we seek to determine the stability and flow in the optimized asphalt mixture. As a result of these tests, it was determined that the optimum percentage for the characterization of asphalt cement is 1.5%.

To conclude the investigation, the asphalt mixture dosage that obtained the best performance was selected, and this was the 5.5%, because in the Marshall design method tests,

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

12

the other dosages were compared and the selected one obtained better results in the percentage of voids, flow and stability/flow.

Keywords. Eggshell powder, asphalt cement, aggregate, asphalt mixture, optimum percentage

Introducción

La construcción y rehabilitación de la infraestructura vial en Colombia va en aumento en los últimos años, dado esto se han generado soluciones sostenibles que reduzcan el impacto ambiental en la industria de la construcción. Una de las alternativas es buscar materiales cotidianos en la vida diaria pero que no lo son en la construcción y con los cuales se pueda mejorar la calidad de los materiales bituminosos “asfalto” (Velazquez, J. 2018), ya que estos generan impactos negativos en el ambiente y adicionalmente se puedan reducir los residuos generados en otros sectores.

Teniendo en cuenta que la cáscara de huevo se ha convertido en un material favorable en el uso de mezclas asfálticas debido a sus altos niveles de carbonato de calcio, el cual podría mejorar las propiedades físicas y mecánicas del cemento asfáltico como lo son la resistencia, dureza y durabilidad (Calcinor, 2018), se propone esta investigación que tiene como objetivo principal evaluar las propiedades físicas y mecánicas en el cemento asfáltico y a su vez las mezclas asfálticas con el aditivo de la cáscara de huevo triturado a un tamaño de $75\mu\text{m}$. Para esto, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio, donde se incorporó en diferentes porcentajes y así se evaluó su comportamiento en comparación al de una muestra patrón

Con eso se espera contribuir al desarrollo de diferentes propuestas sostenibles en la industria de la construcción, que permitan la incorporación de materiales convencionales, se genere una economía circular y a su vez disminuyan los impactos ambientales negativos.

Para cumplir el objetivo este trabajo se divide en las siguientes partes:

CAPÍTULO 1: Marco referencial, en donde se encontrará los conceptos relacionados con cementos asfálticos, mezclas asfálticas y características del polvo de cáscara de huevo

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

14

CAPÍTULO 2: Estado del arte, donde se evidencia el alcance investigativo y avance en la utilización de los materiales de uso.

CAPÍTULO 3: Metodología, donde está la descripción de los materiales y ensayos realizados para el alcance del objetivo.

CAPÍTULO 4: Análisis de los resultados y conclusiones

Objetivos

Objetivo General

Determinar el contenido óptimo de asfalto, adicionando polvo de cáscara de huevo para un concreto asfáltico convencional.

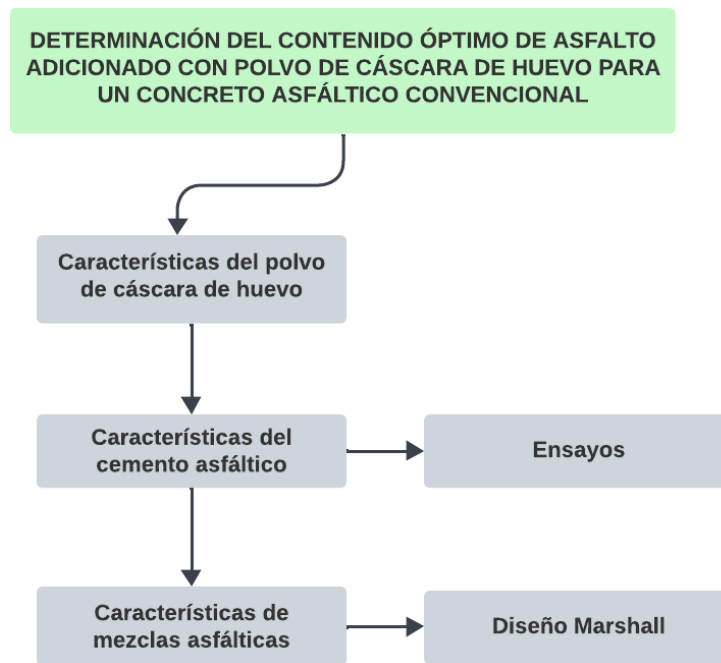
Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales para la elaboración de las mezclas asfálticas.
- Diseñar la mezcla asfáltica patrón según artículo de la norma 410 del INVIAS.
- Determinar las propiedades mecánicas de penetración, ductilidad, viscosidad, punto de ablandamiento y envejecimiento del asfalto patrón.
- Determinar la concentración óptima de polvo de cáscara de huevo como aditivo en el asfalto mediante los ensayos de penetración, ductilidad, viscosidad, punto de ablandamiento y envejecimiento de las mezclas adicionadas con polvo de cáscara de huevo.
- Determinar el contenido óptimo de asfalto adicionado para un concreto asfáltico convencional.

Capítulo I. Marco Conceptual

A continuación, en la **Figura 1** se representan los conceptos involucrados para el desarrollo de este proyecto.

Figura 1. "Conceptos Alrededor de la Adición de Polvo de Cascara de Huevo"



Nota. Fuente Propia

Características del Polvo de Cáscara de Huevo

El huevo está compuesto por 2% de agua y un 98% de sólidos, la cual se ve representada en un 5% de proteína cruda y un 93% de cenizas, el componente mayoritario de la cáscara de huevo es el carbonato de calcio el cual se encuentra entre un 94% y un 98% de su peso total (Vera & Hidalgo, 2014). Con los estudios que se han realizado respecto a las características químicas del huevo, se pudo

determinar la viabilidad para poder incorporarlo como un aditivo al cemento asfáltico debido al alto porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3) (Meza, V. et al, 2019). Este polvo de cáscara de huevo se obtiene de la trituración del mismo y fue escogido por la facilidad de su obtención ya que este producto es un desecho muy común en hogares, restaurantes, industria panificadora, etc.

El carbonato de calcio es una sal que contiene varios componentes químicos como el calcio, el carbono y el oxígeno. Un dato a tener en cuenta es la baja acidez que este posee y la cual permite ser un agente neutralizador de la acidez por efectos climáticos u otros fenómenos potenciadores de un pH ácido.

Características del Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es un material bituminoso, un aglutinante viscoso que experimenta cambios en su estado con relación a la temperatura, es decir se vuelve más líquido a medida que se expone a temperaturas elevadas y se solidifica cuando se encuentra a temperatura ambiente. Este material está compuesto por hidrocarburos que se encuentran en yacimientos naturales los cuales deben pasar por un proceso de refinamiento industrial, para ser utilizados en proyectos viales.

Para lograr un adecuado rendimiento como aglutinante asfáltico, debe manejarse con temperaturas superiores a $125\text{ }^\circ\text{C}$ adicionalmente las propiedades químicas de este material pueden ser modificadas mediante la implementación de aditivos, para su mejoramiento y buen desempeño. Una de las características destacadas de este material es su capacidad para mezclarse fácilmente con otros materiales y de esta manera formar una mezcla asfáltica que puede soportar grandes cargas, en la **Tabla 1** se observan los ensayos establecidos por el Artículo 410-13 del Instituto Nacional de Vías.

Tabla 1. “*Ensayos para la Caracterización de Ensayos para el Cemento Asfáltico*”

Ensayo
Penetración de los Materiales Bituminosos I.N.V. E - 706-13
Ductilidad de los Materiales Asfálticos INV E – 702 – 13
Método para Determinar la Viscosidad del Asfalto Empleando el Viscosímetro Rotacional INV E – 717 – 07
Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos (Aparato de Anillo y Bola INV E – 712 – 13)
Efecto del Calor y del Aire Sobre el Asfalto en Lámina Delgada y Rotatoria INV E – 720 – 13

Características de las Mezclas Asfálticas

La mezcla asfáltica es compuesta por la unión del cemento asfáltico y agregados pétreos como lo son gravas y arenas, estas mezclas pueden variar dependiendo de las necesidades que deben resolver. En Colombia existen tres tipos de mezclas que se clasifican en densas, semidensas y gruesas, debido a esto el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) dispuso el artículo 450 para mezclas asfálticas en

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

caliente con gradación continua, en dicho manual se muestra en detalle todas las especificaciones por las cuales se deben regir todo diseño de una mezcla asfáltica.

El diseño Marshall establecido para llevar a cabo esta investigación es para una muestra densa MDC-25 para mezclas en calientes, para la cual la franja granulométrica se observa en la **Tabla 2**.

Tabla 2. “*Franja Granulometría para Muestras densa (MDC-25)*”

		Tamiz (mm / U.S. Standard)									
Tipo de Mezclas		37,5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12,5 1/2"	9,5 3/8"	4,75 No.4	2 No.10	0,425 No.40	0,18 No.80	0,075 No.200
		% Pasa									
Densa	MDC - 25	100	80 - 95	67 - 85	60 - 77	43 - 59	29 - 45	14 - 25	8. - 17	4. - 8	

Nota. Fuente Propia

CAPITULO II. Marco Referencial

Se realizaron distintas búsquedas en bases de datos especializadas con el objetivo de encontrar diferentes documentos que puedan proporcionar información sobre los beneficios de las cáscaras de huevo como aditivos tanto en cementos asfálticos como en mezclas asfálticas, para ello se utilizaron las palabras claves que se observan en la **Tabla 3**.

Tabla 3 “Palabras Claves para Búsqueda de Antecedentes”

Palabras Claves	Años de Búsqueda
Asphalte wiht eggshell	De 2018 al 2023
Physical properties of eggshell asphalte	

Nota. La información de búsqueda para los antecedentes se encuentra desde 2018 con una investigación.

(I.C Maison et al., 2022) quienes realizaron una investigación en la cual emplearon el polvo de cáscara de huevo y cenizas volantes en la producción de hormigón ecológico, comprobando que el uso de estos materiales puede aportar varios beneficios, entre ellos la reducción de las emisiones de carbono asociadas a la producción de cemento y la implementación de materiales que son desechados.

La cáscara de huevo en polvo y las cenizas volantes pueden utilizarse como sustitutos del cemento en la producción de hormigón debido a que contiene la misma cantidad de óxido de calcio, lo que da lugar a la producción de hormigón ligero el cual puede utilizarse como material de relleno o para muros de contención.

Así mismo en el artículo “Posible Aplicación del Polvo de Cáscara de Huevo Curado al Calor y del Geo polímero a Base de Cenizas Volantes en la Construcción de Pavimentos”. (Poonam, S. et al, 2020), se menciona que India es el quinto país con mayor producción de cáscara de huevo en el mundo, la implementación de este material es una alternativa sostenible que permite reducir la carga de los vertederos, debido a su componente de carbonato cálcico que puede reaccionar con el activador líquido alcalino para formar gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H), que contribuye a la resistencia mecánica global del compuesto geo-polimérico resultante.

Por otra parte en el documento “Volumetric Properties and Abrasion Resistance of Stone Mastic Asphalt Incorporating Eggshell Powder” . (K.A Masri et al., 2021), obtuvieron que el polvo de cáscara de huevo mejoró la resistencia a la abrasión del asfalto. Después de 300 revoluciones en la prueba de abrasión en la máquina de los Ángeles, se observó que la muestra modificada con un contenido del 2% de polvo de cáscara de huevo tenía una pérdida de masa mucho menor en comparación con la muestra sin patrón, de igual forma mejoró la rigidez del asfalto pulverizado de piedra. La muestra modificada con un 4% de polvo de cáscara de huevo tuvo una rigidez significativamente mayor en comparación con la muestra sin modificar, no obstante, la prueba de flujo mostró que el desempeño del flujo del asfalto modificado con polvo de cáscara de huevo fue inconsistente. Solo la muestra modificada con un 6% de polvo de cáscara de huevo no cumplió con los

requisitos de flujo establecidos por el Departamento de Obras Públicas de Malasia, donde se realizó la investigación.

De igual manera se tuvo en cuenta el proyecto investigativo de Meza, P. Vela M. (2019), en el cual se llevó a cabo un estudio de tipo experimental donde desarrollaron un pavimento rígido mejorado, en el que utilizan la cascarilla de huevo triturada para incrementar la resistencia a la compresión, obteniendo como resultado que las propiedades de la cascarilla de huevo mejoran el comportamiento de la mezcla, cuya metodología incluye incorporar la cascarilla en porcentajes de 1.5%, 3% y 5%.

En la investigación realizada por los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte, Estiven Frías y Francisco Gómez se tuvo en cuenta integrar diferentes materiales sostenibles, entre ellos la cáscara de huevo con el fin de obtener un cemento amigable con el medio ambiente, en este estudio se reemplaza el 5% de la mezcla de cemento con cáscaras de huevo sin afectar sus propiedades, por lo cual su investigación obtuvo un reconocimiento meritorio en el XX Encuentro Nacional y XIV Internacional de Semilleros de Investigación. Ucros Edwin.(2018)

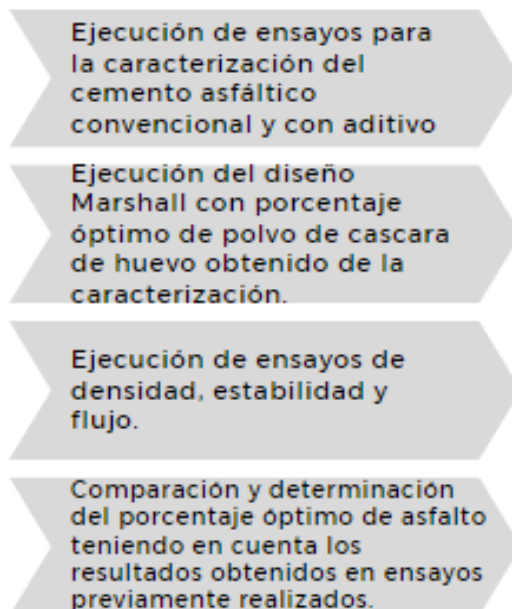
Simultáneamente se tuvo en cuenta la investigación de Lazo, V., & Andre, B. (2022), cuyo objetivo fue diseñar una estructura vial que mejore las propiedades físicas y mecánicas en un pavimento convencional, con el uso de ceniza de cáscara de huevo, el resultado de dicha investigación arrojó que la adición de ceniza de cáscara de huevo en porcentajes del 4%, 8% y 12% mejora el comportamiento del pavimento flexible en estado plástico como endurecido. Sin embargo, la adición de ceniza en una proporción de 16% reduce las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Aspectos Metodológicos

A continuación, en la **Figura 2.** “Proceso de Actividades Realizadas para el Desarrollo del Proyecto.” se describen los procedimientos para llevar a cabo esta investigación para ello se realizan pruebas de laboratorio al cemento asfáltico, a los agregados pétreos y a la mezcla asfáltica optimizada.

Figura 2. “Proceso de Actividades Realizadas para el Desarrollo del Proyecto.”

Metodología de trabajo



Nota. Fuente Propia

Ejecución de Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorios se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Facultad de Ingenierías. A continuación, en la **Tabla 4**, se detalla los ensayos que se realizaron sobre una muestra 60-70.

Tabla 4. *“Ensayos de Caracterización con su correspondiente objetivo”*

Caracterización de Asfaltos

Ensayo	Objetivo
Penetración de los Materiales Bituminosos I.N.V. E - 706-13	Determinar la consistencia, expresada por la distancia, a la que una aguja penetra verticalmente dentro de la muestra del material.
Ductilidad de los Materiales Asfálticos INV E – 702 – 13	Determinar la capacidad de un material asfáltico de deformarse plásticamente sin romperse.
Método para Determinar la Viscosidad del Asfalto Empleando el Viscosímetro Rotacional INV E – 717 – 07	Determinar la viscosidad aparente del asfalto a una temperatura determinada.
Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos (Aparato de Anillo y Bola INV E – 712 – 13)	Determinar la temperatura a la que un material bituminoso se ablanda lo suficiente como para que una bola se deslice a través de él sin ejercer una fuerza excesiva.
Efecto del Calor y del Aire Sobre el Asfalto en Lámina Delgada y Rotatoria INV E – 720 – 13	Determinar el cambio en las propiedades físicas y geológicas del asfalto cuando se expone al calor y al aire durante un período de tiempo determinado

Penetración de los Materiales Bituminosos. Se determina la consistencia y la rigidez del cemento asfáltico por medio del ensayo bajo los parámetros descritos en la norma I.N.V. E - 706-13, para la muestra patrón y las muestras con el aditivo como se observa en la Figura No xx

Figura 3. “Ensayo de Penetración en Materiales Bituminosos”



Nota. Fuente Propia

Ductilidad de los materiales asfálticos. Se determina la capacidad del cemento asfáltico al estirarse sin romperse y registrando la longitud máxima alcanzada tomando los parámetros descritos en la norma INV E – 702 – 13. Estos ensayos se realizaron para la muestra patrón y las muestras con el aditivo como se observa en la **Figura 4**

Figura 4." *Ensayo de Ductilidad en Materiales Bituminosos*"



Nota. Fuente Propia

Viscosímetro Rotacional: Con este ensayo se determina la viscosidad del cemento asfáltico a temperaturas de aplicación y a partir de esto determinar un rango de temperaturas como se indica en los parámetros que tomamos de la norma INV E – 717 – 07, para la muestra patrón y las muestras con aditivo como se puede observar en la **Figura 5**.

Figura 5. “*Ensayo de Viscosidad Rotacional de las Mezclas Asfálticas*”



Nota. Fuente Propia

Punto de Ablandamiento: Se determina la temperatura máxima en la que la mezcla asfáltica muestra un punto de deformación por cambio de temperatura, tomando los parámetros de la norma INV E – 712 – 13. Estos ensayos se realizaron para la muestra patrón y las muestras con el aditivo utilizando el equipo de anillo y bola como se observa en la **Figura 6**.

Figura 6. “Ensayo de Punto de Ablandamiento de las Mezclas Asfálticas”



Nota. Fuente Propia

Efecto del Calor y del Aire Sobre el Asfalto en Lámina Delgada y Rotatoria(RTFOT): Lo que se determina con este ensayo es el cambio de las propiedades reológicas del cemento asfáltico, al ser sometido a un proceso de calentamiento y aireación a una temperatura y velocidad de rotación definida en la norma INV E – 720 – 13. Se realizaron para la muestra patrón y las muestras con el aditivo y utilizando la máquina horno RTFO como se observa en las siguientes **Figura 7.**

Figura 7. "Ensayo de RTFO de las Mezclas Asfálticas"



Nota. Fuente Propia

Ejecución De Diseño Marshall

Diseño de mezcla - Ensayo Marshall

El diseño Marshall es un ensayo empleado principalmente para hallar el porcentaje de mezcla asfáltica más óptima. El procedimiento implica el cálculo de la gradación de los agregados pétreos y dosificación de asfalto requerida para cada porcentaje a evaluar, teniendo la información de la cantidad requerida de material en cada tamiz, se procede a realizar tres briquetas con la cantidad de asfalto en dosificaciones de 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Figura 8. “Gradación de agregados pétreos”



Nota. Fuente Propia

Siguiendo lo anterior, se debe tener en cuenta que, mediante la compactación, es importante tratar de manejar una velocidad constante, por lo cual, mediante el proceso de los 75 golpes, es necesario que los ejecute una misma persona para completar un total de 18 muestras. Finalmente se procede a fallar cada briqueta para la realización de los respectivos análisis, como lo vienen siendo la estabilidad, los vacíos, los vacíos llenos de asfalto, los vacíos en el agregado mineral, el flujo y la relación de estabilidad/flujo.

Figura 9. “Muestras de Mezcla Asfáltica”



Nota. Fuente Propia

Ejecución de Ensayos de Densidad, Estabilidad y Flujo

Para determinar los esfuerzos por carga y las deformaciones es necesario realizar las pruebas de laboratorio como las descritas en la **Tabla 5**.

Tabla 5. “*Ensayos Realizados a partir del Marshall*”

Ensayo	Objetivo
Densidad Bulk (Peso Unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compactado. INV E – 217 – 13	Determinar el peso unitario de agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, en condición suelta o compacta, y para calcular los vacíos con base en la misma determinación.
Estabilidad y Flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall. INV E – 748 – 13	Se determina la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas para pavimentaciones

Densidad Bulk: El propósito de este ensayo es determinar los pesos unitarios de agregados finos y gruesos en la mezcla de cada briqueta elaborada en el ensayo Marshall, como se indican en los parámetros definidos en la norma INV E – 217 – 13, la cual se describen en el análisis y resultados de la

Figura

Figura 10. “*Ensayo Densidad Bulk*”



Nota. Fuente Propia

Estabilidad y Flujo: Se ejecuta el ensayo para determinar la deformación y resistencia de las briquetas en la prensa multiensayos bajo los parámetros establecidos en la norma INV E – 748–13. Estos ensayos se realizaron para todas las briquetas realizadas con diferente porcentaje como se observa en la **Figura 11.**

Figura 11. *“Deformación de Briquetas Sometidas a Carga”*



Nota. Fuente Propia

Determinación de porcentaje óptimo en asfaltos.

El porcentaje óptimo de asfalto en una mezcla asfáltica es aquel que define las propiedades mecánicas y de durabilidad, para llegar a esto se realiza la comparación de gráficas, tablas resultados de ensayos previamente realizados.

Análisis y Discusión de Resultado

En este capítulo se registran los análisis y resultados obtenidos de los ensayos para la caracterización de agregados pétreos y caracterización del cemento asfáltico en una muestra patrón 60-70 y su vez la caracterización con los porcentajes del 0.5%, 1% y 1.5% de polvo de cascara de huevo como aditivo al cemento asfáltico. Esto con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas.

Cemento Asfáltico

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados al cemento asfáltico 60-70 para la muestra patrón y a su vez en la Tabla 7, 8 y 9 con adiciones en porcentajes del 0.5%, 1% y 1.5% de polvo de cascara de huevo respectivamente.

Tabla 6. “Caracterización Muestra Patrón”

Ensayo	Unidades de medida	Resultados
Viscosidad Rotacional INV E – 717 – 07	%	6.83
Punto de Ablandamiento INV E – 716 – 13	°C	40
Ductilidad INV E – 702 – 13	cm	Indefinido
Penetración INV E – 706 – 13	mm	74

Tabla 7. “Ensayos Muestra con Dosificación de 0.5%”

Ensayo	Unidades de medida	Resultados
Viscosidad Rotacional INV E – 717 – 07	%	8.90
Punto de Ablandamiento INV E – 716 – 13	°C	40
Ductilidad INV E – 702 – 13	Cm	Indefinido
Penetración INV E – 706 – 13	mm	73.33

Tabla 8. “Ensayos Muestra con Dosificación de 1%”

Ensayo	Unidades de medida	Resultados
Viscosidad Rotacional INV E – 717 – 07	%	6.93
Punto de Ablandamiento INV E – 716 – 13	°C	42
Ductilidad INV E – 702 – 13	Cm	Indefinido
Penetración INV E – 706 – 13	mm	82.33

Tabla 9. “Ensayos Muestra con Dosificación de 1.5%”

Ensayo	Unidades de medida	Resultados
Viscosidad Rotacional INV E – 717 – 07	%	7.57
Punto de Ablandamiento INV E – 716 – 13	°C	41
Ductilidad INV E – 702 – 13	Cm	Indefinido
Penetración INV E – 706 – 13	mm	69.67

Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización del cemento asfáltico se establece que el porcentaje óptimo en el cual las propiedades presentan una mejora es el del 1.5% esto dado a que en el ensayo de viscosidad se reduce en comparación de las otras y de esa manera permite una mejor trabajabilidad en el momento de ser mezclado con los agregados pétreos, adicional a esto permite que la muestra soporte mayores cargas a esfuerzos

En el ensayo de envejecimiento se tuvo en cuenta que las propiedades cambian al ser sometida a una temperatura de 163.2 °C, dado esto con el sobrante de asfalto ensayado se realizan ensayos de penetración y punto de ablandamiento para con ello determinar los cambios en sus propiedades, en la

Tabla 10 se observan dichos resultados, con los cuales ratifican que el porcentaje optimo donde las propiedades presentan mejoría es del 1.5%.

Tabla 10. "Ensayos RTFO con Todas las Muestras"

Muestra	% de pérdida	Penetración Antes del Ensayo (mm)	Ablandamiento Antes del Ensayo (°C)	Penetración Después del Ensayo (mm)	Ablandamiento Después del Ensayo (°C)
M. Patrón	3.6	74	40	38.33	46
0.5	70.00	73.33	40	28.00	43
1	69.98	82.33	42	42.33	43
1.5	70.11	69.67	41	45.00	43

Después de analizar los resultados de los ensayos con las diferentes dosificaciones seleccionadas, es preciso señalar que las características no presentan cambio excepto el ensayo de penetración.

Agregados Pétreos

En la **Tabla 11** se detallan los resultados de los ensayos a la caracterización de los agregados pétreos dentro de los cuales se encuentran densidades, índices de forma, angularidad entre otros, dado que los agregados deben cumplir con los parámetros de calidad establecidos en el Art. 450-13, con el fin que las mezclas asfálticas lleguen a la resistencia idónea.

Tabla 11. “Ensayos de Caracterización de Agregados”

Ensayo	Unidades de Medida	Resultado
Porcentaje de Partículas Fracturadas en un Agregado Grueso. (INV E – 227 – 13)	%	92,13
Determinación de la Resistencia del Agregado Grueso a la Degradación por Abrasión, Utilizando el Aparato Micro-Deval. (INV E – 238 – 13)	%	12,03
Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos. (INV E – 133 – 13)	%	32,67
Índices de Alargamiento de los Agregados para Carreteras. (INV E – 230 – 13)	%	18,41
Índices de Aplanamiento de los Agregados para Carreteras. (INV E – 230 – 13)	%	63,62
Determinación del Contenido de Vacíos en Agregados Finos no Compactados. (INV E – 239 – 13)	%	49,08
Resistencia a la Degradación de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 Mm (1½") Por Medio de la Máquina de los Ángeles. (INV E – 218 – 13)	%	73

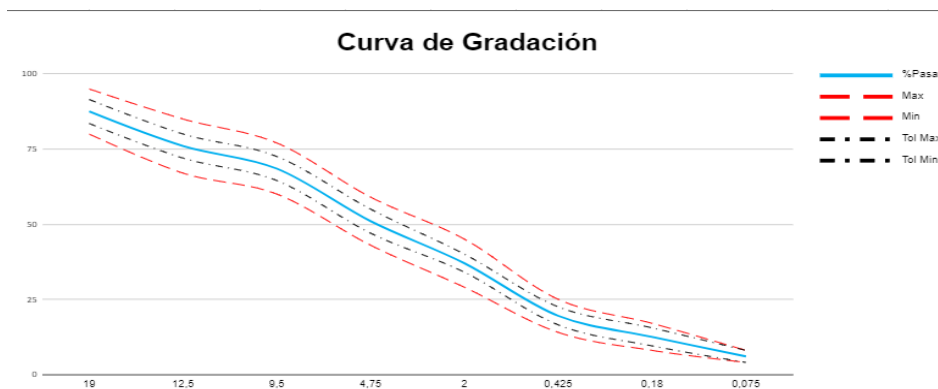
Para la realización de cada probeta es necesario cumplir con un peso total en todas estas de 1200 gramos contando el porcentaje de asfalto, como se observa en **Tabla 12**.

Tabla 12. "Cantidad de Material para Muestras de Diseño Marshall"

% CA	CA (g)	Agregado (g)
4%	48	1152
4.5%	54	1146
5%	60	1140
5.5%	66	1134
6%	72	1128
6.5%	78	1122

Eventualmente se calculó la cantidad de material que se requiere por cada tamiz para cumplir una correcta gradación en la mezcla asfáltica, para esto es necesario el porcentaje retenido de material respecto al total de agregado de la muestra y así se obtendrá la masa necesaria en los diferentes tamaños requeridos para la probeta, en la Figura

Figura 12 "Cuerva de Gradación con Máximos y Mínimos"



Nota. Fuente Propia

A partir de la gráfica obtenida, se puede deducir que la granulometría empleada en el ensayo se encuentra bien gradada, lo que implica menos espacio entre las partículas de los agregados finos y gruesos.

Con todos los resultados obtenidos se elaboraron tres briquetas por cada porcentaje de asfalto, posterior se ejecutan los ensayos de densidad Bulk, estabilidad y flujo en la **Tabla 13** se encuentran los resultados de los ensayos anteriormente nombrados.

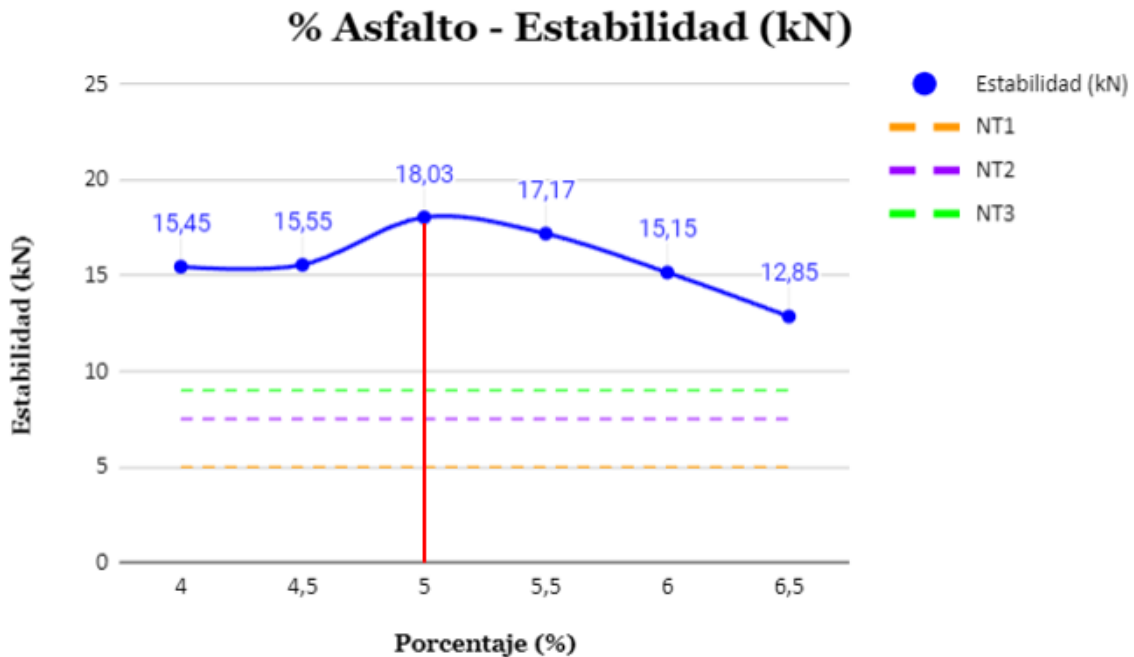
Tabla 13. "Diseño Marshall MDC-25"

Mezcla Asfáltica - Método De Marshall MDC-25						
No. de la Muestra	Promedio General de Número de Briquetas					
	4%	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%
Peso Seca (g)	1173.57	1174.23	1182.87	1195.43	1189.67	1183.30
Peso Sumergido (g)	585.53	497.20	482.17	619.03	606.30	533.77
Peso SSS (g)	1181.00	1182.60	1190.90	1205.23	1198.13	1193.53
Volumen (cm ³)	554.31	548.66	539.24	552.03	535.78	540.07
Gravedad Bulk (Gmb)	1.991	1.723	1.669	2.069	2.033	1.795
Gravedad Agregados (Gmt)	2.461	2.441	2.422	2.403	2.384	2.366
Gravedad esp. Mezcla (Gmm)	2.478	2.458	2.439	2.420	2.401	2.382
Gravedad esp. Efectiva (Gse)	2.651	2.651	2.651	2.652	2.652	2.652
Asfalto Absorbido % (pba)	0.294	0.298	0.302	0.306	0.310	0.314
Volumen Aire (Va)	19.642	29.905	31.561	14.482	15.306	24.665
Asfalto Efectivo (Pbe)	3.718	4.215	4.713	5.211	5.708	6.206
Volumen Asfalto Absorbido (Vba)	0.563	0.491	0.479	0.599	0.593	0.527

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

Agregados Minerales (VAM)	27.313	37.429	39.708	25.647	27.324	36.196
% Volumen de Asfalto (VAF)	28.085	20.103	20.518	43.535	43.983	31.856
Carga (kN)	17.36	17.20	19.22	19.30	15.95	13.86
Factor de corrección	0.95	0.91	0.94	0.94	0.96	0.96
Espesor (mm)	67.87	67.41	65.99	67.68	65.83	66.46
Estabilidad corregida (kN)	16.50	15.69	18.10	18.15	15.31	13.31
Flujo (mm)	2.62	3.04	3.95	4.16	3.91	4.98
Relación estabilidad/ flujo	7.34	5.22	4.75	4.44	3.87	2.69

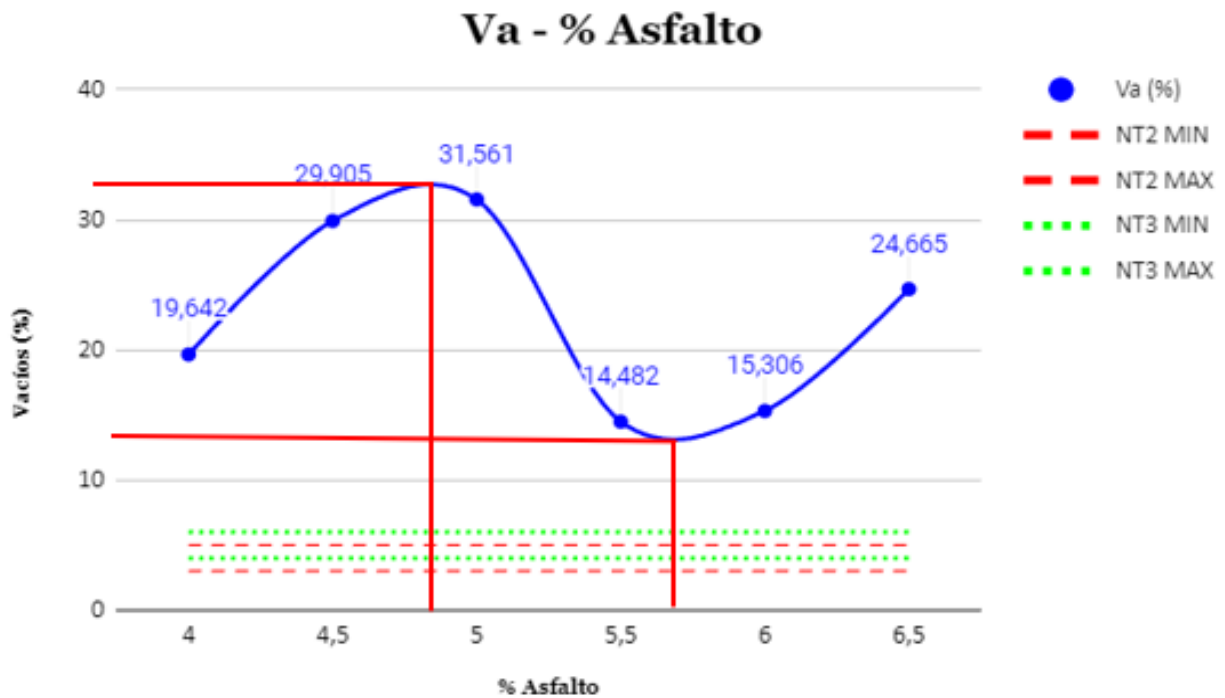
Figura 13. "Grafica % Asfalto vs Estabilidad)



Nota. Fuente Propia

Como se observa en la **Figura 13**, se evidencia que la dosificación del 5% obtuvo la estabilidad máxima al resistir una carga final de 18.03 KN, adicional las demás dosificaciones cumplen con valores superiores a los establecidos en el Capítulo 4 - artículo 450 de la norma INVIAS, para las diferentes categorías de tránsito que rigen en Colombia. La carga de estabilidad mínima corresponde a el porcentaje de 6.5% de asfalto con una carga final de carga de 12.85 KN.

Figura 14 "Grafica de Vacíos Llenos de Aire vs Porcentaje de Asfalto"

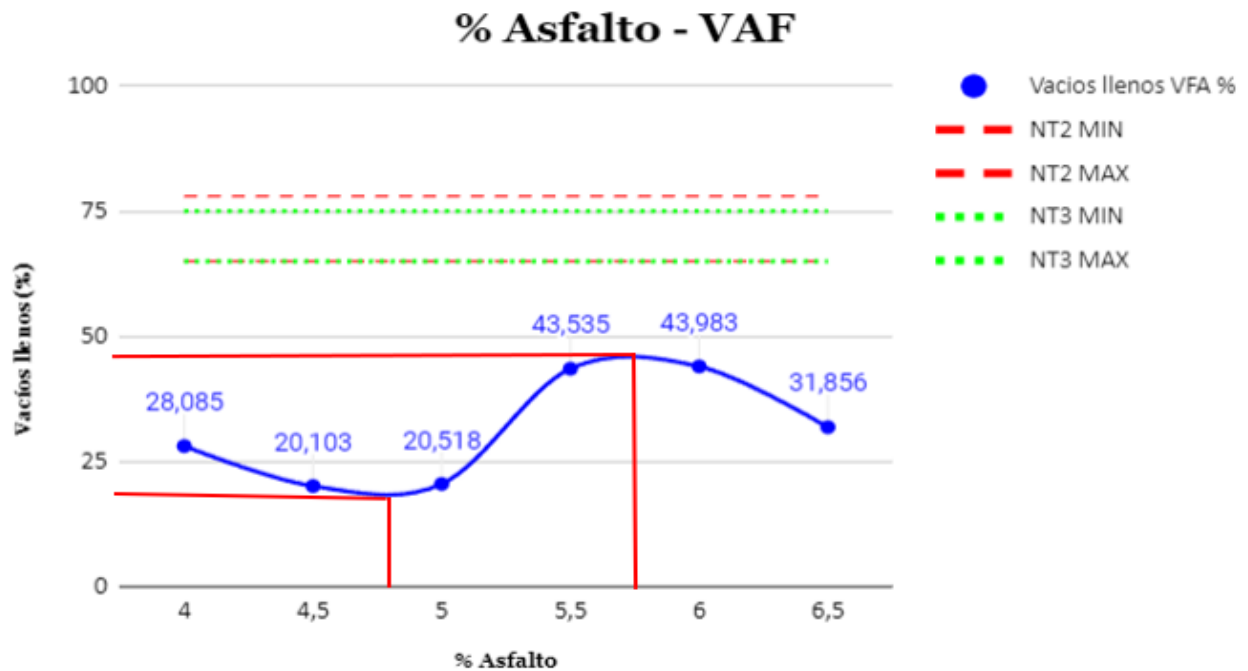


Nota. Fuente Propia

En la **Figura 14** se observa que todos los porcentajes superan las categorías de tránsito establecidas por el Instituto Nacional de Vías, cabe resaltar que entre los porcentajes del 4.5 y 5 con un valor aproximado del 31% se encuentra el punto máximo de vacíos y estos descienden entre los

porcentajes del 5.5 y 6 en un valor aproximado del 14%. Con ello se comprende que el polvo de la cascara de huevo genera más vacíos de los permitidos por lo establecido en el Art. 450-13.

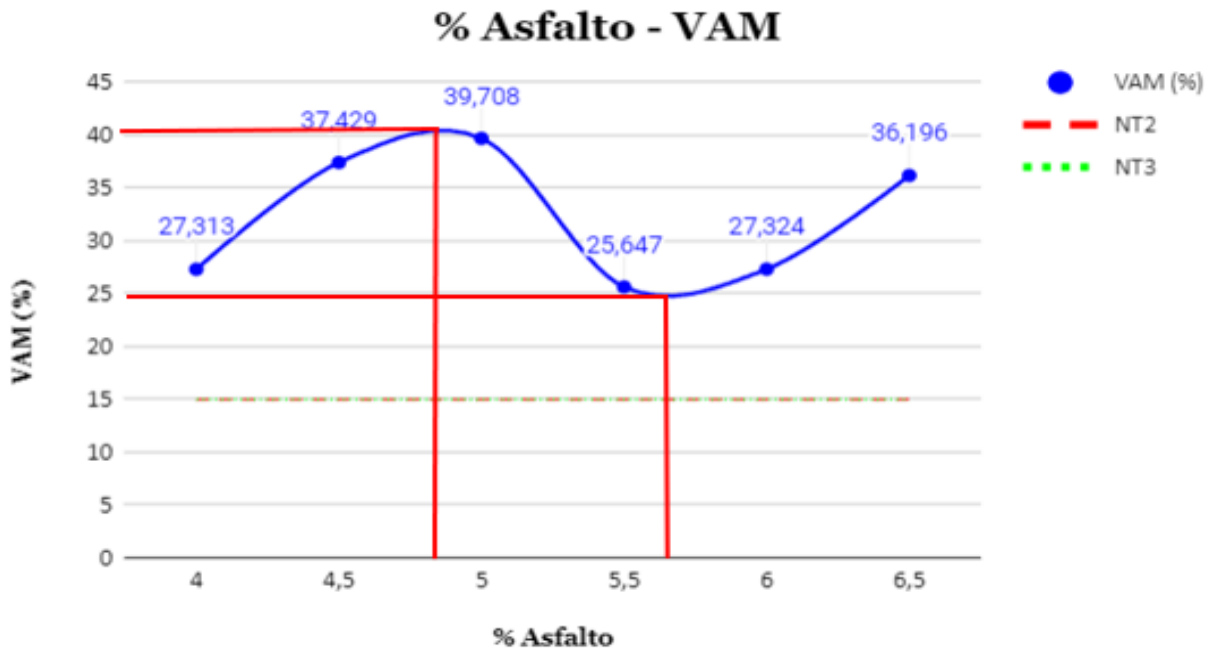
Figura 15 "Vacíos Llenos de Asfalto vs Porcentaje de Asfalto"



Nota. Fuente Propia

Teniendo en cuenta la **Figura 15**, se evidencia que entre los porcentajes del 4.5 y 5, tiene menor material incorporado y este va en aumento hasta llegar a un punto donde el resultado de los vacíos llenos llega a un 43.9% entre los porcentajes del 5.5 y 6, cabe resaltar que todos los valores están por debajo del requerimiento establecido en la norma.

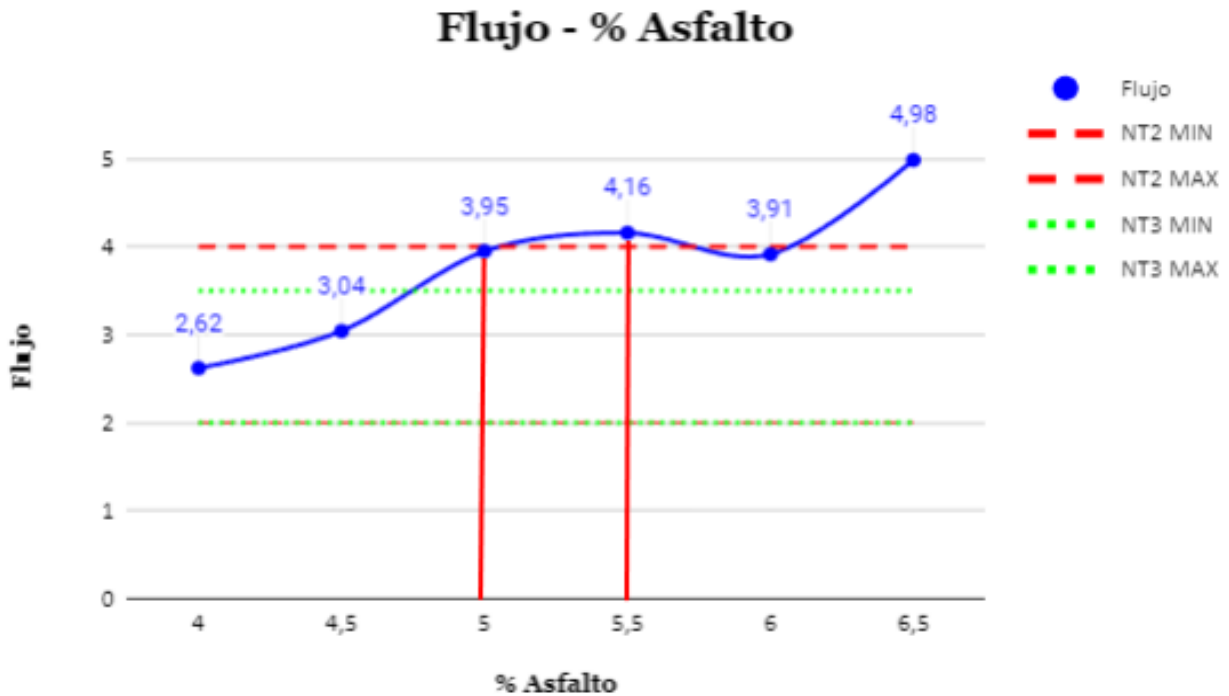
Figura 16 “Vacíos en los Agregados Minerales vs Porcentaje de Asfalto”



Nota. Fuente Propia

A continuación, en la **Figura 16** continua una tendencia que concuerda con los vacíos en la mezcla asfáltica. Se determina su punto máximo con un porcentaje total del 39.7% para los vacíos en agregados pétreos y como se esperaba con un valor mínimo en la dosificación del 5.5% la cual posee un total del 25.6%.

Figura 17. "Flujo vs Porcentajes de Asfalto"

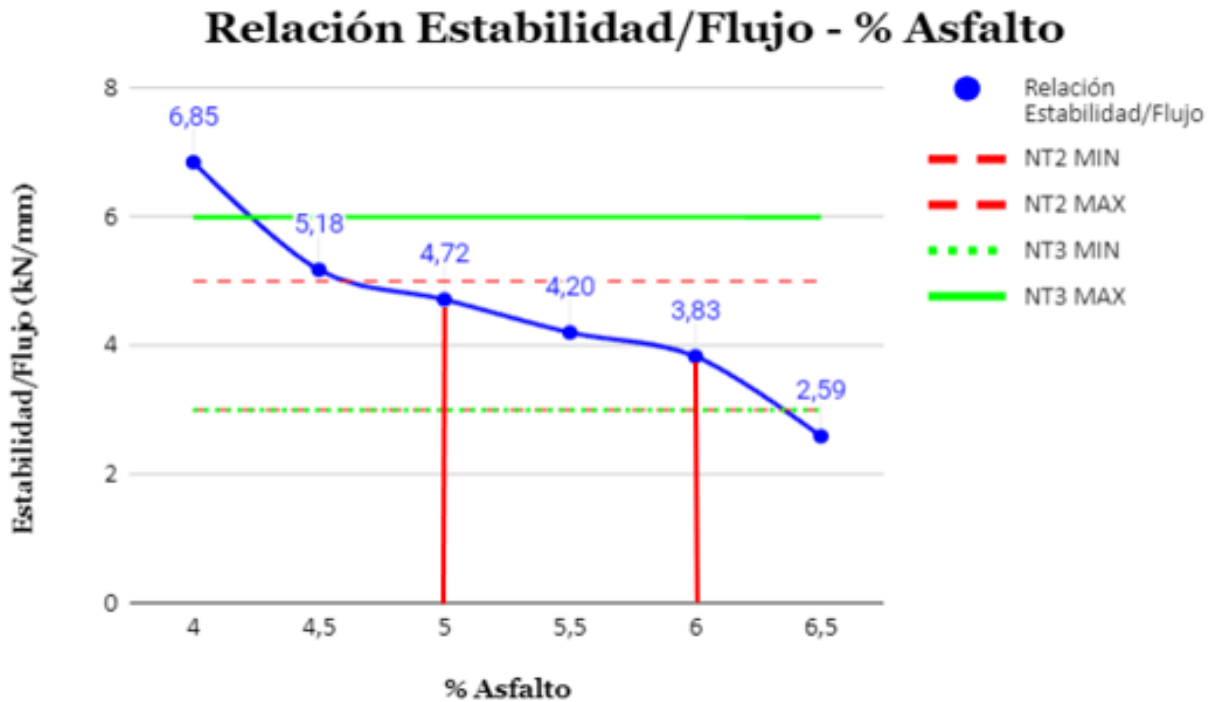


Nota. Fuente Propia

Para la gráfica de flujo vs porcentaje de asfalto, se debe tener en cuenta como primera instancia que los resultados en su mayoría entran en los parámetros que dicta la norma como se observa en la **Figura 17,**

El flujo determina la capacidad de la mezcla para resistir los asentamientos producidos por cargas y las deformaciones sin presentar problemas como agrietamiento o rupturas. Se debe tener en cuenta que la dosificación del 5.5% solo pasa por 0.1 el parámetro máximo del NT2, por esta razón se puede considerar que entra en el rango de flujo óptimo de la norma.

Figura 18. "Relación Estabilidad /Flujo vs Porcentaje de Asfalto"



Nota. Fuente Propia

Para finalizar con el análisis de las gráficas, procedemos con la estabilidad/flujo vs porcentaje de asfalto, donde las muestras entre el 5% y 6% presentan el mejor comportamiento, debido a que la capacidad de carga y resistencia se puede establecer en todas las categorías de tránsito regidas en la norma.

Con ello podemos concluir que el porcentaje óptimo de asfalto para este diseño Marshall es del 5.5%, dado a los resultados arrojados en cada ensayo.

Conclusiones y Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante esta investigación y de acuerdo a los objetivos planteados se concluye:

- La adición de polvo de cascara de huevo en el 1.5% optimizo las propiedades del cemento asfaltico para los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, viscosidad y envejecimiento, sin embargo, las otras adiciones no presentaron cambios negativos en las características.
- Adicionalmente en el diseño Marshall la Estabilidad y el Flujo mejora considerablemente respecto a lo establecido en la normativa vigente en las categorías de tránsito.
- Un dato a tener en cuenta es que mientras mayor rango de vacíos llenos de aire presente, las muestras tendrán menor material asfáltico incorporado o menor material pétreo, esto infiere a que la porosidad del material pueda llegar a afectar en la vida útil de la mezcla.

Como recomendación en el momento de mezclas el cemento asfaltico con los agregados, estos se encuentren en la temperatura estipulada por la normativa colombiana con esto se asegura que el asfalto pueda mezclarse más homogéneamente y asi reducir los porcentajes de vacíos llenos de aire.

Para estudios futuros se recomienda utilizar porcentajes superiores al 2% de polvo de cascara de huevo y realizar más pruebas detalladas para determinar cambios físico-químicos.

Bibliografía

- Ampuero R, Narváez K, & Mendoza P. (2019). Cemento Asfáltico Bituminoso. In *Universidad Privada Boliviana*. <https://es.scribd.com/document/410483759/Cemento-asfaltico-bituminoso>
- Ávila J, & Velasco E. (2021). *EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE DIFERENTES ADITIVOS APLICADOS EN UNA MEZCLA MDC - 19*. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/e940db76-e5cb-446e-8571-05365c08ba3e/content>
- Bedoya-Salazar, A., & Valencia-González, M. P. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 12(2), e776. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>
- Frías E, & Gomez F. (2018). *Con cáscaras de huevo crean un cemento menos dañino para el medio ambiente - Portal de Noticias - Uninorte*. Universidad Del Norte. <https://www.uninorte.edu.co/es/web/grupo-prensa/w/con-cascaras-de-huevo-crean-un-cemento-menos-danino-para-el-medio-ambiente>
- IDU. (n.d.). SECCIÓN 510-11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DENSAS, SEMIDENSAS, GRUESAS, Y DE ALTO MÓDULO. *Alcaldía Mayor de Bogotá, Instituto de Desarrollo Urbano, 2.0*. Retrieved October 26, 2023, from <https://www.idu.gov.co/web/content/7623/510-11.pdf>
- INVIAS. (2012). *MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE GRADACIÓN CONTINUA (CONCRETO ASFÁLTICO)*. Art 450. <https://gerconcesion.co/invias2013/450%20MEZCLAS%20ASFALTICAS%20EN%20CALIENTE%20DE%20GRADACION%20CONTINUA.pdf>
- IPNI. (n.d.). *Fuentes de nutrientes específicos. Carbonato de calcio (Cal)*. IPNI Canada. Retrieved October 26, 2023, from [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/\\$FILE/NSS-ES-18.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/0248CCB8DFC442E985257BBA0059D03A/$FILE/NSS-ES-18.pdf)
- Masri, K. A., Ganesan, E., Ramadhansyah, P. J., Doh, S. I., Jasni, N. E., Al-Saffar, Z. H., & Mohammed, A. A. (2021). Volumetric Properties and Abrasion Resistance of Stone Mastic Asphalt Incorporating Eggshell Powder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 682(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/682/1/012058>

- Meza P, & Vela M. (2019). *Diseño de pavimento rígido utilizando cascarilla de huevo triturada para mejorar la resistencia a la compresión en el Jr. Ricardo Palma, Banda de Shilcayo, 2019.* https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52883/Meza_CPJP-Vela_MMR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moison, I. C., Gungat, L., Asrah, H., & Chiew, F. H. (2022). A Review of Eggshell Powder and Fly Ash-Based Geopolymers Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1229(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1229/1/012011>
- ONU. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Shekhawat, P., Sharma, G., & Singh, R. M. (2020). Potential Application of Heat Cured Eggshell Powder and Flyash-Based Geopolymer in Pavement Construction. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 6(2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S40891-020-00213-2/METRICS>
- Vasquez B. (2022). *Diseño del pavimento rígido adicionando ceniza de cáscara de huevo en la avenida mi Próceres en Chilca 2022.* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102368>
- Velázquez Judith. (2018). *Reciclaje de residuos sólidos mediante su incorporación a cementos asfálticos para pavimentos flexibles.* http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4631/FIC-M-2018-1523.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Invias. (2014). Inv. E 706 - 13, Penetración de los Materiales Bituminosos
- Invias. (2014). Inv. E 702 - 13, Ductilidad de los Materiales Asfálticos
- Invias. (2014). Inv. E 717 - 07, Método para Determinar la Viscosidad del Asfaltos Empleando el Viscosímetro Rotacional
- Invias. (2014). Inv. E 748 - 13, Estabilidad Y Flujo De Mezclas Asfálticas En Caliente Empleando El Equipo Marshall.
- Invias. (2014). Inv. E 712 - 13, Punto de Ablandamiento de Materiales bituminoso (Aparato de Anillo y Bola)
- Invias. (2014). Art. Inv. E 450, Mezclas Asfálticas En Caliente De Gradación Continua (Concreto Asfáltico).
- Invias. (2014). Inv. E 720 - 13, Efecto del Calor y del Aire Sobre el Asfalto en Lámina Delgada y Rotatoria.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MÁS ÓPTIMO DE ADICIÓN DE POLVO DE CÁSCARA DE HUEVO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL

49

Invias. (2014). Inv. E 217 - 13, Densidad Bulk (Peso Unitario) y Porcentaje de Vacíos de los Agregados en Estado Suelto y Compactado

Anexos

Se entrega como anexos hojas de cálculos de los ensayos realizados.