

EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON VIDRIO TEMPLADO MOLIDO POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA MARSHALL

EVALUATION OF AN ASPHALT MIXTURE MODIFIED WITH GROUND TEMPERED GLASS USING MARSHALL METHODOLOGY

Edwin Fernando Vanegas Manrique

Estudiante de Ingeniería Civil, edwin.vanegas@usantotomas.edu.co

Laura Inés Segura Calleja

Estudiante de Ingeniería Civil, laurasegurac@usantotomas.edu.co

Jessica María Ramírez Cuello

Magistra en Ingeniería Civil, docente, jessicaramirez@usantotomas.edu.co

Resumen: Este proyecto de investigación pretende diseñar una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido (VTM) por vía seca teniendo en cuenta la metodología MARSHALL, realizando ensayos de laboratorio donde será reemplazado dosificaciones de 10%, 20% y 30% de agregado por VTM lo cual nos permitirá evaluar el desempeño de una mezcla asfáltica modificada en comparación a una mezcla asfáltica convencional.

Con base en los resultados obtenidos del laboratorio se procede a establecer si al reemplazar un porcentaje de agregado por VTM se evidencian mejoras respecto a las propiedades brindadas de una mezcla asfáltica convencional cuando es sometida a niveles elevados de tránsito y agente climáticos.

De lo anterior resulto una mezcla asfáltica modificada con VTM con propiedades similares a la convencional en cuanto al diseño de la estructura del pavimento, pero mejorando las características de estabilidad de la misma lo cual garantiza menores deformaciones en la capa de rodadura.

Palabras clave: asfalto, materiales, mezclas, pavimentos

Abstract: Asphalt mixtures in pavements are subjected daily to different vehicular loads and climatic changes, giving rise to deformations or other damages, so it is considered necessary to modify some properties with the addition of different materials to ensure longer life and reduction in maintenance activities in the asphalt layers.

This research project aims to design a modified asphalt mixture with ground tempered glass (TMV) using the MARSHALL methodology by performing laboratory tests where 10%, 20% and 30% of aggregate will be replaced by TMV, which will allow us to evaluate the performance of a modified asphalt mixture compared to a conventional asphalt mixture.

Based on the results obtained from the laboratory, we will proceed to establish whether replacing a percentage of aggregate with TMV will show improvements with respect to the properties provided by a conventional asphalt mix when subjected to high levels of traffic and climatic agents.

The result is an asphalt mix modified with VTM with similar properties to the conventional mix in terms of pavement structure design, but improving its stability characteristics, which guarantees lower deformations in the wearing course.

Keywords: asphalt, materials, mixes, pavements.

1 INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente de vital importancia para el impulso económico de un país. En Colombia la relevancia de las vías es mayor, ya que el principal modo de transporte tanto de carga, como de pasajeros es el terrestre. A pesar de esto y de acuerdo con el informe de indicadores del sector del transporte en Colombia [1], existe un atraso importante de la infraestructura vial (y de otros medios de transporte), el cual es debido por la geografía del país que generan restricciones que dificultan la construcción y mantenimiento de la red vial.

Pese a la existencia de normatividad en el país para la preparación de mezclas asfálticas, el uso de materiales y tecnologías de reciclaje en la rehabilitación y mantenimiento vial requiere mayor profundidad en la investigación de nuevos materiales para evitar la extracción de los recursos no renovables, por ese

motivo el presente documento aborda el tema de mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido con el fin de comparar con una mezcla asfáltica convencional, empleando la metodología MARSHALL para la elaboración de briquetas y el método SHELL para el diseño del pavimento.

2 METODOLOGIA

La investigación es con un enfoque mixto, Inicialmente se realizó una búsqueda de información relacionada con los métodos de diseño para mezclas asfálticas donde se encuentran los manuales INVIAS [2] y el libro Pavimentos: materiales, construcción y costos [3]. Además, se recopiló información relacionada con mezclas asfálticas y material agregado para su modificación.

El tipo de mezcla asfáltica que se utiliza es la continua, la cual incluye 3 tipos de material granular grueso, medio y fino donde se encontraran en canteras ubicadas en la ciudad de Villavicencio.

La idea es reemplazar un porcentaje de uno de estos agregados pétreos por un material que se pueda reutilizar, para este caso se adoptó vidrio templado ya que es un material contaminante para el medio ambiente.

Para el diseño de la mezcla asfáltica se opta por la metodología Marshall incluyendo los siguientes ensayos de laboratorio:

- Densidad (Normas INV E-733-13 e INV E-734-13)
- Diseño Marshall, INV. E-748-13.
- Granulometría del agregado pétreo, INV. E-782-13.
- Gravedad específica medido (método Rice) (Norma INV E-735-13).
- Contenido de asfalto (Norma INV E-732-13).
- Estabilidad y flujo de mezcla asfáltica en caliente empleando el equipo Marshall (Norma INV E-748-13).

Investigaciones previas para el desarrollo de la investigación:

FECHA	AUTOR	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
2017	UMBARILA, CRISTIAN ANDRÉS MEJÍA HERNÁNDEZ, CRISTIAN ADOLFO SIERRA	estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio universidades de Bogotá.	Proyecto de investigación (TESIS)	Investigaciones que han desarrollado las instituciones de educación superior de la ciudad de Bogotá durante los últimos diez años en el área de asfaltos y mezclas asfálticas modificadas. [4]
2018	Javier Flórez Sánchez Sergio Leonardo Gómez Páez Néstor Edgar Cely	Caracterización física y reológica del asfalto modificado con aceite de coco	Proyecto de investigación (TESIS)	Se enfoca en evaluar las características físicas y reológicas de una muestra de asfalto modificado con aceite de coco en diferentes concentraciones y realizar una comparación con las mezclas convencionales. [5]
2018	Ochoa Díaz, R. Grimaldo León, G.E. Orjuela Fajardo, M. Muñoz León, C.	Analysis of use of granulated slag in asphalt mixtures manufacturing for pavements [Análisis del uso de escoria granulada en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos]	Artículo	Se desea comparar una mezcla tradicional tipo MDC-19 del INVIAS con cemento asfáltico de grado de penetración 80/100 y otra mezcla de la misma tipología modificada con escoria granulada como sustituto de la fracción del árido de arena. [6]
2020	Forero Triana, Mayra Alejandra Hernández Franco, Johan Andrés	Diseño Marshall y verificación de adherencia de una mezcla asfáltica MDC-25 con reemplazo parcial de material granular por ceniza de cascarilla de arroz	Proyecto de investigación (TESIS)	Se propone una alternativa de utilización de la ceniza de cascarilla de arroz para modificar el material granular en una mezcla asfáltica MDC-25 [7]
2020	Vaquiro Díaz, Ronaldo Alexis Padilla Lozano, Ervin Felipe	Evaluación del comportamiento en una mezcla asfáltica densa en caliente (MDC-19) con cemento de uso general como agente modificante.	Proyecto de investigación	Evaluar el comportamiento de las resistencias de un tipo de mezcla asfáltica densa en caliente (MDC-19) reemplazando el contenido de finos por cemento.[8]

FECHA	AUTOR	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
2020	Lizcano Garzón, Omar Ramos Félix, Deyber Andrés	estudio del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas modificadas con llenante mineral de ceniza de la cascarilla resultante de la molienda del arroz	Trabajo de grado	Este trabajo consiste en mejorar de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con ceniza de residuos de la molienda del arroz [9]
2017	Vanegas Miranda, Juan Diego Caro Spinel, Silvia Caicedo Hormaza, Bernardo Estrada Mejía, Nicolás	Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas	Proyecto de investigación (TESIS)	La finalidad es caracterizar el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas con diferentes porcentajes [10]
2018	Jaramillo, Tatiana Marín	Analysis of Construction Specifications of Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) and Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU)	Trabajo de grado	Comparan especificaciones de construcción vial del Instituto Nacional de Vías de Colombia y del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá. [11]
2019	Suarez Tirado, Alexander	Análisis monotónico de mezclas densas en caliente con asfalto modificado con 50% de caucho y 50% de cuero	Proyecto de investigación (TESIS)	Este trabajo pretende brindar alternativas de modificación de las Mezclas asfálticas densas en Caliente [12]
2016	Rondón Quintana Hugo Alexander	Pavimentos: materiales, construcción y costos	Libro	Este documento indica aspectos importantes para el diseño y construcción de pavimentos para carreteras y vías urbanas [3]

2.1 Recolección de material

Los siguientes materiales fueron recolectados: el vidrio templado, agregados y asfalto.

Los agregados recolectados fueron de tres tipos: triturados de arena sin lavar, $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ dichos materiales se consiguieron en la cantera de rio Guayuriba que está ubicada por corredor Ecológico, Km. 5,3 Vereda, El Cocuy, Villavicencio, Meta.

Figura 1. Recolección de material pétreo



El vidrio templado se obtuvo del reciclaje, en total se consiguieron dos panorámicos de automóvil, después de su recolecta se procedió a triturar de manera artesanal para más adelante darle su uso.

Respecto al asfalto se consiguió en la empresa PASOLIN SAS. Mezclas y Emulsiones Asfálticas de Calidad la cual queda ubicada por corredor Ecológico, Km. 5,3 Vereda, El Cocuy, Villavicencio, Meta.

Figura 2. Planta de asfalto PASOLIN



2.2 Granulometría de vidrio templado

Para este ensayo primeramente se trituró de manera artesanal los dos panorámicos de vidrio templado, se utilizaron los tamices número 10, 40, 60, 100, 200 y fondo. La cantidad que se tamizó fueron 500 gr los cuales fueron tamizados de manera mecánica por 5 minutos.

Figura 3. Trituración manual de VTM



Figura 4. Granulometría de VTM



2.3 Resistencia a la degradación de los agregados por medio de la máquina de los ángeles INV E-218-13

En este ensayo se midió la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica tipo MDC-19, con base a este agregado se obtuvo una granulometría tipo C, es decir que se agregó 8 esferas a la máquina de los ángeles con 2500 gr de material granular retenido en el tamiz de 4.75mm (No. 4) y 2500 gr en el tamiz de 2.36mm (No. 8) con un total de material de 5000 gr. Luego se hizo girar el tambor con una velocidad entre 188 y 208 rad/minuto hasta completar 500 revoluciones.

Figura 5. Desgaste Máquina de los Ángeles

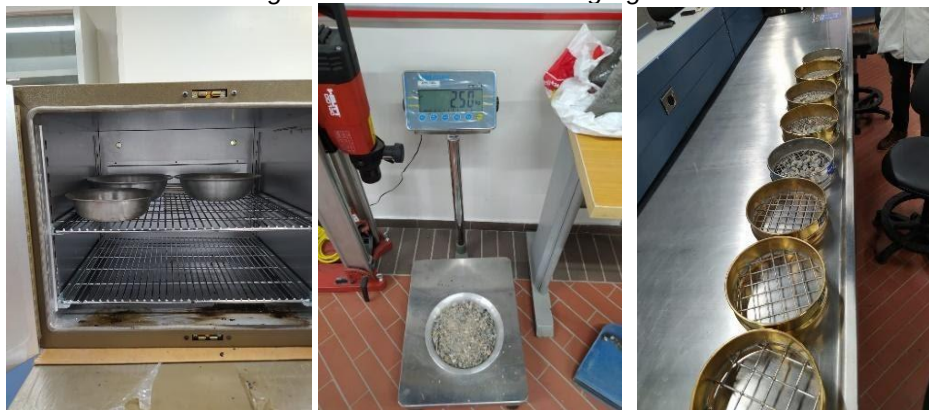


Se agregó a la máquina de los ángeles 5000 gr de material retenido en el tamiz No 12 seguido del proceso que se realizó en la máquina de los ángeles se pesó nuevamente obteniendo 4209.5 gr. para determinar el porcentaje de pérdidas se tuvo en cuenta la masa de la muestra seca antes del ensayo y la masa de la muestra después del ensayo, previa lavado sobre tamiz No 12 teniendo como resultado 15.81% cumpliendo con las especificaciones técnicas según [1].

2.4 Granulometría de agregados INV E-213-13

Para el ensayo de granulometría de agregados se lavó previamente los materiales posteriormente a esto se pusieron a secar durante 24 horas, los tamices que se utilizaron fueron los siguientes: con apertura 25 mm, 19 mm, $\frac{1}{2}$ ", 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm y fondo. La cantidad que se tamizó fueron 2.5 kg los cuales fueron tamizados de manera mecánica por 5 minutos.

Figura 6. Granulometría de agregados



2.5 Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (método del picnómetro) INV E-707-13

Para este ensayo los equipos que se utilizaron fueron: picnómetro, termómetros, vaso de precipitados, balanza.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente.

Se preparó la muestra calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida.

Se registró la masa del picnómetro, la masa del picnómetro lleno de agua destilada. a continuación, se vertió la cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro, limpio y seco, el cual fue llenado $\frac{3}{4}$ de su capacidad, se dejó enfriar el picnómetro con el contenido de asfalto hasta la temperatura ambiente durante 40 minutos, se tomó el peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto. Por último, se terminó de llenar el picnómetro que contenía asfalto con agua destilada y se tomó su peso.

Figura 7. Densidad material bituminoso



2.6 Penetración de los materiales bituminosos INV E-706-13

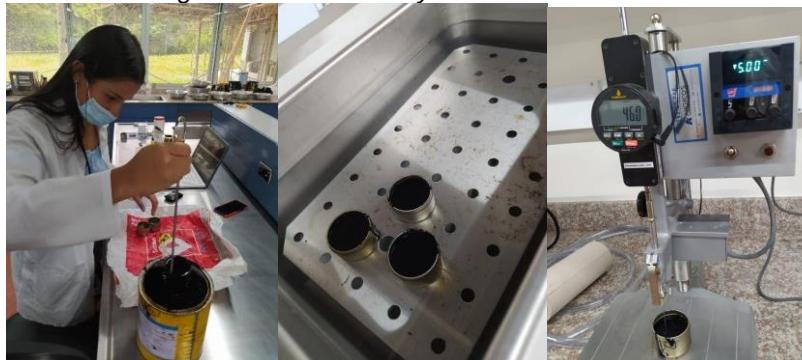
Los equipos utilizados para este ensayo fueron penetrómetro, aguja, recipiente para la muestra, baño de agua.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente, se preparó la muestra calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida.

Se vertió la muestra dentro de 3 recipientes a $\frac{3}{4}$ de su capacidad, a continuación, se permitió que se enfriara durante 45 minutos, después de estar a temperatura ambiente se colocaron las muestras en baño de agua a una temperatura de 25°C durante 45 minutos.

Posteriormente a esto se sacaban las muestras del baño de agua e inmediatamente se ponían en el aparato penetrómetro en donde se comprobaba que el vástago soporte de la aguja se encontraba limpio y seco, se ubicaba la aguja hasta que su punta tocara la superficie de la muestra sin que llegara a que esta penetrara, por último, se soltaba el mecanismo que libera la aguja y se leía y anotaba la distancia expresada en décimas de milímetros que haya penetrado la aguja en la muestra. Este procedimiento se realizó en los tres recipientes y se realizaron 3 penetraciones por cada muestra.

Figura 8. Penetración y Baño maría a 25°C

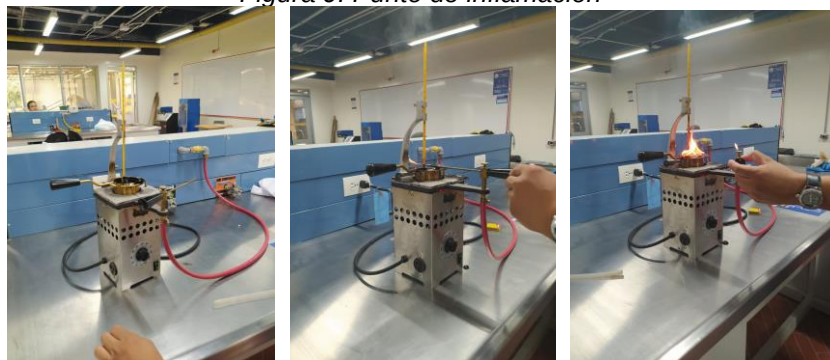


2.7 Punto de inflamación y de combustión mediante la copa abierta Cleveland INV E-709-13

Los equipos que se utilizaron en este ensayo fueron los siguiente: aparato de copa abierta de Cleveland, termómetro.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente, se preparó la muestra calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida. En conjunto se prepara el aparato de copa abierta de Cleveland sobre una mesa firme en un cuarto libre de corriente de aire y mediante un soporte adecuado de puso el termómetro en una posición vertical, se llenó la copa hasta la marca de llenado de esta. Se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos, posteriormente a estos se llevó la copa al aparato en donde se enciende la llama y se le aplicaba calor. cuando la muestra se encontraba a una temperatura de unos 28 °C por debajo del punto de inflamación supuesto se comenzó a hacer un barrido con la llama de ensayo con un movimiento suave y constante de forma horizontal, se registró el punto de inflamación, la lectura que el termómetro en el instante en que la llama produjo un destello sobre la superficie del asfalto, también se determinó el punto de combustión el cual se sabía cuándo el asfalto se encendía y mantenía la llama durante 5 segundo.

Figura 9. Punto de inflamación



2.8 Determinación de la viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional INV E-717-13

Para este ensayo los equipos que se utilizaron fueron: horno, termómetro, balanza, vástagos cilíndricos, viscosímetro rotacional.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente, se preparó la muestra calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida. A continuación, se vertió en 3 vástagos cilíndricos una cantidad de 13 gr de asfalto en cada uno y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 minutos. Se encendió el viscosímetro rotacional y la unidad de control de temperatura donde se procede a precalentar el vástago con la muestra, este vástago se colocó en la parte inferior del viscosímetro, se ajustó la velocidad de rotación y el lector digital para que este indicara la viscosidad, durante el periodo de equilibrio de la muestra de asfalto se puso a rotar el vástago y se observaba la viscosidad hasta que la lectura en pantalla se estabilizara, de esta manera se registró el valor de viscosidad de las 3 muestras.

Figura 10. Viscosidad del asfalto



2.9 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) INV E-712-13

Los equipos que se utilizaron en este ensayo fueron: anillos, placa base, bolas, baño, soporte de anillos, termómetros.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente, se preparó la muestra calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida.

Se colocaron los anillos de latón sobre la placa base que había sido tratada con un producto antiadherente (vaselina), se vertió en estos el asfalto de manera que quedara a ras de su borde, se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 40 minutos. Posteriormente se colocaron estos anillos a enfriar en agua destilada a una temperatura de 12 °C durante 30 minutos.

Dentro de un vaso de precipitado con agua destilada a temperatura de 12 °C se hizo el montaje de los aparatos en una campana de laboratorio, colocando los anillos con asfalto, el termómetro y centrando las bolas en sus guías correspondientes sobre cada uno de los anillos del material que se ensayó. Por último, se puso el montaje en la máquina MATEST donde se anotaba para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el asfalto que rodeaba la bola tocara el fondo de la placa de referencia.

Figura 11. Punto ablandamiento (Anillo y bola)



2.10 Ensayo Marshall (contenido óptimo de asfalto) INV E-748-13

Para este ensayo los porcentajes de asfalto utilizados para la elaboración de las briquetas fueron de 4.5%, 5%, 5.5% y 6% de la mezcla total. Respecto a estos porcentajes se determinó la cantidad de agregado teniendo en cuenta que cada briqueta debía tener un total de 1200 g entre asfalto y agregados. A continuación, se muestra la distribución de material granular que se obtuvo.

El ensayo Marshall se realizó para un total de 12 muestras las cuales variaba su contenido de asfalto entre 4.5% y 6 % para así poder obtener el contenido óptimo de asfalto y se pudiera proceder a la elaboración de las briquetas modificadas con VTM.

Tabla 1. Distribución de material granular para cada porcentaje de asfalto

TAMIZ	% RETENIDO	4.50%	5%	5.50%	6%
1/2	12.50	143.25	142.50	141.75	141.00
3/8	9.50	108.87	108.30	107.73	107.16
Nº 4	23.00	263.58	262.20	260.82	259.44
Nº 10	21.00	240.66	239.40	238.14	236.88
Nº 40	18.50	212.01	210.90	209.79	208.68
Nº 80	8.00	91.68	91.20	90.72	90.24
Nº 200	7.50	85.95	85.50	85.05	84.60
TOTAL	100.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00

Nota: distribución de agregados pétreos de acuerdo al porcentaje retenido en cada tamiz. Por Laura, Segura & Edwin, Vanegas, 2021.

Para la preparación de briquetas se preparó el asfalto calentándose a 130 °C en el horno y agitándose continuamente hasta llegar a la fluidez suficiente para ser vertida. A continuación, se mezcló la porción de agregados con el porcentaje de asfalto respectivo, cuanto estaba totalmente homogéneo se llevó a el molde y se compacto aplicando 75 golpes por ambas caras del cilindro.

Figura 12. Método Marshall



Después de la compactación de los cilindros se pesaron los 12 especímenes de 3 maneras diferentes: la primera se secó en el aire, se pesó después de que haya permanecido por lo menos 1 hora a temperatura ambiente, la segunda manera fue el espécimen en agua donde se sumerge a 25°C durante 4 minutos y luego se determina la masa en el agua y por ultimo el espécimen saturado donde se secó rápidamente la superficie para pesarlo en una balanza digital.

Figura 13. Peso de los especímenes sumergidos en el agua



Con los pesos obtenidos anteriormente se determinó la Densidad especifica Bulk y el porcentaje de vacíos en las briquetas, para la falla de los cilindros se dejaron en baño maría durante un tiempo de 30 -40 minutos a una temperatura de 60°C luego se llevaron a la maquina prensa de carga (master loader 5030) para fallarlos con la finalidad de obtener los datos de estabilidad y flujo de cada espécimen.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización física de agregados pétreos y asfalto

Teniendo en cuenta las normas invias descritas anteriormente se realizaron diferentes ensayos que evaluaban las características físicas de los agregados y del asfalto obteniendo como resultado que cumplen con los parámetros estimados en la misma.

Tabla 2. Caracterización del asfalto

ASFALTO		
penetración	45.4	
IP	-1	
punto de inflamación	220	°C
punto de combustión	245	°C
punto de llama y combustión	270	°C
punto de ablandamiento	51.5	°C

3.2 Determinación de contenido óptimo de asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se tuvo en cuenta los datos obtenidos de la Master Loader 5030 donde se analizó el punto de falla y la fluidez de cada espécimen, Además se tuvo presente el peso específico promedio y el porcentaje de vacíos. La siguiente grafica muestra los resultados del espécimen que se comportó de la mejor manera al momento de fallarlo con una estabilidad de 5.09 KN y fluidez de 5.3 mm con un contenido de asfalto de 5%.

Figura 14. Diagrama Fuerza vs Deformación, mezcla asfáltica convencional

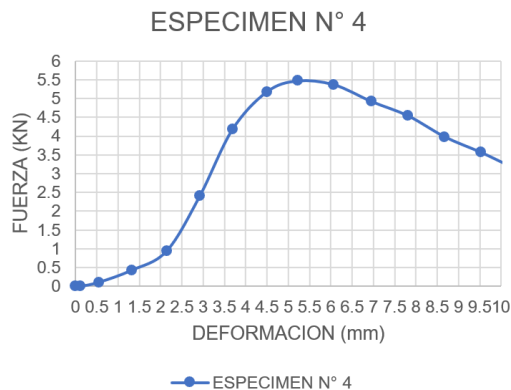


Tabla 3. Datos contenido óptimo de asfalto 4.5 y 5%

ESPECIMEN	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Contenido de asfalto		4.50 %			5.00 %	
Altura Prom	6.65	6.67	6.82	6.77	6.74	6.91
Diametro Prom	9.87	9.83	9.89	9.81	9.94	9.85
Volumen	508.28	505.31	523.80	511.70	522.69	526.36
PE Prom		2182.91			2145.67	
FLUIDEZ (0.25mm)	4.31	5.40	7.05	5.22	5.40	8.67
FLUIDEZ Prom		5.59			6.43	
ESTABILIDAD Exp.	6.29	5.91	3.88	5.47	5.09	4.39
Fac. correcion de altura	1.04	1.04	0.96	1.00	1.00	0.96
ESTABILIDAD	6.54	6.15	3.72	5.47	5.09	4.21
ESTABILIDAD MEDIA		5.47			4.92	
% vacios	4.13	4.75	5.35	3.91	4.59	5.13
% Vacios Prom		4.74			4.54	

NOTA: Resumen de los datos del Ensayo de Gravedad especifica Bulk y Contenido Optimo de asfalto convencional.

Tabla 4. Datos contenido óptimo de asfalto 5.5 y 6 %

ESPECIMEN	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11	N° 12
Contenido de asfalto		5.50 %			6.00 %	
Altura Prom	6.77	6.74	6.91	7.03	6.97	7.12
Diametro Prom	9.81	9.94	9.85	9.88	9.88	9.86
Volumen	511.70	522.69	526.36	539.15	534.17	543.66
PE Prom		2190.69			2090.47	
FLUIDEZ (0.25mm)	7.23	6.50	9.06	13.36	6.24	6.34
FLUIDEZ Prom		7.60			8.65	
ESTABILIDAD Exp.	7.30	4.38	4.16	1.79	3.17	2.83
Fac. correcion de altura	1.00	1.00	0.96	0.93	0.96	0.93
ESTABILIDAD	7.30	4.38	3.99	1.66	3.04	2.63
ESTABILIDAD MEDIA		5.22			2.45	
% vacios	2.35	3.83	4.94	5.19	4.87	7.17
% Vacios Prom		3.70			5.74	

NOTA: Resumen de los datos del Ensayo de Gravedad especifica Bulk y Contenido Optimo de asfalto convencional.

Se determino el contenido de asfalto teniendo en cuenta los datos del peso específico máximo, estabilidad máxima, fluidez mínima y porcentaje de vacíos medio dándonos como resultado un contenido óptimo de 5% de asfalto.

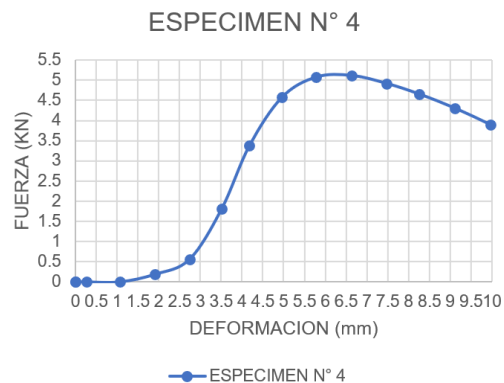
Tabla 5. Determinación de contenido optimo asfalto

Propiedad	Contenido de asfalto (%)
Peso específico	5.5
Estabilidad	4.5
Porcentaje de vacíos	4.5
Fluidez	4.5
Contenido óptimo	5

3.3 Ensayo Marshall con mezcla Asfáltica modificada con VTM

La siguiente grafica muestra los resultados del espécimen N°4 con una estabilidad de 7.1 KN y fluidez de 5.6 mm con un contenido de asfalto de 5% y 20% de VTM reemplazado en el material retenido en el tamiz N°10.

Figura 15. Diagrama Fuerza vs Deformación



Los resultados obtenidos del ensayo de estabilidad y flujo en los cilindros de mezcla modificada fueron los siguientes.

Tabla 6. porcentaje de VTM y gravedad especifica bulk

ESPECIMEN	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Contenido de VTM reemplazado por Agregado N°10		10.00 %			20.00 %	
Contenido de asfalto		5.00 %			5.00 %	
Altura Prom	6.77	6.03	6.49	6.60	6.87	6.70
Diametro Prom	9.97	9.68	9.87	9.84	9.87	9.81
Volumen	528.00	443.07	496.05	501.91	525.35	506.41
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.101	2.230	2.226	2.196	2.216	2.173
PESO ESPECIFICO	2100.885	2229.675	2225.746	2195.612	2215.613	2173.285
PE Prom		2185.435			2194.837	
FLUIDEZ Prom		6.046			6.253	
ESTABILIDAD Exp.	2.71	4.35	7.66	5.12	7.1	6.61
Fac. correccion de altura	0.96	1.32	1.04	1.04	0.96	1.04
ESTABILIDAD	2.6016	5.742	7.9664	5.3248	6.816	6.8744
ESTABILIDAD MEDIA		5.437			6.338	
% vacios	2.462	2.708	2.218	3.188	2.475	3.357
% Vacios Prom		2.463			3.006	

NOTA: Resumen de los datos del Ensayo de Gravedad especifica Bulk y Contenido Optimo de asfalto modificado con VTM

Tabla 7. porcentaje de VTM y gravedad especifica bulk.

ESPECIMEN	N° 7	N° 8	N° 9
Contenido de VTM reemplazado por Agregado N°10		30.00 %	
Contenido de asfalto		5.00 %	
Altura Prom	7.21	6.82	6.64
Diametro Prom	9.82	9.90	9.90
Volumen	545.51	524.20	510.87
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.131	2.245	2.175
PESO ESPECIFICO	2131.295	2245.455	2174.863
PE Prom		2183.871	
FLUIDEZ Prom		6.416	
ESTABILIDAD Exp.	1.74	5.11	3.66
Fac. correccion de altura	0.93	0.96	1
ESTABILIDAD	1.6182	4.9056	3.66
ESTABILIDAD MEDIA		3.395	
% vacios	3.850	3.052	3.915
% Vacios Prom		3.606	

NOTA: Resumen de los datos del Ensayo de Gravedad especifica Bulk y Contenido Optimo de asfalto modificado con VTM

Para determinar el porcentaje optimo que se debe reemplazar en el material retenido en el tamiz de 2 mm (N°10) se tuvieron en cuenta los porcentajes 10, 20 y 30% y según los datos obtenidos de estabilidad y fluidez de los especímenes se escoge el 20% donde se puede evidenciar que los especímenes se comportan mejor al momento de fallarlos.

3.4 Diseño Shell mezcla asfáltica convencional

Para el diseño Shell se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros los cuales determinaron el código de la mezcla para si proponer un diseño final tanto en la mezcla convencional y la modificada con VTM.

Tabla 8. Datos obtenidos Metodología Shell

DATOS		
T	26.09	°C
Precipitación	4146.933	mm
Fp	2.12	
W-MAAT	26	°C
T800	50	°C
ΔT	14	°C
Rigidez del asfalto	2x10 ⁶	N/m2
Smix	2x10 ⁹	N/m2
et	1.3x10 ⁻⁴	

Mediante el uso de las cartas de metodología Shell y los datos anteriores se determinó el código final de la mezcla.

Tabla 9. Código de mezcla convencional

CÓDIGO FINAL DE LA MEZCLA		
S1	F2	50

A partir de los datos de Modulo de resiliencia, código de la mezcla y temperatura se obtuvo la carta HN a usar, dándonos como resultado la carta HN 50

Tabla 10. Datos para Diseño metodología Shell

DATOS	
Carta de diseño	HN-50
N8,2	5.00E+06
Mr subrasante(N/m2)	5.00E+07
TMAP(°c)	26.0872053

Con la carta HN 50 se determinó los espesores de la carpeta asfáltica, base granular y sub-base granular dándonos como resultado un espesor de carpeta de 13 cm y un espesor en granulares de 40 cm

Tabla 11. Distribución de espesor de pavimento

Distribución	
Espesor de Carpeta	13 cm
Espesor de granulares	40 cm
División de los granulares	
Base granular	15 cm
Sub-base Granular	25 cm

Figura 16 Carta HN 50

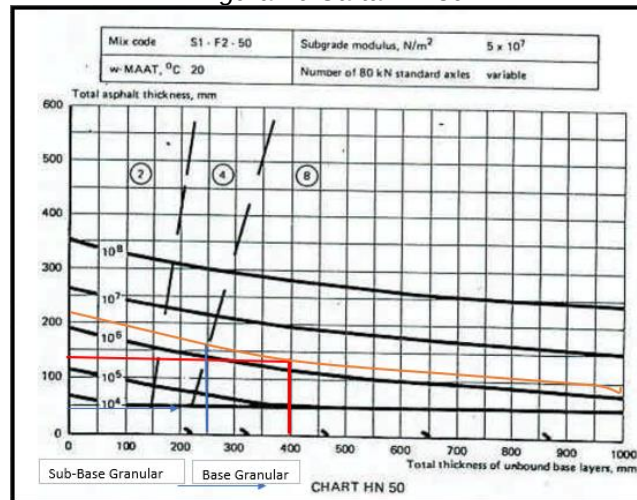
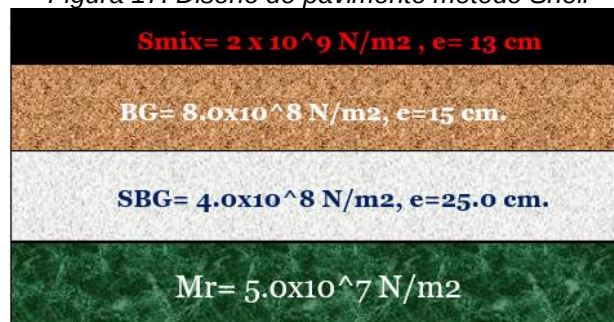


Figura 17. Diseño de pavimento método Shell



3.5 Diseño Shell mezcla asfáltica modificada con VTM

Tabla 12. Datos obtenidos metodología Shell (VTM)

DATOS		
T	26.09	°C
Precipitación	4146.933	mm
Fp	2.12	
W-MAAT	26	°C
T800	50	°C
ΔT	14	°C
Rígidez del asfalto	2×10^6	N/m ²
Smix	2.5×10^9	N/m ²
et	1.1×10^{-4}	

Mediante el uso de las cartas de metodología Shell y los datos anteriores se determinó el código final de la mezcla.

Tabla 13. Código de mezcla modificada con VTM

CÓDIGO FINAL DE LA MEZCLA		
S1	F2	50

A partir de los datos de Modulo de resiliencia, código de la mezcla y temperatura se obtuvo la carta HN a usar, dándonos como resultado la carta HN 50

Tabla 14. Datos de diseño metodología Shell (VTM)

DATOS	
Carta de diseño	HN-50
N8,2	5.00×10^6
Mr subrasante(N/m ²)	5.00×10^7
TMAP(°C)	26.0872053

Con la carta HN 50 se determinó los espesores de la carpeta asfáltica, base granular y sub-base granular dándonos como resultado un espesor de carpeta de 13 cm y un espesor en granulares de 40 cm.

Tabla 15 Distribución de espesores de pavimento con VTM

Distribución	
Espesor de Carpeta	13 cm
Espesor de granulares	40 cm
División de los granulares	
Base granular	15 cm
Sub-base Granular	25 cm

Figura 18. Carta HN 50

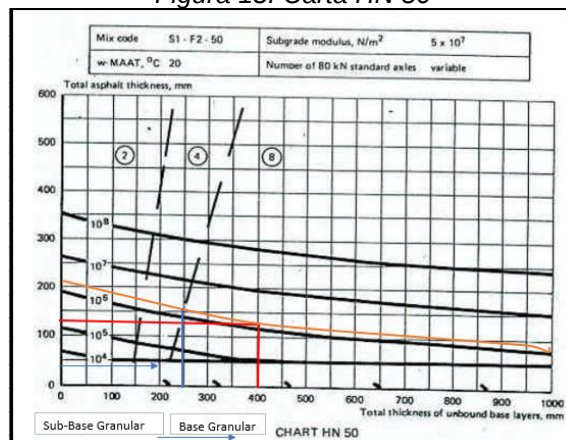
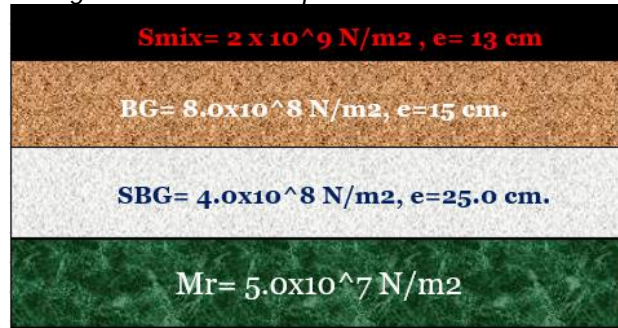


Figura 19. Diseño de pavimento método Shell



A continuación, se presenta la comparación de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con VTM teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas según los ensayos realizados en la investigación.

Tabla 16. Comparación de mezclas asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificada con VTM

Mezcla asfáltica convencional		Mezcla asfáltica modificada con VTM	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Su funcionalidad es buena resistiendo a ahuellamiento y fatiga	Requiere mayor cantidad de agregados pétreos.	Aporta la misma funcionalidad que una mezcla convencional.	Requiere de mayor cuidado en el proceso constructivo.
	Costo más elevado	Mitiga la explotación de agregados pétreos en canteras.	Presenta pérdidas de material VTM a la hora de su trituración.
	Su estabilidad es menor.	Presenta mayor estabilidad.	
		Disminuye la cantidad de residuos causados por el VTM.	
		Menor costo	

4 CONCLUSIONES

Al comparar el comportamiento de estabilidad de una mezcla convencional y una modificada con VTM se obtuvieron valores de 4.925 y 6.338 respectivamente lo cual nos indicó que al agregar el material no reciclable a la mezcla su capacidad de resistir desplazamiento y deformaciones bajo las cargas de tránsito aumentan notablemente, por consiguiente, una mezcla modificada con VTM no será tan susceptible a fatiga y ahuellamientos.

Se seleccionó la mezcla modificada con 20 % de VTM ya que presento mayor estabilidad lo cual nos garantiza una resistencia mayor bajo cargas de tránsito.

Se observó que en el diseño mediante la metodología Shell de una mezcla convencional y una mezcla modificada con VTM en un 20% no presenta variación, sus capas cumplirán las mismas funciones, sin embargo, al adicionar VTM se cumplirá con la reducción de contaminación que produce dicho material, además se podría llegar a minimizar la explotación de canteras al ser reemplazado parte de material pétreo por residuos

Se pudo concluir que una mezcla asfáltica modificada se requiere mayor cuidado en el proceso constructivo ya que la trituración del vidrio puede llegar a causar lesiones, también es importante tener en cuenta que durante este proceso se evidencia perdidas de dicho material.

Al reutilizar el vidrio templado se evidencia que se requiere menor cantidad de material pétreo y puede reflejar una disminución de costos de explotación y transporte de dicho material.

REFERENCIAS

- [1] T. Yepes *et al.*, «Indicadores del sector transporte en Colombia», *FEDESARROLLO Cent. Investig. Económica y Soc.*, vol. 26, n.º 4, pp. 1-37, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31Lr8Jn>.
- [2] INVIAS, «Capítulo 4 (sobre pavimentos asfálticos)», pp. 1-440, 2013, [En línea]. Disponible en: ftp://ftp.ani.gov.co/Licitación/VJVGCLP_001-2016-M-1/Especificaciones_Generales_de_Construccion_de_carreteras/CAPITULO_4_1.pdf.
- [3] H. A. Rondon, *Pavimentos: materiales, construccion y disenno*. Ecoe Ediciones, 2016.
- [4] C. A. UMBARILA y C. A. HERNÁNDEZ, «ESTADO DEL ARTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS: CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDADES DE BOGOTÁ DC», 2017.
- [5] J. Florez, S. Gómez, y N. Cely, «CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y REOLÓGICA DEL ASFALTO MODIFICADO CON ACEITE DE COCO», 2018.
- [6] R. Ochoa, G. E. Grimaldo, M. Orjuela, y C. Muñoz, «Analysis of use of granulated slag in asphalt mixtures manufacturing for pavements», *Espacios*, vol. 39, n.º 37, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053262366&partnerID=40&md5=22fe4f5d34677479117af7a0670b3cf1>.
- [7] M. A. Forero y J. A. Hernández, «Diseño Marshall y verificación de adherencia de una mezcla asfáltica MDC-25 con reemplazo parcial de material granular por ceniza de cascarilla de arroz», 2020. Accedido: sep. 02, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24768>.
- [8] R. A. Vaquiro y E. F. Padilla, «Evaluación del comportamiento en una mezcla asfáltica densa en caliente (MDC-19) con cemento de uso general como agente modificante.», abr. 2020. Accedido: sep. 02, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7458>.
- [9] O. Lizcano y D. A. Ramos, «Estudio del comportamiento físico-mecánico de mezclas asfálticas modificadas con llenante mineral de ceniza de la cascarilla resultante de la molienda del arroz.», 2020.
- [10] J. D. Vanegas, S. Caro Spinel, B. Caicedo Hormaza, y N. Estrada Mejía, *Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica modificada con fibras sintéticas*. Uniandes, 2017.
- [11] T. M. Jaramillo, «Analysis of Construction Specifications of Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) and Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) according to the explicit quality requirements for materials in the pavement design methods used in Colombia», 2018.
- [12] A. Suarez, «Análisis monotónico de mezclas densas en caliente con asfalto modificado con 50% de caucho y 50% de cuero», 2019.