



UNIMINUTO  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

Vicerrectoría Bello

Facultad de Educación virtual y a distancia  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DISCONTINUA CON  
MICROAGLOMERADOS.

Trabajo de investigación presentador por:

CESAR PRIETO ARROYABE  
JAIRO LOAIZA OBANDO  
JORGE CARO DAVILA

SANDRA MARIA QUINTERO CORREA  
Directora de Investigación  
Bello 2015



UNIMINUTO  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

Vicerrectoría Bello  
Facultad de Educación virtual y a distancia  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Para optar por el título de Especialista en Gerencia de Proyectos

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DISCONTINUA CON  
MICROAGLOMERADOS.

Trabajo de investigación presentador por:

CESAR PRIETO ARROYABE

Código 000452679

JAIRO LOAIZA OBANDO

Código 000474527

JORGE CARO DAVILA

Código 000462092

SANDRA MARIA QUINTERO CORREA

Directora de Investigación

Bello 2015

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **Dedicatoria**

Este proyecto de grado va dedicado a nuestras familias, ya que ellos han sido un apoyo incondicional para el crecimiento profesional de cada uno de nosotros, ahora que vemos más cerca el sueño de ser especialistas queremos compartir con ellos este gran logro que es la cosecha de nuestros esfuerzos

Los Autores

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema	10
2.1 Descripción del problema	10
3. Justificación	13
4. Objetivos	14
4.1. Objetivo general	14
4.2. Objetivos específicos	14
5. Marco referencial	15
5.1. Antecedentes	15
6. Marco teórico	18
6.1 Generalidades de los pavimentos	18
6.2. Mezclas asfálticas	18
6.3. Bitumen – asfalto	19
6.4. Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos	20
6.5. Características reológicas del asfalto	20
6.6 mezclas asfálticas discontinuas (microaglomerados – asfalto modificado)	21
6.7 Empleo más común de microaglomerados	23
6.8. Diseño de mezcla asfáltica norma Invias mdc-2 con asfalta 60-70 normalizado	24
6.9. Diseño de mezcla discontinua en caliente norma Invias f-1 con asfalto modificado con polímeros tipo iii	28
7. Marco conceptual	31
8. Marco legal	32
9. Diseño metodológico del proyecto	34
9.1 Enfoque	34
9.2 Tipo de investigación	35

9.3. Población y muestra	35
9.4. Instrumentos de recolección de información	36
10. Análisis de resultados – propuesta	51
11. Conclusiones	54
12. Recomendaciones	55
13. Bibliografía	56
14. Cybergrafía	57
15. Anexo	58

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Causas de muertes en el mundo para grupos seleccionados	12
Tabla 2. Categorías, subcategorías e indicadores.	38
Tabla 3. Diseño de Propuesta	52

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1 – Propiedades textura de los agregados.	24
Grafico 2 – Análisis Pregunta 1 y 2 de la Encuesta Para indicadores 1 y 2.	41
Grafico 3 – Análisis Pregunta 2 de la Encuesta.	44
Grafico 4 – Análisis Pregunta 3 de la Encuesta.	46
Grafico 5 – Análisis Pregunta 4 de la Encuesta.	48
Grafico 6 – Análisis Pregunta 5 de la Encuesta.	49
Grafico 7 – Análisis Experiencia Conductores Encuestados.	50
Grafico 8– Vehículos de los Encuestados.	50



## **1. Introducción**

Hasta hace algunos días el concreto asfáltico hecho con ligante convencional resistía bien la acción del tránsito, el clima y las cargas aplicadas, pero el constante aumento del número de cargas, la mayor presión de inflado de las llantas de los vehículos, la magnitud de las cargas por eje, las mayores velocidades y la variedad de temperaturas han venido deteriorando aceleradamente las estructuras de pavimentos existentes.

Lo descrito anteriormente, hace que se requiera un concreto asfáltico el cual se comporte adecuadamente con las exigencias de hoy en día, con propiedades reológicas las cuales tienen que ver con la respuesta del mismo a determinadas temperaturas tanto en producción como en aplicación y mecánicas que responda a todas estas exigencias. Para mejorar el concreto asfáltico se requiere que el ligante cumpla con unas condiciones especiales que se logran con la incorporación de polímeros (modificación del asfalto)

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces, con éste, es más fácil eliminar el problema de las deformaciones o ahuellamiento producido por el tránsito canalizado, especialmente cuando se tienen condiciones de altas temperaturas o en su defecto resolver problemas de fisuramiento cuando las temperaturas son muy bajas.

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Dentro de los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir

el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

Teniendo claro que los pavimentos se comportan mejor elaborados con cementos asfálticos modificados, este trabajo pretende dar a conocer inicialmente los problemas que existen en las principales vías de la ciudad de Medellín en donde se observa un alto deterioro prematuro de los pavimentos actuales, esto ha llevado a incrementar el índice de accidentalidad en la ciudad, se presenta además dos diseños de mezclas asfálticas, uno con asfalto convencional y otro con modificado para tener claridad en la fórmula de trabajo de cada una de estas. Como fuentes de recolección de información se utilizaron las entrevistas y encuestas para identificar según la población consultada los causales de los accidentes según la experiencia de cada uno, a su vez se entrevistaron actores muy importantes en el proceso de las mezclas asfálticas desde su producción, instalación y comportamientos futuros en su vida de servicio para dar claridad y fe en sus ventajas sobre las mezclas convencionales, de esta manera y teniendo como base sólida todos estos hallazgos, podemos decir que la implementación de este tipo de mezclas es un valor agregado muy valiosos en la construcción y rehabilitación de pavimentos.

## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción del problema**

Cada vez aumentan más las cifras de accidentes de tránsito en el país, lo que lleva a buscar alternativas viables que de una manera contundente ayuden con la disminución de los índices de accidentalidad y que sean ejecutables tanto técnica como económicamente. En la ciudad de Medellín desde hace varios años se vienen presentando altos índices de accidentalidad que no solo son ocasionados por las imprudencias de los conductores y fallas mecánicas, sino que también se asocian a deficiencias en las mallas viales de la ciudad y en muchas ocasiones asociadas al clima; adicionalmente se observa cómo los costos de repavimentaciones y mantenimientos viales se incrementan día a día generando un sobre costo en

reparaciones lo cual no es rentable ni lo esperado al iniciar un proyecto vial. Según información del diario el tiempo en su edición del 19 de diciembre de 2014, durante cuatro años consecutivos, las cifras de muertes por accidentes de tránsito se han mantenido sin que se haya logrado una reducción.

Según la OMS, el costo mundial de colisiones y lesiones causadas por el tránsito en el 2004 fue de 518.000 millones de dólares, de los cuales 65.000 millones correspondieron a ingresos bajos y medianos. En el año 2008 se presentaron 103 lesionados en accidentes de tránsito por cada 100.000 habitantes, igualmente en este año se presentó en el departamento de Antioquia 330 personas fallecidas, ubicándose en el tercer lugar en el país (García y otros, (2010)).

De acuerdo con el Fondo de Prevención Vial, en el 2007 en Colombia, el exceso de velocidad fue la principal causa reportada de los accidentes con muertos en vías urbanas, y fue la segunda en sucesos con víctimas fatales en vías rurales. En Medellín, la Secretaría de Transportes y Tránsito ha reportado como causas probables de accidentes en la ciudad la embriaguez, la distracción del conductor, la falta de distancia de seguridad entre un vehículo y otro, la impericia en la conducción y la imprudencia del peatón al cruzar la vía sin observar (García y otros, (2010)).

Dados los excesos de velocidad de circulación en vías urbanas y rurales, tipologías de vehículos y aumento de accidentes, son necesarios nuevos diseños de mezclas asfálticas que permitan mayor adherencia neumático calzada y mejor evacuación del agua de la calzada para así disminuir las distancias de frenado.

Para tal fin se considera utilizar micro mezclas en caliente en donde, a efectos de garantizar una adecuada macro y micro textura, se otorgan discontinuidades en la curva granulométrica y en la relación tamaño máximo de árido versus espesor de la capa especial. Sin duda para que estas condiciones de regularidad superficial permanezcan en el tiempo y no se deterioren bajo la acción de las cargas del tránsito y de las condiciones ambientales, es necesario utilizar un ligante asfáltico modificado con polímero (Botasso & Segura, 2013).

Actualmente, las cifras de accidentalidad no difieren mucho a los datos presentados en los párrafos anteriores, dado que en Medellín ha aumentado considerablemente el parque automotor y no se ha avanzado lo suficiente con la red vial; además, no se han presentado estrategias efectivas que permitan disminuir los índices de accidentalidad en las vías de la ciudad.

A continuación se muestra como las muertes en el tránsito suman cerca del 23% entre las muertes que ocurren por diversas causas. Por grupos de edad, las fatalidades en las vías fueron la segunda causa de muerte tanto en infantes y preadolescentes de 5 a 14 años como en adolescentes y adultos jóvenes de 15 a 29; en el tercer puesto se ubican los rangos de edades de adultos entre 30 y 44 años, superando las muertes por enfermedad cardíaca, suicidio y violencia interpersonal. (Tabla 1).

Puesto	0-4 años	5-14 años	15-29 años	30-44 años
1	Infección respiratoria 1.890.008	Enfermedades de infancia 219.434	VIH/SIDA 707.277	VIH/SIDA 1.178.856
2	Enfermedad diarreica 1.577.891	Accidente vial 130.835	Accidente vial 302.206	Tuberculosis 390.004
3	Bajo peso al nacer 1.149.168	Infección respiratoria 127.782	Lesión autoinducida 251.806	Accidente vial 285.467

Tabla 1. Causas de muertes en el mundo para grupos seleccionados

La accidentalidad también puede ser causada por un tema cultural (malas costumbres y hábitos a la hora de conducir), ya que los conductores no respetan las normas de tránsito y los límites de velocidad; es por esto, que aparte de mejorar las vías, con nuevos diseños en los pavimentos, es necesario que se implementen jornadas de capacitación donde se concientice a los usuarios (conductores y peatones) sobre la importancia de respetar las diferentes normas de tránsito.

Por lo anterior, la presente investigación tiende a dar respuesta a la pregunta: ¿Cómo garantizar que las vías de la ciudad de Medellín estén diseñadas con elementos que brinden un mayor confort y seguridad a los conductores que transitan por sus diferentes recorridos?

### **3. Justificación**

Los requerimientos exigidos por los entes reguladores de movilidad y tránsito hoy en día a las superficies de rodamiento, han llevado a las empresas enfocadas a la construcción de corredores viales a desarrollar materiales asfálticos con características diferentes a los que comúnmente utilizan para la construcción de vías, buscando siempre obtener en estos suelos mayor adherencia y durabilidad. La Mezcla Asfáltica Discontinua es un material que ha sido desarrollado bajo una línea de pensamiento que cumple con estas especificaciones.

La construcción, rehabilitación y mantenimiento de caminos mediante materiales bituminosos ha tenido un importante desarrollo en nuestro país en las últimas décadas; el desempeño de un pavimento depende de su condición estructural y funcional. La condición estructural se basa en la capacidad de soporte del pavimento desde el punto de vista de las solicitaciones de carga, mientras que la funcional describe que tan bueno es el camino según la percepción del usuario con respecto a la seguridad y confort. Por esto el mantenimiento preventivo y técnico de rehabilitación de superficies han adquirido gran importancia para los entes gubernamentales, los cuales en sus planes de gobierno plantean construcción y rehabilitación de vías y adicional a esto buscan reducción de índices de accidentalidad y optimización de costos que muestren indicadores de gestión sostenibles durante sus periodos de gobierno.

La presente investigación busca diseñar una propuesta para el diseño de mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados, para el mejoramiento de la malla vial, con el diseño de esta propuesta y posterior implementación, se pretende brindar mayor seguridad en las vías de la ciudad, por lo tanto, en una etapa posterior que

no es objeto de este trabajo se deben realizar diferentes pruebas que demuestren la reducción del índice de accidentes y favorecer de esta manera a los conductores, peatones, ciclistas y demás usuarios de las vías de la ciudad de Medellín.

Se realizara una propuesta cuya finalidad es mejorar la seguridad en las vías de la ciudad de Medellín, en donde posterior al diseño de la misma se pueda realizar la implementación en las vías de la ciudad de Medellín y luego replicar y expandir a otras ciudades del país, donde igualmente se realicen estudios climáticos y de movilidad para garantizar el correcto funcionamiento de este producto de acuerdo a las condiciones presentadas.

Al ser un proyecto directamente relacionado con obras públicas de la ciudad, se busca, que el gobierno municipal se interese por el proyecto dadas las mejoras en seguridad que puede generar, es importante que la gestión realizada con este proyecto pueda brindar claridad respecto al aspecto técnico y al aspecto económico, el cual es fundamental para cualquier administración. Este estudio busca convertirse en un proyecto de ciudad, el cual será implementado con el objetivo de salvar vidas y mejorar la durabilidad de los corredores viales de las zonas en donde sea implementado el sistema

#### **4. Objetivos**

##### **4.1. Objetivo general**

Elaborar una propuesta para el diseño de mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados, garantizando el confort y la seguridad a los conductores que transitan por las vías de la ciudad de Medellín y sus diferentes recorridos.

##### **4.2. Objetivos específicos**

- Analizar los beneficios en materia de seguridad vial, además de las ventajas económicas a corto, mediano y largo plazo por medio de la implementación de la mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados en la ciudad de

Medellín; teniendo en cuenta el cumplimiento de los aspectos legales y administrativos.

- Elaborar una propuesta que permita mejorar las condiciones de los asfaltos en las vías de la ciudad de Medellín.
- Realizar un estudio técnico que evidencie los requerimientos necesarios para la mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados en la ciudad de Medellín, en el cual se tenga en cuenta las condiciones climáticas y las condiciones de flujo vehicular que se presentan en la ciudad.

## **5. Marco referencial**

### **5.1. Antecedentes**

Las mezclas bituminosas discontinuas en caliente son también conocidas como “Stone Mastic Asphalt” (SMA), y fueron desarrolladas en Alemania a finales de los años 60 en respuesta al rápido deterioro que sufrían las carpetas de rodadura en invierno, ya que las llantas utilizadas por los vehículos tenían cadenas o taches metálicos para su mayor adherencia a la superficie (Loveday & Bellin, 1998). En los años 80 el uso del SMA se extendió a otros países, los cuales adoptaron diferentes variantes en las especificaciones de Alemania. Dichos países incluyen Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Bélgica, Francia, Suiza, Japón y los Estados Unidos (Viatop, 2001).

A continuación se muestra un resumen de la situación en algunos países que han implementado en sus vías diseños de mezcla asfáltica con microaglomerados:

**Francia:** Los aglomerados Franceses del tipo BBTM (Beton Bitumineux tres Minces) fueron empleados en trabajos de conservación en carreteras de tráfico importante, tanto en autopistas como en carreteras nacionales, lo que allí se buscaba era una mejora de las características superficiales del asfalto, especialmente en la

adherencia para los vehículos que transitan a altas velocidades; es un tipo de mezcla que se caracteriza por poseer elevados contenidos en Árido grueso (65 – 80 %) y discontinuidades granulométricas comparables, estas mezclas presentan una menor garantía desde el punto de vista de la impermeabilidad, ya que su contenido de arena es bajo, lo que llevo a seguir realizando pruebas y a finales de los años 80 desarrollaron unos nuevos tipos de microaglomerados discontinuos a los cuales llamaron BBUM (Beton Bitumineux Ultra Mince) con estos concluyeron que para un tráfico de 1000 vehículos pesados/día en sentido de circulación se deben emplear asfaltos modificados para asegurar de esta manera una mejor cohesión y superior durabilidad de la macrotextura.

**España:** Los pavimentos de mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados se introdujeron en este país a mediados de los años 80, en donde su objetivo principal era la conservación de carreteras que estaban sometidas a tráfico intenso, tuvo un desarrollo significativo a principios de los años 90 en donde se construyeron más de 13 millones de metros cuadrados, se utilizaron tanto en vías urbanas como en autovías y autopistas; aún se siguen usando, lo que indica que fue implementado con éxito y se espera un fuerte desarrollo para los próximos años. Actualmente España posee la normativa más destacada para los microaglomerados discontinuos debido a su vasta experiencia en la utilización de este tipo de mezcla asfáltica.

**Chile:** En octubre del año 2002 la mezcla se utilizó en un proyecto, para el cual se construyeron dos tramos de prueba de 500 metros cada uno, posterior a esto mediante un estudio de tesis realizado entre los años 2008 - 2009 se realizaron estudios comparativos de estos tramos comparados con otros tramos de asfalto convencional, los resultados determinaron que los parámetros de la mezcla asfáltica discontinua eran altos, incluso mayores a los exigidos para un pavimento nuevo construido con mezcla asfáltica tradicional. En este mismo estudio de tesis se enmarca la aplicación de la mezcla para el año 2008, la cual fue utilizada para la construcción de dos vías rurales (una autopista y una ruta), a estas mezclas luego de llevar varios meses de aplicadas también les realizaron análisis.



Los microaglomerados discontinuos en caliente, se basan en el uso de mezclas de cemento asfáltico modificado y áridos de elevada calidad y granulometrías discontinuas. En la actualidad existen dos tipos de mezclas asfálticas normalizadas, las mezclas tipo F y las tipo M. Las de tipo F, denominadas así por capas finas, se utilizan en espesores entre los 2 y los 3,5 cm., en cambio las de tipo M, denominadas así por ser monogranulares, se ocupan en capas más finas entre 1 y 2 cm. Para ambos tipos de mezclas se utilizan áridos con tamaños máximos de 8 mm y 10 mm.

De acuerdo a las pruebas que se han realizado en Chile, se ha encontrado que debido a un mayor riesgo de que el ligante escurra y a la menor inercia térmica de los microaglomerados discontinuos en caliente en relación a una mezcla tradicional, se establecen las siguientes exigencias adicionales:

- El tiempo de transporte debe ser menor a 2 horas.
- Los camiones deben estar cubiertos con lonas u otro material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con el medio ambiente.

En las pruebas que se han realizado utilizando mezcla asfáltica discontinua se han encontrado en general buenas condiciones, destacándose buena homogeneidad de los materiales y algunas fallas de carácter menor.

Se pudo observar que la radiación solar que llega en forma directa a la superficie de los pavimentos construidos con microaglomerados discontinuos en caliente podría influir en la pérdida de áridos en la calzada.

El costo de la construcción de pavimentos con microaglomerados discontinuos en caliente se ve encarecido tanto por el uso de asfaltos modificados con polímeros, como por la utilización de áridos de elevada calidad y granulometría discontinua.

Sin embargo las características de este tipo de mezcla, entre las que se destacan las mejoras en las condiciones de seguridad, una mayor sensación de confort y una mayor resistencia al envejecimiento, sugieren una mayor utilización de estos pavimentos en Chile. De manera de que este mayor costo se vea justificado, se

recomienda el uso de los microaglomerados en carreteras de alto tránsito, ya que en este tipo de caminos la relación costo/beneficios disminuye, justificándose así la construcción del pavimento con microaglomerados discontinuos en caliente.

## **6. Marco Teórico**

### **6.1 Generalidades de los pavimentos**

La historia y el desarrollo de los pavimentos van asociados con la evolución y necesidades de la humanidad. Las vías de comunicación condicionan el progreso de una nación en la medida en que facilitan la comercialización de su producción agrícola e industrial y permiten el desarrollo de sistemas de transportes rápidos y eficaces.

**Definición de pavimento.** Un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por éste.

**Funciones.** Desde el punto de vista estructural un pavimento transmite en forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación; es decir, sin rotura de los materiales o deformaciones permanentes exageradas para la estructura.<sup>3</sup> Proporciona una superficie de rodadura uniforme que permite la circulación libre de los vehículos.

Controla la infiltración de las aguas superficiales que pueden alterar las propiedades de los materiales constitutivos del subsuelo.

### **6.2 Mezclas asfálticas**

Las mezclas asfálticas en caliente son las más empleadas en muchas partes del mundo, debido a su flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga y economía entre otras características, generando por ende investigaciones y desarrollos para mejorar sus propiedades mecánicas y dinámicas. Muchos de los

adelantos se han enfocado en el proceso constructivo de la conformación de las carpetas de rodadura, prueba de ello es la utilización de equipos costosos que mantienen la temperatura constante en el proceso de extendido y compactación. De otra parte, el acelerado desarrollo automotriz y el intercambio de bienes y servicios han conducido a construir vías que soportan mayor número de ejes equivalentes y cargas con el empleo de materiales modificados y estricto control de obra. Una de las variables principales en el diseño de la estructuras de pavimento son las propiedades dinámicas y mecánicas de las mezclas, resaltándose el modulo dinámico, el ahuellamiento y la ley de fatiga; por lo cual este trabajo se fundamentó en determinar el efecto en el módulo dinámico ley de fatiga, estabilidad, densidad y flujo al cambiar la calidad y la composición de los asfaltos

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

### **6.3. Bitumen –asfalto**

Los asfaltos son aquellas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólida o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción, cuyas cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas lo hacen óptimos para un gran número de aplicaciones.

Muchos de los asfaltos usados en trabajos de pavimentación provienen de la destilación del petróleo. La gran versatilidad de los materiales bituminosos hace que estos sean los más utilizados para la construcción y mantenimiento de estructuras de pavimentos flexibles. Los principales tipos de ligantes bituminosos que se emplean actualmente para la elaboración de mezclas asfálticas son los asfaltos

naturales, los cementos asfálticos o asfaltos de penetración, los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados, las emulsiones asfálticas y los crudos del petróleo.

#### **6.4. Funciones del asfalto en la construcción de pavimentos**

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir grandes esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. En la construcción de pavimentos puede cumplir las siguientes funciones como aplicación de estas propiedades:

Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua, proveniente de la precipitación.

Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente, mejora la capacidad portante de la estructura y, por ende, permite disminuir el espesor.

Ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de estas dos funciones, al tiempo que proporciona una estructura de pavimento con características flexibles.

#### **6.5. Características reológicas del asfalto**

La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante: la viscosidad. La viscosidad del asfalto varía con la temperatura en mayor o menor grado (susceptibilidad térmica) y su estudio es muy importante y de interés práctico, porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar su viscosidad mediante el calentamiento.

A temperaturas altas el asfalto se considera un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas de servicio se considera un material sólido con propiedades elásticas. Con el propósito de conocer las características del flujo del asfalto a

distintas temperaturas, se utilizan actualmente monogramas y curvas que relacionan las principales propiedades del asfalto.

#### **6.6. Mezclas asfálticas discontinuas (microaglomerados-asfalto modificado)**

Los microaglomerados en caliente son también conocidos como mezclas bituminosas discontinuas, y fueron desarrolladas en Alemania a finales de los años 60 en respuesta al rápido deterioro que sufrían las carpetas de rodadura en invierno, ya que las llantas utilizadas por los vehículos tenían cadenas o taches metálicos para su mayor adherencia a la superficie. En los años 80 el uso de este tipo de mezcla se extendió a otros países, los cuales adoptaron diferentes variantes en las especificaciones de Alemania. Dichos países incluyen Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Bélgica, Francia, Suiza, Japón y los Estados Unidos.

Las mezclas bituminosas discontinuas en caliente son mezclas con un alto contenido de asfalto con relación al contenido de finos, con granulometrías discontinuas y alto contenido de agregados gruesos. Los agregados gruesos forman un esqueleto con una gran resistencia a las deformaciones. El alto contenido de asfalto modificado, finos y filler aglutinan dicho esqueleto, lo cual le proporciona una larga vida a la mezcla, Esta es utilizada primordialmente para carpetas de rodadura, debido a las excelentes características que presenta para este propósito. Entre los diversos tipos de capas finas existentes, los que más auge han cobrado han sido los microaglomerados discontinuos, diferenciados en nuestra normativa entre mezclas tipo F y tipo M. Son capas de entre 1.5 y 3.5 cm de espesor, cuyo diseño busca, en conjunto, la consecución de una mezcla con un gran contenido de áridos gruesos, apoyados directamente entre sí, sin áridos de tamaño intermedio que los separen, y un mástico rico en ligante rellenando los huecos entre los áridos gruesos y dando estabilidad al conjunto. La discontinuidad de la mezcla otorga una buena y duradera macrotextura.<sup>5</sup> Para encontrar la fórmula de trabajo se debe seguir los siguientes pasos:

Seleccionar los agregados gruesos y finos, tipo y cantidad de filler necesario, contenidos de asfalto (rango para ensayo Marshall) y los agentes estabilizantes de ser necesarios.

Determinar la granulometría que forme un esqueleto de agregados adecuado y esté dentro de los valores permitidos por las normas.

Realizar un diseño Marshall (50 golpes) que cumpla con las características de la norma. Se puede hacer también el diseño con el compactador giratorio de Superpave.

Determinar el contenido óptimo de asfalto de acuerdo con el contenido de vacíos permitido

Evaluar el potencial de drenaje de la mezcla, de tal forma que cumpla con las normas existentes. Una forma de hacer este ensayo es con la norma ASTM.

El ligante usado suele ser betún modificado con polímeros con el objetivo de:

Incrementar la resistencia a la disgregación

Disminuir la susceptibilidad térmica

Disminuir los riesgos de exudación

Evitar problemas de escurrimiento durante la fabricación, transporte y extensión. Los porcentajes de betún utilizados suelen oscilar entre el 4,8 y el 6.5%. La Normativa del INVIAS establece que el betún que se debe utilizar es asfalto tipo II o tipo III La temperatura de fabricación de estas mezclas debe ser la mínima posible correspondiendo a la curva reológica del betún asfáltico, no debiendo exceder de 180°C en el tambor secador-mezclador. Asimismo, es muy importante que la diferencia de temperatura árido-ligante no sea grande, no debiendo exceder en ningún caso de 15°C. Del mismo modo, debe evitarse el almacenamiento prolongado de la mezcla.

Existen limitaciones climatológicas para la extensión de este tipo de mezclas: temperaturas bajas (por debajo de 8°C), y vientos intensos, ya que al tratarse de capas finas, la pérdida de temperatura es más rápida que en las mezclas tradicionales.

### **6.7 Empleo más común de microaglomerados**

Se usan generalmente para carpetas de rodadura. Son buenas para sitios con altas cargas de esfuerzos como lo son las glorietas e intersecciones. Así mismo, es recomendable usarlas como carpetas de rodadura en sitios expuestos a alta abrasión, como lo son las zonas industriales.

El alto costo de estas mezclas no lo justifica normalmente para ser usado como base. Sin embargo en sitios donde hay tráfico muy pesado y lento han sido usadas exitosamente para este propósito.

Los micropavimentos son carpetas delgadas de rodadura asfáltica que varían entre los 15mm y los 40mm. Se pueden usar tanto para vías nuevas como para mantenimiento y rehabilitación de vías existentes. El tipo de mezclas empleadas varía y se clasifican de acuerdo a los materiales utilizados.

Su uso se puede extender a puentes en donde se esperan altas deformaciones y vibraciones, y en donde se requieren carpetas delgadas que no aporten mucho peso a la estructura.

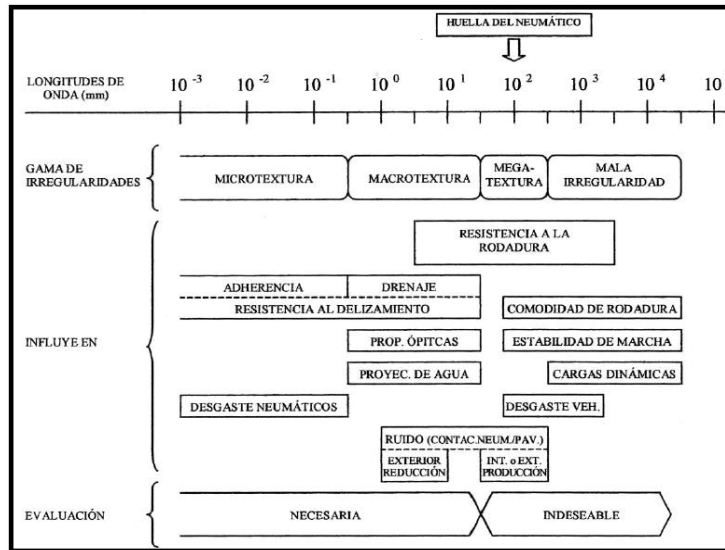


Gráfico 1. Propiedades textura de los agregados Fuente: Kraemer et all, 1999

## 6.8. Diseño de mezcla asfáltica norma Invías mdc-2 con asfalto 60-70 normalizado

### Método Marshall

**Características de los agregados** Se determinaron en el laboratorio las propiedades de los materiales como son: Las gradaciones de los materiales individuales, la gradación de los materiales combinados, peso específico promedio y absorción de los agregados gruesos, finos y llenante, equivalente de arena, peso unitario aparente del llenante en Tolueno, Solidez en Sulfato de Sodio y contenido de materia orgánica. La gradación de la mezcla se obtuvo mediante la combinación de 35% de triturado de 3/4" + 20% de arena lavada + 45% de arena triturada 100%., se adicionó 7% de cal hidratada NARE respecto al peso del llenante.

De acuerdo con la gradación obtenida, la mezcla cumple los requisitos granulométricos exigidos por el Invías para concretos asfálticos, encontrándose un 47.0% de gruesos, un 48.0% de arenas y un 5.0% de llenante.

Con los valores de los pesos específicos y de acuerdo con la composición granulométrica se calculó "el peso específico ponderado de los agregados" encontrándose un valor de 2.833 el cual se usará en los diseños para el cálculo de los diferentes volúmenes de agregados y porcentajes de vacíos.



**Características del cemento asfáltico.** El asfalto utilizado fue Normalizado de penetración 60-70 de MPI.

Temperatura (°C) Mezclado en planta 148-154 Compactación en laboratorio 136-141 La temperatura de calentamiento de los agregados es +10°C de la temperatura del asfalto, estando este rango entre 158-164°C. Para la temperatura de compactación en obra se requiere la ejecución de tramos de prueba en función del equipo que se va a utilizar.

### **Diseño Marshall.**

**Preparación de las probetas.** Mediante el ensayo Marshall se determina el contenido óptimo de betún para una mezcla de agregados de composición y granulometría determinada. Para ello se prepararon cinco juegos de tres briquetas con 75 golpes por cada cara con incrementos del medio por ciento (0.5%) en el contenido de betún en peso sobre la mezcla total.

Los contenidos de asfalto variaron desde 3.5 hasta 6.0%, los agregados en fracciones representativas fueron calentados a una temperatura de 158°C, el asfalto se calentó a 148°C y se mezclaron hasta obtener un conjunto homogéneo.

**Compactación de las probetas.** Las probetas se compactaron a una temperatura de 138°C con 75 golpes por cada cara, con la energía de compactación correspondiente a un martillo de 10 lbs de peso y 18" de caída.

**Densidad de probetas.** Esta determinación se realiza cuando las probetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, determinándole a cada una de las 18 briquetas el peso en el aire y en el agua. Dichos resultados aparecen en el cuadro de diseño de mezcla asfáltica.

**Determinación de la estabilidad y la deformación.** Una vez determinada la densidad de las probetas, se realizan los ensayos de estabilidad y deformación, previa inmersión en un baño de agua a 60°C y durante un tiempo de 30 minutos,

luego se ensayan en el aparato Marshall las probetas midiendo su estabilidad y su fluencia; los valores de la estabilidad de las probetas, cuya altura no está comprendida dentro de las tolerancias ( $2\frac{1}{2}''+1/8''$ ) se corrigen multiplicándolos por un factor correspondiente después de medir su altura o su volumen con precisión.

Los valores medios de la estabilidad y la deformación para cada porcentaje de betún aparecen en el cuadro de "Diseño de mezclas asfáltica".

**Porcentaje en volumen.** Los resultados de los porcentajes de asfalto, agregados y vacíos medidos con relación al volumen total de la mezcla aparecen en el cuadro "Diseño de mezcla asfáltica".

**Porcentaje de vacíos.** Se calcularon los porcentajes de vacíos en los agregados, en la mezcla total y llenos con asfalto, los correspondientes resultados aparecen en el cuadro "Diseño de mezcla asfáltica".

**Densidad teórica máxima medida (método rice).** Para cada contenido de asfalto se determinó el peso específico teórico máximo (INV E-735), dato necesario para el cálculo del porcentaje de vacíos con aire en la mezcla (INV E-736) y para determinar el porcentaje de asfalto absorbido (INV E-781).

Para llegar al contenido óptimo de asfalto se tuvieron en cuenta las Especificaciones del Instituto Nacional de Vías.

Gradación: MDC-2 Estabilidad: Mínimo 900 Kg Flujo: Entre 2 – 3.5 mm Vacíos en la mezcla total: Entre 4 – 6% Vacíos en los agregados: Mínimo 15%

Vacíos llenos con asfalto: Entre 65 – 75%

**Fórmula de trabajo.** De acuerdo con los resultados obtenidos, las normas de diseño del Invías se escogió la siguiente "FÓRMULA DE TRABAJO":

Gradación: MDC-2

Contenido óptimo de asfalto: 4.7%

Densidad: 2510 Kg/m<sup>3</sup>

Estabilidad Marshall: 1500 Kg

Flujo: 3.4 mm

Vacíos en la mezcla total: 4.8 %

Vacíos en los agregados: 15.3 %

Vacíos llenos con asfalto: 67.0 %

El rango de contenido de asfalto en el cual se cumplen todas las propiedades especificadas por el Invías está comprendido entre 4.5% y 4.9%. Para escoger el contenido óptimo de asfalto se tomó como criterio el valor medio del rango en el que se cumplen todas las propiedades, encontrándose un valor de 4.7%.

**Relación llenante / ligante efectivo.** Las especificaciones del Invías establecen que la relación llenante/ligante efectivo de la mezcla óptima debe encontrarse por valores cercanos a 1.2 si la temperatura media anual es superior a 15°C y el tránsito mayor de 5x10<sup>6</sup> ejes. Para ésta mezcla en particular la relación llenante / ligante efectivo presenta un valor de 1.13.

**Concentración crítica del llenante.** La concentración crítica del llenante obtenida en el ensayo, debe ser mayor que la concentración real del volumen de llenante. La concentración real del volumen del llenante se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_v = F / (F+A)$$

Dónde: C<sub>v</sub>: Concentración real del volumen de llenante F: Volumen de llenante en la mezcla A: Volumen de asfalto en la mezcla Los resultados obtenidos son:  
Concentración crítica del llenante: 0.373 Concentración real del llenante: 0.287

Como se puede observar la concentración crítica del llenante es mayor que la real, por lo tanto se está cumpliendo con este requisito

## **6.9 Diseño de mezcla discontinua en caliente norma Invías f-1 con asfalto modificado con polímeros tipo iii.**

### **Método Marshall**

**Características de los agregados.** Se determinaron en el laboratorio las propiedades de los materiales que cumplen los requisitos solicitados por el INVIAS como son: La gradación de los agregados combinados, el peso específico promedio y absorción de los agregados gruesos, finos y llenante, el equivalente de arena, Solidez en Sulfato de Magnesio y Desgaste.

**Características del cemento asfáltico.** El asfalto utilizado fue Modificado con Polímeros Tipo III.

**Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación.** De acuerdo con la curva reología obtenida para el asfalto.

Temperatura (°C) Mezclado en planta 171-176 Compactación en laboratorio 161-166 La temperatura de calentamiento de los agregados es +10°C de la temperatura del asfalto, estando este rango entre 181-186°C. Para la temperatura de compactación en obra se requiere la ejecución de tramos de prueba en función del equipo que se va a utilizar.

**Preparación de las probetas.** Mediante el ensayo Marshall se determina el contenido óptimo de betún para una mezcla de agregados de composición y granulometría determinada. Para ello se prepararon cinco juegos de tresbriquetas con 50 golpes por cada cara con incrementos del medio por ciento (0.5%) en el contenido de betún en peso sobre la mezcla total.

Los contenidos de asfalto variaron desde 4.0 hasta 6.5%, los agregados en fracciones representativas fueron calentados a una temperatura de 185°C, el asfalto se calentó a 175°C y se mezclaron hasta obtener un conjunto homogéneo.

**Compactación de las probetas.** Las probetas se compactaron a una temperatura de 165°C con 50 golpes por cada cara, con la energía de compactación correspondiente a un martillo de 10 lbs. de peso y 18" de caída.

**Densidad de probetas.** Esta determinación se realiza cuando las probetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, determinándole a cada una de las 18 briquetas el peso en el aire y en el agua.

**Determinación de la estabilidad y la deformación.** Una vez determinada la densidad de las probetas, se realizan los ensayos de estabilidad y deformación, previa inmersión en un baño de agua a 60°C y durante un tiempo de 30 minutos, luego se ensayan en el aparato Marshall las probetas, midiendo su estabilidad y su fluencia; los valores de la estabilidad de las probetas, cuya altura no está comprendida dentro de las tolerancias (2 1/2"+1/8") se corrigen multiplicándolos por un factor correspondiente después de medir su altura o su volumen con precisión.

**Densidad teórica máxima medida (método rice).** Para cada contenido de asfalto se determinó el peso específico teórico máximo (INV E-735), dato necesario para el cálculo del porcentaje de vacíos con aire en la mezcla (INV E-736) y para determinar el porcentaje de asfalto absorbido (INV E-781).

Densidad vs contenido de asfalto. Estabilidad vs contenido de asfalto. Fluencia vs contenido de asfalto. % de vacíos en la mezcla total vs contenido de asfalto. % de vacíos llenos con asfalto vs contenido de asfalto. % de vacíos en los agregados vs contenido de asfalto. Para llegar al contenido óptimo de asfalto se tuvo en cuenta la especificación del Instituto Nacional de Vías. Gradación : F-1 Estabilidad : Mínimo 750 Kg Vacíos en la mezcla total : Mínimo 4%

**Fórmula de trabajo.** De acuerdo con los resultados obtenidos, las normas de diseño del Invías se escogió la siguiente "fórmula de trabajo":

Gradación : F-1

Contenido óptimo de asfalto : 4.8%

Densidad : 2460 Kg/m<sup>3</sup>

Estabilidad Marshall : 999 Kg

Flujo : 3.1 mm

Vacíos en la mezcla total : 4.3 %

Vacíos en los agregados : 14.1 %

Vacíos llenos con asfalto : 68.0 %

Al analizar las curvas, con briquetas compactadas con 50 golpes por cara se obtiene lo siguiente:

Entre 4.0% y 5.9% se cumple el rango especificado para la estabilidad.

Entre 4.0% y 4.9% se cumple el rango especificado para el porcentaje de vacíos en la mezcla total.

El rango de contenido de asfalto en el cual se cumplen todas las propiedades especificadas por el INVIAS está comprendido 4.0% y 4.9%. Como contenido óptimo de asfalto se tomó el valor de 4.8%, con el propósito de darle una mejor envuelta al agregado y facilitar la manejabilidad de la mezcla.

### **Relación llenante / ligante efectivo.**

Las especificaciones del INVIAS establece que la relación llenante / ligante efectivo debe estar entre 1.4 y 1.8. Para ésta mezcla en particular la relación llenante / ligante efectivo presenta un valor de 1.9.

### **Índice de resistencia conservada mediante el ensayo de inmersión – compresión.**

En este ensayo se establece la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas, mediante la comparación de la

resistencia a la compresión simple de briquetas sometidas a la acción del agua y briquetas curadas al aire. Este ensayo se realiza sobre briquetas elaboradas con el contenido óptimo de asfalto.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Promedio de resistencia seca :29.3 Kg/cm<sup>2</sup> Promedio de resistencia húmeda : 22.8 Kg/cm<sup>2</sup> Índice de Resistencia Conservada :78.0 %

Como se puede observar el resultado obtenido cumple con lo especificado.

## 7. Marco conceptual

**Asfalto:** material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de orígenes naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo del petróleo (Clavijo Rey & Aranda Rojas, 2014).

**Capa bituminosa:** capa conformada por una mezcla de hidrocarburos de origen natural, acompañado de sus derivados no metálicos. De consistencia líquida, aceitosa o sólida, sustancia combustible que se encuentra dentro de la tierra (Rondon Quintana, Reyes Lizcano, & Ojeda Martinez, 2998).

**Carpeta o capa asfáltica:** es la capa o serie de capas de materiales granulares seleccionados ligados o unidos con asfalto que conforman las superficies de rodadura del pavimento. Su función principal es estructural, a través de su espesor disipa las cargas recibidas por el tránsito (Clavijo Rey & Aranda Rojas, 2014).

**Compactación:** es el proceso por medios artificiales, por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos como resistencia, compresibilidad, permeabilidad, flexibilidad y resistencia a la erosión, de tal manera que la obra resulte duradera (Reyes Ortiz , Camaucho Tauta, & Reyes Lizcano, 2005)

**Emulsión asfáltica:** es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo. Las pequeñas gotitas de asfalto emulsificado

pueden ser aniónicas (carga negativa) o catiónicas (carga positiva) (Clavijo Rey & Aranda Rojas, 2014).

**Microaglomerado:** mezcla asfáltica utilizada en la pavimentación de vías, constituidos con granulometrías discontinuas y alto contenido de agregados gruesos para la aplicación en capas delgadas (Gamboa Ojeda).

**Parcheo:** los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, etc.) (Reyes Ortiz , Camaucho Tauta, & Reyes Lizcano, 2005).

## **8. Marco legal**

La entidad que cual asigna los recursos a las empresas contratistas para que estas ejecuten un proyecto con mezclas modificadas es el INVIAS, de igual manera hay ocasiones en las que una entidad municipal designa recursos a las empresas privadas para ejecutar pavimentaciones con este tipo de mezclas. De igual forma y pensando en la calidad que deben cumplir este tipo de mezclas asfálticas, el Invias exige darles cumplimiento a partir de las normas 2007 las cuales hablan de la normatividad que se debe tener referente a los materiales que componen las mezclas.

El artículo para este caso es el 400.2 el cual hace referencia a los materiales.

### **Agregados pétreos y llenante mineral (400.2.1)**

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, esta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Solo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para

Proporcionar una buena adhesividad.



El Constructor es el único responsable por los materiales que suministre para la ejecución de todas las partidas de trabajo incluidas en el Capítulo 4 de estas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

Para el objeto de las especificaciones del Capítulo 4, se denominara agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75  $\mu$ m (No.4 y No.200) y llenante mineral la que pase el tamiz de 75  $\mu$ m.

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto.

El llenante mineral podrá provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o podrá ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento Portland. Su densidad aparente, determinada por el ensayo de sedimentación en tolueno (norma de

Ensayo INV E-225), se deberá encontrar entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cubico (0.5 y 0.8 g/cm<sup>3</sup>), excepto para el llenante mineral empleado en las elaboración de lechadas asfálticas, caso en el cual se deberá encontrar entre cinco y once decimas de gramo por centímetro cubico (0.5 y 1.1 g/cm<sup>3</sup>).

El llenante mineral total de la fórmula de trabajo obtenida para diseños de mezclas asfálticas densas, semidensas y gruesas para proyectos con niveles de transito NT2 y NT3, deberá presentar un valor de vacíos en seco no menor de treinta y ocho por ciento (38%), según la norma de ensayo

INV E-229. La mezcla de los agregados grueso y fino y el llenante mineral se deberá ajustar a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

### **Cemento Asfáltico (400.2.2)**

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será seleccionado en función de las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía.

### **Cemento Asfáltico modificado con polímeros (400.2.3)**

El cemento asfáltico modificado con polímeros se define como aquel ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico convencional.

Los cementos asfálticos modificados suministrados a granel o los que se fabriquen en el lugar de empleo, en instalaciones específicas independientes. Se excluyen los obtenidos a partir de adiciones incorporadas a los agregados o en el mezclador de la planta asfáltica.

Por lo mencionado anteriormente respecto de los materiales para mezclas asfálticas con asfaltos modificados, en su cumplimiento de la norma Invias 2007 vemos que cumpliendo con las mismas garantizaremos una buena mezcla asfáltica que al ser utilizada por los usuarios minimice el grado de accidentes y garantice un mayor confort.

## **9. Diseño metodológico del proyecto**

### **9.1. Enfoque**

El desarrollo de la presente investigación será bajo un enfoque cualitativo; de acuerdo con Bonilla y Rodríguez (2000), se orienta a profundizar casos específicos y no a generalizar. Su preocupación no es prioritariamente medir, sino cualificar y describir el fenómeno social a partir de rasgos determinantes, según sean percibidos por los elementos mismos que están dentro de la situación estudiada, ya que busca recolectar, analizar y vincular los datos en un mismo estudio; en este

sentido, esta propuesta busca proponer el diseño de un Asfalto modificado que pueda ser aplicado en las vías de la ciudad de Medellín, con el fin de brindar mayor confort y seguridad a todos los conductores que transiten por las vías de la ciudad; de esta manera se está adoptando un modelo de implementación para este pavimento, el cual ha sido introducido con éxito en diferentes países de Europa y América.

## **9.2. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo descriptivo ya que según Hernández, Fernández y Baptista (2008), el objetivo de los estudios descriptivos es describir situaciones y eventos. Esto es, decir cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986). Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para describir lo que se investiga, ya que esta describe de modo sistemático las características de una población, situación o área de interés. Aquí se recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, donde se exponen y se resumen la información de manera cuidadosa y luego se analizara minuciosamente los resultados, con fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento. El objetivo es llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. La meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

## **9.3. Población y muestra**

La población para la presente investigación son las vías de la ciudad de Medellín, teniendo en cuenta el uso de estas por parte de los conductores de automóviles y motocicletas que transitan a diario por los corredores viales de la ciudad; la muestra

para este caso corresponde inicialmente a varios tramos de vía, donde a los usuarios se les realizara una encuesta correspondiente al tema de estudio; además como complemento se realizaran algunas entrevistas a algunos profesionales con conocimiento en el tema, lo que nos arrojará unas bases firmes para el diseño de la propuesta objeto de este trabajo.

#### **9.4. Instrumentos de recolección de información**

En la presente propuesta se implementaron los siguientes instrumentos para la recolección de la información:

##### **\* Análisis documental**

Para la recolección de la información para el desarrollo del trabajo, es importante resaltar que como primera medida se revisará información en cuanto a las cifras de accidentalidad y consecuencias de la misma en la Ciudad de Medellín, acto seguido se consultará y se plasmará la teoría objeto de estudio para con la misma evidenciar las bondades y características de la mezcla modificada y de esta manera tener la base sólida para emitir nuestra propuesta final.

##### **\* Entrevista Semi – Estructurada:**

Según Buendía y Otros (2001), la entrevista es una técnica que consiste en recoger información mediante un proceso directo de comunicación entre entrevistador(es) y entrevistado(s) en el cual el entrevistado responde a cuestiones, previamente diseñadas en función de las dimensiones que se pretenden estudiar, planteadas por el entrevistador.

Adicional a lo anterior, la entrevista semiestructurada es una entrevista con un relativo grado de flexibilidad tanto en el formato como en el orden y en los términos de realización de la misma para las diferentes personas a quienes está dirigida. Para la presente investigación se diseñaron 4 diferentes entrevistas Semi-estructuradas, según la especialidad y la experiencia de la persona entrevistada, en general para las entrevistas se realizaron 6 preguntas, la entrevista semi-estructurada, se realizó con el fin de permitirle al entrevistado un poco de libertad

(que pueda salirse del guión) y quizás brindar datos que aunque no fueron pensados dentro de la pregunta pueden resultar muy relevantes para el diseño de la propuesta objeto de este trabajo, la intención de estas entrevistas se basó principalmente en poder encontrar la opinión de expertos en pavimentos de manera que se pudiera justificar la propuesta para la implementación de pavimentos con microaglomerados en la ciudad de Medellín..

**\* Encuestas:**

Según Bernal (2010), la encuesta es la técnica de recolección de información más usada, aunque cada vez esta técnica de recolección de información pierde credibilidad por el sesgo de las personas encuestadas.

La encuesta se fundamenta en un cuestionario o conjunto de preguntas que se prepara con el propósito de obtener información de las personas.

Para este estudio, las encuestas se realizarán a personas del común que poseen vehículo (Automóvil o motocicleta), los cuales transitan a diario por los corredores viales de la ciudad de Medellín.

Para el presente estudio de investigación se diseñará una encuesta con 5 preguntas basadas en la matriz de Categorías, Subcategorías e indicadores propuesta desde el marco teórico, en la cual se abarcan las mezclas asfálticas convencionales y modificadas y que van orientadas a captar la percepción que tiene el conductor respecto al presente tema de investigación.

La siguiente tabla contiene de manera sintetizada las categorías, subcategorías e indicadores construidos teniendo en cuenta el marco teórico de esta investigación y que dieron ruta a seguir en el análisis de los resultados obtenidos en la misma.

CATEGORIAS	SUB CATEGORIAS	INDICADORES
		Diseño de mezcla convencional

Mezclas asfálticas	Mezcla convencional	Empleo de asfalto convencional AC 60/70
	Mezcla modificada	Diseño de mezcla Modificada Empleo de asfalto modificado Tipo III
	Empleo o uso de las Mezclas asfálticas	Según el nivel de tráfico Según la necesidad que se tenga

Tabla 2. Categorías, subcategorías e Indicadores

A partir de la información antes descrita tanto de instrumentos, tabulación de resultados y la tabla de categorías, subcategorías e indicadores, se relaciona la información obtenida a través de una serie de indicadores de los resultados obtenidos, para lo cual se considera la siguiente convención:

Entrevista semiestructurada N°1

Entrevistador se nombrará E1

Entrevistado se nombrará P1

Entrevista semiestructurada N°2

Entrevistador se nombrará E1

Entrevistado se nombrará P2

Entrevista semiestructurada N°3

Entrevistador se nombrará E2

Entrevistado se nombrará P3

Entrevista semiestructurada N°4

Entrevistador se nombrará E2

Entrevistado se nombrará P4

Siguiendo las recomendaciones de autores como Hernández, Fernández y Baptista (2006), el procedimiento para la organización y análisis de los datos fue el siguiente:

- Se realizó la lectura y estudio detallado de todos los instrumentos aplicados en el desarrollo de la investigación, como: entrevistas, encuestas y análisis documental.
- Se realizaron las transcripciones de las entrevistas.
- Se organizó la información de acuerdo a las categorías iniciales, subcategorías e indicadores específicos definidos de acuerdo al marco teórico.
- Se identificaron las categorías, subcategorías e indicadores, antes mencionados y que están involucrados en las respuestas de las entrevistas.
- A partir de la organización de los datos, se realizó el análisis descriptivo de cada categoría en relación con las preguntas de la entrevista y de las encuestas.
- Finalmente se realizó el análisis interpretativo en relación con los hallazgos encontrados, apoyados en la información del marco teórico y en los objetivos generales y específicos.

## **Categoría**

Mezcla asfáltica

## **Subcategoría**

Mezcla convencional

## **Indicador**

Diseño de mezcla convencional

De acuerdo a las entrevistas aplicadas a diferentes representantes de los grupos de interés se ha encontrado por parte de P1 lo siguiente respecto a los criterios o parámetros más importantes a evaluar en un diseño de mezclas asfálticas *“Colombia en cuanto a diseños de mezclas asfálticas está ligado directamente al Marshall, el cual es un tipo de metodología basada en ensayos empíricos para los agregados, que realiza compactaciones por impacto o golpes en la mezcla (molde, martillo y pedestal). Desde mi punto de vista considero que el índice de penetración de los asfaltos, % de asfalto, % de agregados, % de vacíos, relación llenante/ligante (Mastic) y la relación estabilidad/flujo son los parámetros más importantes La buena manipulación del asfalto en cuanto a calentamientos nos generara tranquilidad en el comportamiento del mismo en la mezcla ya que al no generar sobrecalentamientos el asfalto estará libre de posibles envejecimientos prematuros que afectaran el servicio de la mezcla en obra.”*, Respecto a la entrevista realizada a P2, siendo una persona más cercana a la producción de mezclas asfálticas, ese ha encontrado lo siguiente respecto a los pasos para realizar un diseño de mezcla con asfalto convencional *“Identificar las condiciones a las cuales va a estar sometida la mezcla asfáltica.(Temperatura ambiente, tipo de tráfico (pasado , liviano, lento, rápido) 2- Tipo de asfalto según su penetración. 3 – Control de calidad de los agregados. 4 – Granulometría de los agregados dosificados. 5- Dosificación de los agregados para elaborar probetas con diferentes contenidos de asfalto, para encontrar el óptimo de asfalto y las características de la mezcla asfáltica, y así determinar la fórmula de trabajo. (Método Marshall), que cumplan con la especificación bojo la cual se asta diseñando. (Este sería el proceso preliminar del diseño). 6 – Verificación del diseño (TSR, DEFORMACION PLASTICA, MODULO RESILIENTE, LEYES DE FATIGA)”*.

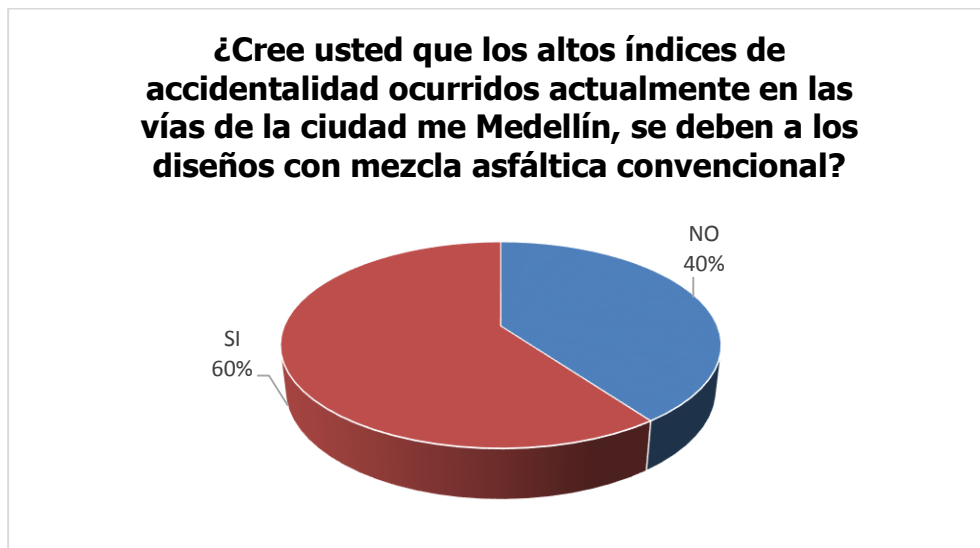
Para la obtención de información más especializada, se buscó la opinión de un investigador y experto en diseño de vías P3, al cual se le preguntó por la evolución



e implementación de mezcla asfáltica convencional en el país, y en específico en la ciudad de Medellín *“En la ciudad de Medellín se ha realizado gran cantidad de investigaciones acerca de la implementación de nuevos pavimentos que puedan cumplir con las especificaciones que la ciudad requiere debidas al alto tráfico vehicular que se encuentra en constante crecimiento y que se espera para los próximos años”*. P4, persona cercana a la construcción, opina acerca de la respuesta adecuada de los pavimentos convencionales *“Dado que las mezclas asfálticas convencionales han presentado grandes problemas debido a las altas cargas vehiculares que presenta la ciudad hoy en día, donde se han requerido grandes cantidades de dinero en mantenimiento, sin embargo, es importante evaluar la calidad del material con el que se realizará la mezcla asfáltica modificada”*.

Como se evidencia de las personas entrevistadas, las mezclas asfálticas convencionales han tenido gran acogida por los diseñadores de la ciudad, teniendo gran conocimiento de los ensayos y procedimientos que se deben realizar para su aplicación, sin embargo, debido a las altas cargas vehiculares que han aumentado, estas mezclas han presentado problemas operacionales, por lo cual, en la ciudad de Medellín se han realizado investigaciones para mejorar los pavimentos con nuevas especificaciones.

Para las encuestas realizadas a los diferentes usuarios de las vías en la ciudad de Medellín, obtenemos el siguiente resultado para el indicador analizado:



**Grafico 2 – Análisis Pregunta 1 y 2 de la Encuesta. Teniendo en cuenta los indicadores 1 y 2.**

En el gráfico 2 se evidencia que los conductores de la ciudad de Medellín perciben en su mayoría que los altos índices de accidentalidad ocurridos actualmente en la ciudad, se deben a los diseños de los pavimentos; por lo que se puede concluir que una mejora en los asfaltos podría disminuir de manera significativa los altos índices de accidentalidad.

### **Categoría**

Mezcla asfáltica

### **Subcategoría**

Mezcla convencional

### **Indicador**

Empleo de asfalto convencional AC 60/70

Teniendo en cuenta las bondades y principales características del asfalto convencional 60/70, P1 opina *“El cemento asfáltico normalizado 60/70, es el asfalto más utilizado en las obras viales del país, puesto que con este tipo de asfalto no se acarrearán costos de gran magnitud como los que se encuentran con los asfaltos modificados.”*. Contando con la experiencia de P2, este presenta su opinión acerca del papel que juega el asfalto 60/70 en la elaboración del diseño de mezclas convencionales *“Por la dureza que presenta se espera un buen comportamiento de la mezcla asfáltica al momento de exponerla a todas las condiciones de uso. Pero hoy en día está demostrado que las mezclas producidas con este tipo de asfalto son muy susceptibles a problemas de ahuellamiento, deformaciones, fisuras. Etc”*. Aunque el cemento asfáltico 60/70 es el más utilizado en el país, en gran parte a su economía, los constructores han encontrado problemas en su implementación debido a su alta capacidad de figuración, ahuellamiento, entre otros; lo que demuestra la necesidad de implementar una mezcla asfáltica modificada que pueda cumplir los requerimientos que tienen actualmente las vías de la ciudad de Medellín.

## **Categoría**

Mezcla asfáltica

## **Subcategoría**

Mezcla modificada

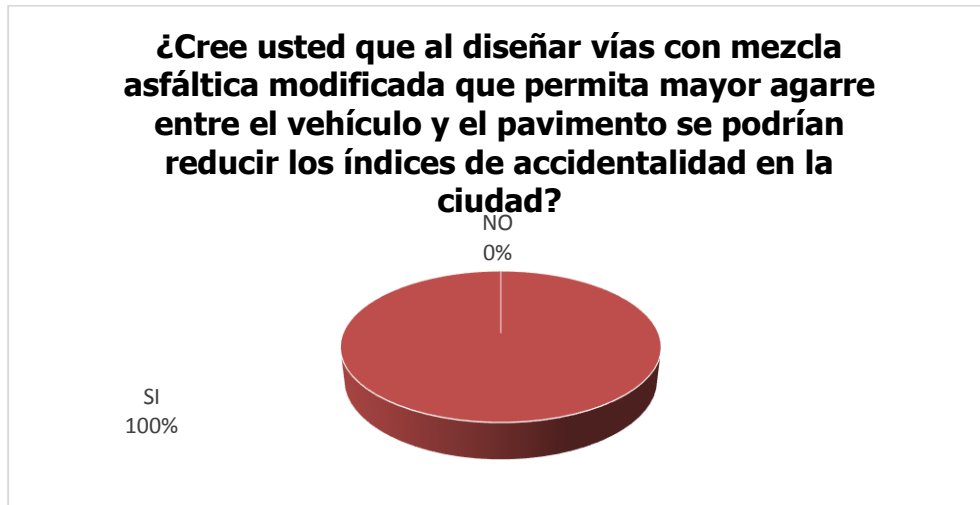
## **Indicador**

Diseño de mezcla modificada

A partir de los criterios más importantes a tener en cuenta en el diseño de mezclas asfálticas, P1 opino acerca del principal criterio en un diseño de asfalto modificado *“El asfalto modificado se emplea fundamentalmente para disminuir fisuras y ahuellamientos en la capa de rodadura por comportamientos térmicos o alto flujo del tránsito. Para este tipo de diseños se debe garantizar la temperatura presente en la curva reologica, la cual nos permite tener en cuenta la temperatura óptima para la compactación y mezcla del asfalto”*. Teniendo en cuenta la experiencia de P2 con asfalto convencional opina lo siguiente de la realización de su trabajo *“he trabajado con concreto modificado con el fin de mejorar los problemas que presenta una mezcla asfáltica convencional”*. Teniendo en cuenta los diferentes ensayos, resistencia, durabilidad, economía, entre otros, P3 opina acerca de la mezcla modificada *“Este tipo de mezcla ya ha sido probado en varios países con las mismas condiciones que tenemos nosotros en Colombia obteniendo resultados exitosos y facilidades en la implementación.”*. P4 opina lo siguiente acerca de los materiales involucrados en las mezclas modificados *“Se debe realizar un análisis específico del punto donde se extraerá el material, teniendo en cuenta la exigencia que presenta sus áridos”*.

Estas mezclas modificadas según los entrevistados, cumplen todos los requerimientos que se necesitan actualmente en la ciudad de Medellín, demostrando en otros países resultados exitosos, disminuyendo la capacidad de figuración y ahuellamiento del pavimento, sin embargo es necesario realizar un estudio detallado de las fuentes del material a utilizar para garantizar en la ciudad el éxito en la implementación.

Para las encuestas realizadas a los diferentes usuarios de las vías en la ciudad de Medellín, obtenemos el siguiente resultado para el indicador analizado:



**Gráfico 3 – Análisis Pregunta 2 de la Encuesta.**

Es de vital importancia tener en cuenta que todos los conductores encuestados piensan que un asfalto con modificaciones estructurales que mejore la fricción entre pavimento y llanta de los vehículos reduciría notablemente los índices de accidentalidad en los corredores viales de la ciudad de Medellín; desde este punto de vista, las personas encuestadas dan aceptación positiva a la implementación de un asfalto modificado que cumpla con estas características.

**Categoría**

Mezcla asfáltica

**Subcategoría**

Mezcla modificada

**Indicador**

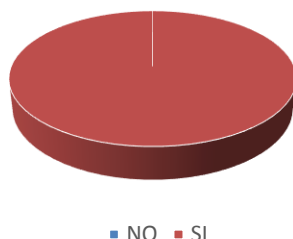
Empleo de asfalto modificado Tipo III

Respecto a la implementación de la mezcla modificada en la ciudad de Medellín, P1 presenta la siguiente opinión *“Como constructor y especialista en la materia puedo decir que Medellín como una de las ciudades principales e innovadoras del país debe emprender la búsqueda de nuevas alternativas para fabricación de mezclas más durables, que presenten mucha más resistencia a los cambios violentos de temperatura y las cargas producidas por el aumento de números de ejes equivalentes.”*. Teniendo en cuenta el comportamiento de las mezclas hechas con un asfalto modificado, se presenta la siguiente opinión por parte de P2 *“Aunque es más costosa que las mezclas producidas con asfaltos convencionales, las mezclas producidas con asfaltos modificados permite mejorar los problemas de deformaciones permanentes (como ahuellamiento), efecto del agua, buena cohesión entre los agregados, y en cierta forma disminuir los espesores de la carpeta asfáltica”*. P3 presenta su opinión acerca de la implementación de mezclas modificadas en la ciudad de Medellín *“La granulometría es el aspecto más crítico para la implementación de esta mezcla en la ciudad de Medellín, sin olvidar el costo que esto pueda generar, y el cambio de ideal en el sector público para el cambio de una mezcla asfáltica convencional a una mezcla asfáltica modificada”*.

Estas respuestas complementar la respuestas obtenidas con el indicador anterior, donde los entrevistados ratifican los beneficios que tiene la mezcla modificada en condiciones como las de las vías de la ciudad de Medellín. Teniendo en cuenta la importancia de considerar que inicialmente esta mezcla puede ser mas costosa a la mezcla convencional, pero que, al largo tiempo, el costo sería inferior, teniendo en cuentas una relación costo beneficio.

Para las encuestas realizadas a los diferentes usuarios de las vías en la ciudad de Medellín, obtenemos el siguiente resultado para el indicador analizado:

**En países de Europa y América se han diseñado corredores viales empleando asfaltos modificados, ¿piensa usted que este tipo de tecnologías se debería implementar en Medellín?**



**Grafico 4 – Análisis Pregunta 3 de la Encuesta.**

Todas las personas objeto de la encuesta están de acuerdo con la implementación de nuevas tecnologías en los asfaltos de la ciudad como se puede observar el grafico 4, adicional a esto están de acuerdo en que en la ciudad de Medellín se deben adoptar modelos de pavimentación de vías como los empleados en países desarrollados, en los cuales se cuenta con vías de alta tecnología y totalmente seguras para los conductores, incluso para aquellos que transitan a altas velocidades.

### **Categoría**

Mezcla asfáltica

### **Subcategoría**

Empleo o uso de las mezclas asfálticas

### **Indicador**

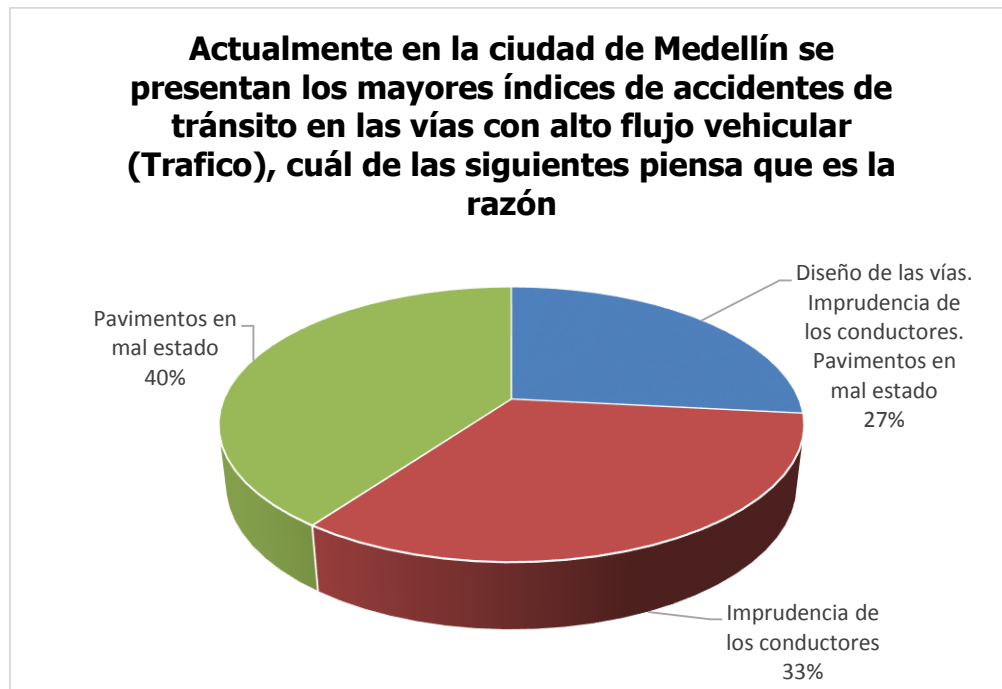
Según el nivel de tráfico

Según la necesidad que se tenga

Para finalizar se les preguntó a los entrevistados sus diferentes recomendaciones respecto a las necesidades de una ciudad como Medellín, de allí, P1 opina lo siguiente *“Puesto que he vivido los deterioros de los pavimentos en un sin número obras, y desde mi experiencia para mejorar las condiciones de durabilidad y confort en la ciudad de Medellín recomiendo una mezcla asfáltica 19 con asfalto modificado tipo I. Este tipo de polímeros es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas”*. La opinión de P2 es la siguiente *“Por las características del tipo de asfalto y resultados del comportamiento de estas mezclas son ideales para sitios de alto flujo de vehículos pesados y de tráfico lento a alta temperatura ambiente.”* para P3 encontramos lo siguiente *“Es importante evaluar el factor de costos y las facilidades de implementación en nuestro país por las exigencias técnicas que este pavimento requiere, sin embargo, de poderse implementar, sería un gran avance, dado que generaría vías con mayor durabilidad”*. Para finalizar P4 opina *“Los ciudadanos se verían beneficiados teniendo vías con mayor calidad y más resistentes”*.

De acuerdo a los entrevistados, es importante evaluar la relación costo beneficio de las mezclas modificadas, teniendo en cuenta que estas mezclas tienen mayor calidad y mayor resistencia, mejor adecuación a las temperaturas y en general mayor durabilidad, además, genera confort y comodidad para los usuarios de las vías.

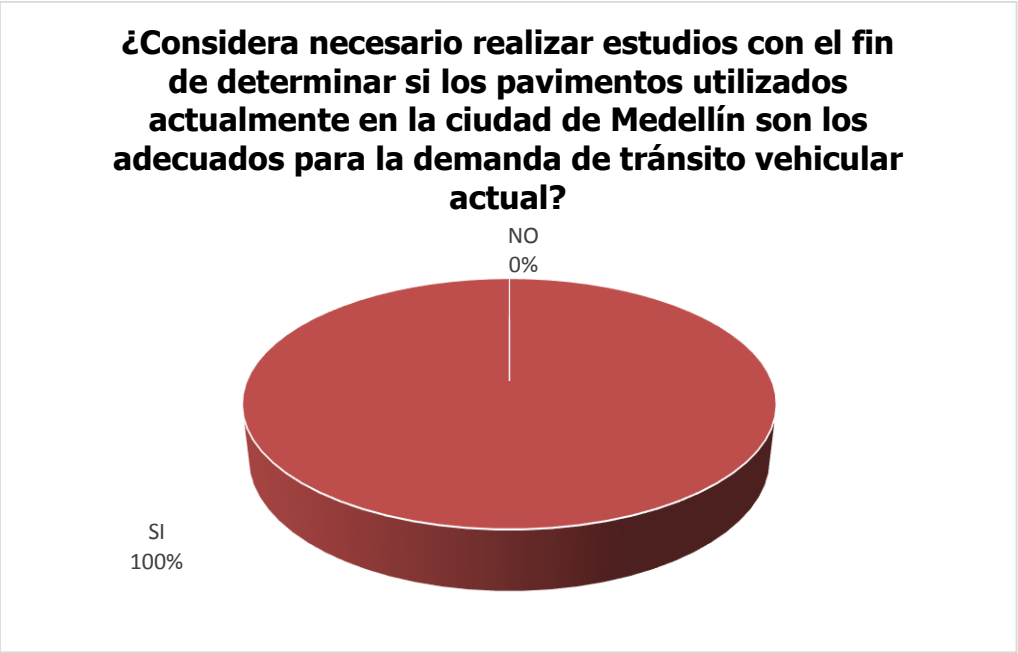
Para las encuestas realizadas a los diferentes usuarios de las vías en la ciudad de Medellín, obtenemos el siguiente resultado para el indicador analizado:



**Grafico 5 – Análisis Pregunta 4 de la Encuesta**

Como podemos observar en el grafico anterior los conductores de la ciudad de Medellín tienen diferentes puntos de vista en cuanto a las causas de los accidentes en las vías de alto tráfico, sin embargo un alto porcentaje de ellos cree que el mayor causante de estos es contar con pavimentos en mal estado (desniveles, huecos, resbalosos, entre otros), sin embargo no se puede dejar de lado que muchos de ellos piensan que la imprudencia de los conductores es la mayor causante de los accidentes y otro tanto va más allá argumentando que la combinación de los dos anteriores es la que impera a la hora de presentarse este tipo de eventos. Teniendo en cuenta los diferentes puntos de vista percibidos en la pregunta en cuestión, se deben estudiar más a fondo cada una de las variables que están ocasionando estos eventos tan desafortunados.





**Grafico 6 – Análisis Pregunta 5 de la Encuesta.**

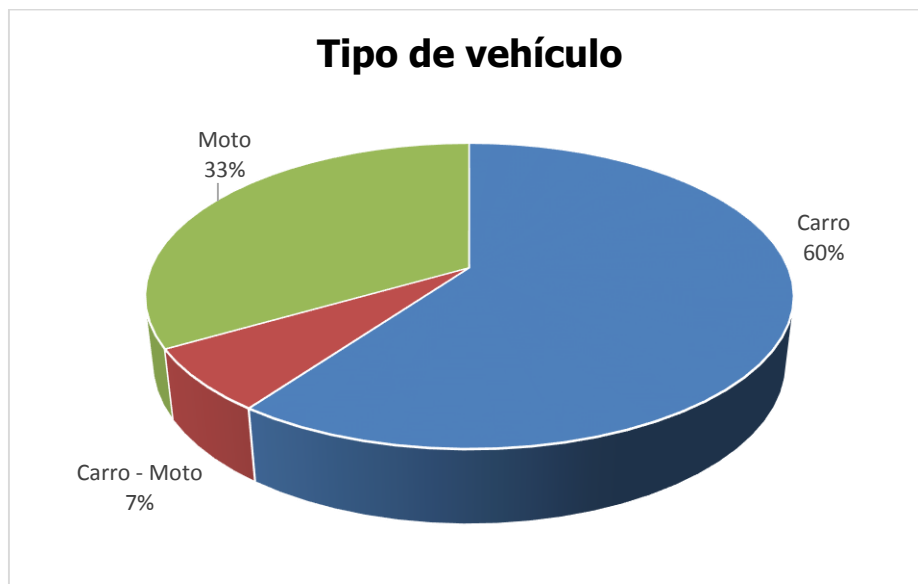
Todas las personas entrevistadas confluyen en que los asfaltos implementados en las vías de la ciudad presentan irregularidades, y son conscientes de que se debe acudir a realizar diversas investigaciones y estudios que permitan hacer mejoras a los corredores viales de la ciudad y así de esta manera mejorar las condiciones de movilidad desde el punto de vista de la reducción de la accidentalidad y la mejora en los pavimentos por los que actualmente transitan.

Respecto a las personas encuestadas se presentan las siguientes figuras como información general:



**Gráfico 7 – Análisis Experiencia Conductores Encuestados.**

Con el fin de realizar una encuesta lo más acertada posible, se tomó una muestra de conductores, en la cual se tuviera en cuenta rangos de experiencia amplios; como se puede observar en el gráfico 7 se cuenta con personas que oscilan entre 1 y 20 años de experiencia conduciendo en las vías de la ciudad de Medellín.



**Gráfico 8– Vehículos de los Encuestados.**

Como se puede Observar en el grafico 8 fueron objeto de la encuesta conductores de Motocicletas, Automóviles y personas que cuentan con ambos medios de transporte, así de esta manera se disminuye el sesgo que se puede tener al tener en cuenta un solo tipo de vehículo; en este ítem se puede obtener más representatividad y tener una tendencia sobre las opiniones de cada uno de los sectores.

### 10. Análisis de resultados - propuesta

Con el objeto de reducir costos de mantenimiento, aumentar la durabilidad de las vías de la ciudad, además de aumentar la seguridad de los conductores y peatones, se propone la implementación de una mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados.

Para la ciudad de Medellín la implementación se debe realizar en las vías con mayor tránsito vehicular donde la relación costo/beneficio sea representativa.

A continuación se presenta un cuadro, el cual articula los parámetros más importantes de la propuesta objeto de este trabajo:

OBJETIVO	ESTRATEGIA	PROGRAMA	PROYECTO	META	RESPONSABLE
<p>Demostrar la posibilidad de implementar un diseño de mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados, garantizando el confort y la seguridad a los conductores que transitan por las</p>	<p>Análisis de las conclusiones una vez terminada la recolección de la información</p>	<p>Asignación de recursos económicos por parte de las entidades públicas a las entidades privadas para la ejecución de las obras.</p>	<p>Desarrollar un plan (Propuesta) para la implementación de mezcla asfáltica con microaglomerados</p>	<p>Reducción de índices de accidentalidad, mejoramiento de asfaltos en los corredores viales de la ciudad de Medellín y confort para los usuarios.</p>	<p>Entidades constructoras que son las encargadas de la Aplicación de las mezclas modificadas en las vías de la ciudad.</p>

vías de la ciudad de Medellín y sus diferentes recorridos.					
Evidenciar la relación Costo – Beneficio que se da con la implementación de este tipo de mezclas	Teniendo en cuenta una línea de tiempo en las curvas de mantenimiento de las vías, con la aplicación de esta mezcla, la vida útil del asfalto se prolonga de manera significativa, con respecto a la aplicación de la mezcla convencional que requiere de mantenimientos constantes.	Realizar tabulaciones, basadas en estadísticas reales que muestren el número de intervenciones de mezclas de asfalto convencional vs. la mezcla Modificada.	Realizar un tramo piloto, en el cual se cuente con seguimiento en la línea de tiempo.	Reducir los costos de mantenimiento en las vías de la ciudad.	Empresas constructoras.
Demostrar mediante la comparación de las mezclas convencionales vs. las modificadas, las bondades y beneficios que tiene la modificada respecto a la convencional.	Basados en los resultados teóricos de la investigación realizada.	Recolección de información	Realizar un tramo piloto, en el cual se haga seguimiento a su comportamiento y análisis de los resultados que se obtienen a través del tiempo.	Comprobar que la mezcla modificada es la adecuada para la implementación en las vías de la ciudad de Medellín.	Empresas constructoras

Tabla 3. Diseño de Propuesta para implementación de mezcla asfáltica discontinua con microaglomerados en la ciudad de Medellín

En el cuadro anterior se aprecian los puntos a tener en cuenta en el diseño de la propuesta investigativa, los cuales son clave para el desarrollo de la misma y representan las actividades más importantes a ejecutar para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Teniendo en cuenta lo descrito líneas atrás, se plantea la implementación y utilización de las mezclas asfálticas modificadas, como la mejor alternativa de pavimentación para las vías de la ciudad de Medellín, ya que representan diversas ventajas sobre las mezclas asfálticas tradicionales ya conocidas por los diferentes actores involucrados a lo largo del tiempo.

## **11. Conclusiones**

En las principales vías de la ciudad de Medellín se han venido implementando pavimentaciones con mezclas asfálticas las cuales su contenido de asfalto corresponde a un convencional, estas mezclas han venido presentando problemas a través del tiempo y esto ha conllevado a diversas quejas y reclamos por parte de los conductores y en general los usuarios de las vías.

Las mezclas asfálticas con contenidos de asfaltos modificados, se han implementado poco en las vías de la ciudad, lo cual ha conllevado a diferentes reprocesos y sobrecostos en mantenimientos viales; además se ha identificado que gran parte de los índices de accidentalidad se presentan en vías de mal estado, por lo cual es importante generar proyectos viales en los cuales la utilización de las mezclas asfálticas modificadas sea una prioridad para que a partir de allí se puedan sacar indicadores en los cuales se demuestre las grandes ventajas que tiene la implementación de este tipo de material.

Según las encuestas y entrevistas, la implementación del sistema de asfaltos modificados en los corredores viales de la ciudad tienen buena acogida y aceptación por parte de los conductores (independiente del tipo de vehículo), lo que genera confianza y viabilidad social para la ejecución, desarrollo y puesta en marcha de este tipo de proyectos.

Desde el punto de vista constructivo las mezclas modificadas garantizan una mayor durabilidad y conservación a través del tiempo, permitiendo una disminución en costos de reparaciones y mantenimiento por daños, de esta manera se asegura sostenibilidad en los procesos constructivos.

A pesar de que las mezclas asfálticas modificadas son más costosas que las convencionales, este sobrecosto inicial se retorna a través del tiempo en su comportamiento estructural, aportes técnicos y de seguridad vial.

## **12.Recomendaciones**

Se hace una invitación a las empresas privadas para que tengan una visión más amplia y se vinculen a este tipo de propuestas que se salen de lo tradicional y conllevan a un mejoramiento continuo en las construcciones viales y de igual manera generan un bienestar para la población.

En la actualidad se debe cambiar la mentalidad de los constructores viales, en donde siempre han trabajado con mezclas finas y con asfaltos convencionales las cuales generan mayor deslizamiento en el frenado, la idea es utilizar mezclas modificadas y con mayor contenido de gruesos que permita disminuir el deslizamiento y garantice unas condiciones más seguras para el conductor; de esta manera se garantiza la vida del usuario.

Se debe revisar la fuente de material debido a las características especiales que posee la granulometría para este tipo de mezcla modificada.

### **13. Bibliografía**

- Botasso, G., & Segura, A. (2013). Estudio experiemetal de microaglomerado asfáltico antiderrape modificado con NFU.
- Jil reyes, L. (2009). Estudio del comportamiento de los microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente aplicados en Chile y revisión de su normativa actual. Santiago, Chile.
- Bernal, Cesar. (2010). Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Bogotá.
- Reyes Ortiz , O. J., Camaucho Tauta, J. F., & Reyes Lizcano, F. (2005). Influencia de la temperatura y nivel de energía de compactación en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica.
- Serna, (1994). Gerencia Estratégica. Colombia.
- Rondon, H. (2010). Caracterización dinámica de una mezcla asfáltica sometida a las condicines ambientales de bogotá.
- Clavijo Rey, C. M., & Aranda Rojas, C. (2014). Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo MDC-2 modificada . Tunja, Colombia.
- Gamboa Ojeda, J. (s.f.). Comportamiento mecánico de mezclas asfalticas modificadas vs mezcla tradicional . Bucaramanga, Colombia.
- Rondon Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F., & Ojeda Martinez, B. E. (20 de 08 de 2998). Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo. Bogotá, Colombia.
- Zuñiga , R. (Junio de 2015). Mezcla asfaltica en caliente|.



## **14. Cybergrafia**

<http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/indices-de-accidentes-de-transito-en-colombia/15000347>

<https://www.invias.gov.co/>

## 15. Anexos

### Entrevista a Ingeniero especialista en vías y pavimentos

#### 1. Que criterios o parámetros considera usted, sean los más importantes a evaluar en un diseño de mezclas asfálticas? (1)

R/: Colombia en cuanto a diseños de mezclas asfálticas está ligado directamente al Marshall, el cual es un tipo de metodología basada en ensayos empíricos para los agregados, que realiza compactaciones por impacto o golpes en la mezcla (molde, martillo y pedestal).

Desde mi punto de vista considero que el índice de penetración de los asfaltos, % de asfalto, % de agregados, % de vacíos, relación llenante/ligante (Mastic) y la relación estabilidad/flujo son los parámetros más importantes, puesto que el hecho de tener asfaltos con alteraciones significativas de algunos estos repercute directamente en la disminución de la respuesta estructural que posee la mezcla asfáltica a temperaturas de servicio.

Es de mucha importancia tener el conocimiento de la zona donde se va a trabajar, conocer perfectamente las características de diseño Nivel de tráfico, temperatura media anual y composiciones geométricas del terreno (terreno de montaña y/o llanuras) para así poder diseñar una mezcla que satisfaga las necesidades que se generan.

Bajo las condiciones de conocimiento de la zona se optara por escoger el mejor tipo de asfalto a utilizar, ya que este es el componente más importante de la mezcla asfáltica y es el factor que determina las temperaturas de mezclado en planta y de compactación en obra (Curva reologica). La buena manipulación del asfalto en cuanto a calentamientos nos generara tranquilidad en el comportamiento del mismo en la mezcla ya que al no generar sobrecalentamientos el asfalto estará libre de posibles envejecimientos prematuros que afectaran el servicio de la mezcla en obra.

**2. Cómo evalúa usted las bondades y principales características del asfalto convencional 60/70? (2)**

R/: El cemento asfáltico normalizado 60/70, es el asfalto más utilizado en las obras viales del país, puesto que con este tipo de asfalto no se acarrearán costos de gran magnitud como los que se encuentran con los asfaltos modificados. Tener un asfalto convencional para vías de bajo tráfico y temperaturas moderadas de 20°C a 25°C, junto a una granulometría adecuada tipo invias, garantiza una durabilidad en tiempo para una vía puesta en servicio.

La toma de esta decisión viene acompañado de la buena escogencia del agregado mineral, estos deben ser capaces de ayudar a resistir el desgaste durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, por esta razón los agregados en lo posible deben de ser triturados, con el fin de ser más resistentes al esfuerzo y desgaste generado por las cargas del tránsito y poseer además un excelente mezcla entre el llenante mineral (filler) y el asfalto.

**3. A partir de los criterios más importantes a tener en cuenta en el diseño de mezclas asfálticas, cual es el que se debe tener más cuidado si se tratara de un diseño con asfalto modificado? (3)**

R/: El asfalto modificado se emplea fundamentalmente para disminuir fisuras y ahuellamientos en la capa de rodadura por comportamientos térmicos o alto flujo del tránsito. El asfalto por ser un material viscoelástico se convierte en sólido a bajas temperaturas, y líquido viscoso a altas temperaturas, estas propiedades son las que hacen que se presente problemas de fisuramiento por bajas temperaturas y ahuellamientos de la capa asfáltica a temperaturas elevadas.

Para garantizar que una mezcla mejore su comportamiento a altas y bajas temperaturas, es indispensable garantizar la adecuada temperatura con la

cual se mezcle el agregado y asfalto, esto influye significativamente en la recuperación elástica y en el desempeño del pavimento. Por tal motivo para este tipo de diseños se debe garantizar la temperatura presente en la curva reologica, la cual nos permite tener en cuenta la temperatura óptima para la compactación y mezcla del asfalto.

**4. Qué opinión le merece la implementación del asfalto modificado en las vías de la ciudad de Medellín? (4)**

**R/:** Como constructor y especialista en la materia puedo decir que Medellín como una de las ciudades principales e innovadoras del país debe emprender la búsqueda de nuevas alternativas para fabricación de mezclas más durables, que presenten mucha más resistencia a los cambios violentos de temperatura y las cargas producidas por el aumento de números de ejes equivalentes. Con la inclusión de mezclas con asfalto modificado se disminuirían gran parte de las deformaciones plásticas permanentes que se evidencia en esta ciudad a nivel de rodadura y fisuras vinculadas a falla por fatiga.

La inclusión de mezclas con asfaltos modificados garantiza pavimentos más duraderos, seguros y de confort para los usuarios. Es decir, los diseños de mezclas asfálticas generados en la actualidad no sólo se deben realizarse con asfalto convencional, sino utilizar asfaltos que tengan en cuenta las condiciones climáticas de un sector y el tipo de tránsito, como son los modificados.

**5. Qué tipo de mezcla asfáltica y con qué tipo de asfalto, recomienda usted utilizar en las vías de la ciudad de Medellín, teniendo en cuenta sus altos niveles de tránsito? (5,6)**

**R/:** Puesto que he vivido los deterioros de los pavimentos en un sin número obras, y desde mi experiencia para mejorar las condiciones de durabilidad y

confort en la ciudad de Medellín recomendando una mezcla asfáltica 19 con asfalto modificado tipo I. Este tipo de polímeros es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Este se utiliza en mezclas asfálticas para capas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, en climas fríos y cálidos.

### **Entrevista Laboratorista Latinco**

**1. Explique detalladamente los pasos para realizar un diseño de mezcla con asfalto convencional. (1)**

R/ Identificar las condiciones a las cuales va a estar sometida la mezcla asfáltica. (Temperatura ambiente, tipo de tráfico (pasado, liviano, lento, rápido) 2- Tipo de asfalto según su penetración. 3 – Control de calidad de los agregados. 4 – Granulometría de los agregados dosificados. 5- Dosificación de los agregados para elaborar probetas con diferentes contenidos de asfalto, para encontrar el óptimo de asfalto y las características de la mezcla asfáltica, y así determinar la fórmula de trabajo. (Método Marshall), que cumplan con la especificación bajo la cual se está diseñando. (Este sería el proceso preliminar del diseño). 6 – Verificación del diseño (TSR, DEFORMACION PLASTICA, MODULO RESILIENTE, LEYES DE FATIGA).

**2. Según su experiencia adquirida y por supuesto su criterio, qué papel juega el asfalto 60/70 en la elaboración del diseño de mezclas convencionales?**

R/ Por la dureza que presenta se espera un buen comportamiento de la mezcla asfáltica al momento de exponerla a todas las condiciones de uso. Pero hoy en día está demostrado que las mezclas producidas con este tipo de asfalto son muy susceptibles a problemas de ahuellamiento, deformaciones, fisuras. Etc.

**3. A tenido la experiencia de trabajar con mezclas elaboradas con asfalto modificado? (3)-R/ SI, con el fin de mejorar los problemas que presenta una mezcla asfáltica convencional.**

**4. Según la experiencia adquirida por usted, como ve y analiza el comportamiento de las mezclas hechas con asfalto modificado? (4)**

R/ Aunque es más costosa que las mezclas producidas con asfaltos convencionales, las mezclas producidas con asfaltos modificados permite mejorar los problemas de deformaciones permanentes (como ahuellamiento), efecto del agua, buena cohesión entre los agregados, y en cierta forma disminuir los espesores de la carpeta asfáltica.

**5. Desde el punto de vista del laboratorio y por ende de la calidad de una mezcla asfáltica, donde sugiere según los resultados que usted conoce de una mezcla modificada, la implementación o utilización de la misma? (5,6)**

R/ Por las características del tipo de asfalto y resultados del comportamiento de estas mezclas son ideales para sitios de alto flujo de vehículos pesados y de tráfico lento a alta temperatura ambiente. Pero es muy importante tener en cuenta que las soluciones se deben dar no solo en el cambio de asfalto sino también en la granulometría de la mezcla y la utilización de agregados triturados: La tendencia es a utilizar mezclas con texturas más abiertas y no densas como capas de rodadura.

**Entrevista profesor Unal**

**1. De acuerdo a los últimos avances en el estudio de pavimentos, como ha venido evolucionando la implementación de mezcla asfáltica convencional en el país y en específico en la ciudad de Medellín, ha habido algún cambio respecto a la pavimentación tradicional con mezcla convencional?**

En la ciudad de Medellín se ha realizado gran cantidad de investigaciones acerca de la implementación de nuevos pavimentos que puedan cumplir con las especificaciones que la ciudad requiere debidas al alto tráfico vehicular que se encuentra en constante crecimiento y que se espera para los próximos años, actualmente la universidad se encuentra en un proceso de investigación para generar mezcla asfáltica a partir de determinados residuos y de los mismos neumáticos, con esto se ha demostrado que los pavimentos pueden alcanzar gran resistencia, mejorando considerablemente las condiciones en las vías.

- 2. Qué opinión le da usted a la mezcla asfáltica convencional y a la mezcla asfáltica modificada, teniendo en cuenta ensayos, resistencia, durabilidad, economía, entre otros?**

Este tipo de mezcla ya ha sido probado en varios países con las mismas condiciones que tenemos nosotros en Colombia obteniendo resultados exitosos y facilidades en la implementación. Es importante que en nuestro país exista una normativa que pueda regular el diseño y construcción de las mezclas modificadas y de nuevas innovaciones. Se debe evaluar el factor económico con supremo cuidado, especialmente teniendo un producto que es usado en el sector público, donde se busca reducir algunos costos. Como dije anteriormente, esta mezcla asfáltica modificada ha dado buenos resultados en resistencia y durabilidad.

- 3. De acuerdo a la implementación en otros países de mezcla asfáltica modificada, como cree usted, siendo una persona especialista en el tema, que beneficiaría a la ciudad la implementación de esta mezcla?**

Es importante evaluar el factor de costos y las facilidades de implementación en nuestro país por las exigencias técnicas que este pavimento requiere, sin embargo, de poderse implementar, sería un gran avance, dado que generaría vías con mayor durabilidad.

- 4. Desde el aspecto técnico, que se debe tener en cuenta para la implementación de la mezcla asfáltica modificada en la ciudad de Medellín?**

Principalmente la granulometría, es una mezcla donde el tamaño del grano es el factor principal del éxito en la implementación y durabilidad de este.

#### **Entrevista ingeniero Argos**

- 1. ¿Que opinión presenta usted sobre el tipo de mezcla asfáltica modificada teniendo en cuenta las características especiales de sus materiales?**

Se debe realizar un análisis específico del punto donde se extraerá el material, teniendo en cuenta la exigencia que presenta sus áridos.

- 2. ¿Las mezclas asfálticas convencionales realmente han respondido de una manera adecuada a las necesidades que presenta la ciudad, considera usted**

**que es posible desde el aspecto urbanístico y económico el cambio de mezcla convencional por una mezcla modificada?**

Es posible, dado que las mezclas asfálticas convencionales han presentado grandes problemas debido a las altas cargas vehiculares que presenta la ciudad hoy en día, donde se han requerido grandes cantidades de dinero en mantenimiento, sin embargo como se precisó en la pregunta anterior, es importante evaluar la calidad del material con el que se realizará la mezcla asfáltica modificada.

**3. Desde el aspecto constructivo que cuidados especiales se deberían tener para la implementación de mezclas modificadas en la ciudad de Medellín?**

La granulometría es el aspecto más crítico para la implementación de esta mezcla en la ciudad de Medellín, sin olvidar el costo que esto pueda generar, y el cambio de ideal en el sector público para el cambio de una mezcla asfáltica convencional a una mezcla asfáltica modificada.

**4. Como cree usted que se beneficiarían los ciudadanos de Medellín con la implementación de las mezclas modificadas?**

Los ciudadanos se verían beneficiados teniendo vías con mayor calidad y más resistentes.