

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLIN**

**OSVALDO JOSE ORTEGA CUAN
LUIS ALFREDO PATERNINA MEDINA**



**ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
POSGRADO EN VÍAS Y TRANSPORTE
UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
MEDELLÍN**

2012

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLIN**

**OSVALDO JOSE ORTEGA CUAN
LUIS ALFREDO PATERNINA MEDINA**

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar el título de
Especialista en Vías y Transporte**

Asesor:

**ALEXANDER GÓMEZ SANCHEZ
Ingeniero Civil Especialista en Vías y Transporte**



**UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE
MEDELLÍN
2012**

A mi madre por inculcarme los valores necesarios y enseñanza para afrontar la vida, en salir adelante aceptando mis derrotas y mis glorias con humildad.

A mi padre por la perseverancia de confiar en mí para educarme y formarme con mucho esfuerzo, y brindarme su respaldo incondicionalmente en los obstáculos de la vida.

A mis hermanos, amigos y a cada persona que me impulso a seguir adelante con mucha fuerza y dedicación de lograr este título.

Oswaldo José Ortega C

A mi familia, mis amigos y compañeros colegas que aportaron su grano de arena para haber hecho realidad de adquirir este título.

Luis Alfredo Paternina M

AGRADECIMIENTOS

A **ALEXANDER GÓMEZ**, Especialista de Vías y Transporte, Profesor del módulo de Diseño de Pavimentos en la Especialización de Vías y Transporte de la Universidad de Medellín, Director ó Asesor temático del Trabajo de Grado, por su apoyo, amabilidad y disponibilidad, a pesar de sus múltiples ocupaciones.

A la empresa **CONASFALTO** por brindarnos sus conocimientos en la parte investigativa e informativa de este trabajo de grado y permitirnos realizar el recorrido de la producción de mezclas asfálticas en su planta de asfalto.

Finalmente agradecemos a nuestras familias por ausentarnos en aquellos momentos que anhelamos presenciar, por haber estado ocupado realizando esta Especialización en Vías y Transporte.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ANEXOS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2. JUSTIFICACIÓN.....	5
3. METODOLOGÍA.....	6
4. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1 ANTECEDENTES.....	8
4.1.1 Mezclas asfálticas tibias.....	12
4.1.2 Antecedentes cronológicos en el trabajo con Mezclas Tibias (WMA).....	13
4.2 COMPARACIÓN ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (MAT) Y MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC).....	16
4.2.1 Beneficios de la aplicación de mezclas asfálticas tibias.....	16
4.3 MÉTODOS PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.....	17

4.3.1	Sistemas mediante el uso de aditivos.....	20
4.3.2	Sistemas a base de espuma (1/3) – Zeolita.....	21
4.3.3	Sistemas a base de espuma (2/3) – LEA.....	22
4.3.4	Sistemas a base de espuma (3/3). Planta de Doble Tambor.....	23
4.3.5	Sistema de doble envuelta – Shell WAM foam.....	25
4.3.6	Sistema basado en emulsión.....	26
5.	EXPERIENCIAS REALIZADAS CON MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN OTROS PAISES.....	27
5.1	PROTOCOLO DE ENSAYOS.....	31
5.2	ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO.....	31
5.2.1	Medición de emisiones contaminantes.....	31
5.3	APLICACIONES EN CALLES DE CIUDAD.....	33
5.3.1	Producción en Planta.....	33
5.4	MEZCLAS ASFÁLTICAS ESTUDIADAS.....	34
5.5	RESULTADOS OBTENIDOS.....	34
5.5.1	Módulo elástico de las mezclas.....	36
5.5.2	Susceptibilidad a la acción del agua.....	39
5.5.3	Primeros estudios reológicos del asfalto recuperado en laboratorio.....	41
5.6	EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS DE TESTIGOS.....	43
6.	VENTAJAS PARA IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLIN.....	45

6.1 COSTOS Y CONSUMO DE ENERGÍA.....	45
6.2 EMISIONES.....	47
6.3 VISCOSIDAD.....	49
6.4 TÉCNICOS.....	49
6.5 TRABAJO CONFORTABLE.....	50
7. PROPUESTA DE LA UTILIZACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN.....	51
CONCLUSIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 4.1. Reducciones en las temperaturas para obtener mezclas Asfálticas mediante diferente método	10
Tabla 4.2. Antecedentes cronológicos de la producción de mezclas tibias WMA	13
Tabla 4.3. Clasificación de las mezclas asfálticas por temperatura	18
Tabla 5.2. Rangos de temperaturas empleados	33
Tabla 5.4. Reología sobre asfaltos CA30 y CA30t	41
Tabla 5.5 Reología sobre asfaltos AM3 y AM3t	42
Tabla 6.1 Plantas asfálticas en el área metropolitana	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 4.1. Rangos de temperatura para producción de mezclas asfálticas	18
Figura 4.2. Apariencia del aditivo granulado, Sasobit	21
Figura 4.3. Estructura de la zeolita, bajo microscopio	22
Figura 4.4. Fases para producir mezcla tibia tecnología LEA	23
Figura 4.5. Sistema de inyección del asfalto en forma de espuma	24
Figura 4.6. Sistema de doble envuelta – Shell WAM foam	25
Figura 4.7. Etapas para producir mezcla tibia basada en emulsión	26
Figura 5.1. Ensayo de ahuellamiento simulado WTT, mezclas con CA30	35
Figura 5.2. Ensayo de ahuellamiento simulado WTT, mezclas con AM3	36
Figura 5.3. Ensayo de Módulo, mezclas con CA30, 10 Hz	37
Figura 5.4. Ensayo de Módulo, mezclas con CA30, 1 Hz	37
Figura 5.5. Ensayo de Módulo, mezclas con AM3, 10 Hz	38

Figura 5.6. Ensayo de Módulo, mezclas con AM3, 1 Hz	38
Figura 5.7. Gráfica densidad vs temperatura	40
Figura 6.1. Reducciones registradas en las emisiones de planta en la producción	48
Figura 6.2. Prueba de comprobación en la descarga de mezclas asfálticas	50

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Protocolo de la prueba con mezclas asfálticas tibias.....	61
Anexo B. Resistencia Conservada a Tracción Indirecta por Compresión Diametral.....	67

INTRODUCCIÓN

Ante la evidencia de las experiencias de fabricación de mezclas asfálticas convencionales empleadas en la ciudad de Medellín, surge la inquietud de realizar esta alternativa de estudio de investigación documental y generar beneficios importantes en aspectos ambientales, técnicos y económicos, con el fin de estimular a los fabricantes de asfalto, empresas, entidades de desarrollo en el sector público y privado para proponer la implementación de mezcla tibia en la ciudad.

Debido a que en la ciudad de Medellín no se ha incursionado en cuanto a la fabricación de nuevas técnicas de mezclas asfálticas, ya que la demanda de producción y aplicación son mezclas convencionales, se considera que la implementación de mezclas asfálticas fabricadas de menor temperatura “Mezclas Tibias” es apropiada, considerando los materiales existentes en el medio, y así iniciar un nuevo proceso tecnológico, generando la posibilidad de entrar este producto al mercado beneficioso a la ciudad.

La información del estudio de investigación y experimental de las mezclas asfálticas tibias realizado en otros países es moderado por su reciente investigación, aun así es la herramienta de este proyecto para concientizar y estimular a los entes de desarrollo de la ciudad. Por tanto, se realiza el estudio de forma investigativa documental como estudio previo y proceder con la continuación de la fase experimental por parte de estudiantes interesados en el tema.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la viabilidad de la utilización de las mezclas asfálticas tibias en la ciudad de Medellín mediante la implementación de experiencias adquiridas en otros países, con el fin de obtener beneficios ambientales, técnicos y económicos, así mismo, garantizar un comportamiento similar o superior a una mezcla asfáltica convencional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información existente del uso de mezclas tibias que han desarrollado en diferentes países del mundo.
- Diferenciar las ventajas económicas, técnicas y ambientales que existen entre una mezcla asfáltica tibia con respecto a una mezcla asfáltica convencional.
- Realizar una metodología de diseño de mezclas asfálticas tibias realizada en otro país para analizar los resultados obtenidos de laboratorio y pruebas de campo.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La fabricación de las mezclas asfálticas convencionales ha originado problemas ambientales con unos altos índices de contaminación en las principales ciudades del mundo, debido al aumento de energía en la elaboración de las mezclas, consumo de combustible y emisión de gases entre otros.

Por lo anterior, es importante que la ciudad de Medellín pueda contar con una técnica que permita la elaboración y aplicación de mezclas asfálticas tibias, y así disminuir los aspectos negativos anteriormente mencionados.

Aunque se ha demostrado por medio de ensayos de laboratorio de las mezclas asfálticas tibias, que su comportamiento es igual a la de una mezcla asfáltica convencional, el uso de estas mezclas asfálticas genera incertidumbres y desconfianza en los administradores de carreteras por ser una nueva tecnología empleada su construcción y no se tienen resultados concluyentes de campo a largo plazo.

La fabricación constantemente de las mezclas asfálticas tibias realizadas en la ciudad de Medellín nos crea este interrogante ¿sería beneficioso realizar procesos constructivos menos contaminantes y agresivos con los seres vivos y estar en armonía con la naturaleza?

2. JUSTIFICACIÓN

Observando las experiencias de las mezclas asfálticas utilizadas en la ciudad de Medellín, se ha analizado que un alto porcentaje de las empleadas corresponden a mezclas convencionales.

Estas circunstancias motivaron la realización de esta investigación, en la cual se pretende utilizar esta experiencia en la ciudad de Medellín garantizando un comportamiento igual o superior que una mezcla asfáltica convencional, resaltando, que el uso de esta nueva tecnología tiene mejores resultados.

Las mezclas asfálticas tibias son elaboradas, extendidas y compactadas a temperaturas menores a las utilizadas en la pavimentación con cementos asfálticos convencionales. La utilización de estas mezclas reducen impactos negativos en el medio ambiente debido a la disminución en las temperaturas de elaboración y colocación de estas mezclas, permite reducir los costos de energía y paralelamente las emisiones a la atmósfera.

Entre las ventajas técnicas del uso de estas mezclas de menores temperaturas se pueden mencionar: menor esfuerzo de compactación, mayor ventana de trabajo aún fuera de estación climática, mayor tiempo de almacenaje y transporte, reducción del fenómeno de segregación térmica, menores riesgos para los trabajadores, menor desgaste de partes en la planta, menor envejecimiento del asfalto, menor endurecimiento físico del asfalto, mayor trabajabilidad de la mezcla, menor velocidad de enfriamiento, permite también acelerar la habilitación al tránsito.

3. METODOLOGÍA

El estudio que se realiza es de tipo investigación documental, en el cual a continuación se establece el siguiente procedimiento de este proyecto:

- Se consultara la literatura existente en los estudios realizados mundialmente sobre mezclas tibias para tener bases suficientes en la implementación de la misma.
- Se consultara la información e investigaciones realizadas por las diferentes empresas proveedora de materiales e insumos para la elaboración de las mezclas tibias.
- Se investigara los diferentes procesos y métodos constructivos empleados a nivel internacional de mezclas tibias.
- Se consultaran los adelantos en esta materia a nivel local (Área Metropolitana del valle de Aburra), con el fin de evaluar el desarrollo que se tiene en la zona con respecto al tema y/o los adelantos que se han efectuado.
- Se realizara la recopilación de toda la información.
- Se organizara la información recopilada de acuerdo a su funcionalidad e importancia.

- Se hará un análisis de la información con el fin de unificar criterios y así complementarlos.
- Se establecerá la metodología en la implementación de mezclas tibias como etapa de un trabajo de investigación documental más no de experimentación, quedara una segunda etapa experimental donde se realizaran estudios por personas interesadas en el tema.

4. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describen los diferentes conceptos de una mezcla asfáltica tibia, fabricada con temperaturas bajas el cual ha inquietado a varios países en la experimentación y prueba de campo a corto plazo.

El descubrimiento de este producto busca transmitir su implementación a los demás países con el fin de mitigar el impacto ambiental global que ocasiona la elaboración de una mezcla asfáltica.

4.1 ANTECEDENTES

Durante años en la práctica de la construcción de carreteras, se ha buscado minimizado los impactos ambientales negativos, por medio de nuevos procesos y mejores desarrollos tecnológicos en la elaboración de mezclas asfálticas, buscando generar nuevas metodologías de construcción de vías y así garantizar la fabricación de mezclas asfálticas menos contaminantes.

Actualmente la industria de la construcción, se ha orientado en la reducción de las temperaturas en la producción y aplicación de las mezclas asfálticas. Normalmente la producción y aplicación de las mezclas asfálticas en caliente requiere que los materiales se calienten entre 135°C y 180°C.

El comienzo de los estudios experimentales de la aplicación de las mezclas asfálticas tibias corresponde a los realizados en los países de Europa como

Noruega, Alemania y Francia. Los resultados obtenidos de estas mezclas en laboratorio y a corto plazo en campo muestran que las mezclas tibias adquieren un comportamiento igual o superior al de las mezclas convencionales, por consiguiente, no se tienen resultados en campo a largo plazo debido a su reciente empleo. ¹

Basados en los antecedentes europeos, los Estados Unidos empezaron a utilizar estas tecnologías de mezclas tibias en las diferentes vías de los estados de este país. Así mismo en Argentina iniciaron con los trabajos desarrollados en laboratorios y en campo, con el fin de que este tipo de mezcla empiece a emplearse rápidamente en las distintas vías del país.

Las mezclas tibias son un conjunto de tecnologías desarrolladas en Europa durante el Tratado de Kyoto y la Comunidad Económica Europea como una respuesta para disminuir los gases del efecto invernadero mitigando estos problemas ambientales causados por la humanidad. ²

Ante esta innovación de pretender alcanzar los objetivos de reducción de las temperaturas significativas, se han realizado diferentes métodos para obtener mezclas asfálticas cumpliendo con estos objetivos, como se muestra en la Tabla N°4.1.

¹ AMESTOY ALONSO, José. El planeta tierra en peligro. Calentamiento global, cambio climático, solución. Alicante, España: Editorial Club Universitario. 2010.

² AMESTOY ALONSO, José. El planeta tierra en peligro. Calentamiento global, cambio climático, solución. Alicante, España: Editorial Club Universitario. 2010.

Tabla 4.1. Reducciones en las temperaturas para obtener mezclas asfálticas mediante diferentes métodos

PROCESO DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS	COMPAÑÍA	ADITIVOS	TEMPERATURA DE PRODUCCION (EN PLANTA) °C	REPORTE DE USO	APROXIMADO TOTAL TONELADAS PRODUCIDAS A LA FECHA
ADITIVOS – CERAS					
Sasobit (Fischer-Tropsch cera)	Sasol	Si, en alemania añadieron un promedio de 2.5	Variados, 120°C - 130°C	Alemania y otros países por todo el mundo	> 10 millones de toneladas portodo el mundo
Asfalto - B (Montan cera)	Romonta	Si, en alemania añadieron un promedio de 2.5% al peso	Variados, 115°C - 135°C	Alemania	Desconocido
Licomont BS 100 (aditivo) o sùbit (acido adiposo amidas)	Clariant	Si, alrededor de 3% del peso	Variados, 115°C - 135°C	Alemania	> 322.500 metros cuadrados desde 1994
3E LT or Ecoflex (propietario)	Colas	si 2% del peso	Variados, 115°C - 135°C	Francia	Desconocido
PROCESO ESPUMADO					
Aspha - min(zeolite)	Eurovia y MHI	Si, alrededor de 0.3% en peso total de la mezcla	Entre 110°C y 135°C	Alemania Francia y Estados unidos	Alrededor de 300.000 toneladas
ECOMAC mezcla fria antes de echarla	Screg	Si (tipo y calidad desconocida)	Situado alrededor de 45°C	Francia	Algunas pruebas
LEA, tambien EBE y EBT(espumoso de una porcion de fraccion agregada)	LEACO, Fairco, y EIFFAGE Travaux publics	Si, 0.2% en peso de archivador de capa y agente de adhesion	< 100°C	Francia, España, Italia y Estados unidos	> 100,000 toneladas

Continuación Tabla 4.1.

PROCESO DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS	COMPAÑÍA	ADITIVOS	TEMPERATURA DE PRODUCCION (EN PLANTA) °C	REPORTE DE USO	APROXIMADO TOTAL TONELADAS PRODUCIDAS A LA FECHA
LEAB(espuma directa con aditivo archivador)	BAM	Si, añadieron 0.1% en peso	90°C (194°F)	Países bajos	siete proyectos comerciales
PROCESO DE ESPUMA					
LT asfalto(asfalto espumoso con adiccion de Higroscopio) pasta de relleno para mantener funcionalidad	Nynas	Si, añadieron 0.5% - 1% de una pasta de relleno de Higroscopia	90°C	Países bajos e Italia	Desconocido
Mezclas tibias de asfalto espumoso		Inyeccion de agua alta presion	110 - 120°C	Francia, Noruega, tambien Canada, Italia, Luxemburgo, Países bajos, Suecia, Suiza y Reino unido	> 60000 toneladas
APARICION DE TECNOLOGIAS DE ESTADOS UNIDOS					
EVOTHERM (agregado caliente cubierto con emulsion)	Mead-Westvasco	SI	85 - 115°C	Francia tambien Canada, China, Surafrica y Estados unidos	> 17000 toneladas
Doble - barrel green	Astec	Inyeccion de agua a presion vaporizada	116-135°C	Estados unidos	>4000 toneladas
Advera (zeolite)	PQ corporation	Si alrededor de 0.25% de peso total de la mezcla	Variados 120 - 130°C	Estados unidos	> 10000 toneladas

Fuente: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2008

En la Tabla N° 4.1 podemos observar los métodos utilizados en diferentes países del mundo para alcanzar los mejores resultados en cuanto a mezclas asfálticas tibias.

Países como Alemania, Francia, Italia, Estados Unidos, China entre otros, muestran un gran interés en la producción de este tipo de mezclas asfálticas debido a que han comprobado los beneficios que pueden entregar al medio ambiente.

Las toneladas de producción realizadas en los diferentes países demuestran la aceptación e innovación que desean establecer para seguir impulsando este proceso de mezclas asfálticas tibias. Para el desarrollo de estos métodos hay diversas compañías que hacen investigaciones buscando llegar al punto óptimo mediante el uso de aditivos, obteniendo un mejor producto.

4.1.1 Mezclas asfálticas tibias. Las mezclas asfálticas tibias son fabricadas, colocadas y compactadas a temperaturas inferiores a las convencionales en un rango entre 100°C y 140°C.

La innovación de estas mezclas asfálticas en el escenario vial responde a la necesidad de disminuir los impactos ambientales y a la búsqueda de procesos de pavimentación eficientes desde todo punto de vista. En efecto, las mezclas tibias reducen notablemente la emisión de CO₂ en el proceso de producción con los beneficios que representa esta nueva tecnología.³

³ MUÑOZ TORRES, María Jesús y DE LA CUESTA GONZÁLEZ, Marta (Eds.). Dimensión medioambiental de la RSC. La Coruña, España: Netbiblo. 2010.

El concepto de mezcla tibia surgió en Europa, en busca de la necesidad de una mezcla bituminosa a baja temperatura que brindara una economía energética y tuviera el mismo comportamiento de las mezclas bituminosas en caliente.

4.1.2 Antecedentes cronológicos en el trabajo con Mezclas Tibias (WMA).

Los antecedentes cronológicos en el empleo de mezclas tibias se presentan en la Tabla N° 4.2.

Tabla 4.2. Antecedentes cronológicos de la producción de mezclas tibias WMA

AÑO	ANTECEDENTES
1995	En 1995, Shell y Kolo Viedekke, iniciaron un programa en conjunto, para el desarrollo de un producto, y del proceso para la fabricación de mezcla agregado - asfalto a temperaturas más bajas; obteniendo mejores propiedades o equivalentes condiciones de desempeño, con relación a las mezclas tradicionales en caliente.
1999-2001	Reportes iniciales de las tecnologías de la mezcla tibia en el Congreso Eurasphalt/Eurobitume, el Fórum Alemán de Bitumen, Conferencia sobre Pavimentos Asfálticos en Sudáfrica, principalmente.
2002	Recorrido de exploración a Dinamarca, Alemania y Noruega realizado por directores de NAPA para examinar las tecnologías de la mezcla asfáltica tibia (WMA), Aspha-min, la Espuma y el Sasobit. En la agenda de trabajo del grupo, se incluyeron reuniones con el Fórum Alemán de Bitumen, con el objetivo de considerar algunas actividades del grupo de Trabajo sobre Reducción de Temperatura.
2003	Los estudios sobre mezclas tibias, son presentados en la Convención Anual de la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico NAPA.
2003	El Centro Nacional para la Tecnología en Asfalto, investiga sobre los procesos de las mezclas tibias, Alpha-min (zeolite cristalino) y Sasobit (una cera de Fsher-Tropsch). La investigación es patrocinada por NAPA, Administración Federal de Carreteras FHWA, Eurovia (Aspha-min) y Sasol (Sasobit).
2004	Meadwestva company, introduce Evothem DAT (aditivo químico) a la mezcla, al tiempo que apoya la investigación de NCAT.

Continuación Tabla 4.2.

AÑO	ANTECEDENTES
2004	La demostración de mezclas tibias, es presentada en el Mundo del Asfalto.
2004	Las primeras pruebas de campo fueron realizadas en Florida y Carolina del Norte
2005	Formación del grupo de trabajo (TWG) de la mezcla Asfáltica Tibia de NAPA-FHWA. El objetivo principal del trabajo es la implementación adecuada a través de recolección de datos y análisis, de un método genérico de especificaciones técnicas en WMA.
2005	Declaración de investigación de problemas sometido a la consideración de la American Association of State Highway and Transportation Officials ,AASHTO.
2005	Se realizan pruebas de campo en Florida, Indiana, Maryland, New Hampshire, Ohio; y en Canadá.
2005	La NCAT, publica sus primeros reportes sobre Sasobit y Aspha-min.
2006	Durante la Conferencia de Pavimento Asfáltico en el Mundo del Asfalto, se presenta una sesión de medio día sobre mezclas tibias
2006	Grupo de Trabajo Técnico TWG, publica lineamientos sobre el funcionamiento y pruebas ambientales.
2006	Con base en la declaración de investigación de problemas, cuyo documento fue sometido en 2005 a evaluación por parte de la AASHTO, se define como de alta prioridad la destinación de fondos de la investigación en WMA.
2006	El TWG, somete dos declaraciones más de investigación, a consideración por parte de la AASHTO.
2006	Se realizan pruebas de campo en: California, con la mezcla de hule asfáltico; Michigan, Missouri, sobre la nueva aplicación para evitar baches causados por temperatura en la carretera; Nueva York, donde se probó el nuevo proceso de Asfalto de bajo consumo de energía; Ohio, donde se realizó una exhibición abierta al público con 225 asistentes; Carolina del Sur, Texas, Virginia y Wisconsin, también se realizaron exhibiciones abiertas al público.
2006	Un contratista de Missouri, realiza trabajos de producción de pavimento con mezcla en tibio partiendo de una prueba exitosa.
2006	NCAT publica un reporte sobre el Evotherm.
2006	Para la realización de la Conferencia Anual de NAPA, fueron requeridas numerosas presentaciones
2007	AASHTO y FHWA, realiza visitas guiadas a experiencias en WMA, en Francia, Alemania y Noruega.

Continuación Tabla 4.2.

AÑO	ANTECEDENTES
2007	La sesión de trabajo de 2007, del Grupo en Investigación de Transporte TRB, tuvo como único tema WMA
2007	Astec Industries introduce su tecnología de asfalto espumado.
2007	Meadwestva company, presenta el sistema de introducción de la Tecnología del Asfalto Dispersado (DAT) para el Evotherm.
2007	Se desarrolla, Advera WMA, un producto a partir de Zeolite, introducido por PQ Corporation.
2007	Demostración en calle de San Antonio en la Reunión Anual de la APWA.
2007	30.000 toneladas de diferentes tecnologías de WMA, son colocadas cerca de Yellowstone, para el mes de Agosto.
	En las pruebas realizadas en la Yellowstone, se utilizaron 9,000 toneladas métricas de asfalto, en cada una de las tres secciones (Sección de Control, Sección Sasobit y Sección de Advere WMA). Durante el proceso de acarreo, las mezclas fueron conducidas cerca de 90 minutos desde una planta portátil en Cody, Wyo.
	Aunque fue difícil la logística, las cuadrillas de pavimentación lograron buenas densidades: el promedio de Advere WMA-93.9% de densidad teórica máxima; el promedio de Sasobit – 93.4%. Neitke, quien estuvo a cargo del proyecto, declaró que: —La densidad no fue difícil de alcanzar, aun cuando las temperaturas de la mezcla bajan□, ante lo cual, —Parecía un tanto difícil mantener bajas las temperaturas de la mezcla; las temperaturas de producción tenían una tendencia a brincar de 120 a 127°C. Las pruebas mostraron que los agregados se secaron adecuadamente aun con las temperaturas bajas. Los contenidos de humedad estaban abajo del máximo de 0.5% tanto para las mezclas en tibio como para la mezcla de control□.
2007	Son realizadas numerosas pruebas de campo, en California, Illinois, Nueva Jersey, Nueva York, Carolina del Norte, Ohio, Carolina del Sur, Tennessee, Texas, Virginia, Wisconsin, Wyoming y otros estados; y en Ontario.

Fuente: Revista HMAT, 2008.

4.2 COMPARACIÓN ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (MAT) Y MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)

Según estudios recientes realizados en Estados Unidos y algunos países de Europa, fue posible determinar:

- Reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en comparación con mezclas asfálticas calientes.
- Reducción las temperaturas de colocación y compactación en comparación con las temperaturas convencionales.
- Se obtienen resistencias al daño por humedad a la tensión diametral similares.
- Presenta una mayor resistencia al fisura miento por temperatura que las MAC.
- Mayor flexibilidad en la colocación y compactación de la MAT.
- Menores velocidades de enfriamiento, lo que permite distancias más largas de transporte.
- Las MAT pueden colocarse en climas fríos o en las noches donde baja más la temperatura del ambiente.

4.2.1 Beneficios de la aplicación de mezclas asfálticas tibias. La reducción de las temperaturas en las mezclas asfálticas, brindan enormes beneficios:

- Reducción en el uso de combustibles para la producción de mezclas asfálticas.

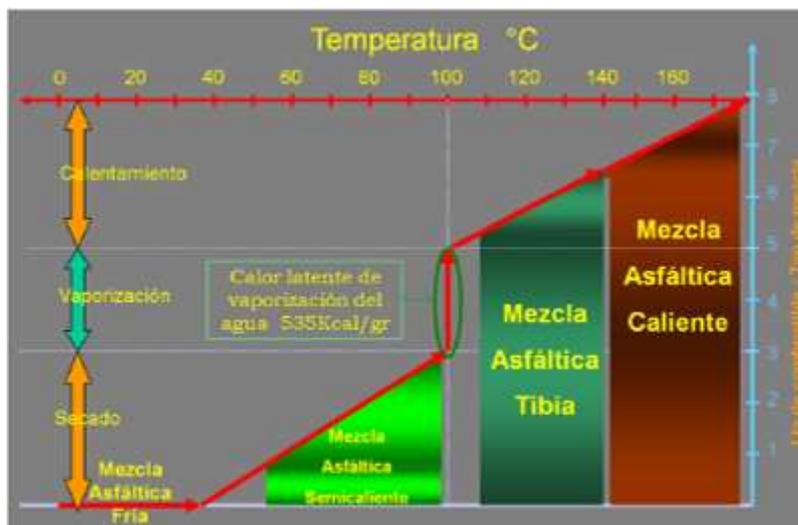
- Facilidad en la compactación de pavimentos asfálticos.
- Incremento en el uso de pavimentos reciclados (RAP) dentro de las mezclas.
- Mejor ambiente de trabajo para los operarios en sitio.
- Reducción o eliminación de gases y olores.
- Eliminación del envejecimiento prematuro del ligante asfáltico.
- Permite una apertura más rápida al tránsito

4.3 MÉTODOS PARA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

Las tecnologías para producir mezclas asfálticas se pueden clasificar de varias maneras. En este caso nos centraremos en la producción por temperatura. La Figura 4.1, muestra una clasificación de producción de mezclas asfálticas por gradiente calorífico y van desde frío hasta caliente. La gama de temperaturas es amplia y van desde 0°C a 30°C es decir temperatura ambiente hasta lograr los 180°C .en producción. ⁴

⁴ CERVARICH, M. Foaming the Asphalt: New Warm-Mix Technique Challenges Conventional Wisdom. En: Revista Hot Mix Asphalt Technology. V. 12, No. 4. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association. Julio/Agosto 2007.

Figura 4.1. Rangos de temperatura para producción de mezclas asfálticas



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

A continuación se muestra la clasificación de las mezclas asfálticas por rangos de temperatura como se puede ver en la Tabla N° 4.3.

Tabla 4.3. Clasificación de las mezclas asfálticas por temperatura

Nombre de la Mezcla	Temperatura	Objetivo	Logro
Mezclas en Frío	De 25°C a 60°C	Permitir la incorporación en la mezcla de una alta proporción, de material reciclado.	Las mezclas en Frío con emulsiones asfálticas donde los agregados se revisten a temperaturas bajas en una emulsión de asfalto en agua, pueden utilizarse como capas intermedias, capas de refuerzo e incluso, capas de rodadura.

Continuación Tabla 4.3.

Nombre de la Mezcla	Temperatura	Objetivo	Logro
Mezclas Semitempladas	60°C a 100°C	Maximizar los ahorros energéticos y las emisiones aprovechando parte de la humedad presente en los agregados.	Se están desarrollando varios productos y procesos para producir mezclas semitempladas, a partir de emulsiones en planta, que resulten convencionales a los procesos de mezcla en caliente. Aunque los procesos más ambiciosos de reducción de temperatura hacen uso de las propiedades de espumado del asfalto, cuando entra en contacto con el aire y la humedad bajo presión; así, a medida que se expande el volumen del asfalto, su viscosidad disminuye y se hace posible el revestimiento completo de los agregados. (Hassan, 2009)
Mezclas Tibias WMA	100°C a 135°	Reducir los requerimientos térmicos de las mezclas en caliente	Se mantienen o mejoran las características de rendimiento final de la mezcla asfáltica, para ello se requiere una tecnología para reducir la viscosidad del ligante durante las fases de mezcla y tendido, sin tener un efecto negativo a las temperaturas de uso. (Transportation Research Board of the National Academies, 2009)

Continuación Tabla 4.3.

Nombre de la Mezcla	Temperatura	Objetivo	Logro
Mezclas en caliente	135°C a 180°	Producción de mezcla asfáltica convencionalmente	Son mezclas producidas por técnicas convencionales donde la temperatura de producción es elevada. Estas mezclas son de alto desempeño.

Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

En la Tabla N° 4.3, se indican los nombres de las mezclas asfálticas de acuerdo a su temperatura gradualmente, tienen un nivel ascendente de la siguiente manera: mezcla asfáltica en frío, semitempladas, tibias y en caliente. El proceso de fabricación y aplicación de cada una de estas mezclas tienen un procedimiento particular y algunas con un comportamiento a largo y otras a corto plazo.

4.3.1 Sistemas mediante el uso de aditivos. Este sistema se explica en el siguiente procedimiento:

- Principio
 - Adicionar al ligante un modificador de la viscosidad, frecuentemente se utilizan ceras.
 - Se debe agregar en la planta de mezcla o directamente al ligante (esta es la mejor solución), debido a la homogeneidad que se requiere de mezclado entre el asfalto y el aditivo.

- Resultados
 - Fácil de utilizar, no es necesario inversiones ni modificación de la planta.
 - Temperatura de mezcla de 130-140°C.

- Reducción de la temperatura limitada.
- Se mejora la trabajabilidad en la mezcla.
- Puede mejorar la resistencia al ahuellamiento.

A continuación se muestra la apariencia de un aditivo granulado como puede apreciarse en la Figura 4.2.

Figura 4.2. Apariencia del aditivo granulado, Sasobit.



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

4.3.2 Sistemas a base de espuma (1/3) – Zeolita. Se explica en el siguiente procedimiento:

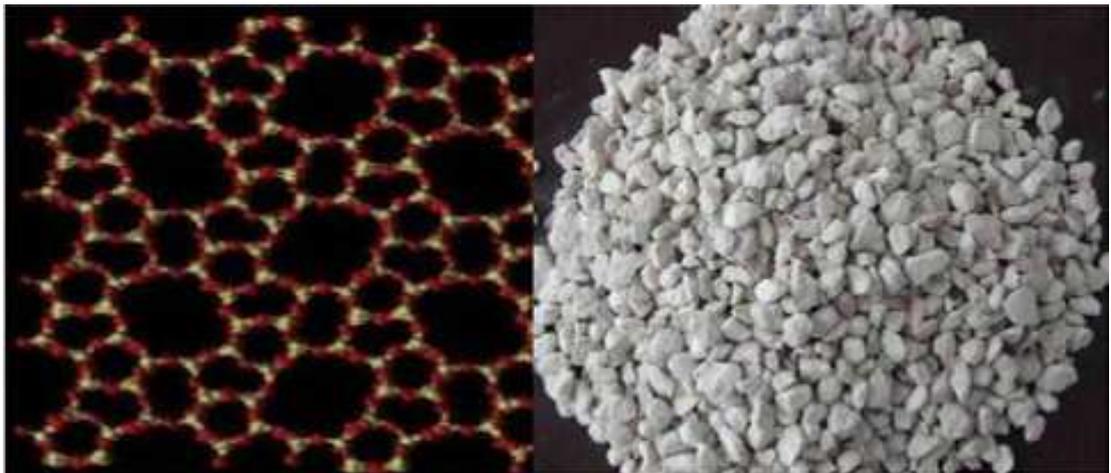
- Principio
 - Añadido a los agregados a 130°C.
 - El agua se agrega en forma de vapor.
 - El betún se espuma incrementando su volumen.

- Aluminosilicatos sintéticos húmedos
 - Red de silicatos con grandes espacios vacíos.
 - Agua encapsulada, alrededor del 20% de agua cristalizada.

- Resultados
 - Uso de un alimentador adicional en la planta de mezcla.
 - Temperatura de mezcla alrededor de 130°C.

En la Figura 4.3, muestra a continuación la estructura de un sistema a base de espuma – Zeolita.

Figura 4.3. Estructura de la zeolita, bajo microscopio



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

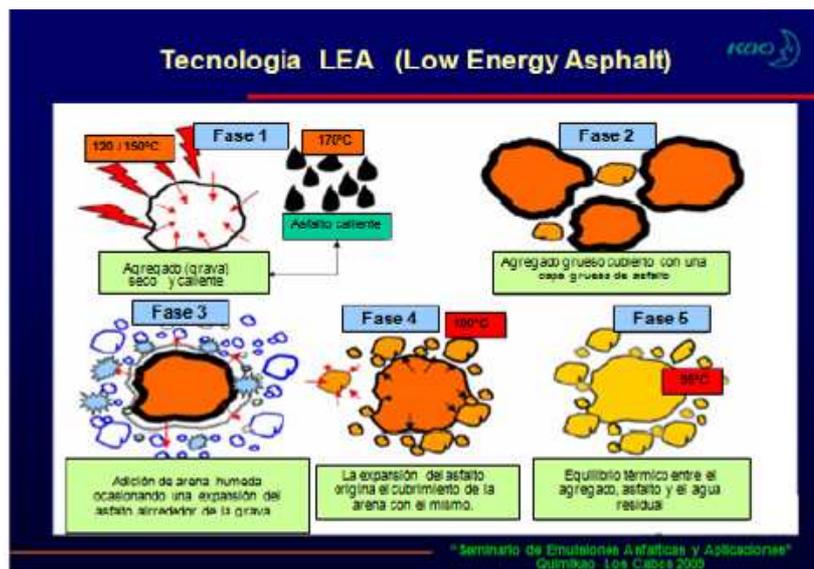
4.3.3 Sistemas a base de espuma (2/3) – LEA. El sistema se explica en el siguiente procedimiento:

- Principio
 - Uso de arena húmeda a temperatura ambiente.

- Un aditivo en el ligante.
- Agua lanzada como espuma de betún.
- Resultados
 - Necesidad de un control preciso del contenido de agua.
 - Introducción de los agregados en 2 etapas.
 - Temperatura de mezcla sobre 100°C.

En la Figura 4.4, se muestra las diferentes fases para producir mezcla tibia mediante la tecnología LEA (“Low Energy Asphalt”).

Figura 4.4. Fases para producir mezcla tibia tecnología LEA.



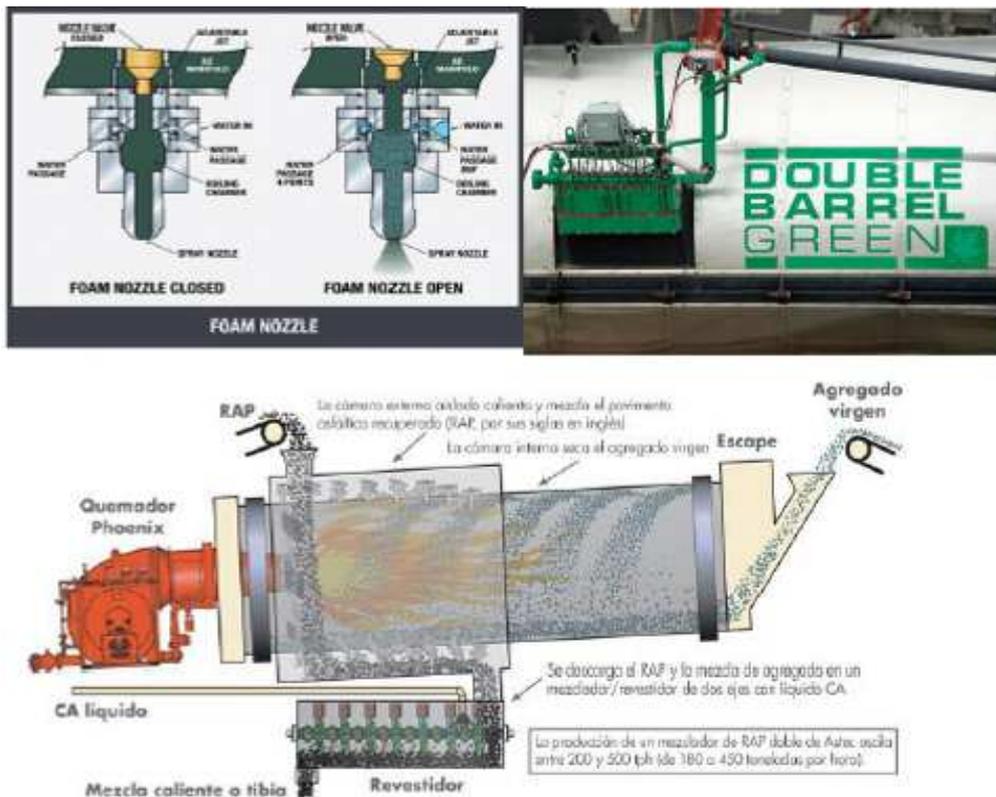
Fuente: Seminario de emulsiones asfálticas y aplicaciones, Quimikao Los Cabos, 2009.

4.3.4 Sistemas a base de espuma (3/3). Planta de Doble Tambor. Se expone en el siguiente procedimiento

- Principio
 - El betún es introducido directamente como espuma en el tambor de Mezcla
 - El incremento del volumen del betún asegura la envuelta de los agregados
- Resultados
 - Planta de mezcla especial con doble barril y unidad de espuma
 - Reducción de la temperatura de 10°C a 30°C.

El sistema de inyección del asfalto en forma de espuma se puede apreciar como lo ilustra la Figura 4.5.

Figura 4.5. Sistema de inyección del asfalto en forma de espuma

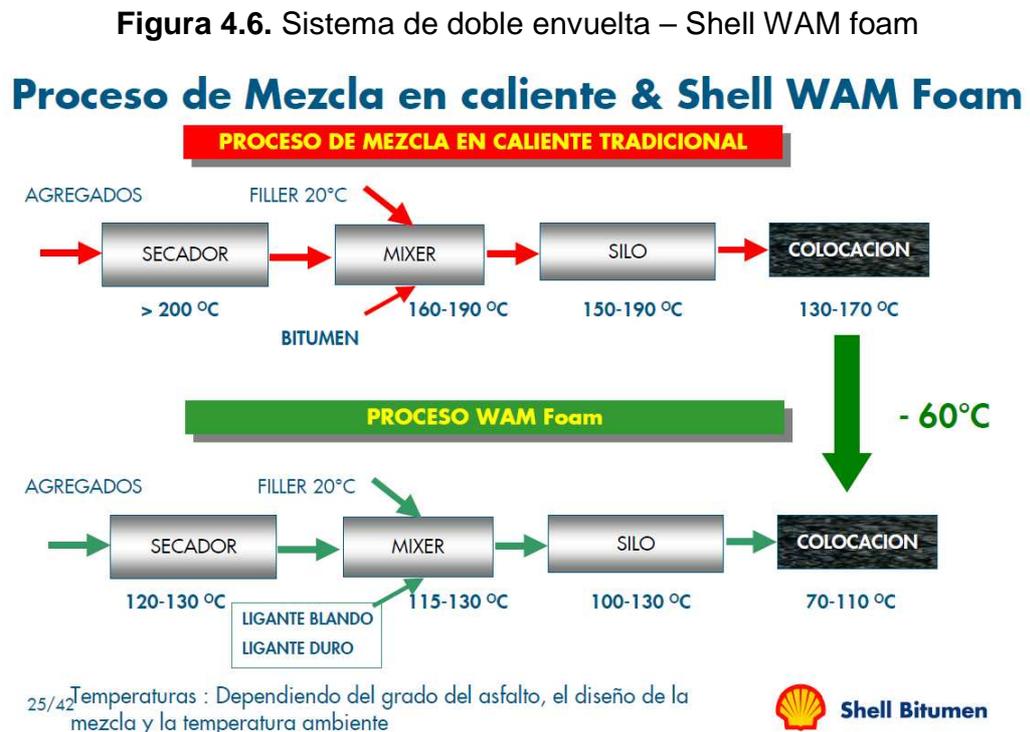


Fuente: Boletín técnico Programa de Infraestructura del Transporte, Abril 2011.

4.3.5 Sistema de doble envuelta – Shell WAM foam. Fue desarrollado en 1997 y lo explica en el siguiente procedimiento:

- Principio
 - Un betún blando con una viscosidad baja para en primer lugar, envolver los agregados,
 - Y un betún duro en forma de espuma para recubrir la parte superficial
- Resultados
 - Reducción de temperatura de hasta de 60°C
 - Similar desempeño que una mezcla asfáltica en caliente.

En la Figura 4.6, muestra de forma ilustrada el sistema de doble envuelta.



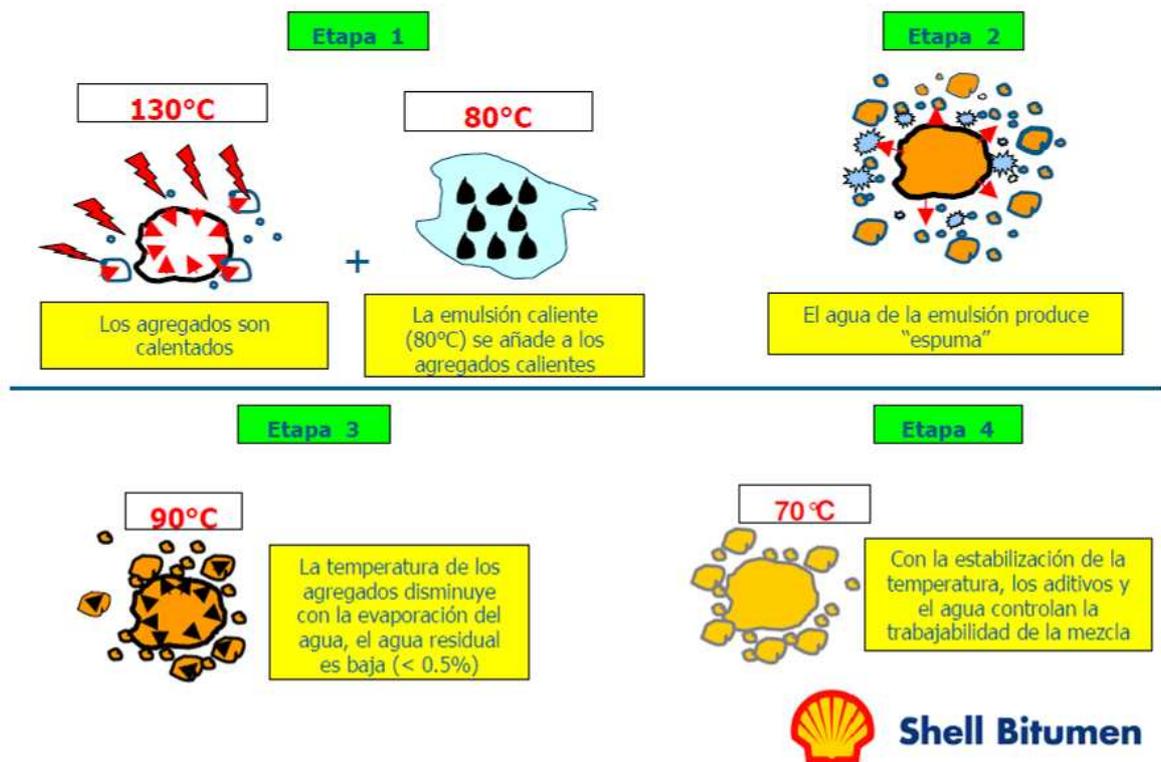
Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

4.3.6 Sistema basado en emulsión. En el siguiente procedimiento se puede apreciar el inicio y fin del sistema.

- Principio
 - Emulsión con un emulsificante especial
- Resultados
 - Reducción de la Temperatura de 50 a 75°C

Las etapas para producir mezcla asfáltica tibia a base de emulsión, el sistema se aprecia como lo ilustra la Figura 4.7.

Figura 4.7. Etapas para producir mezcla tibia basada en emulsión



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

5. EXPERIENCIAS REALIZADAS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN OTROS PAISES

Las mezclas asfálticas en caliente elaboradas y colocadas a menores temperaturas coloquialmente denominadas tibias (*Warm Mix Asphalt*) son la nueva tendencia en la pavimentación eco eficiente de hoy día en Europa y en EEUU. Las mismas permiten una reducción significativa de las temperaturas de producción y colocación de mezclas asfálticas, reduciendo así costos de energía y emisiones a la atmósfera.

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se han llevado a cabo las primeras experiencias en sur américa de aplicación de WMA mediante el empleo de aditivos incorporados al asfalto que permiten compactar las mezclas a temperaturas menores que las mezclas convencionales, tanto para asfaltos de destilación directa como asfaltos modificados con polímeros elastoméricos.

Las mezclas asfálticas elaboradas y colocadas en caliente se trabajan a temperaturas elevadas en torno a los 155°C –asfaltos convencionales- y 180°C – asfaltos modificados con polímeros- lo que consume una importante cantidad de energía, producen emisiones que aunque menores siempre tienen su impacto ambiental, y tienen un tiempo disponible de compactación limitado. Las mezclas en caliente requieren elevar la temperatura en función de las características viscosas del asfalto a fin de poder lograr una buena envuelta de las partículas minerales y lograra que este fluya para garantizar en el proceso de compactación la acomodación adecuada de las partículas dentro de la mezcla, luego si se logra

reducir la viscosidad del asfalto a temperaturas mas bajas que las empleadas, se pueden reducir las temperaturas de fabricación.⁵

Entre las ventajas técnicas del uso de menores temperaturas se pueden mencionar: menor esfuerzo de compactación, mayor ventana de trabajo aún fuera de estación climática, mayor tiempo de almacenaje y transporte, reducción del fenómeno de segregación térmica, menores riesgos para los trabajadores, menor desgaste de partes en la planta, menor envejecimiento del asfalto, mayor trabajabilidad de la mezcla, mayor uso de RAP en la mezcla, reducida velocidad de enfriamiento, permite también acelerar la habilitación al tránsito del tramo, cuestión que es sin duda una ventaja especialmente en el ámbito urbano no sólo en las operaciones de repavimentación sino también en las de bacheo.

No todas son ventajas, el costo de una mezcla tibia a lo largo del ciclo de vida de la misma debe ser menor o igual que una mezcla convencional, sino no tendrá sentido su uso. El secado de los agregados puede limitar el uso de menores temperaturas bajo ciertas circunstancias.

Para reducir las temperaturas necesarias en los procesos de elaboración y compactación existen hoy diversas técnicas disponibles a través de aditivos orgánicos, de agentes que aportan agua, de sistemas emulsificados, o bien por medio de procesos que incorporan asfalto espumado en planta. También se los distingue como procesos en base acuosa o sin base acuosa. Existen técnicas que permiten reducir ambas temperaturas de elaboración y compactación o bien mejorar solamente la compactación sin una notable reducción de la temperatura de elaboración.

⁵ BOLZA, Pablo E. Soluciones en Ingeniería de Pavimentos. XXXVI Reunión del Asfalto "Bicentenario de los Andes". Buenos Aires. 2010. *ibíd.*, p. 29-30-31-35-43-52

Cualquiera sea el sistema empleado las condiciones que deben cumplir son: que no afecte adversamente al ligante asfáltico, y que permita obtener una mezcla asfáltica de similares o superiores propiedades que una convencional.

Simultáneamente debe permitir un buen recubrimiento de partículas minerales por medio del asfalto a menores temperaturas que las convencionales.

Al trabajar a menores temperaturas surgen dos cuestiones importantes: qué pasa con la resistencia inicial al ahuellamiento de la mezcla, y a la susceptibilidad al agua de la misma por posible exceso de humedad residual en la mezcla. Es lógico que exista un incremento del módulo del asfalto al trabajarse a menor temperatura y esto podría ocasionar un ahuellamiento prematuro bajo ciertas condiciones de clima y tránsito. Por otro lado, si los áridos se calientan a menor temperatura podría quedar humedad residual sin evaporar en los mismos dependiendo de su contenido natural de humedad y ello inducir a problemas de adherencia en servicio. Ambas situaciones deben ser debidamente mitigadas en la etapa de diseño y ejecución.

Se realizaron pruebas de laboratorio y en campo siguiendo un protocolo especialmente diseñado para la experiencia incluyendo estudio de antecedentes, análisis de materiales, diseño de mezclas, mediciones de emisiones en planta, ensayos sobre las mezclas producidas y pruebas de compactación en vías urbanas. La tecnología empleada en esta oportunidad incluye el uso de un ligante asfáltico aditivado con un tipo de cera sintética producto del proceso conocido como *Fischer-Tropsch* que reduce la viscosidad del asfalto por encima del punto de fusión de la cera. El producto tiene una temperatura de fusión entre 90 y 114 C y es completamente soluble en el asfalto a temperaturas mayores de 120 C, a temperaturas inferiores a su punto de fusión dicha cera forma una estructura cristalina en forma de red en el ligante que incrementa su *stiffness*. Esta doble

ventaja de mejorar la trabajabilidad de la mezcla y su módulo elástico en servicio resulta muy atractiva para la industria.

La experiencia realizada incluyó dos tipos de ligantes asfálticos –CA30 y AM3- con y sin aditivo reductor de viscosidad con los que se prepararon mezclas densamente graduadas con un único tipo de agregado granítico de trituración a fin de tener tramos de control y tramos de producto modificado en el ámbito urbano de la Capital. El objetivo principal de la experiencia es poder obtener un producto de características similares a los convencionales pero con la gran ventaja de su producción y colocación a menor temperatura.

Desde el punto de vista del medio ambiente la tecnología WMA es significativamente más amigable con el medio ambiente en términos de emisiones de CO₂, NO_x, polvos y aerosol orgánico. Los aerosoles orgánicos expresados en fracción soluble en benceno emitidos con técnicas de asfalto tibio están en el rango inferior comúnmente encontrados en la colocación de mezclas asfálticas en caliente de acuerdo con la bibliografía consultada. Otro punto importante en el trabajo con mezclas tibias es la menor exposición de emisiones a los trabajadores del sector, tanto en planta como en el camino, y la reducción del uso de energía de calentamiento.

Se realizaron cuatro tramos de prueba conteniendo sectores denominados de control con mezclas asfálticas convencionales y dos con el denominado asfalto tibio de manera de poder realizar comparaciones válidas empleando los mismos equipos y personal en todos los casos. Simultáneamente se realizaron ensayos de laboratorios previos y posteriores a la ejecución de los tramos de forma de poder analizar las propiedades de las mezclas diseñadas. Entre ellas se estudian: deformaciones permanentes, resistencia a la acción del agua, módulo dinámico, y medición de emisiones. La idea es central de la presente experiencia es observar la factibilidad de emplear mezclas asfálticas que puedan fabricarse y colocarse a

menores temperaturas que las normalmente utilizadas y obtener similares o mejores resultados.

Se considera necesario poder reducir al menos unos 20-25 C la temperatura de fabricación y compactación en primera instancia para luego proceder a extender la brecha en la medida de lo posible.

5.1 PROTOCOLO DE ENSAYOS

Para una mejor realización de las experiencias se procedió a confeccionar un protocolo de ensayos y procedimientos para la prueba del producto desde el inicio de las mismas hasta la obtención del producto final y su comparación con los productos convencionales. En el Protocolo de la prueba con mezcla asfáltica tibia se explica el procedimiento de ensayos. Ver Anexo A.

5.2 ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO

Tal como se prescribe en el protocolo antes señalado se realizaron una serie de ensayos de laboratorio tendientes al diseño de las mezclas y a la evaluación de las mismas mediante ensayos de comportamiento y otros. Los diseños de las mezclas empleadas fueron realizados con el tradicional método Marshall dado que es el método establecido y autorizado en el país. Adicionalmente se efectuaron ensayos de luego también se realizaron ensayos de módulo elástico a distintas temperaturas, de resistencia al agua, y de WTT quedando pendientes ensayos de fatiga y de Creep. Sobre los asfaltos recuperados se realizaron ensayos reológicos.

5.2.1 Medición de emisiones contaminantes. Como parte del proyecto se realizaron mediciones en planta y en sitio de contaminantes como Dióxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Dióxido de Azufre.

Los compuestos volátiles VOC fueron medidos en el lugar de trabajo. Los resultados han mostrado reducción solamente en el dióxido de carbono entre el 12 y 40%, el SO₂ tuvo concentraciones por debajo de valores medibles, todos los resultados de emisiones fueron por debajo de los límites establecidos por el Decreto 3395/96.

Durante la jornada de trabajo correspondiente a la construcción de los tramos experimentales con asfalto convencional (del tipo AC-30) y convencional tibio se efectuaron mediciones de VOC's en las áreas cercanas a la cola de la terminadora. Las mediciones se llevaron adelante con un equipo portátil marca ION Science modelo PHOCHECK+ tomando como referencia lo establecido en la Resolución General 295/03. El equipo posee un rango de detección que va desde 1 ppb to 10,000 ppm.

Las mediciones realizadas se correspondieron con temperaturas medias de las mezclas asfálticas de 145 °C para el asfalto convencional y 120 °C para el asfalto convencional tibio.

Mezcla CACD20-CA30: 56 ppm.

Mezcla CACD20-CA30 tibio: 34 ppm.

5.3 APLICACIONES EN CALLES DE CIUDAD

Se realizaron experiencias en dos arterias de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la Avenida Chiclana en el barrio de Boedo y la calle Agaces en el barrio de Parque Patricios donde se realizaron aplicaciones de mezclas CACD20- CA30 y CACD20-AM3 con y sin aditivo reductor de viscosidad. En todos los casos se aplicaron capas de 5 cm de espesor de cada mezcla elaborada previo fresado de la superficie existente consistente en carpetas asfálticas envejecidas.

5.3.1 Producción en Planta. Se trabajó en una planta fija con una capacidad de producción de 140 tn/h ubicada en la localidad de Petión, Autopista Ezeiza-Cañuelas km 55 propiedad de la firma Ingevia S.A contratista de la Ciudad de Buenos Aires. Los asfaltos aditivados fueron provistos por la refinería YPF y descargados en tanques de almacenamiento en planta con los mismos cuidados y técnicas que para los asfaltos sin aditivos.

Se realizaron cuatro tramos experimentales según el siguiente esquema entre Agosto y Septiembre de 2010:

Tabla 5.2. Rangos de Temperaturas Empleados

Ubicación	Tipo de Mezcla	Rango de Temperaturas de Elaboración
Avenida Chiclana	CACD20-AM3	160-180 C
	CACD20-AM3 t	140-155 C
Calle Agaces	CACD20-CA30	156-165 C
	CACD20-CA30 t	115-135 C

5.4 MEZCLAS ASFÁLTICAS ESTUDIADAS

Para el presente estudio se trabajó con un tipo de mezcla asfáltica en caliente densamente graduada de las empleadas en el ámbito urbano y designada como CACD20-CA30 y CACD20-AM3, donde empleando la misma estructura granular se investigaron dos tipos diferentes de ligantes y la modificación de los mismos por incorporación de un aditivo comercialmente denominado Sadobit mezclado en refinería por YPF al 1,5% en peso del ligante. Este aditivo es un hidrocarburo alifático de cadena larga -40 a 115 átomos de carbono- obtenido de la gasificación del carbón por medio del proceso *Fischer-Tropsch*. La cera se funde en el ligante asfáltico a temperaturas entre 85 y 115 C en forma homogénea y causando una marcada disminución de la viscosidad del ligante que según reportes está entre 30 y 50 C. Luego del enfriamiento del ligante la cera recristaliza incrementando el módulo complejo del mismo.

Las mezclas fueron compuestas por tres fracciones de agregado granítico de trituración, 1% de cal hidratada como filler comercial de adición y 4,9% AM3 de ligante asfáltico en peso del total de la mezcla y 5,0% en CA30.

Volumétricamente tiene un 11 a 12% de ligante, 4% de vacíos de aire, 15 % de VAM y 75 % de RBV. Granulométricamente tiene 100% pasa 19 mm, 56% PT 4, 37% PT8 y 6% PT 200.

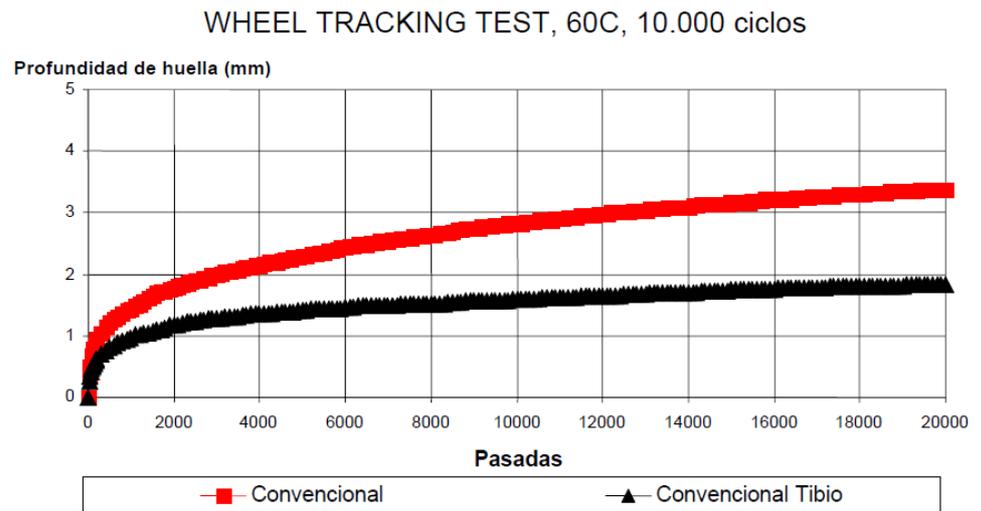
5.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Dentro de los resultados obtenidos se describen los ensayos de laboratorio de las mezclas y asfaltos utilizados.

- Ensayos de simulación de ahuellamiento en laboratorio.

Los ensayos se realizaron según norma EN 12697-22, procedimiento B, la compactación de las probetas se realizaron con el método de compactación indicado en EN 12697-32 – modo vibratorio- con el *roller compactor*. En el caso de la mezcla CACD20-CA30 a 145 C – temperatura de diseño Marshall empleada también en las probetas y remoldeos - y para la CACD20-CA30 tibio a 125 C, temperatura adoptada para la formulación empleada con Sasobit al 1,5%. Los ensayos se efectuaron a 60 C, como lo ilustra la Figura 5.1.

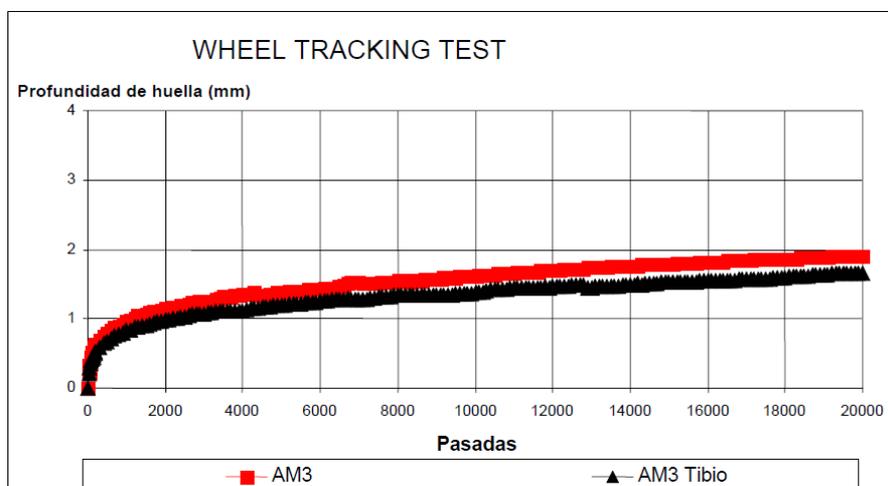
Figura 5.1. Ensayo de ahuellamiento simulado WTT, mezclas con CA30



Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

En la Figura 5.2. Para las mezclas modificadas con polímeros elastoméricos CACD20-AM3 fueron compactadas con el mismo sistema a 165 C y para las mezclas tibias a 145 C.

Figura 5.2. Ensayo de ahuellamiento simulado WTT, mezclas con AM3



Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

5.5.1 Módulo elástico de las mezclas. La medición del módulo elástico se llevó a cabo bajo norma EN 12697-26, *Annex C Indirect Tension Test on Cylindrical Specimens*, a 20 C y 124 ms para las muestras elaboradas en planta, y a tres temperaturas (10, 20 y 40 C) e igual tiempo de aplicación para las muestras extraídas durante la colocación de las mismas en las distintas arterias.

Las muestras extraídas en planta y compactadas en laboratorio dieron los siguientes resultados, promedio de doce mediciones correspondiente a cuatro muestreos, tres probetas Marshall de cada mezcla:

CACD20-AM3 tibio c/@ 145C: 6900 MPa @20C,124 ms

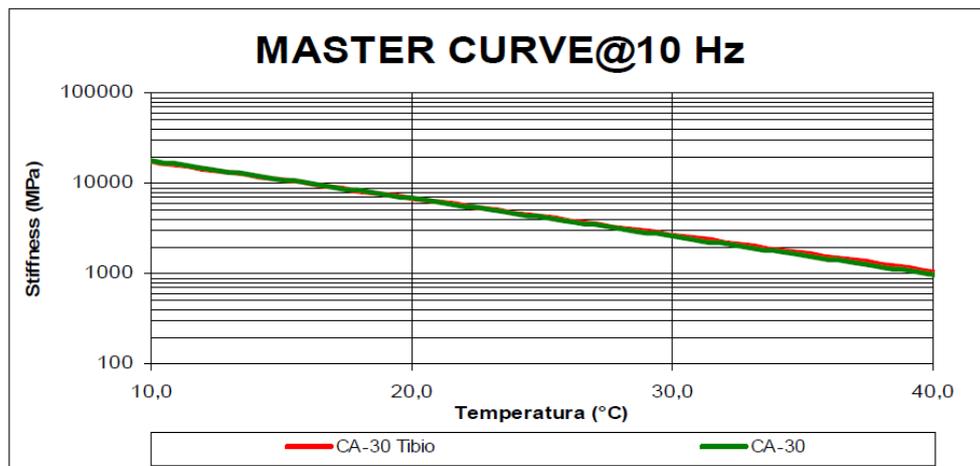
CACD20-AM3 c/@ 165C: 4393 MPa @20C,124 ms

CACD20-CA30 tibio c/@ 125 C: 5027 MPa @20C,124 ms

CACD20-CA30 c/@ 145 C: 5387 MPa @20C,124 ms

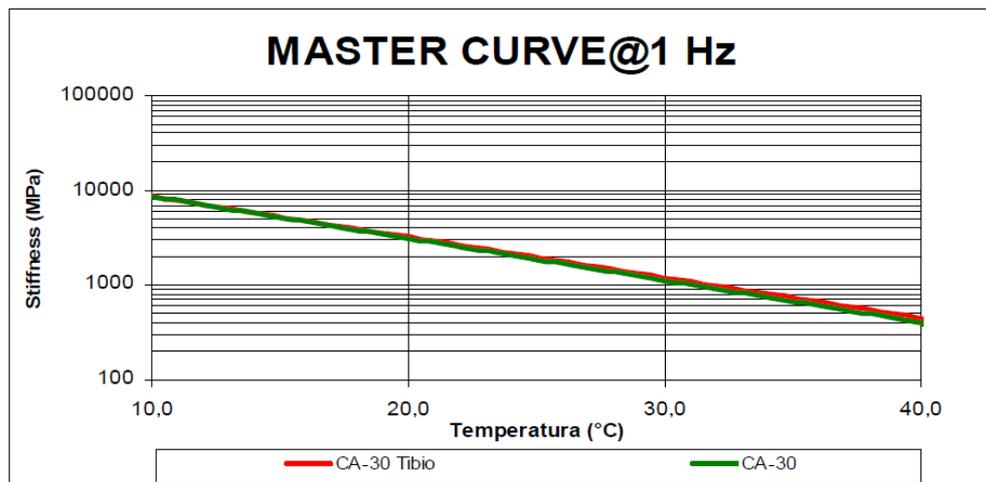
Las mezclas muestreadas durante la extensión a la salida de la plancha de colocación fueron ensayadas moldeando probetas Marshall 75gpc y temperatura correspondiente a cada mezcla, ensayadas a tres temperaturas y un tiempo de aplicación de carga. Se construyeron curvas maestras isócronas para frecuencias de referencia de 1Hz y 10Hz. Ver Figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6

Figura 5.3. Ensayo de Módulo, mezclas con CA30, 10 Hz



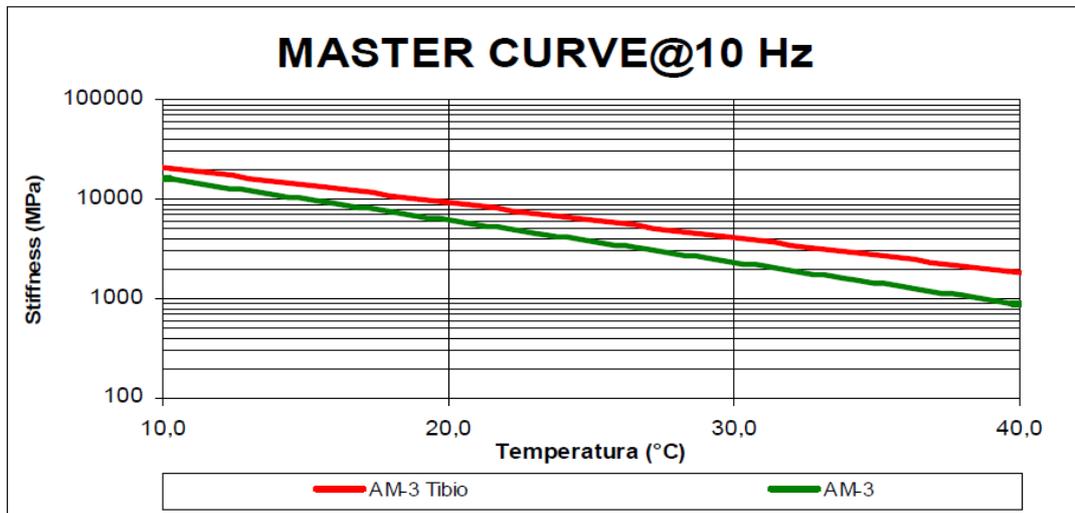
Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

Figura 5.4. Ensayo de Módulo, mezclas con CA30, 1 Hz



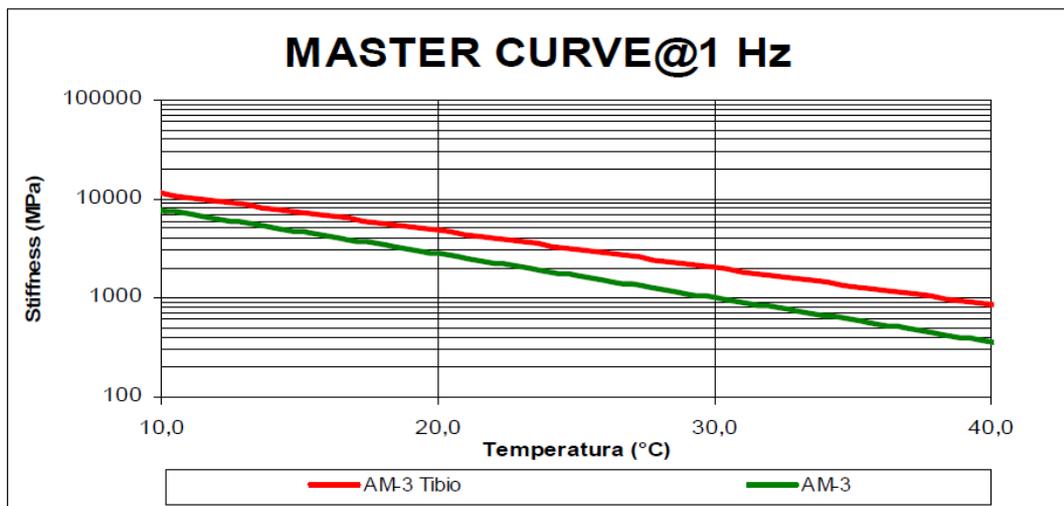
Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

Figura 5.5. Ensayo de Módulo, mezclas con AM3, 10 Hz



Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

Figura 5.6. Ensayo de Módulo, mezclas con AM3, 1 Hz



Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

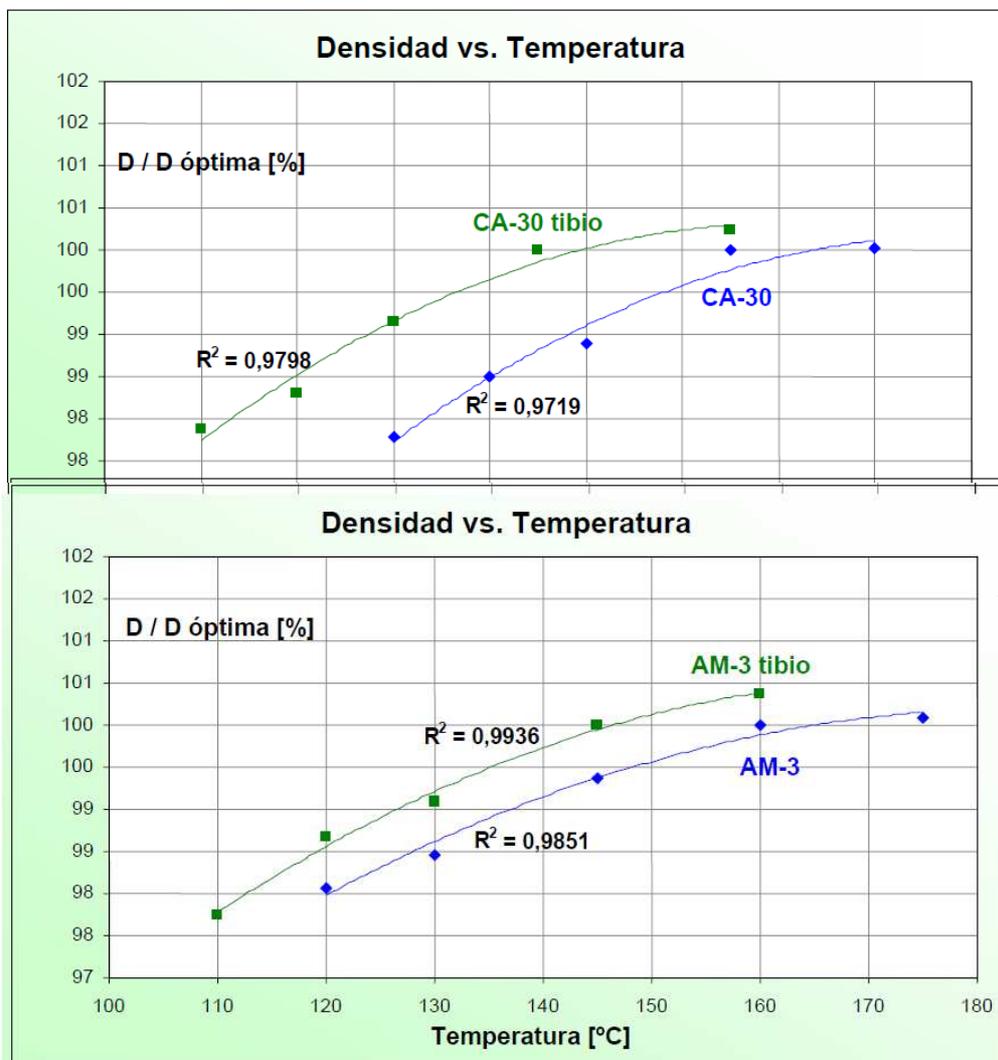
Los resultados obtenidos a través del limitado número de muestras permiten observar en primera instancia casi nula diferencia de módulos en las mezclas con asfaltos convencionales, y una diferencia marcada en los de las mezclas con polímeros.

Es decir, la adición del Sasobit a 1,5% en la mezcla con CA30 no acusa diferencia comparada con la mezcla convencional, mientras que en la mezcla con polímeros elastoméricos AM3 marca un incremento del módulo en las tres temperaturas ensayadas. Diferentes ligantes reaccionan diferentes a la cera incorporada.

5.5.2 Susceptibilidad a la Acción del Agua. Para evaluar la resistencia conservada de las mezclas convencionales y tibias se realizaron ensayos de *tracción indirecta por compresión diametrial* – ASTM D 4123 – tratando las probetas remoldeadas como lo muestra la Tabla 5.3 (método Marshall de muestras extraídas detrás de la plancha terminadora) en inmersión en agua a 60°C durante 24 hs, luego ensayadas a 25 C y 50 mm/min. Las probetas fueron compactadas con una energía determinada para obtener un porcentaje de vacíos de aire en torno al 7% de manera de facilitar el ingreso y la acción del agua en la mezcla. Tanto en las mezclas sin aditivar como las tibias con Sasobit al 1,5% los resultados fueron superiores al 80% de resistencia conservada sin mostrar diferencias significativas entre ligantes sin y con aditivo. Ver anexo B.

Por otro lado se representaron gráficamente los valores obtenidos para las distintas mezclas compactadas a diferentes temperaturas referenciándolas a la densidad a la temperatura de diseño según el tipo de mezcla, como lo muestra la Figura 5.7.

Figura 5.7. Gráfica densidad vs temperatura



Fuente: XXXVI Reunión del asfalto, Buenos Aires – Argentina. Noviembre 2010.

Las curvas muestran que para una dada temperatura de compactación se obtiene mayor densificación con el ligante modificado con la cera adicionada que con el ligante sin dicha adición. En otras palabras, se puede obtener el mismo porcentaje de densificación a menores temperaturas de compactación cuando se utiliza la cera empleada en la presente investigación.

5.5.3 Primeros estudios reológicos del asfalto recuperado en laboratorio.

Como primeras tareas de evaluación reológica de los ligantes recuperados de las distintas muestras ensayadas se realizaron mediciones de parámetros empíricos – penetración y punto de ablandamiento, recuperación elástica torsional- y parámetros fundamentales: viscosidad Brookfield, medición de módulo complejo en corte G^* y del ángulo de fase δ con *Dynamic Shear Rheometer*. Como primera medición las viscosidades se midieron a una sola temperatura – a 60 C para CA30 y CA30t (Tabla 5.4) y 170 C para AM3 y AM3t (Tabla 5.5) y el módulo a 60 C y 10 rad/segundo a fin de tener una rápida visión de posibles diferencias de comportamiento antes y después de envejecidos por los procesos de fabricación y puesta en obra. Los ligantes ensayados fueron recuperados por el proceso indicado en ASTM D 5404 utilizando el Evaporador Rotatorio y cloruro de metileno como solvente.

Tabla 5.4. Reología sobre asfaltos CA30 y CA30t

Asfalto Original	Método	CA30	CA30t
Penetración 25 °C, 100g, 5seg. , (0.1mm)	IRAM 6576	52	58
Punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	54	58
Viscosidad 60 °C, sp 29, 1 rpm, (dPa*seg)	IRAM 6837	3.080*	7.880*
Viscosidad 135 °C, sp 21, 20 rpm, (dPa*seg)	IRAM 6837	4,97*	3,47*
G^* @60°C (KPa)	ASTM D-7175	5,86	5,20
Ángulo de fase δ @ 60°C (°)	ASTM D-7175	87,0	83,5

Asfalto Recuperado	Método	CA30	CA30t
Viscosidad 60 °C, sp 29, 1 rpm, (dPa*seg)	IRAM 6837	7.760*	16.980*
G^* @60°C (KPa)	ASTM D-7175	10,50	13,90
Ángulo de fase δ @ 60°C (°)	ASTM D-7175	84,6	82,2

IE (viscosidades Brookfield @170 C): 2,50 para el CA30 y 2,15 para el CA30 t.

Diferencia de G^* = 1,73 para CA30 y 1,67 para CA30 t.

Tabla 5.5. Reología sobre asfaltos AM3 y AM3t

Asfalto Original	Método	AM3	AM3t
Penetración 25 °C, 100g, 5seg. , (0.1mm)	IRAM 6576	59	43
Punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	68	84
Recuperación elástica torsional (%)	IRAM 6830	83,3	80,1
Viscosidad 170 °C, sp 21, 50 rpm, (dPa*seg)	IRAM 6837	3,68*	3,36*
G^* @60°C (KPa)	ASTM D-7175	6,47	14,10
Ángulo de fase δ @ 60°C (°)	ASTM D-7175	64,4	63,3

Asfalto Recuperado	Método	AM3	AM3t
Viscosidad 170 °C, sp 21, 50 rpm, (dPa*seg)	IRAM 6837	4,71*	4,45*
G^* @60°C (KPa)	ASTM D-7175	10,00	23,60
Ángulo de fase δ @ 60°C (°)	ASTM D-7175	66,7	64,6

Como resultado entre ambas mezclas se tiene el siguiente Índice de envejecimiento por viscosidad, y la siguiente diferencia de módulo complejo:

IE (viscosidades Brookfield @170 C): 1,30 para el AM3 y 1,32 para el AM3 t.

Diferencia de G^* = 1,54 para AM3 y 1,67 para AM3 t.

Estos resultados preliminares indican un índice de envejecimiento puntual –un solo punto de medición - menor de tres veces en ambos casos, con menor incidencia en el ligante modificado, y un incremento del módulo complejo entre 2 y

3 veces para el asfalto convencional y 1,5 a 1,7 en el modificado con ligera superioridad en los ligantes con Sasobit.

Desde luego estas no son conclusiones, sino meras observaciones puntuales de un comportamiento que sólo quedará descrito cuando se realicen las curvas maestras para diferentes condiciones de temperatura y frecuencia. Por otro lado también es importante caracterizar el comportamiento de estos ligantes modificados con ceras que recristalizan a bajas temperaturas y dependiendo del tipo de ligante pueden modificar su comportamiento mejorando o no sus propiedades.

5.6 EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS DE TESTIGOS

La extracción de testigos se realizó siguiendo coordenadas aleatorias para cada estación de calado. La idea central es extraerlos dentro de la zona de mayor tránsito de cada cuadra o zona crítica que por lo general constituye un área rectangular de 6 metros de ancho por 100 metros de largo desechando las zonas próximas a bordes dado que las mismas suelen tener espesores y densidades irregulares por tratarse de una repavimentación urbana. El siguiente es un detalle resumen de cada tramo:

- **Calle Agaces entre Avenida Sáenz y Achala.**

Temperaturas en Planta: 158 a 164 C

Temperatura detrás de la terminadora: 145 C

CACD20-CA30: 19 mm 100%, 4,75 mm 57%, PT200: 6,1%

Densidad Marshall 75gpc a 145 C: 2,363

Temperaturas en Planta: 112 a 135 C

Temperatura detrás de la terminadora: 107 C

CACD20-CA30 tibio: 19 mm 100%, 4,75 mm 57%, PT200: 6,1%

Densidad Marshall 75gpc a 145 C: 2,375

CACD20-CA30: densidad media del 97%,

CACD20-CA30 tibio: 94%

En este tramo realizado con asfalto convencional se presentaron inconvenientes de aplicación propia de la pavimentación urbana que interfirieron en el control de la prueba. Hubo problemas de aplicación dado que en esta calle de adoquinado debe aplicarse primero una capa de arena-asfalto para nivelar la superficie previa a la aplicación de la capa de rodamiento. Por razones operativas ello no fue posible. Además se presentaron problemas de tiempos de aplicación dado que hubo una rotura mecánica del equipo de extensión que afectó las condiciones de colocación. Estas cuestiones ocurren en el ámbito urbano dado las condiciones de aplicación más críticas que en otros ámbitos. Dado que los resultados de laboratorio han sido satisfactorios es importante repetir la aplicación bajo condiciones controladas.

- **Avenida Chiclana entre Salcedo y 24 de Noviembre.**

Temp. en Planta: 165 a 185 C

Temp. detrás de la terminadora: 160 C

CACD20-AM3: 19 mm 100%, 4,75 mm 58%, PT200: 6,2%

Densidad Marshall 75gpc a 160 C: 2,389

Av Chiclana entre Salcedo y 24 de Noviembre

Temp. en Planta: 136 a 150 C

Temp. detrás de la terminadora: 138 C

CACD20-AM3 tibio: 19 mm 100%, 4,75 mm 58%, PT200: 6,2%

Densidad Marshall 75gpc a 160 C: 2,389

CACD20-AM3: 98 %,

CACD20-AM3 tibio: 98%

6. VENTAJAS PARA IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS EN LA CIUDAD DE MEDELLIN

Las ventajas que generan en la fabricación de una mezcla asfáltica tibia según los estudios realizados se explican a continuación:

6.1 COSTOS Y CONSUMO DE ENERGÍA

La reducción del costo de consumo de energía en la producción de mezclas asfálticas, es una ventaja significativa para la ciudad de Medellín para las empresas productoras y entidades públicas y privadas.

Durante la investigación del proyecto se realizó visita a la planta de producción de mezclas asfálticas de “Conasfaltos”, que producen mezclas por métodos convencionales.

Dentro de la experiencia que se tiene en esta empresa tras los años de trabajo se indago lo referente a consumos de producción para la elaboración de mezclas asfálticas de donde se obtuvo: El consumo de energía que requiere la planta para producir una tonelada de mezcla asfáltica es de 2.45 Kw/h. El valor de una tonelada producida de mezcla asfáltica en caliente es de alrededor 199.900 pesos, el cual el 18% de este precio aproximadamente es del consumo de energía de la planta de asfalto lo que equivale a 35.982 pesos de la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente.

Por lo anterior, es notable considerar que la economía de consumo de energía sería de gran ventaja para la ciudad de Medellín, si se logra concientizar lo importante que es implementar la fabricación y/o utilización de la mezcla asfáltica tibia en la ciudad.

Los estudios han demostrado que la reducción del consumo de energía es alrededor de 30% que se puede lograr con las temperaturas menores de producción en la planta de asfalto por la reducción en el consumo de energía disminuye el costo de la producción de la mezcla asfáltica y adicional puede haber también la reducción en los costos involucrados en el uso del proceso de mezcla tibia, es decir, para los aditivos y/o equipos de modificación.

La reducción de las temperaturas de producción es de gran beneficio el proceso de fabricación de las mezclas tibias, dando como resultado un menor desgaste de la planta de asfalto.

Dentro de la investigación realizada se inventariaron 8 plantas de asfalto estacionarias dentro del área metropolitana y se conoció de la existencia en algunos momentos de dos móviles, de tal forma que si se logran ahorros de energía en la fabricación de mezclas asfálticas del orden del 30% en cuanto a gasto energético y teniendo como referencia que por cada tonelada el ahorro equivale a 0.735 Kw/h, el ahorro en una hora de producción de todas las plantas corresponderá a 5.88 Kw/h. dentro del inventario que se tienen de plantas asfálticas dentro del área metropolitana se tiene la siguiente distribución mostrado en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Plantas asfálticas en el área metropolitana

CANTIDAD	PROPIETARIO	UBICACIÓN
2	Conasfaltos	Copacabana
1	Procopal	Girardota
2	Pavimentar	Girardota
1	Mincivil	Girardota
1	Asfaltadora Colombia	Medellín (Aranjuez)
1	Construcciones el Condor	Medellín (San Javier)

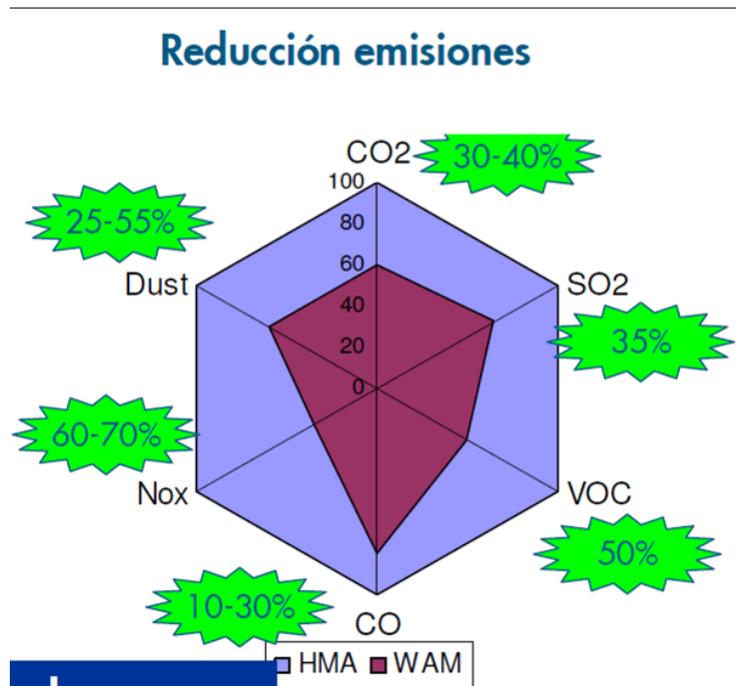
6.2 EMISIONES

La producción de mezcla tibia reduce considerablemente las emisiones de gas carbónico y los olores, en comparación con la producción de mezclas en caliente.

Es importante resaltar que las emisiones de producción de mezcla - asfalto y la colocación pueden en ciertos niveles elevados ser perjudiciales para la salud. En 2000, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de EE.UU. publicó un estudio de riesgo sobre los efectos en la Salud Ocupacional de la exposición a la mezcla- asfalto. En esta revisión, el NIOSH evaluó los efectos potenciales para la salud de la exposición ocupacional a asfalto. En 1977, el NIOSH determinó que entre los efectos adversos para la salud por la exposición se encuentran la irritación de las membranas de la conjuntiva y el tracto respiratorio.

A continuación se puede observar considerablemente las reducciones de las emisiones producidas en planta de una mezcla asfáltica tibia. Ver Figura 6.1.

Figura 6.1. Reducciones registradas en las emisiones de planta en la producción de mezcla



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

En la figura 6.1 se puede notar que las mezclas asfálticas tibias (WMA) presentan unas reducciones importantes con respecto a las mezclas asfálticas en caliente (HMA) en cuanto a las emisiones que se generan en Medellín, así por ejemplo, con las mezclas WMA se pueden lograr reducciones entre el 25% y 55% en las partículas de polvo, entre 30% y 40% en las emisiones de gas carbónico, entre 60% y 70% en las de óxido de nitrógeno, 50% en compuestos orgánicos volátiles y 35% en las emisiones de dióxido de azufre, en este punto es importante resaltar que la disminución de las emisiones se da tanto en la fabricación como en la aplicación de las mezclas

6.3 VISCOSIDAD

La funcionalidad de las tecnologías de WMA se basa en la reducción de la viscosidad del asfalto. La viscosidad disminuida permite al agregado ser totalmente cubierto a una temperatura inferior a lo que tradicionalmente se requiere en las mezclas de producción en caliente. Debido a la viscosidad reducida, los procesos de mezcla tibia pueden funcionar como una ayuda en la compactación y algunos beneficios relacionados con este son mencionados a menudo en relación con este tipo de mezclas. Si consideramos que la variación de la viscosidad es una de las propiedades más importantes, y gracias a esto es que utilizamos el cemento asfáltico, como de igual forma la mala manipulación de esta propiedad trae como consecuencia la falla prematura de muchos pavimentos, entonces se tiene como gran ventaja que ya lograr la viscosidad apropiada tanto de envuelta como de compactación no será regida solo por la temperatura, logrando condiciones de trabajo para el cemento asfáltico más estables sin tantos riesgos de deterioro del mismo.

6.1 TÉCNICOS

Producción, colocación y compactación a temperaturas más bajas genera un control de densidades más eficaz.

Aumento en las distancias de transporte, dado que por la menor temperatura de producción hay una mayor conservación de la energía de compactación de los equipos, por tanto se requiere menos esfuerzo para obtener las densidades requeridas, en otras palabras, los menores requerimientos de temperatura para la compactación de la mezcla, agilizan el trabajo aumentando las distancias de

cobertura de la mezcla asfáltica lo que se traduce en una disminución de los costos.

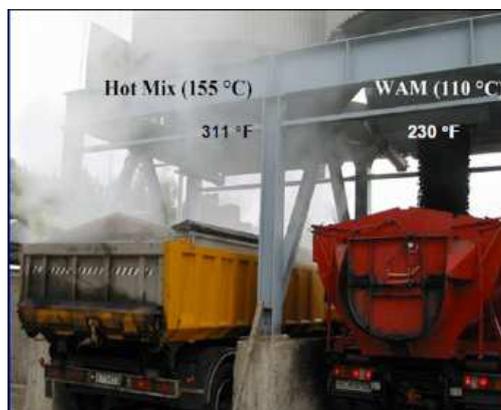
Se puede lograr también una apertura al tráfico en menor tiempo comparado con las mezclas en caliente y obtener una menor oxidación en el asfalto por los gradientes de temperatura, lo que indica que elimina el envejecimiento prematuro del ligante asfáltico, disminuyendo los tiempos de los trabajos por la ocupación de las vías.

6.5 TRABAJO CONFORTABLE

La implementación de la mezcla asfáltica tibia durante el proceso constructivo mejora el ambiente de trabajo para los trabajadores en el sitio de obra, el cual la temperatura y las emisiones de gases son menos permanentes en el ambiente para los operarios que tienen contacto directo con el asfalto.

En la Figura 6.2 se puede notar la diferencia del grado de contaminación entre una mezcla asfáltica caliente y una tibia.

Figura 6.2. Prueba de comprobación en la descarga de mezclas asfálticas



Fuente: XXXV Reunión del asfalto, Rosario – Argentina. Noviembre 2008.

7. PROPUESTA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Frecuentemente se observa la ciudad de Medellín con un alto grado de contaminación evidenciado en el medio ambiente, en este caso por la producción de mezcla asfáltica convencional, una de las más utilizada en la ciudad y en el país, debido a la diversidad de fuentes de materiales de buena calidad que existen en el municipio y área metropolitana de Medellín.

Se plantea en este estudio documental la propuesta de implementar mezclas asfálticas tibias en la ciudad de Medellín, comprobando lo beneficioso que es la utilización de esta nueva técnica de asfalto “Mezclas Tibias”, de acuerdo a los resultados a corto plazo obtenidos de la información recopilada de otros países.

En Medellín la información que se tiene con respecto a mezclas tibias es poca debido a que no hay experiencias de este proceso, por tal razón, es importante efectuar esta propuesta a la ciudad de innovar este nuevo producto al mercado a los fabricantes de asfalto y dejar planteado como estudio previo esta investigación documental para incentivar a profesionales interesados a continuar con este proyecto.

Dentro de las investigaciones desarrolladas se encuentra que solo dos plantas han trabajado en desarrollar el tema de mezclas asfálticas tibias en sus plantas, Construcciones el Cóndor y Conasfaltos, las investigaciones que han desarrollado es por medio de la utilización de aditivos, pero hasta la fecha no se han hecho trabajos a escala real.

En la metodología de la producción de mezclas asfálticas tibias, se recomienda el sistema mediante el uso de aditivos, en este caso la cera, debido a que el comportamiento de mezclado entre el asfalto y el aditivo es muy homogéneo, proporcionando una disminución en la viscosidad, mejora ahuellamiento y también es un proceso relativamente fácil de utilizar.

Relacionado con el medio ambiente la tecnología de mezclas asfálticas tibias es importante en la reducción de emisiones de dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, polvos y aerosol orgánico. Por otro lado, los trabajadores están menos expuestos directamente a las emisiones de los trabajos de mezclas asfálticas tibias.

Entre los aspectos técnicos en la utilización de este asfalto se pueden mencionar: disminución del envejecimiento del asfalto, reducción de segregación térmica, menores riesgos para los trabajadores, menor desgaste de la planta, buena trabajabilidad de la mezcla, menor consumo de combustible de la maquinaria pesada, menor consumo de energía de la planta, eficiente en la repavimentación y bacheos de carreteras.

Se propone entonces la realización de cuatro tramos de prueba para analizar el comportamiento de resistencia, esfuerzos sometidos a cargas mediante los resultados de ensayos de laboratorio y campo, y con esta información experimental se podrán obtener formulas de trabajo requeridas para analizar propiedades como deformaciones permanentes, resistencia a la acción del agua, módulo dinámico, y medición de emisiones.

El objetivo de esta propuesta es sembrar expectativas de emplear mezclas asfálticas que puedan elaborarse y colocarse a menor temperatura que las mezclas asfálticas convencionales y obtener similares o mejores resultados.

7.1 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

La propuesta de la utilización de mezclas asfálticas tibias para el municipio de Medellín consiste en construir cuatro tramos de prueba preferiblemente sobre la avenida del río, ya que este corredor permite representar una de las condiciones de tráfico más pesadas que se puede encontrar en la ciudad, además de las condiciones geométricas que facilita este tipo de trabajos de prueba, el tipo de mezcla de los tramos se construirán según las especificaciones técnicas bajo la normatividad colombiana INVIAS (Art 450-07). Se seleccionan los tipos de mezclas que tienen mayor demanda de producción en la ciudad que son tipo MDC – 2, y MSC – 1 “base asfáltica” para dos tramos de mezcla tibia y dos tramos de mezcla en caliente, aclarando lo que hace la diferencia de las mezclas asfálticas es el gradiente de temperatura y el aditivo a emplear para la mezcla tibia, en este caso se escogerá la metodología con “Cera”. Ya que de las experiencias recopiladas consideramos la más adecuada Posteriormente, se analizará la ventaja técnica y ambiental de los resultados obtenidos que tiene una mezcla tibia comparada a una mezcla convencional.

Para realizar esta implementación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Se propone realizar un procedimiento de producción correspondiente al que normalmente se emplea para elaborar una mezcla asfáltica convencional con un sistema de aditivo ligado con un tipo de cera sintética producto del proceso conocido como Fischer – Tropsch que reduce la viscosidad del asfalto por encima del punto de fusión de la cera. Se utilizarán materiales granulares de canteras productoras tradicionales de la ciudad de Medellín para la fabricación de mezclas asfálticas. Se utilizarán las normas INVIAS para las especificaciones técnicas que rigen en la ciudad.

- La tecnología que se requiere para esta no genera cambios en cuanto a las plantas de producción de mezcla asfáltica existentes en la ciudad, al igual que la maquinaria existente de aplicación de la misma, en la fabricación de una mezcla asfáltica tibia se necesita un sistema adicional en el sistema de mezclado, ya sea una tolva para mezclar el aditivo y concreto asfáltico a emplear, en este caso, la cera con el asfalto para separar la producción de la mezcla asfáltica tibia y convencional, sistema que ya ha sido probado en las plantas de Medellín con la utilización de otras tecnologías, de igual forma las plantas en Medellín son muy avanzadas técnicamente en un 80% (plantas con menos de 4 años de fabricación)

- Los cuatro tramos de prueba tendrán el ancho de la calzada por una longitud de 150m, para los 4 tramos se propone:
 - Un tramo de mezcla convencional tipo de MDC – 2
 - Un tramo de mezcla convencional tipo de MSC – 1
 - Un tramo de mezcla tibia tipo de MDC – 2
 - Un tramo de mezcla tibia tipo de MSC – 1

Durante la construcción de los planos se deberá realizar un sistema de referenciación fija y estable que permita georeferenciar los diferentes trabajos y ensayos de control de seguimiento durante el tiempo que duren las investigaciones, para lo cual proponemos un lapso de tiempo mínimo de tres años.

Para la colocación de estas capas se propone el fresado de la capa existente en el espesor necesario sellado de fisuras y parcheo de la superficie resultante y la verificación por medio de deflectometría (FWD) de la capacidad estructural de esta estructura.

Como proceso posterior a esto se propone la colocación de las capas de mezcla asfáltica como capas de rodadura en espesores similares de acuerdo al tipo de

mezcla procurando que su espesor se encuentre entre 0.06 m y 0.09m, por constituirse estos en espesores típicos colocados en la ciudad

Lo anterior permitirá que se tenga dos pistas de prueba con mezclas tibias y dos pistas de control con mezclas convencionales, con el fin de que estas permitan realizar el seguimiento.

Posterior a la colocación de las capas de rodadura se realizarán los ensayos de:

- Deflectometría.
- Regularidad.
- Coeficiente de fricción.

En resumen, con esto se podría decir que la colocación de carpeta asfáltica tibia, ya sea MDC-2 y MDC-1, se implementará como rehabilitación vial en la ciudad de Medellín debido a que las vías se encuentran pavimentadas en un alto porcentaje de mezclas asfálticas.

Para las mezclas fabricadas se deberán realizar adicionalmente a los establecidos en la norma 450-07 del INVIAS los siguientes ensayos de laboratorio :

- Modulo dinámico
 - Fatiga
 - Prueba de tracción indirecta
 - Resistencia a la deformación plástica
 - Espesor promedio de la película de asfalto que cubre los agregados
 - Fotografías térmicas de cada una de las pistas de prueba mínimo cada 20m
- A las pistas de prueba se les deberá realizar un seguimiento, mínimo durante los tres siguientes años, posterior a su fabricación y colocación, con toma de datos cada seis meses.

- Los elementos necesarios en la producción de mezcla que se deben tener en cuenta son los siguientes:
 - Planta tipo y modelo, capacidad de producción.
 - Tipo de energía.
 - Tipo de aditivo.
 - Modo de introducción del aditivo.
 - Temperaturas de ligante (asfalto y aditivo) y áridos.
 - Temperatura de descarga de la mezcla.
 - Temperatura de salida de la mezcla de la planta.
 - Controles de calidad.
 - Observaciones en las distintas partes de la planta durante producción.
 - Proceso de carga y pesaje de volquetas.

- Los ensayos de seguimiento en campo y laboratorio son:
 - Deflectometría (cada 6 meses x 3 años).
 - Regularidad (cada 6 meses x 3 años).
 - Evaluación de daños cada (6 meses x 3 años).
 - Evaluación de daños método Vizir (6 meses x 3 años).
 - Toma de muestras para módulos dinámicos y leyes de fátiga (3, una cada año)

- Tomar mediciones en planta y sitio de obra de emisiones de gases como dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y los compuestos volátiles, y la diferencia que hay entre la mezcla convencional y tibia, obteniendo beneficios de la fabricación de una mezcla tibia disminuyendo la emisión de contaminantes al medio ambiente.

- Uno de los beneficios importante que se destaca en la implementación de mezclas tibias es el ahorro del consumo de energía en planta, debido a que los materiales se calientan a menor temperatura, generando un bajo rendimiento de energía con respecto a producción por tonelada.
- La propuesta en general busca concientizar a las entidades públicas y privadas de la ciudad de Medellín, contribuir a un gran cambio en cuanto a la producción de mezclas asfálticas mejorando las condiciones ambientales, técnicas y económicas.

CONCLUSIONES

- Analizando la información recopilada de la bibliografía para realizar este estudio documental, el cual se tienen resultados de laboratorio y pruebas en tramos de vías en otros países, podemos afirmar que la propuesta de la implementación de mezclas asfáltica tibias en la ciudad de Medellín es una gran solución para minimizar el impacto medioambiental que generan la emisión de gases debido a la combustión y calentamiento de los materiales, buscando concientizar a los profesionales de ingeniería, empresas, y entidades de desarrollo. Por tanto, es un gran aporte esta nueva tecnología de mitigar el impacto medioambiental, debido a la problemática de contaminación que presenta la ciudad Medellín y el Área Metropolitana de Antioquia, en cuanto a la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, y adicional a esto la contaminación que originan las industrias no controladas las emisiones, los vehículos automotores de servicios públicos, particulares, vehículos pesados, entre otros.
- Las experiencias de pruebas de laboratorio realizado en otros países, evidencia que tiene una buena resistencia mecánica y desempeño producidas a menor temperatura, comparándose a una mezcla asfáltica caliente tiene un comportamiento similar o hasta superior que ésta mezcla asfáltica.
- En la industria vial de la ciudad, se están desarrollando nuevas técnicas de mezclas asfálticas, por lo tanto, se espera que este proyecto sea una iniciativa a futuro para la continuación de la investigación sobre el tema de estudio, luego experimental, y por último la fabricación y aplicación de mezclas asfálticas tibias en Medellín.

- La elaboración de mezclas tibias generan un gran beneficio económico para las plantas de asfalto, al calentar los materiales a menor temperatura y se disminuye el desgaste de la planta al trabajar con este rango temperaturas.
- En el aspecto técnico la implementación de la mezcla tibia permite facilitar el proceso constructivo de compactación al momento de realizar la extensión de la carpeta asfáltica, reduce el uso de combustible para la producción y aplicación de esta mezcla asfáltica y elimina el envejecimiento rápidamente del ligante asfáltico.

BIBLIOGRAFÍA

- CERVARICH, M. Foaming the Asphalt: New Warm-Mix Technique Challenges Conventional Wisdom. En: Revista Hot Mix Asphalt Technology. V. 12, No. 4. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association. Julio/Agosto 2007.
- E Harm, IDOT, A State´s View of Warm Mix Asphalt Technology.
- GC Hurley, BD Prowell, Evaluation of Potential Processes for Warm Mix Asphalt, AAPT 2009.
- <http://roadsbridges.com/Mild-behaviorarticle11168&what=24bf8911523fca7f0ef931d293212bf4>
- Marcela Balige (YPF), Alejandro Bisio (YPF) Macacha Guemes 515 , C1106BKK Buenos Aires.
- MONTEJO FONSECA, Alfonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras. Primera Edición. Universidad Católica de Colombia. 1997.
- Pablo E Bolzan (Soluciones en Ingeniería de Pavimentos). XXXVI Reunión del Asfalto “Bicentenario de los Andes” 29 de Noviembre al 3 de Diciembre de 2010 Buenos Aires.
- Warmmixasphalt.com

ANEXO A

Protocolo de la prueba con mezclas asfálticas tibias

<p style="text-align: center;">PROTOCOLO PRUEBA CON TECNOLOGIA <i>WARM MIX ASPHALT</i></p>
<p style="text-align: center;">OBJETIVO</p> <p>El objetivo principal de las presentes experiencias es el de implementar técnicas de trabajo con menor temperatura de manera de poder obtener mezclas asfálticas con la misma calidad que las mezclas elaboradas y colocadas con las temperaturas actuales a la vez de evaluar todos los beneficios técnicos y medio ambientales.</p>
<p>PRUEBAS EN PLANTA Y EN SITIO</p> <p>Para considerar un tramo de prueba con mezclas asfálticas en caliente con la tecnología WAM es necesario como mínimo realizar una prueba en planta con una producción normal para permitir realizar las mediciones de emisiones, el uso de la mezcla en un tramo de prueba y su completo análisis. Debe también procurarse tener un tramo de control con el mismo tipo de mezcla y diseño de manera de poder realizar comparaciones aceptables. Los objetivos principales del presente protocolo de trabajo para experimentos con WMA son:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Documentar la prueba WMA incluyendo ensayos sobre los materiales, controles, detalles de elaboración y de compactación y todo tipo de documento escrito que permita evaluar los resultados de la misma.

PROCOLO
PRUEBA CON TECNOLOGIA WARM MIX ASPHALT

2. Evaluar la mezcla a escala de laboratorio para documentar sus características con y sin WMA y obtener información útil para incorporar en futuras especificaciones técnicas.
3. Evaluar la mezcla a escala real de obra construyendo dos tramos, uno de control y otro con WMA realizados en las mismas condiciones de clima, cargas, drenaje y estructura.
4. Evaluar el comportamiento de la mezcla con WMA relacionado con: ahuellamiento, susceptibilidad al agua, resistencia al fisuramiento en temperaturas bajas (puede obviarse si la prueba se realiza en zona de clima templado), resistencia a la fatiga, y módulos resiliente y dinámico de la mezcla.
5. . Registrar todos los datos concernientes al lugar, contratista, fecha, clima, tránsito estructuras, operaciones de pavimentación, fotos, documentos escritos y control de calidad donde se realiza la experiencia.

Es de interés realizar la prueba con distintos tipos de mezclas asfálticas y ligantes bituminosos – concreto densos, concretos discontinuos, SMA, micros, asfalto-caucho, asfaltos modificados con polímeros- dado que en cada una de ellas se esperan obtener beneficios al poder trabajarlas a menores temperaturas, en particular para mezclas con ligantes modificados. En la primera etapa se realizará con un concreto denso, un agregado, y dos tipos de ligantes asfálticos diferentes.

MATERIALES

La experiencia se realizará a partir de una formulación correspondiente a un concreto asfáltico convencional densamente graduado con ligante CA-30 con y sin aditivo WMA, y con un ligante modificado con polímeros elastoméricos AM3. Se utilizará un agregado pétreo granítico representativo de los áridos empleados en la Ciudad Autónoma de

PROTOCOLO
PRUEBA CON TECNOLOGIA *WARM MIX ASPHALT*

Buenos Aires para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente. Se seguirán las especificaciones técnicas particulares para mezclas asfálticas en caliente densamente graduadas que rigen en el ámbito de la Ciudad.

PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN

Producción de la Mezcla

Planta tipo y modelo, capacidad de producción

Check list de planta

Tipo de energía utilizada

Tipo de aditivo y requerimientos particulares

Modo de introducción del aditivo WMA

Temperaturas de ligante y áridos

Temperatura de descarga de la mezcla

Temperatura de salida de la mezcla de la planta

Consumos energéticos de mezclas con y sin WMA

Controles de calidad efectuados

Observaciones en las distintas partes de la planta durante producción

Almacenamiento de la mezcla si es aplicable

Proceso de carga y pesaje de camiones

Limpieza de la planta

Colocación de la Mezcla

Camiones tipo y peso, cobertura y métodos de control de la temperatura

Check list de colocación

Control de la temperatura detrás de la terminadora

Equipos de colocación y compactación

Patrón de compactación empleados

Condiciones del clima

PROTOCOLO
PRUEBA CON TECNOLOGIA WARM MIX ASPHALT

Rango de temperaturas de compactación empleadas para ambas mezclas

Distancia de transporte

Líquido antiadherente

Riego de liga

Espesor de capa

Observaciones de descarga de material, pegajosidad del mismo, etc.

Observaciones de campo

Tiempo y temperatura de la mezcla en la apertura al tránsito

ENSAYOS DE LABORATORIO

Laboratorio: diseño de las mezclas, estructura granular y contenido óptimo de ligantes, tiempo de mezclado, condicionamiento en horno por dos horas previo a la compactación (2hs a la temperatura de compactación), grado de recubrimiento de los áridos por los ligantes, compactación Marshall, temperatura de compactación según tipo de ligante, densidad aparente, densidad máxima Rice, propiedades volumétricas, resistencia conservada para 7% de vacíos de aire en ambas mezclas. Porcentaje de humedad retenida en la mezcla elaborada en planta, propiedades volumétricas de la mezcla elaborada en planta. Envejecimiento en planta. Medición de $G^*/\sin \delta$ del ligante original y después del RTFOT.

En Sitio: descripción de detalles constructivos, patrones de compactación bien definidos, datos del clima, datos de la base de apoyo, toma de muestras de mezcla para análisis en lab, densidad x planilla aleatoria, pan para WTT, RTI en testigos, Propiedades Volumétricas.

Testigos adicionales a los 3, 6 y 12 meses en zona de huellas para analizar densidad y RTI a 25 C. Extracción de ligante por Rotavapor a 140C máxima (AASHTO T 164 Método A) y recuperación por AASHTO T 319 a 100C, usando mezcla Tolueno/Etílico 85:15. Adherencia entre capas asfálticas WAM y la base existente.

PROTOCOLO
PRUEBA CON TECNOLOGIA *WARM MIX ASPHALT*

En la tabla siguiente se resumen los ensayos especiales a realizar, el de fatiga por viga de flexión en cuatro puntos está pendiente de ejecución.

Ensayo	Condiciones	Replicas	Norma
WTT	60C / 10000 ciclos	2	EN 12697-22.
Fatiga, FPB	15 C / 30Hz	3	EN 12697-24
Stiffness, diametral	20 C / 124 ms	2	EN 12697-26
Susceptibilidad al Agua <i>Tracción Indirecta Remanente</i>	7% vacíos	2	AASHTO T 283

EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS DE TESTIGOS

De cada sección de ensayo para cada una de las mezclas se deberán extraer al menos 6 testigos ubicados por medio de tabla de números aleatorios en la faja central de calle definida por 6 metros de ancho por 100 metros de largo. Los testigos serán de 10 cm de diámetro por el espesor que corresponda, serán sometidos a análisis de calidad de liga, espesor, densidad aparente, propiedades volumétricas y resistencia a tracción indirecta por compresión diametral a 25 C y 50 mm/min.

ENSAYO DE EMISIONES EN PLANTA Y EN SITIO EN OPERACIONES DE PAVIMENTACIÓN

Emisiones de la torre de humos de la planta (N0x, CO2, VOC)

Los ensayos de emisiones en la torre deben incluir mediciones de N0x, C02 y de compuestos orgánicos volátiles para mezclas convencionales y para las mezclas tibias.

PROTOCOLO
PRUEBA CON TECNOLOGIA *WARM MIX ASPHALT*

Se deben indicar las toneladas por hora producidas de mezcla en cada medición efectuada, siendo recomendado medir entre 2 y 3 muestreos de 60 minutos por técnica.

Emisiones en torno al sitio de operaciones de pavimentación

La idea es realizar mediciones sobre el tramo con mezcla convencional y el tramo con mezcla tibia, idealmente en la misma semana de trabajo, con los mismos equipos y personal. Se recomienda un período de mediciones entre 3 y 4 horas en el sitio sobre la pavimentadora, la tolva, y la plancha de pavimentación, el entorno de trabajo deben ser monitoreadas por emisiones de humos asfálticos. Las mediciones deben realizarse por un higienista industrial matriculado o equivalente. Se medirán emisiones de humos de asfalto, Material Particulado Total (TPM) y Materia Soluble en Benzeno (BSM)

Fuente: XXXVI Reunión del Asfalto “Bicentenario de los Andes”. Buenos Aires. 2010.

ANEXO B

Resistencia Conservada a Tracción Indirecta por Compresión Diametral

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-CA30						
CONDICIÓN DE ENSAYO	24 horas en baño a 60°C, 2 horas en baño a 25°C			24 horas en estufa a 25°C, 2 horas en baño a 25°C		
CARGA MÁXIMA DE ROTURA [kg]	650	730	690	780	880	910
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA [kg/cm ²]	6,3	7,1	6,7	7,5	8,6	8,8
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA PROMEDIO [kg/cm ²]	6,7			8,3		
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA	80,6					

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-CA30 tibio						
CONDICIÓN DE ENSAYO	24 horas en baño a 60°C, 2 horas en baño a 25°C			24 horas en estufa a 25°C, 2 horas en baño a 25°C		
CARGA MÁXIMA DE ROTURA [kg]	750	730	750	860	850	810
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA [kg/cm²]	7,3	7,1	7,3	8,3	8,3	7,9
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA PROMEDIO [kg/cm²]	7,3			8,2		
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA	89,0					
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-AM3t						
CONDICIÓN DE ENSAYO	24 horas en baño a 60°C, 2 horas en baño a 25°C			24 horas en estufa a 25°C, 2 horas en baño a 25°C		
CARGA MÁXIMA DE ROTURA [kg]	770	750	770	800	830	810

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-AM3t						
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA [kg/cm²]	7,4	7,2	7,4	7,8	8,0	7,9
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA PROMEDIO [kg/cm²]	7,4			7,9		
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA	92,9					
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-AM3t						
CONDICIÓN DE ENSAYO	24 horas en baño a 60°C, 2 horas en baño a 25°C			24 horas en estufa a 25°C, 2 horas en baño a 25°C		
CARGA MÁXIMA DE ROTURA [kg]	800	750	780	930	910	940
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA [kg/cm²]	7,7	7,7	7,8	9,0	9,1	9,8

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA CACD20-AM3t		
RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA PROMEDIO [kg/cm²]	7,7	9,3
INDICE DE RESISTENCIA CONSERVADA	83,3	

Fuente: XXXVI Reunión del Asfalto "Bicentenario de los Andes". Buenos Aires. 2010.