

## **LA SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.**

La necesidad de buscar un desarrollo sostenible no es ajeno a la pavimentación. Por ello la importancia de buscar e implementar tecnologías que permitan hacer un uso racional de los recursos, incluyendo la energía y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Las mezclas asfálticas tibias (MAT) son una alternativa para lograr estos objetivos. Las temperaturas de producción de las MAT se encuentran en un rango entre 120°C y 140°C que son entre 20°C y 50°C menores que las Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) J. D'angelo et al. La reducción de temperaturas disminuye el consumo de combustibles y la emisión de compuestos orgánicos volátiles, pero también implica retos para asegurar el desempeño y propiedades críticas en el pavimento, como son la adherencia del asfalto a los agregados, tanto durante el proceso de producción, como en la aplicación final, mantener la manejabilidad de la mezcla, para almacenarla, transportarla, tenderla y compactarla, consiguiendo niveles de permanencia y desempeño similares a los de las MAC. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados obtenidos por la Planta de Asfalto de la Ciudad de México (PACDMX) en la aplicación de medidas sustentables tales como la migración de combustibles de diésel a gas natural (2007) y la adopción de técnicas de producción de mezclas asfálticas tibias (2008). La implementación de la producción de asfalto espumado, así como el uso de aditivos ha sido esencial para conseguir estos resultados. En la presentación se muestra el desempeño de las mezclas asfálticas tibias y su comparación con las mezclas asfálticas en caliente. La PACDMX ha invertido en nuevos equipos de producción y de control de emisiones y ha evaluado y desarrollado de manera conjunta con empresas especialistas del ramo tecnologías y aditivos "a la medida" de sus necesidades particulares con el fin de cumplir los objetivos de calidad y de reducción de emisiones que requiere la CDMX. La implementación de este sistema, potencializa su eficiencia, permitiendo que la mezcla asfáltica sea trabajable a menores temperaturas. El sistema promueve la formación de espuma de asfalto con un tamaño de burbuja pequeño y homogéneo (0.3 a 0.5 mm) y un tiempo de vida media mayor a 75 s incrementando el área superficial y el área de contacto entre el agregado pétreo y el asfalto, lo que permite mejorar el manejo de la mezcla, el cubrimiento del agregado e incrementar la resistencia de la mezcla a la humedad.

## Breve historia de la PACDMX.

En el año de 1955, el Jefe del departamento del Distrito Federal, Lic. Ernesto P. Uruchurtu, ordenó a la Dirección General de Obras Públicas que se hicieran estudios de mercado e investigación para resolver el problema de pavimentación de las calles y avenidas existentes, con el fin de proyectar la urbanización de la Ciudad de México. Es como se instaló una planta experimental de mezcla asfáltica en caliente donde se realizaron pruebas con diferentes tipos de asfalto y agregados pétreos; una vez determinadas las materias primas óptimas se procedió a crear la “Planta Productora de Mezclas Asfálticas de Mixcoac”, mediante el acuerdo 1054 expedido el 28 de junio de 1956.

La creación de esta unidad industrial tenía como objetivo: proporcionar la mezcla asfáltica necesaria para conservar y ampliar de pavimentos el sistema vial de la Ciudad de México y zonas conurbadas, así como regular el costo de las obras, obteniendo precios de producción inferiores a los del mercado fijado por los particulares.

Para tal efecto, se ubicó en un terreno sobre la Avenida Río Becerra (actualmente Avenida san Antonio Núm. 423) y se instaló la primera planta productora de mezcla asfáltica con una capacidad de producción de 120 Ton/hr. Durante sus primeros años la planta adquiría el agregado pétreo de diferentes empresas particulares que trituraban basalto del Pedregal de san Ángel y lo entregaban a los almacenes de la planta, el cemento asfáltico era suministrado por PEMEX y se traía de la refinería de Tampico, en carros tanque de ferrocarril propiedad de la planta, los cuales descargaban directamente en las fosas y tanques que se tenían instalados en la sede de Mixcoac. Así mismo se contaba con 40 unidades Torton T-800 las cuales realizaban el suministro de Mezcla Asfáltica.

Para 1957 surge la necesidad de comprar una planta nueva con una capacidad de 90 Ton/hr., de tal manera que ese año se alcanzó una capacidad nominal ya instalada de 210 Ton/hr.

En 1961 se realizó un convenio de explotación del banco de basalto que existía en un predio ubicado en la Calzada de Tlalpan, donde hoy se ubica el Estadio Azteca, allí se instalaron un conjunto de trituración y una planta mezcladora de capacidad de 30 Ton/hr. De esta manera se garantizó el abastecimiento de agregado pétreo ya que los contratistas que se tenían no suministraban lo suficiente.

Al año siguiente el Sr. Emilio Azcarraga Milmo adquirió el terreno de Huipulco en el que la Planta de asfalto realizaba su explotación de basalto, a cambio donó al Departamento del Distrito federal un terreno del predio denominado Rancho de Monserrat. Delegación Coyoacán que se encontraba en la Avenida Liga – Insurgentes (actualmente Avenida IMAN, Núm 263. Col. Ajusco). Para 1962 se



trasladaron los conjuntos de trituración a este predio y se inició la explotación de la roca basáltica para proveer de material a las plantas de Mixcoac.

El 8 de enero de 1975, se suscribe un nuevo acuerdo que le otorga mayores facultades a la Planta de Asfalto, otorgándole la capacidad de realizar gastos inversiones y adquisiciones, presentando anualmente un programa presupuestal el cual debe ser aprobado por la Secretaria de obras. Un año después se inició la construcción de las oficinas generales en Av. IMAN y en 1977 las instalaciones y administración se trasladan completamente a su ubicación actual.

Desde el año 2008 En la planta de Asfalto de la CDMX, utilizamos Gas Natural como combustible. El gas natural constituye una importante fuente de energía fósil liberada por su combustión. Es una mezcla de hidrocarburos gaseosos ligeros que se extrae, bien sea de yacimientos independientes (gas libre), o junto a yacimientos petrolíferos o de carbón (gas asociado a otros hidrocarburos gases y líquidos peligrosos).

La combustión del gas natural produce menos gases de efecto invernadero que otros combustibles fósiles como los derivados petrolíferos (fuelóleo, gasóleo o gasolina) y especialmente que el carbón. Además es un combustible que se quema de forma más limpia, eficiente y segura, no produce dióxido de azufre (causante de la lluvia ácida) ni partículas sólidas.

#### Mezclas asfálticas tibias

Es la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico, agregado pétreo y un aditivo tensoactivo y termorregulador; capaz de reducir la temperatura de producción en un rango entre 303 K y 313 K (30 oC y 40 oC), por debajo de las convencionalmente empleadas en la elaboración de mezclas asfálticas calientes; lo cual la hace potencialmente más ecoeficiente. (norma 4.01.02.001 de las NCAPCDMX).

Es una mezcla asfáltica «templada» o «tibia» que se ubicaría entre las mezclas calientes y las mezclas frías, producida en planta a temperaturas entre 100 oC y 120 oC sin perder calidad. Se compacta entre 80 oC y 90 oC. (Glosario especializado de terminología asfáltica de la AMAAC).

## Cronología

Durante el periodo comprendido 18/12/2007 – 14/01/2008, se realizan las primeras pruebas de laboratorio y colocando un tramo de prueba sobre Anillo Periférico Sur (entre calle Zacatépetl y Boulevard de la Luz).

En los meses de octubre y diciembre de 2008, se elaboró mezcla asfáltica templada modificada, para lo cual se utilizaron asfaltos de grado PG 76-22 y PG 70-28 para su fabricación, junto con el aditivo tensoactivo para hacerla templada. Se repavimentaron varias vialidades principales, como: Calz. México-Tacuba, Calz. Legaria, Av. Ceylán, Av. Plutarco Elías Calles, entre otras.

El 31 de enero del año 2009 se emite la norma 4.01.02.001 Mezclas Asfálticas de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal, la cual señala los requisitos de calidad que deben cumplir las mezclas asfálticas tibias o templadas, para ser empleadas en las obras de pavimentación, repavimentación y bacheo de las vialidades de la Ciudad de México, entre las que destacan:

Pruebas	Criterios de aceptación
Fluencia	4.00 mm (máximo)
Estabilidad	800 kg <sub>f</sub> (mínimo)
Vacíos ocupados con aire	3 a 5 %
Vacíos ocupados con asfalto	70 – 80 %
Densidad Teórica Máxima (D.T.Max.)	2.350 ton/m <sup>3</sup>
Contenido óptimo de asfalto	6.5 % ± 0.5 %
Peso específico en el campo al terminar la compactación	2.230 – 2.245 (ton/m <sup>3</sup> )

***De conformidad con lo establecido en la norma 3.01.01.017 Formación de Carpeta y Operación de Riegos Asfálticos de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal:***

3. Cuando la carpeta se construya con mezcla asfáltica templada, el diseño de ésta debe atenderse de acuerdo a lo especificado en el capítulo 4.01.02.001 “Mezclas asfálticas” del

Libro 4 tomo II de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal y para la ejecución de la carpeta, se debe atender lo siguiente.

La construcción de este tipo de carpeta debe ser realizada por un técnico con la suficiente experiencia, ya que debe considerar las limitaciones del tiempo y de la estación climática, el tipo de equipo con el que cuenta, las condiciones en que se encuentra la superficie, el tendido y el terminado, la compactación, la densidad de las muestras de pavimento, de las juntas, el espesor de la mezcla suelta previa a la compactación, el espesor de la capa final y sus tolerancias.

De manera enunciativa no limitativa, en la Tabla 2 se señalan directrices que al cumplirse puede lograrse el espesor de la capa final, de acuerdo al tamaño del agregado pétreo máximo.

TABLA 2 Condiciones que deben cumplirse para lograr el espesor final de la carpeta asfáltica templada

Dimensiones en milímetros

Tamaño máximo del agregado	Espesor de la mezcla suelta, previo a la compactación	Espesor de la capa final
19	78	57
16	66	48
12,5	51	38
9,5	35	29

La medición de la temperatura de la superficie se debe hacer con un termómetro infrarrojo, ésta superficie debe estar seca y libre de partículas sueltas y polvo que pueda reducir la adherencia de la nueva capa de concreto asfáltico.

Sin embargo, bajo la responsabilidad de la supervisión, ésta puede ordenar al contratista de obra el tendido de la mezcla asfáltica templada sin que la superficie de la vialidad haya alcanzado la temperatura indicada en el subinciso E.05.a.3.3, considerando que en un lapso de dos horas máximo de iniciadas las operaciones de colocación, podría lograrse dicha temperatura.

En la tabla 3 se proporcionan directrices para la temperatura mínima a la que la mezcla suelta debe ser descargada a la pavimentadora.



TABLA 3. Mezcla asfáltica templada en la que se emplea asfalto sin modificar, penetración 50, velocidad del viento de 8 km/h, con cielo nublado.

Aire /terreno Temperaturas en °C		Temperatura mínima de descarga de la mezcla suelta a la pavimentadora, antes de la primera pasada en el rodillo vibratorio			
Temperatura del aire	Temperatura de vialidad				
3	3	128	118	98	98
5	5	121	116	97	97
10	10	118	113	96	96
15	15	114	110	94	94
20	20	111	107	92	92
Espesor de la mezcla suelta (mm). Espesor esperado de la mezcla compactada (mm)		40 mm	68 mm	96 mm	123 mm
		30 mm	50 mm	70 mm	90 mm
Tiempo de compactación mínima* (minutos)		6	12	24	24

\*El tiempo de compactación mínima (minutos) se refiere al periodo de tiempo cuando la mezcla pasa por debajo de la pavimentadora y el rodillo disruptivo hace su primer paso.

Para pavimentación nocturna o vientos de 16 km/h, añadir 3 °C a las temperaturas indicadas (temperatura en la superficie de la vialidad).

Para cielos soleados, restar 2 °C de las temperaturas indicadas (Temperatura en la superficie de la vialidad)

La altura del espesor indicado en la Tabla 3 debe cumplir con el tamaño máximo del agregado.

La compactación inicial debe llevarse a cabo con rodillos vibratorios de acero, usando una frecuencia de vibración entre 100 y 140 oscilaciones por metro cuadrado. El compactador de neumáticos se recomienda para la compactación intermedia y los rodillos tándem de acero en modo estático se recomienda para terminar la compactación.





La temperatura de tendido de la mezcla asfáltica templada, puede ser la de llegada a la obra, pero la temperatura de compactación no debe ser menor que 363 K (90 ° C).

Con fecha doce de octubre de dos mil diez, se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el Acuerdo por el que se establece el uso obligatorio de mezclas asfálticas templadas en los trabajos de pavimentación, repavimentación y bacheo, así como otras obras que realice el Gobierno de la Ciudad de México; Que la Planta de Asfalto de la Ciudad de México es un Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Obras y Servicios, con atribuciones para supervisar la construcción y mantenimiento de los pavimentos que realicen las Dependencias, Unidades Administrativas, Órganos Político - Administrativos, Órganos Desconcentrados, así como las Entidades de la Administración Pública; administrar la calidad de los pavimentos de las vialidades a cargo del Gobierno de la Ciudad de México, verificando que éstos cumplan con las normas y especificaciones aplicables.

#### Marco Jurídico

- Normas de Construcción de la Administración Pública de la Ciudad de México (antes NCAPDF), actualización al 31/01/2009 (actualización 15/06/2017)
- Normas de Construcción de la Administración Pública de la Ciudad de México (antes NCAPDF), actualización al 30/06/2010
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México (antes GODF), edición del 12/10/2010
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México (antes GODF), edición del 03/09/2013

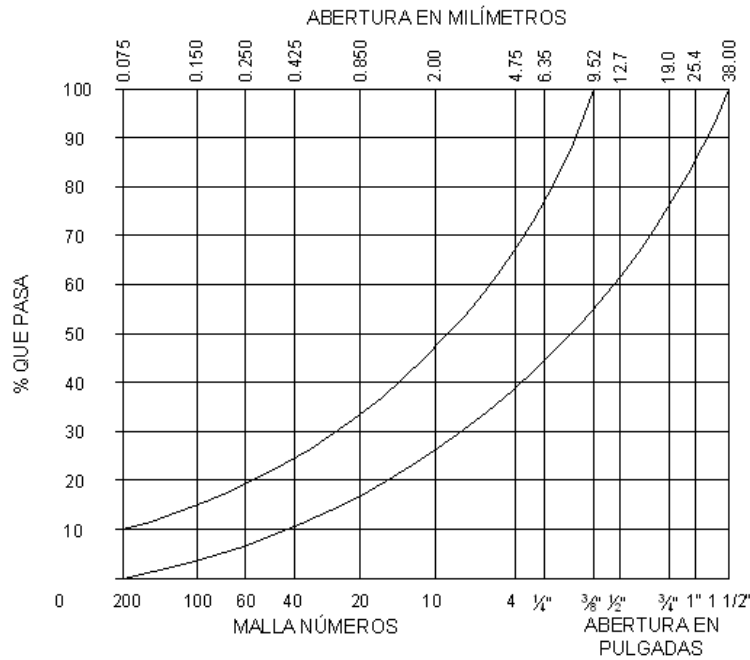
De acuerdo a lo anterior la planta de asfalto de la CDMX, produce los siguientes tipos de mezclas asfálticas:

Mezcla Asfáltica	Tipo de Asfalto	Temperatura de Mezclado (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
Convencional templada	Asfalto AC-20 y Aditivo	120 – 125	≥ 20
		125 – 130	≤ 20
Modificada templada A	Asfalto PG 76-22 y Aditivo	139 – 146	≥ 20
		146 – 151	≤ 20
Modificada templada B	Asfalto PG 76-28 y Aditivo	125 – 135	≥ 20
		135 - 140	≤ 20



NORMA 4.01.02.001 DE LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
C. Requisitos de calidad

Composición Granulométrica



Malla	% Que pasa
3/4"	100
1/2"	100 – 75
3/8"	100 – 65
1/4"	80 – 53
No. 4	70 – 47
No. 10	48 – 32
No. 20	33 – 22
No.40	25 – 16
No. 60	20 – 12
No. 100	15 – 9
No. 200	10 – 5





Entre los beneficios de utilizar mezclas tibias en la pavimentación se pueden mencionar los siguientes: - Facilidad para compactar empleando menos esfuerzos y menor temperatura obteniendo valores de densidades muy cercanos a la densidad de diseño, lo cual ocasiona que tengamos mezclas asfálticas de alto desempeño.

-Menor porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, con lo cual evitamos la oxidación del asfalto e incrementamos la densidad.

-Facilidad para que la mezcla asfáltica sea transportada a grandes distancias de donde es producida.

- Facilidad para poder tolerar la incorporación de mezcla asfáltica reciclada. En cuanto a los beneficios de utilizar mezclas tibias en el medio ambiente, cabe resaltar que al tener que calentar menos el asfalto para elaborar la mezcla asfáltica ahorramos el consumo de combustible reduciendo las emisiones de diversos gases, siendo el principal el Dióxido de Carbono que es el responsable del calentamiento global.

Por otra parte, entre los beneficios de utilizar mezclas tibias en las condiciones de trabajo, podemos señalar los siguientes: -

Reducción de los humos azules (componentes volátiles orgánicos) generados en la colocación de las mezclas asfálticas en caliente, con los cuales los trabajadores aspiran menos cantidades de los mismos.

-Menor consumo de combustible por parte de la maquinaria debido a que con menos esfuerzo se obtienen altos valores de densidades de la mezcla (Gandhi, 2008).



Una amplia trayectoria y experiencia nacional<sup>1</sup> e internacional<sup>2</sup> han demostrado las ventajas ambientales del uso de las mezclas tibias sobre las mezclas asfálticas en caliente. Las mezclas asfálticas en caliente son producidas a temperaturas entre 150°C y 180°C, por lo que el asfalto es lo suficientemente fluido y cuando la mezcla es compactada ésta alcanza la densidad suficiente para obtener la resistencia y durabilidad adecuada según sea el caso. Las mezclas tibias, son aquellas producidas entre 120°C y 140°C, pero a estas temperaturas el asfalto no es lo suficientemente fluido, por lo que es necesario el uso de tecnologías que permitan que la mezcla asfáltica tibia adquiera las características de una mezcla asfáltica en caliente a través de hacer lograr un recubrimiento y una compactación adecuada. Por esta razón las mezclas asfálticas tibias toman como referencia de durabilidad a las mezclas asfálticas en caliente.

Durante los últimos 10 años en la Planta de Asfalto de la Ciudad de México se han producido mezclas asfálticas tibias utilizando diferentes aditivos para lograr los requerimientos de desempeño de las mezclas. La tabla 1 muestra las características de la mezcla asfáltica en caliente elaborada con la granulometría típica de la Planta de Asfalto de la Ciudad de México. En donde se alcanzaron valores de estabilidad superiores a 1200 kg y un flujo de 3.6. Según la norma bajo la cual se rige la elaboración y las características de desempeño de la mezcla asfáltica de la Ciudad de México, los valores de estabilidad y flujo requeridos son de 700 kg mínimo y menores de 4 mm respectivamente. La mezcla asfáltica en caliente cumple con ellos.

Tabla 1. Desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, con una temperatura de producción de 160°C y una temperatura de compactación de 145°C.

Porcentaje de Cemento asfáltico en la mezcla.	Densidad de la mezcla compactada (T/m <sup>3</sup> )	Densidad Máxima teórica (T/m <sup>3</sup> )	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Porcentaje de vacíos en mezcla compactada.
7.0	2.269	2.391	>1200	3.6	5
Especificación	N.A.	N.A.	700 mín.	< 4	3-5

En la Tabla 2 se muestra el desempeño alcanzado por las mezclas asfálticas en tibio producidas en la Planta de Asfalto de la Ciudad de México, con el aditivo TB 2. En donde la estabilidad y el flujo muestran valores similares a los obtenidos por la mezcla en caliente. El desempeño es equivalente al desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, pero con las ventajas ambientales de una producción de mezcla asfáltica en tibio:

- a) Menor consumo de combustibles.
- b) Disminución de emisiones por humos azules producto del calentamiento del asfalto.

<sup>1</sup> Planta de Asfalto de la Ciudad

<sup>2</sup> Warm Mix Asphalt, the mix of the future, <http://www.eapa.org/asphalt.php?c=199>, 2015.



- c) Disminución de emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.
- d) Mejores condiciones para los trabajadores.
- e) Ahorros energéticos en el transporte de la mezcla que no requiere mantener tan altas temperaturas.

Tabla 2. Desempeño de una mezcla asfáltica tibia elaborada con el aditivo para mezcla asfáltica tibia TB 2 a una temperatura de 130°C y compactada a una temperatura de 110°C.

Porcentaje de Cemento asfáltico en la mezcla.	Densidad de la mezcla compactada (T/m3)	Densidad Máxima teórica (T/m3)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Porcentaje de vacíos en mezcla compactada
6.0	2.233	2.439	>1000	2.90	8.4
6.5	2.244	2.432	>1000	3.01	7.7
7.0	2.255	2.405	>1000	3.48	6.2
Especificación	N.A.	N.A.	700 mín.	< 4	3-5

Finalmente, como es de conocimiento general recientemente la Planta de Asfalto de la Ciudad de México, adquirió una planta ASTEC con Green System, un sistema de espumado que permite minimizar la emisión de olores provenientes de los humos azules que se generan al calentar el asfalto. Este sistema aunado al uso de los aditivos adecuados permite la producción de mezclas asfálticas tibias mediante la tecnología de espumado, para lo cual la Planta de Asfalto de la Ciudad de México, en conjunto con Grupo Súrfax, realizó a nivel laboratorio la simulación de la producción obteniendo los datos de desempeño que se observan en la tabla 3. En la tabla 3 se muestran los datos de estabilidad obtenidos para una mezcla en caliente utilizando sólo el sistema de espumado con agua, una mezcla tibia utilizando el sistema de espumado con agua y una mezcla tibia utilizando el sistema de espumado más el aditivo TB2 Plus. Los resultados muestran que el uso de un aditivo para la elaboración de mezclas tibias con este sistema incrementa el Módulo de resiliencia, el TSR y disminuye el desprendimiento. Los valores obtenidos cumplen con la normativa y el desempeño requerido.

Tabla 3. Desempeño de una mezcla asfáltica tibia elaborada con el aditivo para mezcla asfáltica tibia TB 2 plus. Producida bajo condiciones de espumado a nivel laboratorio emulando el sistema Green System® de la planta ASTEC recientemente adquirida por la Planta de Asfalto de la Ciudad de México. La mezcla asfáltica fue producida a una temperatura de 130°C y compactada a una temperatura de 110°C.

Tipo de Mezcla	Contenido de Asfalto (%)	Contenido de aditivo (%)	Módulo Resiliente (MPa)	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)	TSR (%)	Desprendimiento (%)
MAC	6	2.2	3800	>1200	< 4	93	>50
MAT	6	2.1	2108	>1000	<4	87	>50
MAT (TB2 PLUS)	6	2.1	3420	>1000	<4	90	14