



# ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO, A.C.

## OCTAVO CONGRESO MEXICANO DEL ASFALTO

### “MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO BAJO EL PROTOCOLO AMAAC”

*ING. VICTOR M. CINCIRE ROMERO A.  
Gerente de Proyectos  
SemMaterials México  
vcincire@semgroupcorp.com*

#### **RESUMEN**

Es evidente la necesidad que existe en nuestro país de retomar el uso de las mezclas asfálticas en frío, con nuevas tecnologías que permitan obtener el desempeño solicitado de este tipo de aplicaciones, principalmente en regiones de media a alta precipitación pluvial, zonas alejadas y donde en años anteriores se sustituyó su uso por mezclas en caliente que han presentado pobres desempeños debido a las dificultades para su producción y colocación en condiciones adversas de clima, complicaciones para el traslado de equipos o grandes distancias de acarreo de las mezclas.

Las Dependencias de Gobierno dedicadas a la construcción y conservación de la red carretera nacional han hecho patente esta necesidad, sobre todo aquellas que administran un alto porcentaje de la red que se ubica en zonas con las características señaladas y que representan un alto porcentaje del territorio nacional.

Para atender la necesidad del uso de mezclas asfálticas en frío, la AMAAC está desarrollando dentro del Protocolo de Emulsiones el documento de mezclas asfálticas en frío, a manera de prácticas recomendadas.

Las recomendaciones se podrán ajustar en función de las condiciones específicas de cada proyecto, integrando la experiencia local para generar especificaciones particulares que satisfagan las necesidades de la obra.

La recomendación de mezclas asfálticas en frío de la AMAAC, proporciona los criterios de uso actual, incluyendo metodologías de diseño, construcción y especificaciones con los avances más recientes en el ámbito nacional e

internacional y está orientada a servir como una herramienta que contribuya al buen uso de estas tecnologías.

En este trabajo se presentan los principales aspectos a los que se debe prestar atención en los procesos de diseño y construcción para obtener mezclas asfálticas en frío que satisfagan los requisitos del protocolo AMAAC y tengan el desempeño esperado de las mezclas diseñadas y construidas bajo este concepto.

## **ANTECEDENTES**

En México, las mezclas asfálticas con emulsión se utilizan desde la década de los 60's. Tradicionalmente se usaron para caminos de mediano y bajo tránsito y tuvieron un gran auge en los 90's. Sin embargo su uso disminuyó considerablemente en la última década, ya que en muchos casos no se obtenían los resultados esperados, por factores como el uso de emulsiones no formuladas correctamente para cada proyecto específico, procedimientos constructivos deficientes, diseños de normativa limitados y escasos controles de calidad.

Lo anterior contribuyó al incremento de aplicaciones de mezcla en caliente en caminos secundarios que también han presentado deficiencias por la producción de mezclas de mala calidad, largos traslados de mezcla y obras localizadas en zonas de alta precipitación pluvial que afectan su construcción y desempeño al aplicarse a temperaturas menores de las recomendadas o en presencia de lluvia, retrasando también los periodos de ejecución.

Sin embargo la actual situación mundial con respecto al agotamiento de recursos naturales, la alta emisión de gases de efecto invernadero y el alto consumo energético en la construcción y mantenimiento de pavimentos, requieren considerar tecnologías eco-ambientales y sustentables. Esto ha impulsado el desarrollo y uso de técnicas innovadoras de emulsiones y aditivos que permitan aplicaciones de mayor calidad y optimizar el consumo energético diferenciado por rangos de temperatura de aplicación como se muestra en la figura 1.

De esta manera, se propició que la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) estableciera el comité técnico de emulsiones para desarrollar un protocolo que sirva como propuesta de guía y prácticas recomendables en el uso de las emulsiones para las diferentes aplicaciones tanto de mantenimiento como de

construcción de pavimentos, para contar con herramientas y especificaciones que faciliten la toma de decisiones en la selección del tipo de mezcla más adecuado para un proyecto específico.

Se espera que en la industria se mantenga siempre la ética de hacer las cosas bien y con un alto nivel de calidad, apoyándose en el conocimiento y experiencia de empresas líderes y con el soporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Mexicano del Transporte.

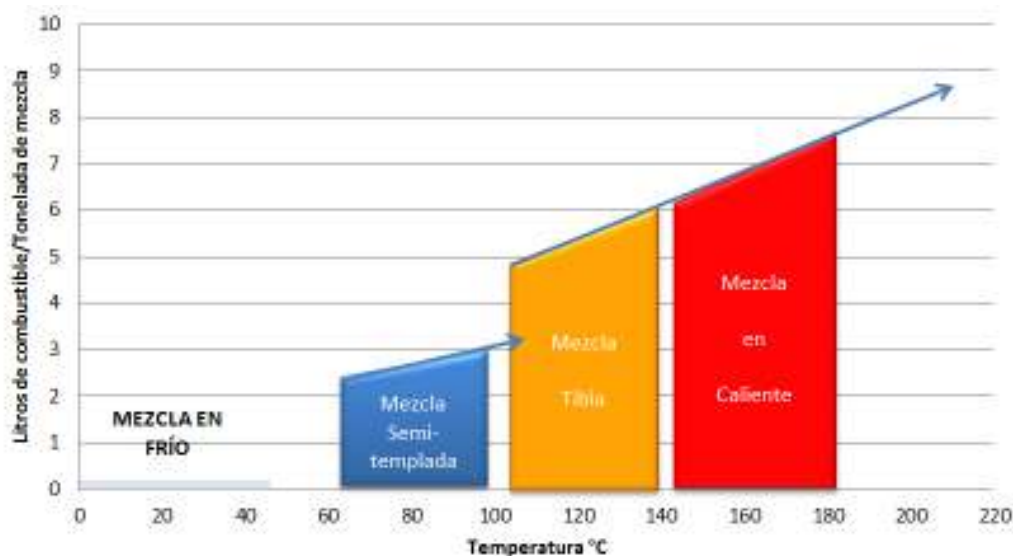


Figura 1.- Clasificación de las mezclas asfálticas en base a su temperatura de aplicación

### **MEZCLAS EN FRÍO DE ALTO DESEMPEÑO**

Las mezclas asfálticas en frío de alto desempeño de granulometría densa, son aquellas que se elaboran en planta mezcladora de dosificación controlada y automatizada, con materiales como emulsión asfáltica (que puede ser convencional o modificada), agregado pétreo, o material recuperado RAP, agua y aditivos cuando se requiera (promotores de adherencia, fillers, fibras, etc.), en las proporciones adecuadas, para que cumplan con los requerimientos especificados en el diseño, como se resume en la figura 2.

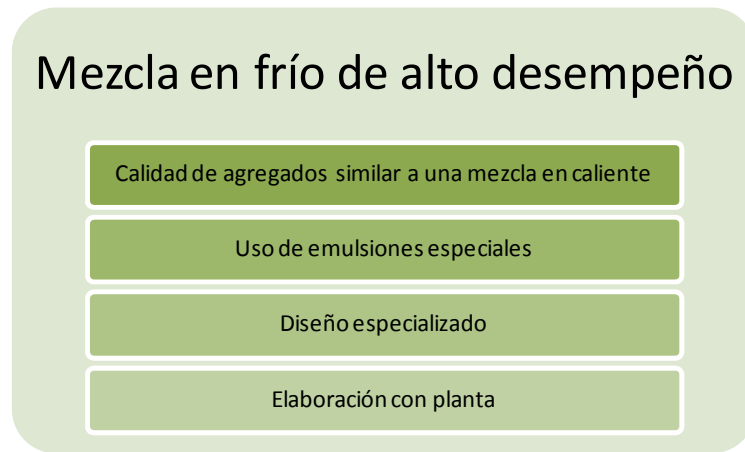


Figura 2. Mezcla en frío de alto desempeño

## **BENEFICIOS**

Las mezclas en frío de alto desempeño presentan los siguientes beneficios comparados con las mezclas en caliente:

1. En el proceso de mezclado se evita la oxidación del asfalto debido a que la mezcla con emulsión se produce a temperaturas cercanas a la ambiente.
2. No existen inconvenientes relacionados con la temperatura de aplicación, por lo que se pueden incrementar las distancias de acarreo.
3. Debido al uso de tensoactivos que se utilizan para emulsionar el asfalto, presentan mejor afinidad ligante-agregado.
4. Estas mezclas son aplicables incluso en temporada de lluvias, ampliando los periodos de ejecución.
5. Se pueden almacenar a temperatura ambiente.
6. Típicamente la producción de mezcla en caliente consume 275 MJ/ton con respecto a las mezclas en frío que consumen 14 MJ/ton, lo cual genera un ahorro de energía en el proceso de construcción de pavimentos.
7. Reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, ya que las mezclas en caliente típicamente emiten 22 Kg CO<sub>2</sub>/ton, mientras que las mezclas en frío emiten 1 Kg CO<sub>2</sub>/ton.
8. Desarrollan Módulos elásticos similares a los de mezclas en caliente.
9. Presentan mayor flexibilidad (son auto-reparables).

**LIMITACIONES** En virtud de que las mezclas asfálticas con emulsión curan gradualmente en el tiempo por su contenido de humedad, la resistencia se

desarrolla progresivamente. Sin embargo, con el objetivo de reducir los tiempos de ruptura de la emulsión y curado y cohesión de la mezcla se han desarrollado emulsiones especiales que permiten utilizar menores contenidos de humedad e incrementar la cohesión inicial. El uso de aditivos como el cemento Portland en conjunto con la emulsión asfáltica también permite incrementar dicha cohesión. En la actualidad también se están desarrollando micro-emulsiones (emulsiones con tamaño de partícula de los glóbulos de asfalto menores a 1 micra) para estas aplicaciones con la finalidad de desarrollar mezclas de altas prestaciones iniciales mejorando el comportamiento y requiriendo menor tiempo de curado.

### **PRINCIPALES ASPECTOS QUE SE DEBEN CUIDAR PARA OBTENER MEZCLAS CON LA CALIDAD RECOMENDADA EN EL PROTOCOLO AMAAC**

En las páginas subsecuentes, se presentan los principales aspectos que se deben cuidar durante los procesos de diseño y construcción de mezclas asfálticas en frío, para que los proyectos se apeguen a los criterios de las prácticas recomendadas en el protocolo AMAAC y las mezclas presenten el desempeño esperado, cuando son diseñadas y construidas bajo este protocolo.

Así mismo, para obtener un correcto funcionamiento de la capa estructural de la mezcla en frío de granulometría densa, se debe considerar lo siguiente:

- Contar con un diseño estructural adecuado, de acuerdo a la calidad de los materiales y en base al tránsito y tasa de crecimiento esperado durante su vida útil.
- Se requiere realizar el diseño de la mezcla previo al inicio de los trabajos. En esta etapa se define el tipo y cantidad de emulsión asfáltica y si se requiere del filler como cemento o cal, humedad requerida durante el mezclado y compactación y RAP (mezcla asfáltica reciclada) si es el caso.
- Las diferentes capas de la estructura deben cumplir con los requerimientos estructurales particulares del proyecto. Asegurar un adecuado procedimiento constructivo, incluyendo una correcta compactación de las capas, es crítico para obtener un buen desempeño y prevenir asentamientos y otro tipo de fallas posteriores.

**CALIDAD DE MATERIALES.**

**Emulsión asfáltica.** Las emulsiones recomendadas en el protocolo para este tipo de aplicaciones se indican en la Tabla 1. La emulsión se selecciona de acuerdo al diseño particular considerando que debe aportar una buena manejabilidad y cubrimiento, permitir la ruptura y curado adecuado, ayudar a mejorar la resistencia a la humedad y contribuir a alcanzar el valor del módulo dinámico especificado.

Tabla 1. Propiedades de las emulsiones asfálticas

PROPIEDAD	ECM-60		ECM-65		ECM-60P		ECL-60		ECL-65		ECL60-P	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, s	--	-	--	-	--	--	10	-	25	-	10	-
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, s	10	-	25	-	10	--	-	-	-	-	-	-
Carga de la particular	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
Residuo asfáltico, %	60		65		60		60		65		60	
Agente fluxante por destilación, %		5		5		5		5		5		5
Retenido en malla no. 20, %		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1
Pasa malla #20 y retiene en malla núm. 60 en la prueba de tamiz, % máximo		0.25		0.25		0.25		0.25		0.25		0.25
<b>Pruebas al residuo de la emulsión por destilación.</b>												
Penetración a 25°C, 100g, 5 segundos, 0.1mm	100	250	100	250	100	250	100	250	100	250	100	250
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min, cm	40	--	40	--	40	--	40	--	40	--	40	--
Recuperación elástica por ductilómetro a 10°C, %	--	--	--	--	30	--	--	--	--	--	30	--
Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5	--	97.5	--	97.5	--	97.5	--	97.5	--	97.5	--

VIII CONGRESO MEXICANO DEL ASFALTO

TRANSFORMACION EN MOVIMIENTO

Nota: Cuando el proyecto lo requiera se podrán utilizar penetraciones de 40 a 90 dmm para cumplir los requerimientos de diseño de esta EP.

En México se cuenta con la tecnología en formulación y plantas de fabricación necesarias, para producir emulsiones que cumplan los parámetros indicados en la tabla anterior.

**Material pétreo.** Se recomienda que el agregado cumpla los requisitos de granulometría que se establecen en la tabla 2 y las características indicadas en las tablas 3 y 4.

Tabla 2. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas en frío de alta calidad.

Mallas		Tamaño nominal del material pétreo mm (pulgadas)			
Designación	Abertura	25	19	12.5	9,5
	Mm	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")
		Porcentaje que pasa			
2"	50	-	-	-	-
1 ½"	37,5	100-100	-	-	-
1"	25	90-100	100 - 100	-	-
¾"	19	- 90	90 - 100	100-100	-
1/2"	12,5	-	- 90	90 - 100	100 - 100
3/8"	9,5	-	-	- 90	90 - 100
4	4,75	-	-	-	- 90
8	2,36	15-41	23 - 49	28-58	32 - 67
16	1,18	-	-	-	-
30	0,60	-	-	-	-
50	0,30	-	-	-	-
100	0,15	-	-	-	-
200	0,075	0-6	2 - 8	2-10	2-10

Como ejemplo, la figura 3 ilustra los límites establecidos para una mezcla con tamaño nominal de 19mm (3/4"). La escala de la abertura de la malla está elevada a la potencia 0,45.

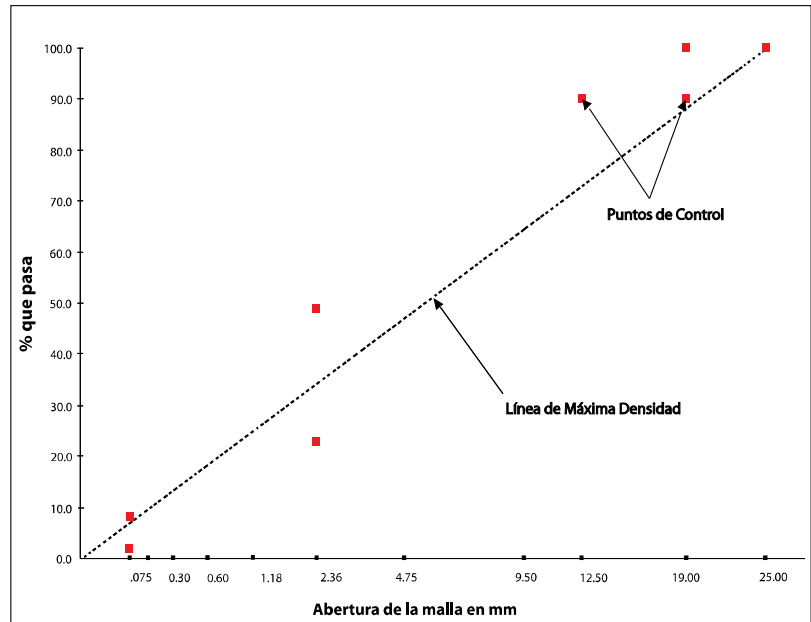


Figura 3.- Granulometría para mezclas con tamaño nominal de 19 mm (3/4").

Tabla 3. Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas en frío de granulometría densa, de alta calidad.

Característica	Norma	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	30 máx. (capas estructurales)
Desgaste Microdeval, %	AASHTO TP 58-99	18 máx. (capas estructurales)
Intemperismo acelerado, %	AASHTO T 104	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas alargadas, %	ASTM D 4791	3 a 1 %, 15 máx.
Partículas lajeadas, %	ASTM D 4791	3 a 1 %, 15 máx.

Tabla 4. Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas en frío de granulometría densa, de alta calidad.

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena, %	ASTM D 2419	50 min. (capas estructurales)
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05/2008	15 máx. (capas estructurales)

**Otros materiales.** Si se requieren aditivos o fillers para cumplir los requerimientos del diseño de la mezcla, el tipo y porcentaje por utilizar deben ser especificados en el diseño para su aprobación.

**Observaciones.**

En la mayor parte del territorio nacional existen bancos de agregados que satisfacen los requisitos mencionados. En algunos casos particulares se dificulta obtener agregados que cumplan los valores de desgaste e intemperismo requeridos, por lo que se debe realizar un estudio de costo-beneficio para definir si es conveniente transportar los agregados de mayores distancias, o si es necesario utilizar los agregados locales y generar especificaciones particulares que permitan obtener una aceptable calidad de la mezcla considerando estas deficiencias.

Las características de caras fracturadas, forma de la partícula y angularidad del agregado fino están asociadas al equipo de trituración, por lo que se debe contar con apropiados equipos para este fin.



El desgaste, intemperismo, equivalente de arena y azul de metileno son propiedades inherentes al origen de la fuente del agregado.

### **DISEÑO DE LA MEZCLA**

El protocolo AMAAC establece que la mezcla asfáltica deberá cumplir los requisitos de calidad indicados en la tabla 8, El contenido de asfalto óptimo será el necesario para obtener un porcentaje de vacíos de aire (Va) en la mezcla de 4 a 10 %, cumpliéndose además los requerimientos en pruebas de desempeño indicadas en la misma tabla.

Tabla 8. Requisitos de calidad de la mezcla asfáltica en frío, con emulsión asfáltica.

<b><i>Propiedad</i></b>	<b><i>Criterio</i></b>
Afinidad con el asfalto ASTM D3625, % de cubrimiento mínimo	90
Compactación usando el SGC (Compactador giratorio de Superpave); ángulo 1.25°, 600kPa, giros.	40
Vacíos del agregado mineral (VAM), % mín.	13
Vacíos llenos de aire, %.	4 a 10
Retención de tensión indirecta, ASTM D 4867, % mínimo.	80
Modulo dinámico @ 20°C, AASHTO TP 62-07, MPa mínimo.	3,000

### **Observaciones**

Los vacíos de aire se establecen del 4 al 10 % ya que inicialmente la mezcla contiene humedad y va curando gradualmente.

Cuando se cumplen los requisitos del agregado y se utiliza una emulsión apropiadamente formulada, se puede alcanzar el módulo dinámico solicitado. Si es necesario se puede utilizar un estabilizador como cal o cemento para obtener el valor inicial del Módulo, el cual va incrementándose con el curado de la mezcla.



Compactación giratoria



Tensión indirecta



Módulo dinámico

## CONSTRUCCIÓN

**Planta de mezclado.** Se recomienda que la planta de mezclado tenga las características solicitadas en el protocolo, como se indica a continuación.

- Capacidad de producción mínima de 100 toneladas por hora
- Dos tolvas con cribas para eliminar sobre-tamaños, protegidas de la lluvia y el polvo, con capacidad suficiente para asegurar la operación continúa durante un mínimo de 15 minutos sin ser alimentadas.
- Silo para almacenar y proteger el filler de aporte, con sistema para dosificación ajustable.
- Dispositivos computarizados para dosificar los materiales por masa y/o por volumen que permitan un fácil ajuste de la dosificación de los componentes de la mezcla asfáltica y con la precisión requerida.

- Mezcladora de paletas con doble eje mezclador para lograr un mezclado homogéneo de los materiales.

### Observaciones

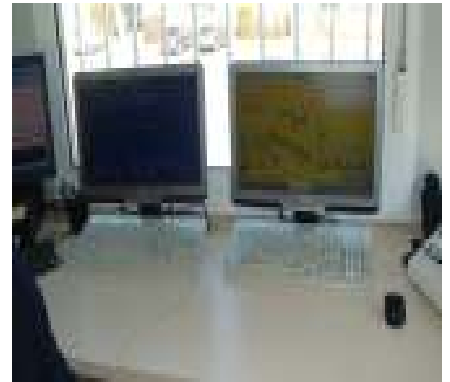
Existen plantas de doble mezclado, para mejorar el cubrimiento del agregado, como la que se muestra en las siguientes fotografías, totalmente automatizadas y que cuentan con dispositivos de incorporación de filler.



Panorámica de la planta



Descarga de materiales al doble mezclador



Centro de control

Así mismo otras plantas con las que se producen mezclas de muy buena calidad, también totalmente automatizadas y que cuentan con dispositivos de incorporación de filler son las siguientes.



Panorámica de la planta



Centro de control



Mezclador

**Equipo de construcción.** El equipo de construcción, como pavimentadoras, compactadores y barredoras, debe cumplir con requerimientos similares a los utilizados para mezcla en caliente y se especifican en el Protocolo



Tendido con pavimentadora



Compactación de la mezcla

**El procedimiento constructivo debe asegurar la correcta colocación y compactación de la mezcla, como se describe en el Protocolo AMAAC.**

Previo al inicio formal de los trabajos se deberá realizar un tramo de prueba para definir el proceso constructivo y de compactación de la mezcla para asegurar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

**Consideraciones antes de aplicar un tratamiento.** Antes de colocar cualquier tratamiento sobre la carpeta se debe permitir el curado hasta que el contenido de humedad en el material sea reducida a 2.5% o menos, o según lo que especifique la Dependencia.

**El control de calidad también se especifica en el protocolo AMAAC y básicamente se recomienda lo siguiente.**

Personal de supervisión del Contratista y laboratorio de control deben llevar a cabo una reunión con la Dependencia para llegar a un mutuo acuerdo acerca de los métodos de aseguramiento de la calidad de las diferentes fases del proyecto, previo al inicio de la obra.

El Contratista será el responsable del control de calidad de la mezcla asfáltica. El control de calidad debe cubrir las siguientes mediciones: granulometría, contenido de humedad, contenido de asfalto residual, retención de tensión indirecta de la mezcla y grado de compactación en campo, complementándolo de acuerdo a lo solicitado en especificación particular para los diferentes materiales utilizados y mezcla final.

Emulsión asfáltica. Un representante de la compañía que suministrará la emulsión deberá verificar las propiedades de mezclado, rompimiento y fraguado de la emulsión cuando se requiera, para realizar los ajustes a la formulación de la emulsión, si fuera necesario.

Material pétreo. El material pétreo debe ser consistente y cumplir los requisitos solicitados.

Contenido de humedad del agregado. Previo a la producción de la mezcla, el contenido de humedad del agregado pétreo debe ser determinado en campo para definir la humedad que se adicionará a fin de lograr la humedad óptima de mezclado.

Contenido de emulsión. La cantidad de emulsión asfáltica debe ser la determinada en el diseño de la mezcla. Cualquier cambio en el contenido debe ser aprobado por la Dependencia. El porcentaje de emulsión adicionada debe ser verificada por medio de medidores de flujo y por el contenido de asfalto residual de la mezcla.

Control de espesores. Los espesores deben ser monitoreados regularmente para determinar el cumplimiento de lo especificado en el proyecto.

Control de la compactación. Para la medición de densidad real y definir el patrón de compactación se requiere efectuar el tramo de prueba

## **CONCLUSIONES**

- Las prácticas recomendadas de mezclas asfálticas en frío son una herramienta que contribuye al buen uso de estas tecnologías y permite tener mayor certidumbre en obtener mezclas asfálticas en frío de alta calidad,

- La recomendación de mezclas asfálticas en frío se puede ajustar a las necesidades específicas del proyecto y experiencia local utilizando especificaciones particulares.
- En la mayor parte del territorio nacional se dispone de agregados y plantas de emulsión, para cumplir los requisitos del diseño.
- En México se cuenta con laboratorios equipados para realizar el diseño, control y verificación de calidad, solicitados.
- Se dispone de los equipos de producción y construcción para obtener la calidad deseada de la mezcla en obra.
- Lograr aplicaciones de buena calidad, requieren que la Dependencia haga cumplir los parámetros establecidos en las especificaciones particulares.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

1. Emulsion Mix Design Methods: An Overview, H Fred Waller, TRB 754, 1-9
2. Protocolo AMAAC PA-MA 01/2008. Diseño de Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa de Alto Desempeño.
3. Standard Test Method for determining the Workability of Asphalt Cold Mix Patching Material, ASTM D6704.
4. Diseño de Mezclas en frío, Didier Lesueur, Juan José Potti. Revista Técnica De la Asociación Española de Carreteras Marzo/Abril 2005. P. 48-63
5. Mechanical characteristics of emulsion cold mixes”, Caronneau X Henrat et all, Revenue générale des routes aédromes No. 804 2002, p. 58-66
6. Influence of curing on cold mix mechanical performance. Serfass J. P. Poirier, J..E. Henra, P. and Carbonneau, Proc 6<sup>th</sup> RILIEM Symposium on Performance Testing Evalution Materials, 2003.
7. Basic Asphalt Recycling Manual, Asphalt Reclaiming and Recycling Association.