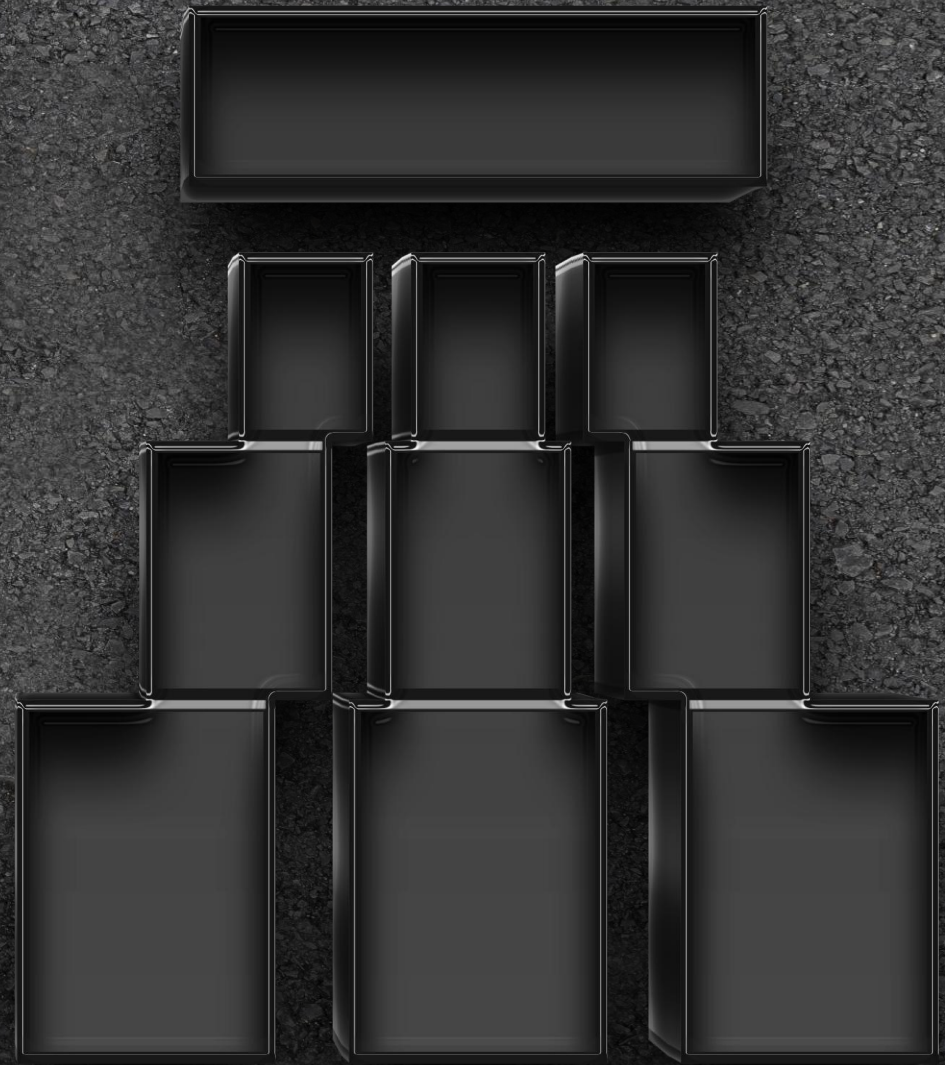




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.



GRUPO
SÚRFAX

OPTIMIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS CON EMULSIÓN A PARTIR DEL USO DE AGENTES DE RECICLAJE

Dr. Guillermo Flores Cuevas

Asesor de Ingeniería Grupo Súrfax

Prof. Investigador UANL

guillermo.flores@surfax.com.mx



DESDE
1991

GRUPO
SÚRFAX

SOLUCIONES PARA PAVIMENTOS

DESDE
1991



LA CIENCIA DE LOS PAVIMENTOS

DESDE
1991

GRUPO
SÚRFAX

NINGÚN KM NOS DETIENE



XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

CONTENIDOS



- 01** Introducción
- 02** Materiales
- 03** Metodología
- 04** Análisis de resultados
- 05** Conclusiones



Calentamiento global, conservación de la energía y reducción de emisiones

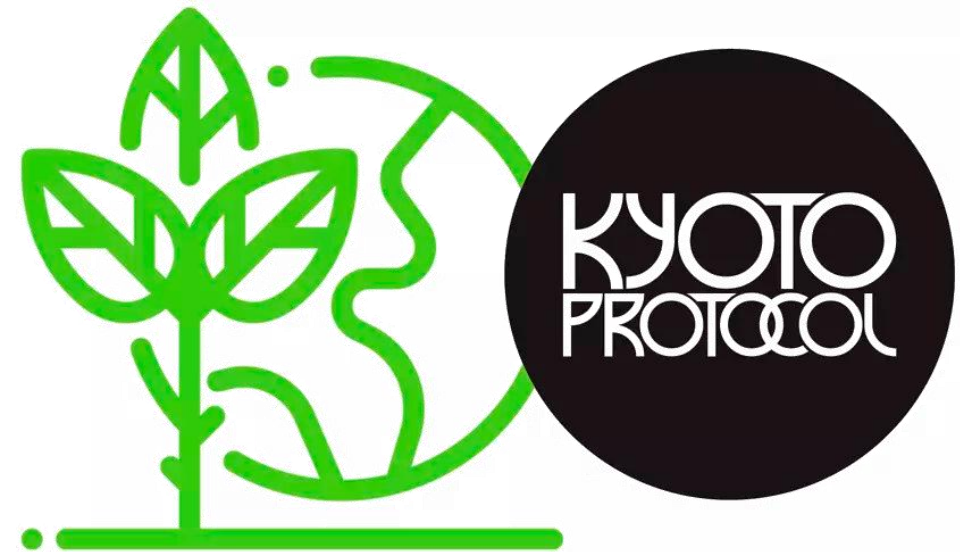
Protocolo de Kyoto

Protocolo de kyoto (1997- vigor 2005)

Urge la necesidad de cumplir con el protocolo sin afectar las prestaciones mecanicas de la mezcla.

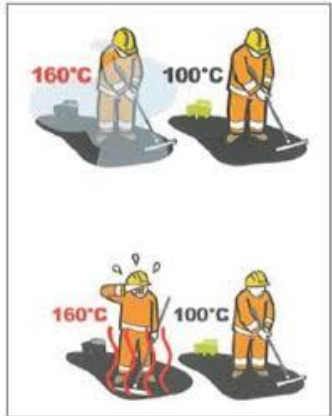
Surge el interes por:

- Consumo de combustible
- Humedad de los agregados
- Emisiones resultantes



Objetivo

- Económico: Reducir el consumo de combustible
- Ambiental: Reducir emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes.
- Reducir el envejecimiento prematuro del asfalto
- Aumentar distancias de traslado
- Mayor margen de tiempo en tendido y compactación
- Mejorar condiciones de trabajo de los operarios



Uso masivo de materias primas en la industria de la construcción.



Materiales reciclados en la construcción de carreteras.



El reciclaje de pavimentos

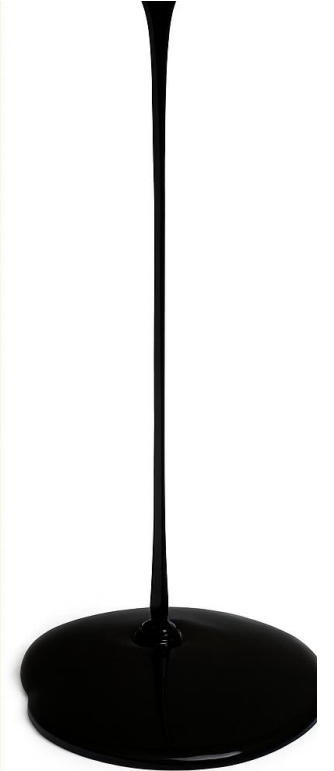
El reciclaje de pavimentos asfálticos se remonta a los años 1915, sin embargo, se convirtió en una práctica común hasta principios de la década de 1970 cuando se dio el súbito incremento en precio del ligante asfáltico como consecuencia del embargo árabe de petróleo en 1973.

La industria de los pavimentos asfálticos reaccionó a esta situación desarrollando tecnologías de reciclado que ayudaran a reducir la demanda de asfalto y por lo tanto reducir los costos de las mezclas asfálticas.



El reciclaje de pavimentos

Reduce la demanda de recursos naturales no renovables (asfalto y agregados).



El reciclaje de pavimentos

Reduce el consumo de energía y las emisiones asociadas con la extracción y el transporte de estas materias primas.



El reciclaje de pavimentos

Evita también la acumulación del RAP desechado que termina convirtiéndose en un problema ambiental y paisajístico.



El reciclaje de pavimentos

El RAP que usado para el reciclado puede ser obtenido de múltiples fuentes, dentro de las más comunes se encuentra el fresado, recuperación profunda del pavimento y los residuos de las plantas de mezclas asfálticas.

Es un material valioso y de alta calidad que puede reemplazar a los agregados y al asfalto que son más costosos.



Problema a solucionar

- Las carreteras que llegan al final de su vida útil son sustituidas por mezclas nuevas a partir de material virgen. En el mejor de los casos el RAP es utilizado como parte del mejoramiento de las bases, a partir de estabilizaciones con emulsión o espumado.
- No se cuenta con un inventario del RAP disponible, tampoco de las estimaciones anuales de producción, y a veces ni siquiera de la localización exacta de los vertederos donde se ha llevado el RAP.
- Hace falta regulación de la normativa en relación con las condiciones que deben de cumplir los bancos de RAP y la forma de disponer de este material para poder ser utilizado posteriormente como parte de las mezclas.
- Se requiere incluir las pautas para el diseño de mezclas con RAP, en las que se consideren todas las técnicas que aseguren la calidad de la mezcla (Ya sea en caliente o con temperaturas reducidas), el contenido y clasificación del ligante y el cálculo de las granulometrías combinadas.
- Finalmente se requiere un esfuerzo constante de integración de la industria de la carretera para lograr sinergias que den como resultado el lograr una economía circular del manejo de las carreteras.

Materiales

- Empleó RAP proveniente de Autopistas mexicanas, el cual contenía un 6,4% de asfalto con relación a los pétreos, un 6.02% con relación a la masa de la mezcla
- Agregado pétreo triturado de origen basáltico proveniente del banco Asfaltos Guadalajara, Tonalá, Jalisco

Temperatura de falla [g*/senδ=1.0 kpa], (°c)	103,0
Modulo reológico de corte dinámico a 100 °c, [g*/senδ], (kpa)	1,30
Ángulo de fase a 100 °c, [δ], (°)	76,8

Ensayo	Resultado	Especificación	Métodos de prueba
Desgaste de Los Ángeles, (%)	11,3	30 máx.	ASTM C131
Desgaste Microdeval (%)	8,5	18 máx.	ASTM D6928
Intemperismo acelerado, (%)	0,2	15 máx.	ASTM C88
Partículas trituradas (%)	100	90 mín.	ASTM D 5821
Partículas alargadas y lajeadas "B" 1:3 (%)	9,1	15 máx.	ASTM D 4791
Densidad (T/m³)	2,745	2,4 mín.	ASTM C127
Absorción (%)	0,8	Reportar	ASTM C127
Equivalente de arena (%)	70,0	50 mín.	ASTM D2419
Azul de metileno (mg/g)	22	15 máx.	AMAAC RA 05
Angularidad del fino (%)	45	40 mín.	AASHTO T 304
Densidad (T/m³)	2,627	2,4 mín.	ASTM C128-12
Absorción (%)	1,7	Reportar	ASTM C128-12

Metodología

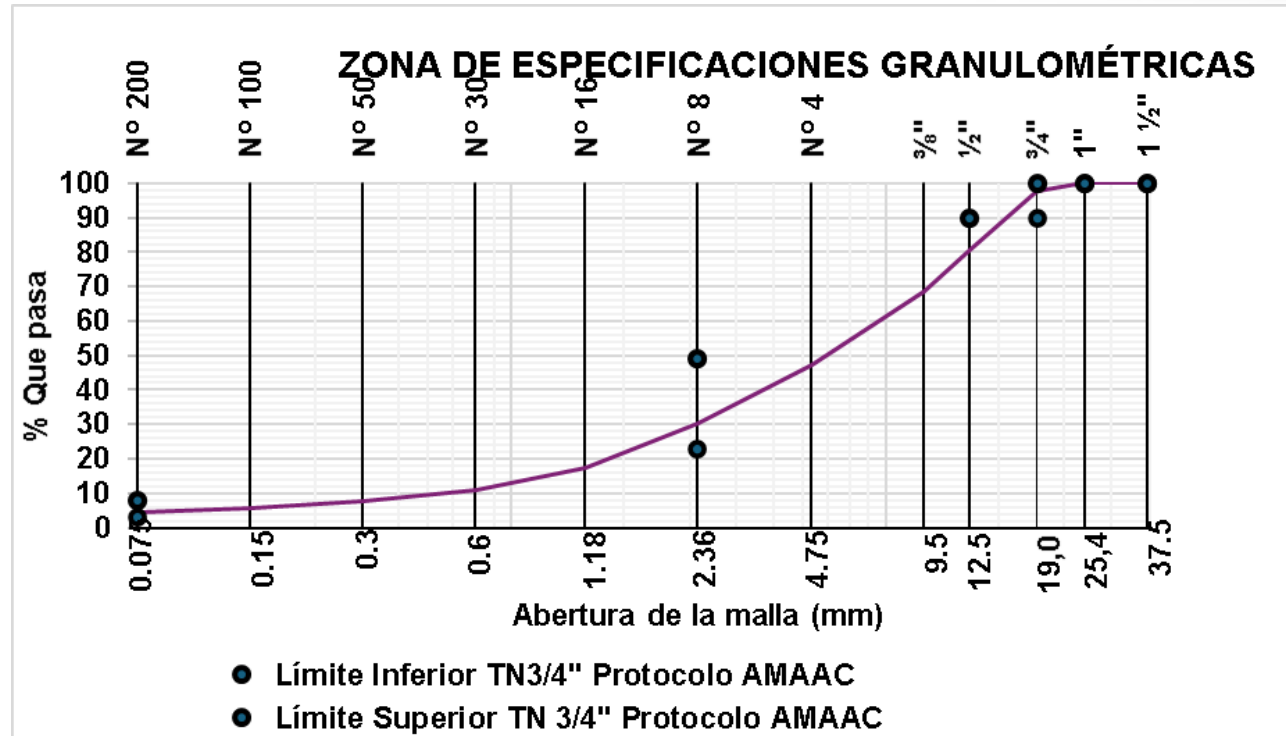
- Granulometría

Mezcla densa ¾" protocolo AMAAC

20% grava ¾"

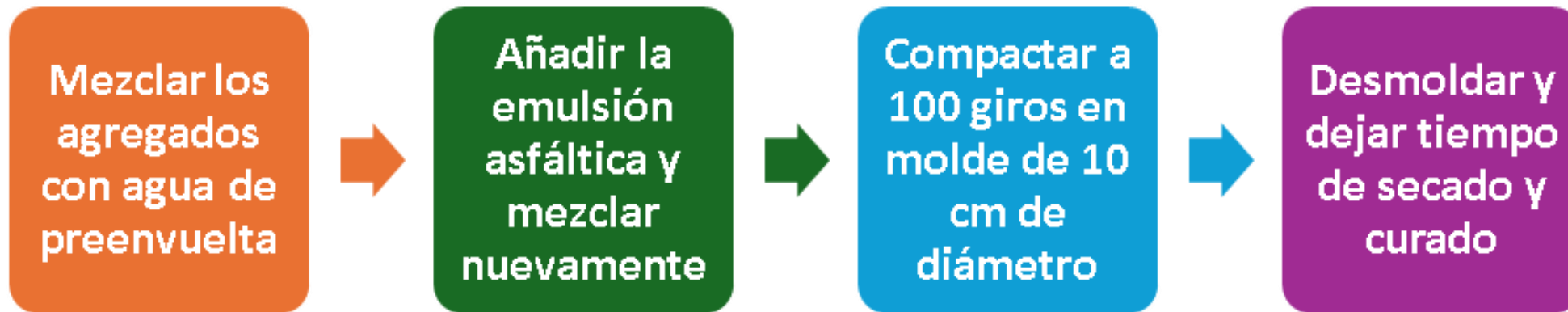
30% arena

50% RAP



- Contenido de emulsión del 9%= asfalto residual de 5.6 con.
- Para determinar el agua de preenvuelta adicional se midió el tiempo de rotura y la calidad de la envuelta. El resultado fue de 3% de agua adicional

Preparación de especímenes



Se determinó dejara temperatura ambiente durante al menos 24 horas y posteriormente someterlo a calentamiento de 50°C hasta confirmar el peso constante.

Preparación de especímenes

Se fabricó una serie de probetas con la adición de un agente de reciclado del tipo modificador de penetración en un porcentaje del 2% con respecto al peso del RAP.

La diferencia en el proceso de fabricación fue que se estableció un proceso de pretratamiento del RAP con el agente de reciclaje con el porcentaje de estudio. Se determina que para agregar el aditivo se mezcle la parte de la granulometría del RAP con el aditivo en la proporción seleccionada y se deje reposar por al menos 10 minutos antes de comenzar el proceso de mezclado y compactación.



Se determinó dejara temperatura ambiente durante al menos 24 horas y posteriormente someterlo a calentamiento de 50°C hasta confirmar el peso constante.

Uno de los parámetros más difíciles de optimizar para las mezclas en frío es el de el contenido de vacíos, los resultados obtenidos para la mezcla de referencia se muestran a continuación.

Mezcla de Referencia

ID	% C.A.M.	% C.A.P.	Gmm	Densidad (t/m ³)	Vacíos (%)	% Vacíos promedio	VAM	VFA
EA-1	5,21	5,50	2,370	2,122	10,5	8,8	24,94	58,09
EA-2	5,21	5,50		2,156	9,0		23,74	61,97
EA-3	5,21	5,50		2,170	8,4		23,23	63,77
EA-4	5,21	5,50		2,200	7,2		22,19	67,68

Mezcla con Agente de Reciclado

ID	% C.A.M.	% C.A.P.	Gmm	Densidad (t/m ³)	Vacíos (%)	% Vacíos promedio	VAM	VFA
E-1	5,21	5,50	2,313	2,245	2,9	4,0	20,57	85,85
E-2	5,21	5,50		2,201	4,8		22,15	78,15
E-3	5,21	5,50		2,195	5,1		22,34	77,29
E-4	5,21	5,50		2,240	3,1		20,75	84,90

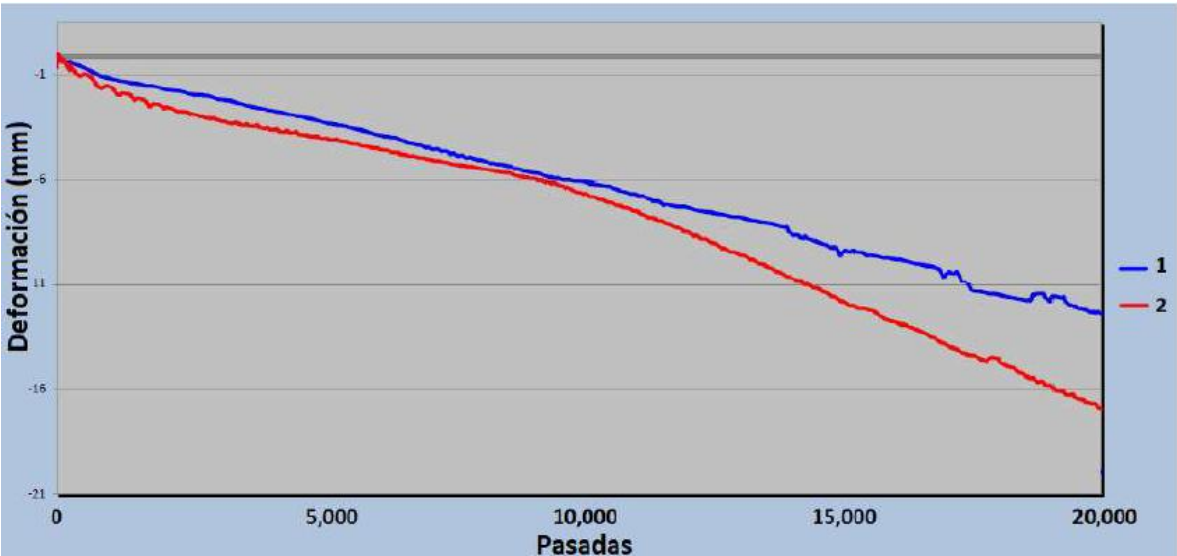
Resultados de TSR

Variable	Promedio de esfuerzo seco (kPa), S_t	Promedio de esfuerzo en húmedo (kPa), S_{ta}	TSR (S_{ta}/S_t) *100 [%]
Mezcla de referencia	369.5	368.5	99.7%
Mezcla con agente de reciclado	284.1	256.4	90.2%

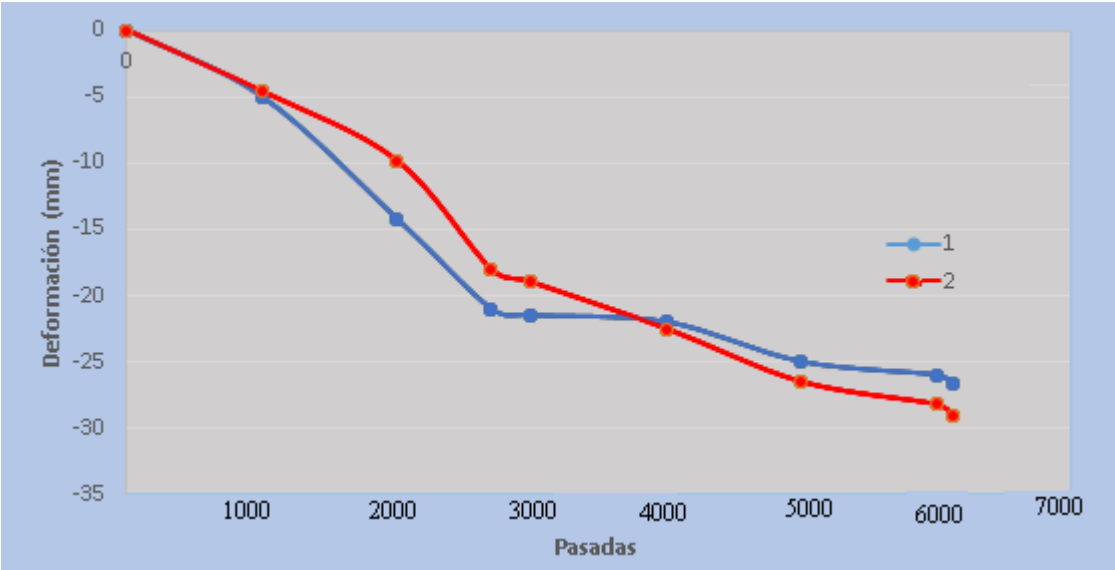
Resultados de Rueda Cargada de Hamburgo

PROBETA	Contenido de vacíos	Número de pasadas promedio	Deformación promedio
Mezcla de referencia	7.3	20,000	14.8
Mezcla con agente de reciclado	3.8	6,164	28.74

Mezcla de Referencia



Mezcla con Agente



Conclusiones

- Desde el punto de vista volumétrico el agente de reciclado logra una compactación considerablemente más adecuada y cercana al de una mezcla convencional en caliente, ya que pasa de contenidos de vacíos de 8.8% en la mezcla de referencia a 4% en la mezcla con agente de reciclado. **Cabe recalcar que uno de los puntos más relevantes es que consigue esta compactación sin la adición de agua de preenvuelta, por lo que permite tener un curado más rápido que se vería reflejado directamente en el tiempo de apertura al tránsito en la vida real.**
- Considerando los resultados de la prueba de TSR, aunque el agente de reciclado redujo la resistencia a la susceptibilidad al agua, **se encuentra dentro de parámetros aceptables para su implementación en proyectos reales.**
- La prueba de rueda cargada de Hamburgo no cumple para la mezcla con agente de reciclado, ya que se terminó desintegrando a poco más de 6 mil pasadas. Estos resultados podemos atribuirlos a varios factores.
 - El agente logró remobilizar el asfalto del RAP, por lo que la granulometría elegida tendría que ser modificada para tener un esqueleto más robusto.
 - Otra opción sería que el agente de reciclado no se ha dosificado en el porcentaje óptimo, ablandando en demasía la mezcla.
 - Otra posible explicación es que el proceso de fabricación o curado podrían no ser los adecuados.
- No cabe duda que la relevancia en la disminución del contenido de vacíos es importante y la investigación nos brinda la oportunidad de abrir varias líneas de investigación.



Asociación Mexicana
del Asfalto, A.C.



GRUPO
SÚRFAX

AGRADECEMOS SU PRESENCIA



guillermo.flores@surfax.com.mx



gruposurfax.com.mx



[/Guillermo Flores Cuevas](#)

@GrupoSúrfax



DESDE
1991

GRUPO
SÚRFAX

SOLUCIONES PARA PAVIMENTOS

DESDE
1991



LA CIENCIA DE LOS PAVIMENTOS

DESDE
1991

GRUPO
SÚRFAX

NINGÚN KM NOS DETIENE