



ESTUDIO DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA HUMEDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON RAP ELABORADAS EN FRÍO, MEDIANTE EL ENSAYO DE TSR

Ing. José Rafael Bernal Padilla ^[1], Dr. Jorge Alarcón Ibarra ^[2], M.I Eymard Ávila Vázquez ^[3]

^[1] Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, Morelia, Michoacán, México, rafa3_91@hotmail.com

^[2] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, jorge.alarcon.ibarra@hotmail.com

^[3] SemMaterials México, Puebla, Puebla, México, eavila@semgroupcorp.com

Resumen

Esta investigación permitió caracterizar la susceptibilidad a la humedad de mezclas asfálticas elaboradas en frío con diferentes tasas de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).

Se analizaron mezclas con tres porcentajes de RAP: 30%, 50% y 100%, para realizar la comparativa del desempeño mecánico teniendo como referencia una mezcla de control (sin RAP).

Para la elaboración de los especímenes de prueba se utilizaron las variables de humedad de compactación y el contenido de emulsión asfáltica. Con relación a la humedad de compactación se utilizaron dos condiciones: 60 y 70% de humedad total perdida en la mezcla, y en lo que respecta al contenido de emulsión se utilizaron las cantidades determinadas en los pre-diseños mediante características de manejabilidad y cubrimiento del material.

Los contenidos óptimos de agua-emulsión y el desempeño mecánico de las mezclas fueron evaluados mediante la prueba de AASHTO T 283 *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture – Induced Damage*.

En el estudio se pudo observar el incremento gradual de la resistencia de la mezcla en función del tiempo de envejecimiento o curado de las muestras así como un aumento en el valor de la relación de esfuerzos de tensión por efecto de humedad (TSR) dependiente del porcentaje de RAP empleado. Con base a los valores determinados se puede concluir que el uso del RAP en las mezclas fabricadas en frío le proporciona propiedades que les permiten alcanzar el requisito de susceptibilidad a la humedad, en una etapa temprana, para una estructura de este tipo.

Palabras Clave: Mezclas asfálticas en frío, RAP, TSR.

1. Introducción

La infraestructura carretera en nuestro país juega un papel de suma importancia, ya que por ella transita la gran mayoría de las cargas y pasajeros, lo que conlleva al impacto directo en el crecimiento económico y social del país, por lo que es necesario la construcción, modernización y conservación de dicha infraestructura.

Las técnicas de conservación en nuestro país son muy variadas dependiendo de muchos factores, sin embargo hay un factor que cada vez toma más protagonismo: la sensibilización sobre los temas ambientales, es decir, requerimos técnicas que nos permitan por un lado tener una infraestructura carretera con índices de desempeño satisfactorios, pero además que tengan un menor impacto ecológico que las tecnologías tradicionales. Es en esta parte donde el material reciclado de los caminos existentes, sumado a la disminución de la energía utilizada para la elaboración de la mezcla toma una importancia relevante.

El uso de emulsiones en México ha presentado una disminución en los últimos años, debido principalmente al desempeño mostrado en las mezclas fabricadas en frío, es por ello que requerimos dotar de alguna manera a dichas mezclas para que presenten el comportamiento deseado.

Las fallas más comunes en las mezclas asfálticas fabricadas en frío, se presentan a edades tempranas, cuando no ha logrado alcanzar la resistencia necesaria. La inclusión de RAP en las mezclas en frío podría contribuir a compensar las deficiencias de este tipo de mezclas, toda vez que algunos estudios se ha mostrado que el material reciclado en mezcla en caliente no sólo actúa como una fracción de agregado adicional (roca negra), sino que el asfalto presente en él interactúa con el comportamiento mecánico de la mezcla (Anderson, 2001).

De acuerdo a algunos estudios realizados (Huerta, 2016; Vidal, 2011), una de las características que les aporta el RAP a las mezclas asfálticas, es el aumento de la rigidez, una propiedad mecánica en la que las mezclas en frío presentan valores que no permiten a este tipo de mezclas comportarse de manera adecuada, principalmente en su etapa inicial de construcción.

2. Proceso experimental

El estudio consideró el análisis de mezclas asfálticas con tres contenidos de RAP
Compactación de las muestras

2.1. Materiales

2.1.1. Agregados pétreos



Los materiales pétreos utilizados fueron tomados del banco “La Letra” y “Derrumbadas”, ambos localizados en la zona centro del país, en el Estado de Puebla.

2.1.2. Emulsión Asfáltica

Para el proyecto se evaluó un grupo de cinco emulsiones asfálticas, del cual fue seleccionada aquella que mostró un comportamiento adecuado en la etapa de pre-diseños, dicha emulsión presentó las características de la

Tabla 1.

Prueba	Método de Prueba	Especificación	Valor obtenido
Contenido de cemento asfáltico, 204°C, %	ASTM D244-95	60 min.	61.2
Viscosidad Saybolt Furol 25°C, SSF	ASTM D88-94	5-100	31
Asentamiento a 5 días, %	ASTM D6930	5 max.	4.8
Retenido en malla N°20, %	ASTM D244-95	0.1 max.	0.0000
Pruebas al residuo de la emulsión			
Penetración a 25°C, 100g/5seg, 1/10mm			61.0
D (v,0.1)			2.98
D (4,3)			5.46
D (v,0.5)			4.98
D (3,2)			4.64
D(v,0.9)			8.32
span			1.071

Tabla 1. Resultados de la evaluación de la Emulsión

2.2. Fórmula de trabajo

Para determinar la granulometría de diseño de acuerdo al Protocolo AMAAC, se hizo la consideración de la granulometría directa del RAP sin extraer el asfalto presente, ya que la mezcla se realiza a temperaturas ambientes, los grumos de RAP no se disgregan al ser incorporados a la mezcla. En la Figura 1 se muestra la granulometría de diseño usada en el estudio y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la granulometría de la mezcla si se considera la extracción de asfalto por el proceso de incinerado.

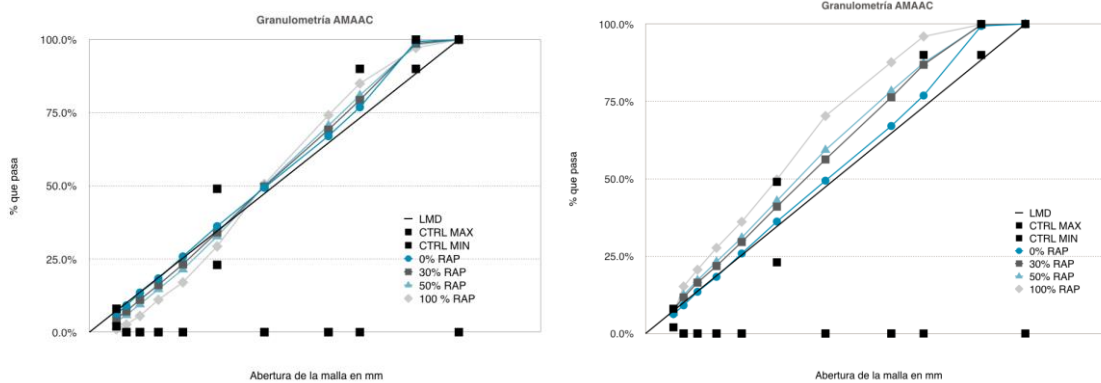


Figura 1 y 2. Granulometría de Diseño, Granulometría real de la mezcla (incineración)

2.3. Compactación y curado de las muestras

La compactación de los especímenes de prueba se realizó en compactador giratorio, a una altura promedio de 63.5 mm, con un límite máximo de 100 giros. Antes de la compactación, los especímenes fueron curados en un horno a 60°C durante 72 h (3 días), con la finalidad de permitir la evaporación del agua presente en la mezcla hasta alcanzar la condición establecida en el proceso (60 y 70% de pérdida de humedad total inicial).

Finalizado el proceso de compactación, se obtuvieron las propiedades volumétricas de los especímenes. La densidad compacta de las pastillas (Gmb) se determinó mediante el uso de equipo de vacío de acuerdo a ASTM D 6752-09, debido a que las muestras presentaron una absorción mayor al 2%.

3. Resultados

3.1. Propiedades volumétricas

En primera instancia, se obtuvieron los valores correspondientes a la gravedad teórica máxima (Gmm) de las mezclas; para su obtención las muestras se sometieron a un proceso de curado en un horno a una temperatura de 60°C durante 72 h (3 días) para posteriormente efectuar el proceso establecido en ASTM D 2041 (Valdez, 2016). Los resultados de Gmm, Gmb y vacíos de aire son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de Gmm, Gmb y % vacíos de aire

RAP, %	Contenido asfáltico, %	Contenido de Humedad perdida, %	Valor Gmm, promedio	Valor Gmb, promedio	%Va, promedio
0 (CONTROL)	4.6	60	2.471	2.120	14.22
		70		2.125	14.00
	5.2	60	2.444	2.116	13.40
		70		2.149	12.05
	5.8	60	2.418	2.154	10.92
		70		2.163	10.53
30	5.6	60	2.441	2.110	13.55
		70		2.119	13.20
	6.2	60	2.427	2.127	12.35
		70		2.129	12.25
	6.9	60	2.401	2.139	10.89
		70		2.146	10.59
50	6.4	60	2.439	2.100	13.93
		70		2.106	13.67
	7.0	60	2.416	2.112	12.59
		70		2.111	12.60
	7.6	60	2.401	2.130	11.32
		70		2.126	11.48
100	9.4	60	2.359	2.093	11.26
		70		2.104	10.83
	10.0	60	2.339	2.109	9.80
		70		2.112	9.70
	10.6	60	2.320	2.111	9.02
		70		2.104	9.33

La Figura 2 muestra la variación presente en la densificación de las muestras en función del nivel de pérdida de humedad. Se observa cómo se pudieron lograr densidades ligeramente mayores cuando la presencia de agua en la mezcla fue menor, es decir, a mayor pérdida de humedad (70%). También es posible notar la afectación producida por la tasa de RAP empleada, pues a medida que se incrementó el porcentaje, el nivel de vacíos de aire en las muestras compactadas disminuyó., siendo más evidente al pasar del 0 al 100% de RAP; lo anterior pudo haber sido generado por la interacción del asfalto presente en el RAP con la emulsión nueva añadida, facilitando el proceso de manejabilidad y acomodo de las partículas durante la compactación.

En las muestras con contenidos de 30 y 50% RAP se obtuvieron resultados semejantes entre ellos, lo que revela el debate sobre los factores que intervienen en la interacción del asfalto del RAP en los rangos descritos.

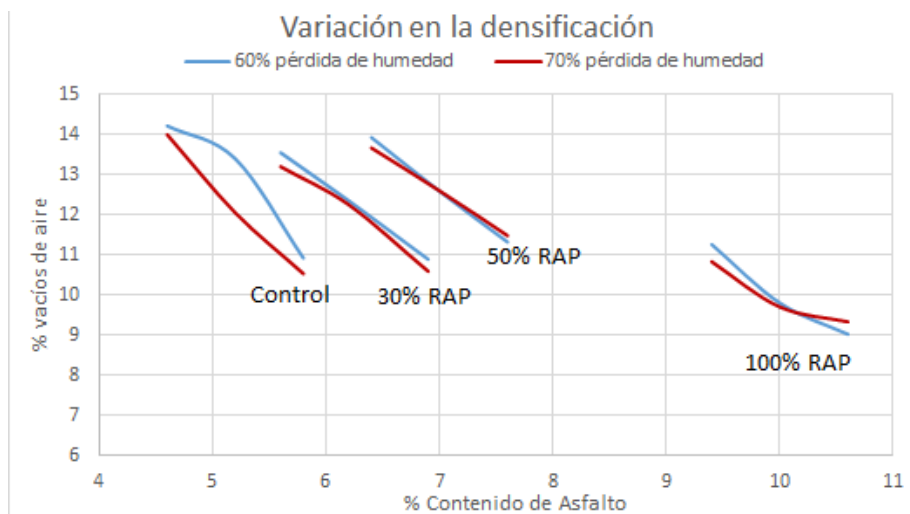


Figura 2. Variación del porcentaje de vacíos en función de la pérdida de humedad

3.2. Evaluación de la prueba TSR

Determinado el porcentaje de vacíos de las muestras, se formaron 2 grupos, un grupo se evaluó en condición seca y el otro en condición húmeda. Los resultados del ensaye para la obtención del valor de TSR de acuerdo a AASHTO T 283, se obtuvieron mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$TSR = \frac{\sigma_{t\text{ húmedo}}}{\sigma_{t\text{ seco}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi t D} \quad (2)$$

Donde:

TSR= Relación de esfuerzos a tensión indirecta (%)

σ_t = Esfuerzo de tensión (psi)

P = Carga Máxima (lb)

t = Espesor del espécimen (plg.)

D = Diámetro del espécimen (plg.)

Los especímenes secos se acondicionaron en una tina con agua a una temperatura de 25°C por un periodo de 2 horas y se evaluaron en la prensa de velocidad controlada, mientras que para los especímenes en condición húmeda se



utilizó el picnómetro de vacío a una presión de 75 (mm de Hg) por un tiempo de 5 minutos, con el cual se logró saturar a las muestras en un rango de entre 70 y 80%, posteriormente se dejaron las muestras saturando a baño maría a 25°C durante 24 horas. Finalmente se realizaron los cálculos correspondientes del ensaye en términos de esfuerzos a tensión.

El total de total especímenes ensayados fue de 144, cuyos resultados se presentan en las gráficas 4 – 6.

La Figura 3 muestra los resultados de los esfuerzos en condición seca a tensión bajo las condiciones de pérdida de humedad de 60% y 70%; se puede notar como las resistencias se incrementaron conforme el % RAP fue mayor, tanto en condición seca como húmeda, inclusive siendo de magnitudes del doble o mayores en las muestras con 100% RAP con respecto a la mezcla de control. De forma similar, los especímenes con 30 y 50% RAP evidenciaron comportamientos semejantes, lo que refuerza lo descrito en la sección 3.1.

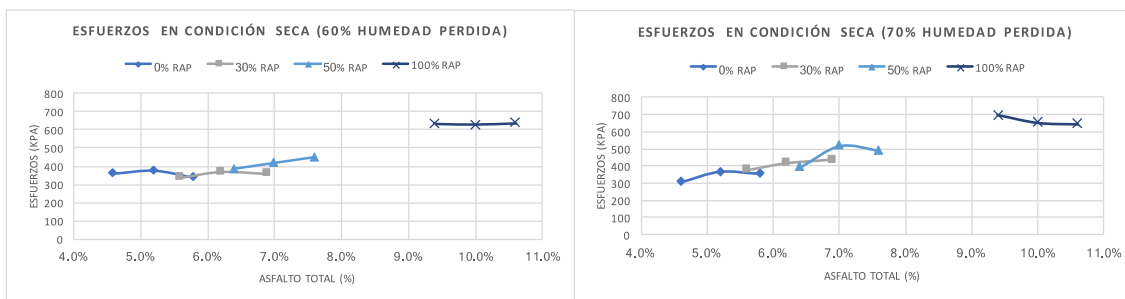


Figura 3. Esfuerzos en condición seca (60-70% de humedad perdida)

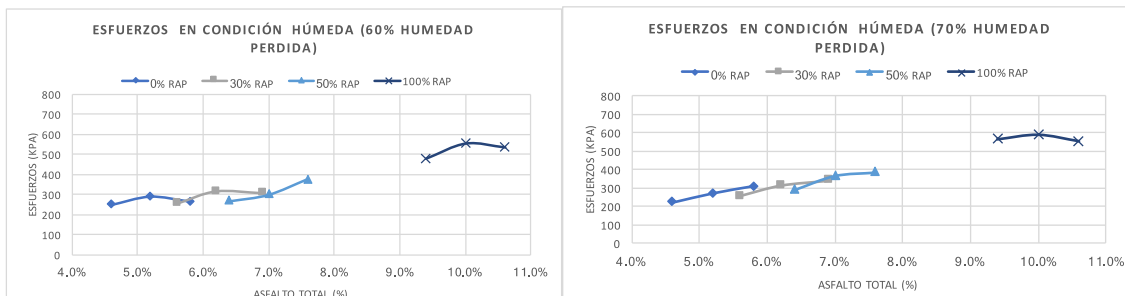


Figura 4. Esfuerzos en condición húmeda (60-70% de humedad perdida)

La Figura 4 contiene los resultados de esfuerzos a tensión de los especímenes acondicionados bajo humedad. Al igual que en el caso de la condición seca, la tendencia es similar al exhibir un incremento en la resistencia como resultado de la adición de RAP en la mezcla.



Derivado de los datos obtenidos en los ensayos de tensión indirecta se determinó para cada mezcla la retención de resistencia por el efecto de humedad. En la Figura 5 se muestra el resumen de resultados para cada una de las variantes evaluadas.

En el caso de las mezclas con 60% de pérdida de humedad, puede observarse que la mezcla de control presentó valores muy cercanos a la frontera de aceptación de una mezcla convencional en caliente (80% mínimo), que sin embargo se vieron incrementados sustancialmente al emplear 100% RAP. Concentraciones menores del material reciclado contribuyeron también aunque en menor medida la respuesta por este fenómeno.

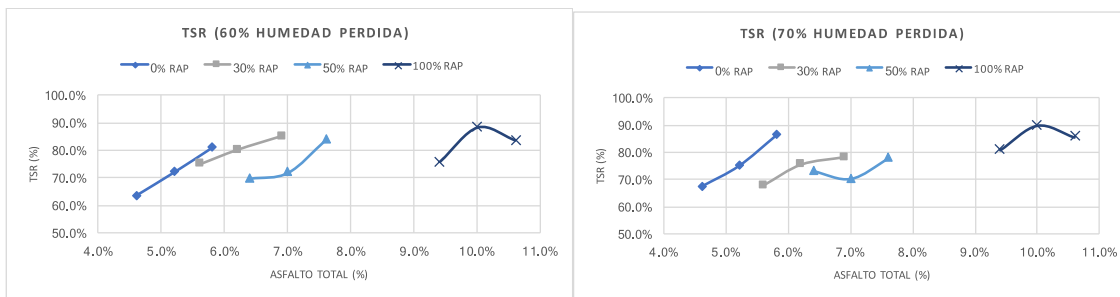


Figura 5. Resultados de TSR

Por otro lado, en las mezclas con 70% de pérdida de humedad, la aportación fue igualmente muy visible a una tasa de 100% RAP y menos evidente en porcentajes menores.

Lo anterior podría representar un concepto clave para la selección de la proporción de RAP apropiada para un grupo de materiales y proyecto específicos, ya que ello significaría, de validar mediante una mayor gama de ensayos mecánicos en diseño y en campo (vida útil), la factibilidad de uso de tasas altas que mejoren la capacidad estructural de las mezclas elaboradas en frío.

4. Conclusiones y recomendaciones

- Este estudio permitió determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas fabricadas en frío con diferentes tasas de material recuperado (RAP).
- La incorporación de material RAP permitió disminuir el contenido de humedad de premezclado conforme aumentó el porcentaje de RAP. Esto permitió reducir hasta el 50% humedad con respecto a la humedad de la mezcla de control (0% RAP).
- Se visualizó la importancia de la pérdida de humedad en la mezcla, previo al proceso de compactación: a mayor pérdida, mayor densificación de la mezcla, y por ende mayor resistencia a los esfuerzos de tensión solicitados.



- La incorporación de RAP contribuyó a la obtención de menor susceptibilidad a la humedad, debido principalmente a una película asfáltica de mayor espesor por el aporte del reciclado.
- La prueba de TSR permitió determinar y/o ajustar los contenidos óptimos de Emulsión- Agua de premezclado de los pre-diseños.
- Se recomienda realizar pruebas adicionales para determinar la tasa de RAP apropiada, para garantizar que las mezclas en frío se comporten de manera adecuada durante su vida útil.

Referencias

[1] Anderson, M. R. (2001). Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method. Technicians Manual. NCHRP Report 452.

[2] Huerta, P. A. (2016). Análisis de Mezclas Asfálticas Recicladas en Caliente Bajo los Parámetros de los Ensayos de TSR, Módulo Dinámico y Energía de Fractura. Puebla: División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil. México.

[3] Vidal, G. A. (2011). Evaluación del Proceso de Fisuración en las Mezclas Bituminosas Mediante el Desarrollo de un Nuevo Ensayo Experimental "Ensayo Fénix". Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

[4] Ponce, A. V. (2016). "Análisis de desempeño de mezclas en frío utilizando distintas emulsiones, bajo el protocolo AMAAC". México.