

Concreto Asfáltico con Caucho



Aplicaciones y Usos



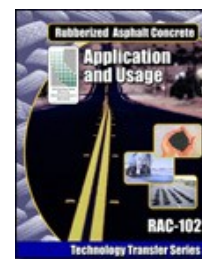
RAC-102

Serie Transferencia Tecnológica

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

Guía de Aplicaciones y Usos
RAC-102



Índice

Aplicaciones y Usos	4
Definiciones	4
Modificador de Caucho Granulado (CRM).....	4
Caucho de Alto Contenido Natural (CRM de Alto Contenido Natural).....	4
Proceso en Húmedo.....	5
Diseño de Aglomerantes	7
Perfil de la Mezcla del Aglomerante	8
Mezclas Calientes de Asfalto con Caucho	13
Mezclas de Granulometría Densa	13
Mezclas de Granulometría Irregular	13
Mezclas de Granulometría Abierta	15
Aplicaciones de Asfalto con Caucho con Pulverizador	18
Mantenimiento	22
Glosario	23
Tipos de CRM	23
Métodos de Elaboración del CRM	24
Equipo de Procesamiento de CRM.....	24
Agregados para Concreto Asfáltico	29
Asfalto	31
Métodos de Diseño de Mezcla	32
Características de Diseño de Mezcla	32
Propiedades de Diseño de Mezcla	33
Fallas Típicas del Pavimento Asfáltico	35

APLICACIONES Y USOS

El caucho de residuos de llanta y de otros productos de caucho de desecho, se utilizan para mejorar la durabilidad y el desempeño de los materiales de asfalto para pavimentación. Las modificaciones con caucho han demostrado proporcionar una serie de beneficios, incluyendo una mayor resistencia al ahuellamiento, fatiga y agrietamiento reflexivo y una durabilidad mejorada, como función del mejoramiento de las propiedades del aglomerante y de un mayor contenido de aglomerante en comparación con las mezclas convencionales de concreto asfáltico. El hecho de que la modificación con caucho también proporcione un valor agregado de uso a largo plazo de los residuos de llanta, debe ser considerado simplemente como un beneficio adicional.

La modificación con caucho puede ser una herramienta valiosa cuando su uso es dirigido por sólidos principios de ingeniería y los materiales son seleccionados adecuadamente y aplicados para los usos previstos. Para ayudar a seleccionar el mejor enfoque para resolver las necesidades específicas de pavimentación en su jurisdicción, este módulo describe los tipos de modificación con caucho que se encuentran disponibles y las aplicaciones adecuadas de cada uno.

DEFINICIONES

El primer paso es definir los materiales básicos y la terminología relativa a la modificación con caucho de los materiales de pavimentación asfáltica.

Modificador de Caucho Granulado (CRM)

El Modificador de Caucho Granulado (CRM, por sus siglas en inglés) se produce de la trituración de llantas completas de desecho de automóviles, camiones o autobuses, virutas de pulido de banda de rodamiento y otros productos de desecho de caucho. Diversos procesos y equipo se utilizan para producir una amplia variedad de granulometrías de CRM para usarse como modificadores en materiales de pavimentación asfáltica.



CRM Utilizado para el Proceso en Húmedo

Caucho de Alto Contenido Natural (CRM de Alto Contenido Natural)

El Caucho de Alto Contenido Natural (CRM de Alto Contenido Natural) es otro tipo de producto de caucho granulado que incluye de un 40 a un 48 % de caucho natural o isopreno y un mínimo de 50 % de caucho de hidrocarburo, conforme a los requisitos de Caltrans y del Greenbook del Sur de California.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

Las fuentes de caucho de alto contenido natural incluyen residuos de caucho de algunos tipos de llantas de transportes pesados, pero no se limitan a residuos de llanta. Otras fuentes de caucho de alto contenido natural, incluyen desperdicios de las pelotas de tenis y tapetes de hule.

La trituración templada (realizada a o por encima de la temperatura ambiente ordinaria) debe utilizarse para producir el CRM, para obtener las partículas rasgadas de forma irregular, de área superficial relativamente grande que favorecen la interacción con el pavimento asfáltico. La trituración criogénica puede ser usada como un paso intermedio de procesamiento; se utiliza nitrógeno líquido para congelar el caucho de los residuos de llanta hasta que se torna quebradizo y es entonces que se utiliza un molino de martillo para romper el caucho congelado. Sin embargo, este enfoque produce partículas suaves de CRM con un área superficial relativamente pequeña que debe someterse a una trituración final a temperatura ambiente para ser usadas para modificar aglomerantes asfálticos.

La modificación con caucho para mezclas de concreto asfáltico se logra a través de dos métodos: el proceso en húmedo y el proceso en seco.

Proceso en Húmedo

Este es el método más ampliamente utilizado para modificar cemento asfáltico con CRM y otros componentes, y es ampliamente utilizado en Arizona, California, Texas y Florida. El proceso en húmedo requiere un mezclado exhaustivo del CRM en cemento asfáltico caliente (normalmente de 400°F a 425°F) y mantener la mezcla resultante a temperaturas elevadas (de 325°F a 425°F) por un periodo de tiempo mínimo determinado (normalmente de 45 a 60 minutos) para promover una interacción entre el CRM y el asfalto. Podrían incluirse otros componentes como aceite diluyente (modificador de asfalto) y CRM de alto contenido natural, dependiendo de las especificaciones correspondientes.

La interacción asfalto-caucho (también conocida como reacción) incluye la expansión de las partículas de CRM, un intercambio físico de aceites aromáticos y ligeras fracciones entre el CRM y el cemento asfáltico, y el desarrollo de propiedades físicas específicas de la mezcla de asfalto y CRM para cubrir los requisitos.

El proceso en húmedo puede utilizarse para producir una gran variedad de aglomerantes modificados con CRM que tienen rangos correspondientes de propiedades físicas. Sin embargo, las distinciones más importantes entre las diversas mezclas se relacionan con la viscosidad rotacional de la mezcla



Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

resultante de CRM-cemento asfáltico a alta temperatura y al hecho de si la mezcla requiere o no de agitación constante para mantener una distribución relativamente uniforme de las partículas de caucho. El rango de viscosidad es de 1,500 cPs o 1.5 Pa-s a 350°F o 375°F, dependiendo de la especificación gobernante.

Este rango de viscosidad distingue entre las dos familias de aglomerantes de proceso en húmedo, alta viscosidad y sin agitación, como se definen a continuación.

Estas dos familias representan rangos muy diferentes de propiedades físicas y comportamiento que nunca debe ser considerado equivalente o intercambiable, particularmente para su uso en mezclas calientes. Ningún tipo debe ser sustituido directamente por el otro. Serán necesarios ajustes en el contenido de aglomerante de mezclas calientes o del índice de aplicación de tratamientos superficiales con pulverizador.

Proceso en Húmedo - Alta Viscosidad: Los aglomerantes de asfalto modificados con CRM que mantienen o exceden el rango mínimo de viscosidad rotacional de 1,500 cPs o 1.5 Pa-s a 350°F o 375°F por un periodo de interacción debe describirse como aglomerantes de “proceso en húmedo – alta viscosidad” para distinguir sus propiedades físicas de aquellos materiales de menor viscosidad (proceso en húmedo - sin agitación). Los aglomerantes de alta viscosidad requieren de agitación para mantener las partículas de CRM uniformemente distribuidas. Éstos podrían ser fabricados en grandes tanques estacionarios o en unidades de mezclado móviles que los bombean hacia tanques agitadores o tanques móviles de almacenamiento.

Asfalto-caucho es un tipo de aglomerante de proceso en húmedo de alta viscosidad usado en varios tipos de construcción de pavimento flexible incluyendo tratamientos superficiales y mezclas calientes. La definición de la ASTM del asfalto-caucho es “una mezcla de cemento asfáltico, caucho de llanta recuperado y ciertos aditivos, en los que el componente de caucho es al menos 15 % del peso de la mezcla total y ha reaccionado en el cemento asfáltico lo suficiente para causar la expansión de las partículas de caucho” (ASTM D 8-02, Vol. 4.03, “Materiales para Calles y Pavimentos” del Libro Anual de los Estándares de la ASTM de 2005).

La base de la definición de la ASTM es el hecho de que, al menos 15% del caucho de los residuos de llanta del peso del aglomerante es requerido, normalmente, para lograr el rango de viscosidad de 1,500 cPs. La viscosidad está fuertemente relacionada con el tamaño de las partículas de CRM de llanta triturada y relacionada con el contenido de caucho de llanta de la mezcla modificada con CRM. La granulometría del CRM usada en el proceso en húmedo es del tamaño de criba menos No. 8 o más finas.

También existe una Especificación Estándar de la ASTM para Aglomerante de Asfalto-Caucho, ASTM D 6114-02. Los requisitos de la ASTM describen las propiedades del aglomerante para el clima y cubren los tipos de aglomerantes de asfalto-caucho de alta viscosidad especificados por Caltrans, el Greenbook, Arizona y otras agencias usuarias principales. Los requisitos normales de las especificaciones de California incluyen un rango de operación para viscosidad rotacional, punto de reblandecimiento y penetración de cono, y un valor mínimo para la resiliencia a temperatura ambiente.



Los requisitos de los componentes, temperaturas mínimas para el cemento asfáltico durante la incorporación del CRM y para la interacción de la mezcla de asfalto y CRM, periodos de interacción, y las propiedades físicas resultantes de la mezcla, varían entre las agencias que usan el proceso en húmedo. Por ejemplo, las referencias del Greenbook para el Aglomerante de Asfalto con Caucho Tipo 1 y Tipo 2. La mezcla Tipo 2 incluye los mismos componentes especificados por Caltrans (cemento asfáltico, modificador de asfalto [aceite diluyente] y CRM, tanto de residuos de llanta, como de alto contenido natural) pero permite mayor variación en las proporciones relativas de los dos tipos de CRM. El Aglomerante de Asfalto con Caucho Tipo 1 incluye únicamente cemento asfáltico y CRM de residuos de llanta, la misma composición es utilizada rutinariamente para los aglomerantes de asfalto-caucho en Arizona, Texas y Florida. El ASTM D 6114 fue redactado para abarcar ambos, el aglomerante Tipo 1 y el Tipo 2. Es interesante destacar que estos dos tipos de aglomerantes de proceso en húmedo de alta viscosidad se basan en las dos patentes originales de asfalto-caucho que expiraron años atrás.

DISEÑO DE AGLOMERANTES

Los aglomerantes de alta viscosidad deben ser formulados adecuadamente o proporcionales para cumplir con las especificaciones y ofrecer un producto de calidad. Los componentes individuales que cumplen con las especificaciones pueden combinarse e interactuar en proporciones que también cumplan totalmente, pero podrían producir un aglomerante que no sea utilizable. La interacción entre el cemento asfáltico y los materiales de CRM es específica del material y depende de una serie de factores, que incluyen:

- Fuente y Grado del Cemento Asfáltico
- Tipo de Caucho
- Fuente del Caucho
- Cantidad de Caucho
- Granulometría del Caucho
- Tiempo de Interacción
- Temperatura de Interacción

Por tanto, debe desarrollarse un diseño adecuado del aglomerante de asfalto-caucho utilizando las fuentes y grado determinados del asfalto, del modificador de asfalto, de usarse, y de los materiales de CRM (residuos de llanta y, de usarse, de alto contenido natural) que serán utilizados para el (los) proyecto(s) en cuestión. El diseño del aglomerante debe incluir pruebas para desarrollar y presentar un perfil del diseño de cada valor de propiedad de la



Recuerde que las dos familias de aglomerantes modificados con CRM, de alta viscosidad y de no agitación, no son intercambiables. Ningún tipo debe ser sustituido directamente por el otro en una mezcla caliente sin pruebas de laboratorio para determinar los ajustes adecuados en el contenido del aglomerante y posiblemente en la curva granulométrica del agregado.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

especificación, medido en las muestras tomadas en intervalos por un periodo de interacción de 24 horas.

Perfil de la Mezcla del Aglomerante

El perfil debe incluir, como mínimo, resultados después de un periodo de interacción inicial de 45 minutos, 4 horas después y enfriamiento simulado durante la noche reduciendo la temperatura del horno a 275°F por un periodo de 14 horas iniciando 6 horas después de la incorporación del CRM, hasta 22 horas después de la incorporación del CRM. Después del enfriamiento, la mezcla debe ser recalentada a la temperatura adecuada para las pruebas de viscosidad, después de 24 horas de que la interacción se completa. La viscosidad también debe medirse y registrarse 2 y 3 horas después de la incorporación del CRM para identificar las tendencias previstas para la producción en campo. El perfil del diseño debe identificar los materiales componentes específicos (fuente o proveedor y grado) y las proporciones de los mismos usadas en el diseño. Si alguno de los componentes se cambia, el perfil del diseño dejaría de ser aplicable.

Requisitos de Propiedades Físicas para Aglomerante de Asfalto-Caucho Tipo 1 y Tipo 2						
Prueba Realizada	Minutos de Reacción					Límites de Especificación de 45 minutos ***
	45	90	240	360	1,440	
Viscosidad, Haake a 190°C, Pa.s, (10-3), o cP (*Ver Nota)	2400	2800	2800	2800	2100	1500 – 4000
Resiliencia a 25°C, % Recuperación (ASTM D5329)**	27	--	33	--	23	18 Mínimo
Anillo y bola, Punto de Reblandecimiento, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 – 74
Penetración de Cono a 25°C, 150g, 5 s., 1/10 mm (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70

Parámetro de la Prueba	Método de Prueba de la ASTM	Requisitos	
		Min.	Max.
Penetración de Cono @ 77°F, 1/10 mm	D 217	25	70
Resiliencia @ 77°F, Porcentaje de recuperación	D 5329	18	—
Punto de Reblandecimiento de Campo, °F	D 36	125	165

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

Para Aglomerante Tipo 1: Viscosidad @ 350°F, Pa-s (x10-3)	Ver Nota	1500	4000
Para Aglomerante Tipo 2: Viscosidad @ 375°F, Pa-s (x10-3)	Ver Nota	1500	4000

NOTA: La prueba de viscosidad debe ser llevada a cabo utilizando un viscosímetro rotativo manual de alto rango análogo o digital como el Rion Modelo VT-04, el Haake Modelo VT-02 o el VT-02 Plus con Rotor 1, 24 mm de profundidad por x 53 mm de altura o equivalente. La precisión del viscosímetro debe ser verificada comparando los resultados de viscosidad obtenidos con el viscosímetro manual a 3 fluidos de calibración separados de rangos de viscosidad conocidos de 1000 a 5000 Pa-s (x10-3) o centipoises (cPs). El viscosímetro será considerado preciso si los valores obtenidos se encuentran dentro de los 300 Pa-s (x10-3) (300 cPs) de la viscosidad conocida. El valor de viscosidad conocido debe basarse en la prueba estándar de temperatura de los fluidos del fabricante o la prueba de temperatura contra la tabla de correlación de viscosidad proporcionada por el fabricante del fluido. Los viscosímetros utilizados en el proyecto deben verificarse para comprobar su precisión. Los resultados de la verificación de precisión se proporcionarán al Ingeniero.



Viscosidad de Campo – La medición se logra por medio de un viscosímetro de rotación y se presenta en centipoises (cP) o Segundos Pascal (Pa-s).

Monitorea la consistencia del fluido del aglomerante de asfalto con caucho para garantizar la capacidad de bombeo, para identificar cambios en el aglomerante que podrían afectar la colocación y compactación de la mezcla caliente. Si el Brookfield es el método requerido para la aceptación, entonces el viscosímetro Haake debe ser calibrado y corregido para la medición Brookfield para su uso en campo.

Resiliencia ASTM D5329

Mide las propiedades elásticas del aglomerante de asfalto con caucho y se expresa como un porcentaje de recuperación del aglomerante. La resiliencia es una de las propiedades más importantes en las especificaciones y es una medición más confiable de la elasticidad.

Punto de Reblandecimiento ASTM D36 - AASHTO T 53

La medición se logra por medio del método anillo y bola y se presenta en °F o °C y es un indicador de la rigidez del material. Esto muestra la tendencia del material a fluir a temperaturas elevadas.

Penetración de Cono ASTM D 5 - AASHTO T 49

La medición se logra por medio de un penetómetro y se presenta en unidades de décimas de milímetro. La consistencia del aglomerante de asfalto con caucho puede ser evaluada a temperaturas bajas, moderadas y altas. La penetración de aguja es normalmente la estándar a 39.2°F y 77.0°F. La penetración de cono es normalmente utilizada con aglomerante de asfalto con caucho de partículas de caucho triturado de tamaño más grande (malla 10 y mayor).

El perfil del diseño indica la compatibilidad de los componentes y la calidad y estabilidad de las propiedades del aglomerante de asfalto-caucho resultante. La viscosidad y la resiliencia son los indicadores más significativos del desempeño y se prevé que varíe conforme transcurre la interacción de asfalto y caucho. La viscosidad debe permanecer por encima del valor mínimo de 1,500 cPs a lo largo de la interacción y no debe manifestar caídas drásticas. No existe un valor máximo para la resiliencia; una resiliencia alta, normalmente indica que el aglomerante debe desempeñarse bien. Se recomienda que la presentación de un perfil de diseño de aglomerante de alta viscosidad deba ser requerida, tanto para la mezcla caliente, como para las aplicaciones con pulverizador.

Proceso en Húmedo - Sin Agitación: Aglomerantes modificados con CRM que no requieren de agitación constante para mantener las partículas separadas de caucho uniformemente distribuidas en el cemento asfáltico caliente.

El término “**mezcla terminal**” se utiliza frecuentemente para describir a dichos materiales, que incluyen a los materiales de asfalto modificado con caucho, como en el MB de Caltrans y el MAC-10TR de Greenbook. Sin embargo, dichos aglomerantes podrían ser producidos en el campo o también en una planta de concreto asfáltico, por lo que nombrarlos mezclas terminales podría ser confuso y es innecesariamente restrictivo.

La descripción predilecta para este tipo de aglomerantes es, por consiguiente, “proceso en húmedo - sin agitación”. Tales aglomerantes son modificados normalmente con partículas de CRM más finas que el tamaño de criba de 600 μm (No. 30) que pueden ser digeridas (desechas y derretidas) relativamente rápido y/o pueden mantenerse dispersas por la circulación normal dentro del tanque de almacenamiento, en lugar de por la agitación con brocas o paletas especiales.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

Especificaciones para Proceso en Húmedo Sin Agitación para Aglomerantes Modificados con CRM de Viscosidad Mínima Menor a 1.5 Pa-s, 1500 cPs

Agencia	Greenbook	Caltrans			
Denominación del Aglomerante	MAC-10TR	MB-4	MB-5	MB-6	MB-7
Propiedades Físicas Originales					
CRM del peso del cemento asfáltico	Min 10%				
Viscosidad AASHTO 202, poise @60°C/140°F/135°C/275°F	Min 5000/ Max 10				
Penetración de Aguja @ 25°C/77°F, 100g, 5 s, 0.1 mm	40-60				
Punto de Reblandecimiento, °C/°F, min	53°C/127°F				
Penetración de Aguja @ 4°C/39.2°F, 200g, 60 s, 0.1 mm	Min 20				
Susceptibilidad de Cizallamiento de δ y Viscosidad		SSD $\geq 30(0.6 + SSV)^3$ @ 25°C, CT 381			
Pruebas en Residuo TFOT					
Rango de penetración retenida @ 25°C/77°F, % del original	RTFO Min 50%				
$\delta \leq 97-6(\log G^*)$ y $G^*/\sin \delta \geq 4.0\text{kPa}$ @ 10 rad/s, @°C		@ 64°C	@ 64°C	@ 64°C	@ 70°C
Penetración de Aguja @ 4°C/39.2°F	Min 14				
Penetración de Aguja @ 25°C/77°F	20-40				
Viscosidad Dinámica 60°C/140°F, Poise	Min 20000				
Viscosidad Cinemática 135°C/275°F, cSt	Max 1500				
$S \leq 300$ MPa, $m \geq 0.30$, 60 s, @ °C		@ -8°C	@ -19°C	@ -30°C	@ -8°C
Susceptibilidad de Cizallamiento de δ y Viscosidad		SSD $\geq -115 SSV - 50.6$ @°25C, CT381			

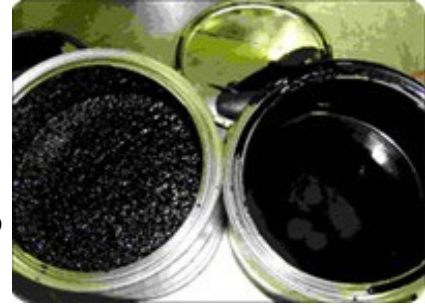
También podrían incluirse polímeros y otros aditivos. En el pasado, los contenidos de caucho para aglomerantes de este tipo han sido generalmente de un $\leq 10\%$ de la masa del asfalto o del total del aglomerante (lo cual no satisface la definición D 8 de la ASTM para asfalto-caucho), pero algunos productos en California podrían incluir ahora 15% o más de CRM. Aunque tales aglomerantes pueden desarrollar un nivel considerable de modificación con caucho, los valores de viscosidad rotacional raras veces se acercan al rango mínimo de 1500 cPs que es necesario para incrementar significativamente los contenidos del aglomerante por encima de las mezclas convencionales AC sin escurrimiento excesivo. Se utilizan aglomerantes sin agitación en Arizona, California, Texas y Florida con diversas concentraciones de CRM, pero los beneficios de desempeño no se han equiparado con aquellos proporcionados por los aglomerantes de alta viscosidad.

Los aglomerantes sin agitación son, frecuentemente, mezclas patentadas, de las cuales, algunos de los componentes puede estar clasificados como secreto comercial y, por tanto, podría no estar identificado por el proveedor respectivo. Sin embargo, el proveedor debe estar dispuesto y ser capaz de certificar la cantidad de residuos de llanta y/o otros productos de desecho de caucho que están incluidos. Los perfiles de diseño, normalmente no han sido requeridos o proporcionados para este tipo de aglomerantes, puesto que se considera que son relativamente estables durante el almacenamiento. Las pruebas de separación y de cumplimiento con las especificaciones pueden usarse para evaluar la calidad del agregado y la estabilidad con el paso del tiempo.

El Proceso en Seco es cualquier método que incluya CRM de residuos de llanta como sustituto del 1 al 3 % del agregado en una mezcla de concreto asfáltico para pavimentación, no como parte del aglomerante asfáltico. Este método, por tanto aplica únicamente para la producción de mezclas de AC modificadas con CRM. Una variedad de granulometrías de CRM han sido utilizadas, con rangos que van de caucho grueso (de 1/4" a + No.8) a "Ultrafino" de tamaño criba de menos 180 μm (No. 80) del CRM. Se han establecido diversos métodos para añadir el CRM al agregado en unidades planta de mezcla caliente antes de que la mezcla se cargue con el aglomerante asfáltico. Caltrans tiene una disposición especial para el RUMAC, un producto genérico para proceso en seco que incluye una especificación de granulometría intermedia de CRM.

MEZCLAS CALIENTES DE ASFALTO CON CAUCHO

Los aglomerantes de alta viscosidad tienen una consistencia espesa que permite un incremento significativo en el contenido del aglomerante (hasta el 2% del total del peso de la mezcla), en comparación con las mezclas convencionales de concreto asfáltico con agregado de granulometría similar, mientras minimiza el potencial de escurrimiento del aglomerante. El alto contenido de aglomerante es una causa principal de los beneficios documentados del desempeño de las mezclas calientes de asfalto-caucho. Sin embargo, para capitalizar esta característica, la matriz o esqueleto del agregado debe proporcionar suficiente espacio de vacíos para acomodar las partículas de CRM y una cantidad suficiente de aglomerante de alta viscosidad para modificar el comportamiento de la mezcla. Las mezclas calientes hechas con aglomerantes de alta viscosidad son materiales de módulos relativamente bajos, en comparación con el concreto asfáltico de granulometría densa (DGAC, por sus siglas en inglés) convencional. Estos se desempeñan en base a la flexibilidad y resistencia a la deformación permanente por la recuperación elástica en lugar de la rigidez con el DGAC.



Mezclas de Granulometría Densa

Las mezclas de granulometría densa no son adecuadas para usarse en aglomerantes de alta viscosidad debido a que no hay suficiente espacio de vacíos disponible. Sin embargo, las granulometrías densas son idóneas para usarse con aglomerantes sin agitación, como en el MB de Caltrans o el MACT-10TR del Greenbook, y deben proporcionar capacidad estructural similar a las mezclas convencionales DGAC.



Mezclas de Granulometría Irregular

Las mezclas de granulometría irregular han demostrado ser muy eficaces al utilizarse en aglomerantes de asfalto con caucho de alta viscosidad. Son el producto de asfalto con caucho de mayor uso reportado en California. Caltrans llama a este tipo de mezcla "Concreto de Asfalto con Caucho Tipo G (RAC-G, por sus siglas en inglés)". El Greenbook lo nombra Mezcla Caliente de Asfalto-Caucho (ARHM, por sus siglas en inglés).



Las mezclas de **RAC-G/ARHM** proporcionan una superficie de pavimento durable y flexible, con mayor Resistencia al agrietamiento reflexivo, ahuellamiento y oxidación, buenas características superficiales de fricción, debido a la textura

proporcionada por la granulometría del agregado y, frecuentemente, reducción en el ruido del tráfico. Los requisitos mínimos de 18% de vacíos en los agregados minerales (VMA) proporcionan el espacio para acomodar suficiente aglomerante de alta viscosidad y los requisitos de contenido mínimo de aglomerante son del rango de 7.0 a 7.5% por el total del peso del agregado seco, en base a la experiencia del desempeño del pavimento.

El **RAC-G** actúa como una capa estructural en el pavimento y es más eficaz a un espesor de compactación del rango de 1.2 pulgadas (30 mm) a 2.4 pulgadas (60 mm) conforme al análisis y modelado estructural reciente. Esto apoya y corresponde a prácticas actuales basadas en la experiencia empírica y a las consideraciones económicas.

Los usos adecuados de RAC-G incluyen el recubrimiento de pavimento existente o la construcción nueva de una amplia variedad de volúmenes y cargas de tráfico. El RAC-G puede utilizarse en áreas urbanas donde hay considerable tráfico de paradas y arranques, para el que las mezclas de granulometría abierta no serían aptas. Dichas áreas incluyen numerosas calzadas e intersecciones señalizadas. Sin embargo, las mezclas de RAC-G no son recomendadas para áreas de estacionamiento, puesto que es probable que la superficie de estas mezclas de módulos bajos, se raspe al estar sometida a frenados simultáneos a baja velocidad y movimientos de viraje que son normales en este tipo de áreas.

El diseño del espesor del recubrimiento de RAC-G puede realizarse conforme a los procedimientos actuales de Caltrans o AASHTO. Investigaciones recientes indican que el RAC-G tiene un factor de grava similar al del DGAC, pero ligeramente menor, lo cual indica similar capacidad estructural a pesar de los módulos relativamente bajos. Por pura consideración estructural, el RAC-G puede considerarse como equivalente al DGAC, lo que corresponde a la experiencia y práctica en Arizona y Texas. Los modelos estructurales indican que el RAC es más eficaz en la estructura superior de 2 a 3 pulgadas del pavimento y usarlo a niveles inferiores no proporciona beneficios adicionales. Si un incremento en la capacidad estructural requiere más de 2.4 pulgadas de mezcla caliente, debería colocarse una capa intermedia de DGAC y después cubrirla con un recubrimiento delgado de RAC.

Sin embargo, cuando la estructura del pavimento es adecuada y el diseño del espesor del recubrimiento está controlado para la resistencia al agrietamiento reflexivo, el RAC-G puede colocarse a aproximadamente la mitad del espesor requerido del DGAC, debido al desempeño superior en la resistencia al agrietamiento reflexivo y por fatiga Caltrans ha estado utilizando exitosamente esta equivalencia de desempeño para grietas reflexivas en el diseño de espesor del recubrimiento de RAC-G, desde 1992. El Manual de Rehabilitación de Pavimento Flexible de Caltrans proporciona detalles para diseñar una variedad de estrategias de recubrimiento.

Las mezclas de proceso en seco son normalmente de granulometría irregular para proporcionar espacio en la matriz del agregado para las partículas de CRM. Algunas mezclas de granulometría abierta también han sido utilizadas. No se considera que el cemento asfáltico se modifique por el proceso en seco, aunque puede haber alguna interacción limitada del CRM con el cemento asfáltico durante el mezclado en la planta de AC, el silo de almacenamiento, el transporte, la colocación y la compactación. Sin embargo, existen indicios de que algún nivel de interacción podría continuar después de que la construcción se termina, lo cual podría ejercer marcados efectos en el diseño de la mezcla y en el subsecuente desempeño del pavimento. Usar el método Hveem de diseño de mezclas, con su amplio periodo de curado, generalmente debe considerar la mayoría de la absorción a largo plazo del asfalto, por parte de las partículas de CRM y permitir la selección del objetivo adecuado de contenido de asfalto. Si el envejecimiento y la absorción a largo plazo no se consideran en el procedimiento de diseño de la mezcla, podrían presentarse peladuras tempranas en el pavimento resultante. También debe tenerse cuidado, durante el diseño de la mezcla, de hacer los ajustes adecuados para la gravedad específica baja del CRM en comparación con el material del agregado para garantizar el análisis volumétrico pertinente.

El desempeño de las mezclas de proceso en seco con granulometría irregular ha estado mezclado, y en general, parece ser más variable que el desempeño de las mezclas de proceso en húmedo. Algunas mezclas de proceso en seco han tenido un buen desempeño por muchos años. La falta de consideración de la absorción del asfalto por parte del CRM puede haber sido un factor de contribución para una serie de fallas tempranas en las mezclas del proceso en seco.

Mezclas de Granulometría Abierta

Las mezclas de granulometría abierta también han demostrado ser muy eficaces para su uso en aglomerantes de asfalto con caucho de alta viscosidad, aunque se han estado usando más ampliamente en Arizona que en California. Caltrans tiene especificaciones para el "Concreto Asfáltico con Caucho Tipo O (RAC-O)".

El Greenbook no tiene análogo. Las mezclas de granulometría abierta se colocan en capas superficiales delgadas, normalmente de entre 1 y 1.2 pulgadas de espesor. No se consideran como elementos estructurales y no se aplica la reducción del espesor para estos usos de asfalto con caucho. El RAC-O y el RAC-O-HB proporcionan superficies de pavimento durables, de gran flexibilidad con características mejoradas de escurrimiento y fricción que reducen las salpicaduras y el hidroplaneo en condiciones húmedas. Estas mezclas también son altamente resistentes a la reflexión de grietas y juntas en pavimentos de PCC y a la reflexión de grietas severas de las capas subyacentes de los pavimentos de AC.



Las mezclas RAC-O proporcionan buenas características superficiales de fricción y se pretende que sean libres de drenajes, de modo que el agua superficial pueda viajar rápidamente a través de la carpeta para escurrirse a lo largo de los bordes de la estructura del pavimento. Esto reduce las salpicaduras, la aspersion y el hidroplaneo durante e inmediatamente después de las lluvias y, por tanto, mejora la seguridad. El RAC-O podría considerarse uno de los materiales para calles de “nueva generación” de fricción que utilizan aglomerantes altamente modificados para solucionar los problemas de desempeño y durabilidad del concreto asfáltico convencional de granulometría abierta, pero este producto ha estado en uso por mucho más tiempo. El contenido de asfalto con caucho está establecido en 1.2 veces el contenido óptimo de bitumen para AR-4000 (o asfalto PG), determinado conforme a la Prueba 368 de California, con una prueba de verificación para escurrimiento. Este contenido es bajo para una mezcla de RAC y el incremento sobre el contenido de cemento asfáltico convencional, simplemente se compensa con el contenido promedio de CRM en el aglomerante de asfalto-caucho.

Otro motivo por el cual las mezclas de RAC-O son durables, es que éstas son materiales de módulos relativamente bajos, con menor presión al esfuerzo de tensión que los materiales más rígidos como el DGAC. Se mueven más en respuesta al mismo nivel de carga y trabajan por flexión y recuperación (relajación, arrastre, rebote, etc.) en lugar de hacerlo por rigidez.

Caltrans está evaluando el uso de mayores contenidos de aglomerante de asfalto-caucho, un 8 a 10 por ciento de la masa del agregado seco, en algunas mezclas de granulometría abierta. Estas mezclas se conocen como RAC-O-HB, Alto Contenido de Aglomerante, y usan 1.6 veces el contenido óptimo de aglomerante de cemento asfáltico. La amplia experiencia en Arizona ha mostrado que los contenidos de aglomerante de asfalto con caucho pueden incrementarse en un 10 por ciento más del total de la masa de agregado seco sin escurrimiento excesivo, debido a la alta viscosidad del aglomerante de asfalto-caucho. Este tipo de mezclas ricas de granulometría abierta han proporcionado en general excelente desempeño en una variedad de zonas climáticas de Arizona, en donde las colocan a un espesor nominal de ½ pulgada sobre los pavimentos de concreto asfáltico y de 1 pulgada de espesor, sobre los pavimentos de concreto de cemento portland (PCC, por sus siglas en inglés). Aunque las mezclas de alto contenido de aglomerante no son tan libres de drenaje como el RAC-O, la cubierta de película más gruesa del aglomerante de asfalto-caucho proporciona mejor resistencia al agrietamiento por fatiga y reflexivo, así como a las peladuras y al envejecimiento oxidativo. Estos factores incrementan la durabilidad de los pavimentos de granulometría abierta.

El RAC-O y el RAC-O-HB también han demostrado una reducción significativa al ruido de llantas, lo que impulsó la implementación de un programa de Pavimentos Silenciosos en el área metropolitana de Phoenix, Arizona. Los impactos por el ruido están siendo estudiados actualmente por Caltrans, el DOT de Arizona y la Administración Federal de Caminos (FHWA, por sus siglas en inglés).

El RAC-O y el RAC-O (HB) son adecuados para su uso como una capa superficial para recubrimiento o construcción nueva de caminos donde el flujo de tráfico es esencialmente ininterrumpido por señalizaciones, como en algunas autopistas, carreteras rurales y secundarias. Estas mezclas son altamente eficaces como recubrimiento de los pavimentos PCC y AC en ubicaciones donde el potencial de agrietamiento reflexivo y por fatiga es grande y la efectividad se incrementa al incrementar el contenido de aglomerante. También pueden ser usados como manto de mantenimiento para restaurar las características superficiales de fricción y para ayudar a conservar el pavimento subyacente. Ambos tipos de mezclas proporcionan un manejo suave y silencioso. Las mezclas de RAC de granulometría abierta pueden ser consideradas como una alternativa al sello de gravilla, debido a que las mezclas calientes son menos sensibles a las operaciones de construcción y esencialmente eliminan el peligro de roturas de parabrisas.

Las mezclas de granulometría abierta no deben ser utilizadas en donde exista una cantidad significativa de tráfico de paradas y arranques o de vehículos virando, tales como calles de la ciudad o estacionamientos, debido a que el pavimento poroso es susceptible al daño por el derrame de fluidos de los vehículos y a rasparse al estar sometido a frenados simultáneos a baja velocidad y movimientos de viraje.

APLICACIONES DE ASFALTO CON CAUCHO CON PULVERIZADOR

Las aplicaciones con pulverizador de asfalto con caucho pueden utilizarse para tratamientos superficiales o de capas intermedias. Este tipo de aplicaciones normalmente se utiliza para el mantenimiento o rehabilitación de pavimentos existentes y son muy eficaces para resistir el agrietamiento reflexivo. Los aglomerantes de alta viscosidad parecen proporcionar mayores beneficios para las aplicaciones con pulverizador que los aglomerantes sin agitación. Los requisitos a presentar de los materiales y diseño de los aglomerantes de asfalto con caucho, incluyendo resultados de pruebas que verifican el cumplimiento con las especificaciones de las propiedades físicas del asfalto con caucho, son típicamente las mismas que los de las mezclas calientes. Sin embargo, las granulometrías más gruesas de CRM pueden ser utilizadas en aglomerantes para aplicaciones con pulverizador si las boquillas de distribución son lo suficientemente grandes.



Aplicación de sellos de gravilla

Los sellos de gravilla son un tipo de tratamiento superficial que Caltrans llama “Membrana de Absorción de Esfuerzos (SAM)” y el Greenbook llama “Membrana de Agregado y Asfalto con Caucho (ARAM, por sus siglas en inglés)”. Los sellos de gravilla y asfalto con caucho proporcionan una superficie durable, flexible, resistente al agua y resistente a marcas de neumáticos que resiste la oxidación y es altamente resistente al agrietamiento reflexivo. Los sellos de gravilla y asfalto con caucho proporcionan los mismos beneficios que los sellos de gravilla convencionales, pero también proporcionan las ventajas adicionales de una vida de servicio significativamente mayor que la de los sellos de gravilla convencionales y un desempeño a largo plazo superior en la resistencia al agrietamiento reflexivo.

Caltrans usa sellos de gravilla para mantenimiento preventivo y mayor para corregir deficiencias superficiales, sellar peladuras en la superficie del pavimento, sellar y proteger la estructura del pavimento contra la intrusión de agua superficial y para proteger la superficie del pavimento de la oxidación. Los sellos de gravilla no hacen ninguna contribución estructural ni corrigen problemas de rugosidad de la vía. Sin embargo, donde el volumen de tráfico lo permite, algunas agencias los usan como alternativa de las mezclas de granulometría abierta para restaurar las características de fricción de la superficie. En áreas donde el tráfico es pesado o rápido, los agregados livianos podrían ser sustituidos para minimizar la ruptura de parabrisas ocasionada por gravilla suelta. El Manual de Mantenimiento de Caltrans (Volumen 1) incluye criterios para el uso de sellos de gravilla y tamaño del agregado en base a los límites de velocidad y al tráfico diario promedio.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

Para construir un sello de gravilla, el aglomerante de asfalto con caucho caliente se pulveriza sobre la superficie del camino a un índice determinado por el Ingeniero. El índice de aplicación depende de la condición de la superficie del pavimento, pero normalmente es de entre 0.55 y 0.65 galones por yarda cuadrada, lo que proporciona una membrana relativamente gruesa. El aglomerante es cubierto inmediatamente por una capa de gravilla de agregado pre-cubierto que debe ser incrustado inmediatamente al aglomerado, extendiéndolo antes de que se enfríe la membrana.

Los sellos de gravilla múltiples constan de aplicaciones múltiples de aglomerante y cubierta de agregado, con el agregado más grueso en la capa inferior y sucesivamente agregado de gravilla más fina en las capas subsecuentes.

Los índices de aplicación del agregado pueden ser evaluados en el laboratorio antes del inicio de la construcción. El método más sencillo es, simplemente, colocar el agregado de una piedra de grosor sobre un área medida, pesar la cantidad de piedra requerida para cubrir dicha área y convertirlo a las unidades pertinentes.

Los índices típicos se encuentran en un rango de 28 a 44 libras por yarda cuadrada. Para verificar si los índices de aplicación del aglomerado y la gravilla son adecuados, también se verifica la incrustación de la cubierta de agregado. La gravilla Individual debe incrustarse a una profundidad de aproximadamente 50 a 70 por ciento, después de asentarse en el laboratorio o por las aplanadoras y el tráfico en el campo.

El exceso en la aplicación de gravilla interfiere con la incrustación y la adhesión. Depositar la gravilla en una base de yarda cuadrada en lugar de hacerlo por toneladas ayuda a minimizar la sobre aplicación de la cubierta de agregado. Piedras sueltas a lo largo de la orilla de la carretera después del barrido podrían indicar una aplicación excesiva de gravilla y piedra desperdiciada, que la aplicación del asfalto con caucho es demasiado ligera o que el aglomerante se enfrió antes de que la incrustación y la adhesión fueran alcanzadas. El exceso en la aplicación del asfalto con caucho puede, literalmente sumergir o tragar la gravilla y resultar en exudación como llorado o sangrado.

Los mejores resultados se alcanzan con gravilla limpia de un solo tamaño, como se describe en la Guía de Asesoría Técnica de Mantenimiento de Caltrans (MTAG, por sus siglas en inglés. Octubre de 2003). El tamaño estándar de la gravilla de Caltrans para el tamaño de la gravilla en los sellos de asfalto con caucho es de 3/8 de pulgada nominal, lo cual podría ser demasiado pequeño para aplicaciones con alto contenido de aglomerante. Sin embargo, la política de Caltrans es utilizar gravilla de 1/2 pulgada únicamente cuando el ADT es menor a 5,000 por carril. Aunque la gravilla de un solo tamaño es lo más conveniente, las especificaciones de Caltrans y el Greenbook son de granulometría para agregados de cubierta con hasta el 15% del total del peso pasando la criba del No. 4. Se ha



Aplanadoras de caucho de llanta



Barrido



Sello Negro

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

estado demostrando que un máximo del 5% pasando $\frac{1}{4}$ de pulgada o la criba del No. 4, proporciona un mejor producto terminado. Dado que la gravilla de un solo tamaño no es el estándar, podría ser difícil de obtener.

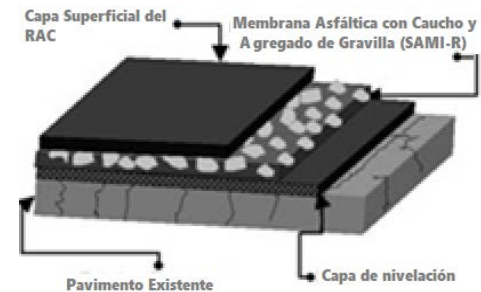
El agregado pre-cubierto con cemento asfáltico mejora la adhesión al eliminar el polvo y la “humidificación” de la superficie de la gravilla. Cualquier asfalto de grado para pavimentación puede utilizarse para la cobertura previa. Caltrans y el Greenbook requieren que el agregado de gravilla sea entregado en el sitio de trabajo pre-cubierto y caliente. Con el fin de ayudar adicionalmente a la retención de la gravilla después de que la gravilla ha sido incrustada y barrida, se pulveriza un sello de niebla (o sello negro, según el Greenbook) de emulsión asfáltica (diluido 1:1 con agua) sobre la gravilla a un índice habitual de aproximadamente 0.05 a 0.1 galón por yarda cuadrada. Una ligera espolvoreada de arena, aproximadamente 2 a 4 libras por yarda cuadrada, podría aplicarse como secante, si así lo indica el Ingeniero.

Los sellos de gravilla se han utilizado para restaurar algo de la capacidad funcional a pavimentos con fallas de este tipo (envejecimiento y agrietamiento severo) con capacidad estructural relativamente sólida hasta que la rehabilitación pueda ser llevada a cabo. Sin embargo, los sellos son muy delgados para afectar la conducción y la superficie de agregado podría ser ruidosa de algún modo y áspera para conducir sobre ella. La apariencia también podría ser un problema, aunque el uso de gravilla pre-cubierta caliente y del sello negro podría mejorar la apariencia, así como la durabilidad. El ruido y la aspereza generados, se relacionan con el tamaño de la partícula del agregado. La cubierta de agregado más grande es más ruidosa y presenta una superficie de apariencia más áspera.

Nota: Todos los sellos de gravilla son muy sensible a las operaciones de construcción y a las condiciones ambientales del sitio. Con sellos aplicados en caliente, la membrana delgada de aglomerante se enfría muy rápidamente, sin importar su composición.

La incrustación y la adhesión deben ser alcanzadas mientras la membrana sigue caliente. Aunque algunas referencias indican que los sellos de asfalto con caucho pueden ser aplicados a temperaturas más frías que los sellos de emulsión debido al uso de gravilla pre-cubierta caliente, no es recomendable colocarlos cuando la temperatura ambiente es menor a 60°F. Los problemas potenciales con la incrustación y la adhesión se incrementarán mientras la temperatura ambiental y de la superficie desciende.

Las Capas intermedias de Asfalto con Caucho se llaman Membrana De Capas Intermedias de Absorción de Esfuerzos con Caucho (SAMI-R) o capa intermedia ARAM. Una capa intermedia es simplemente un sello de gravilla y asfalto con caucho que se recubre con AC o RAC convencional. Las De capas intermedias se utilizan



bajo capas de mantenimiento correctivo y como una herramienta para la rehabilitación del pavimento, pero no estarían incluidas en la construcción nueva. El material de la capa intermedia es muy flexible y elástico y es bajo en módulos; se flexiona y se fractura para liberar las presiones y para reparar muchas de las grietas que se presentan. Las De capas intermedias actúan para interrumpir la propagación de las grietas y han demostrado ser muy eficaces para minimizar el agrietamiento reflexivo del recubrimiento desgastado de asfalto y juntas de concreto de cemento portland en pavimentos. La membrana proporciona también un sello que minimiza la infiltración adicional de agua superficial a través de la estructura del pavimento. En casos en los que se prevé que se presente agrietamiento reflexivo como el modo de desgaste principal y la capacidad estructural se considere suficiente, podrían usarse capas intermedias para reducir el espesor requerido del recubrimiento.

Las capas intermedias podrían ser aplicadas a cualquier tipo de pavimento rígido (PCC) o asfáltico, y han demostrado ser muy eficaces para minimizar la reflexión de las juntas de PCC. Sin embargo, como lo describe el Manual de Mantenimiento de Caltrans, si las irregularidades de la superficie (ahuellamiento en AC o dislocamiento del PCC) exceden $\frac{1}{2}$ pulgada, entonces se requiere, ya sea, de la colocación de una capa de nivelación o de la rectificación y relleno de grietas, antes de colocar la capa intermedia.

La retención de gravilla no es un problema, a menos que la capa intermedia vaya a ser abierta al tráfico antes del recubrimiento. De otro modo, la gravilla de agregado queda prensado en medio. Se encierran dentro del recubrimiento durante la compactación y se evita la formación de un plano de deslizamiento a lo largo de la, relativamente gruesa membrana de asfalto con caucho. No debe aplicarse el sello de niebla o arena sobre una capa intermedia, pues esto podría interferir con la fusión del recubrimiento.

El uso de las estrategias de sellos de gravilla, capas intermedias o capas múltiples podría ofrecer una alternativa económica a los recubrimientos costosos.

El sello de lechada es otro tipo de tratamiento doble para superficies, el cual consta de un sello de gravilla y asfalto con caucho cubierto con lechada asfáltica. Los sellos de lechada convencionales son utilizados típicamente, pero la lechada con caucho puede ser un sustituto. El propósito es el mismo de un sello de gravilla, recubrir pavimentos agrietados y envejecidos, minimizar infiltración adicional de agua superficial y restaurar la fricción superficial. La superficie de los sellos de lechada es más silenciosa que la de los sellos de gravilla y proporciona una apariencia más suave, uniforme y atractiva. Los sellos de lechada se utilizan con mayor frecuencia en calles residenciales o en áreas de estacionamiento de desarrollos de oficinas, para mejorar la apariencia de los pavimentos y para reducir el ruido generado.

MANTENIMIENTO

Los materiales de asfalto con caucho se utilizan para propósitos de preservación y mantenimiento de pavimento. Caltrans utiliza principalmente recubrimientos delgados de RAC (posiblemente sobre una SAMI-R) como carpeta de mantenimiento y también utiliza los sellos de gravilla única para restaurar la fricción superficial. Pueden utilizarse los recubrimientos de granulometría irregular o abierta, dependiendo del tráfico, adecuación de la estructura del pavimento existente y otras condiciones del sitio.

Los materiales del RAC son rara vez utilizados para parchado, a menos que las plantas locales estén fabricando productos de RAC para proyectos simultáneos de pavimentación. Es demasiado caro operar una unidad de mezcla de asfalto - caucho para hacer una mezcla caliente para reparaciones de rutina.

El otro aspecto es el mantenimiento del pavimento de asfalto con caucho y los tratamientos superficiales. Las operaciones típicas incluyen parchado y sellado de niebla, aunque el periodo de tiempo entre los tratamientos de mantenimiento, se espera que sea mayor que el de los pavimentos convencionales DGAC.

Los materiales del RAC no se encuentran normalmente disponibles para su uso en parcheo como se indicó anteriormente. Sin embargo, de estar disponibles, las mezclas de RAC-G o de ARHM serían adecuadas para su uso en parcheo de otros pavimentos de RAC. Las mezclas de granulometría abierta no deben utilizarse para construir parches calientes, puesto que no bloquearán la infiltración de agua superficial. Si los materiales compatibles de RAC no están disponibles, como normalmente es el caso, las mezclas de DGAC modificadas con polímero o convencionales podrían utilizarse para parchar los pavimentos de RAC. Las buenas prácticas de parcheo de pavimentos de DGAC convencional, también aplican para los materiales de parcheo de RAC y deben seguirse.

Los sellos de niebla se utilizan típicamente para la preservación y podrían aplicarse también a los pavimentos de RAC, aunque se esperaría que la frecuencia de aplicación se reduzca. Las mezclas de RAC que no fueron compactadas adecuadamente podrían requerir de sellos de niebla más frecuentemente de lo previsto para proteger contra la humedad y otros daños ambientales. La aplicación de sellos de niebla debe ser regulada por las condiciones de la superficie del pavimento. Las mezclas ricas en RAC podrían necesitar únicamente aplicaciones ligeras de sellos de niebla.



GLOSARIO

Aglomerante de asfalto con caucho (ARB, por sus siglas en inglés) – es utilizado en diversos tipos de construcción de pavimento flexible, incluyendo tratamientos superficiales y mezclas calientes. De acuerdo a la definición de la ASTM (ASTM D 8, Vol. 4.03, “Materiales para Calles y Pavimentos” del Libro Anual de 2006 de Estándares de la ASTM) el asfalto con caucho es “una mezcla de cemento asfáltico, caucho recuperado de llanta y ciertos aditivos, en la que el componente de caucho es de al menos el 15 por ciento del peso total de la mezcla y que ha reaccionado lo suficiente para provocar la expansión de las partículas de caucho”. Por definición, el aglomerante de asfalto con caucho se prepara utilizando el “proceso en húmedo”. Las especificaciones de Caltrans para las propiedades físicas del ARB caen dentro de los rangos señalados en el ASTM D 6114, “Especificación Estándar para Aglomerantes de Asfalto con Caucho,” también localizados en el Vol. 4.03. El caucho reciclado de llanta se utiliza para el caucho recuperado y es conocido actualmente como modificador de caucho granulado (CRM). El cemento asfáltico y el CRM se mezclan e interactúan a elevadas temperaturas y bajo agitación intensa para promover la interacción física de los componentes del cemento asfáltico y del CRM. Durante la elaboración y almacenamiento del ARB, se requiere de agitación para mantener las partículas de CRM suspendidas en la mezcla. Podrían agregarse distintos destilados del petróleo o aceites diluyentes para reducir la viscosidad, facilitar las aplicaciones con pulverizador y favorece la trabajabilidad. (Consulte Proceso en Húmedo)

Llantas de Automóvil – Llantas con un diámetro exterior menor a 26 pulgadas (660 mm) usadas en automóviles, camionetas y camiones ligeros.

Modificador de Caucho Granulado (CRM, por sus siglas en inglés) – término general para el caucho de residuos de llanta que se reduce en tamaño para su uso como modificador en materiales de pavimentación asfáltica. Diversos tipos se definen aquí. Una variedad de procesos y equipos pueden ser utilizados para lograr la reducción de tamaño, como se indica a continuación:

Tipos de CRM

Modificador de caucho granulado triturado – Partículas de caucho triturado, rasgadas, de tamaño irregular, con un área superficial grande. Es producido generalmente con una trituradora de rodillos.

Caucho de Alto Contenido Natural (Hi Nat, por sus siglas en inglés) – Producto de caucho triturado que incluye un 40 a 48 por ciento de caucho natural o isopreno y un mínimo de 50 por ciento de caucho de hidrocarburos, conforme a los requisitos de Caltrans. Las fuentes del caucho de alto contenido natural incluyen caucho de residuos de llanta de algunos tipos de llantas de transporte pesado, pero no se limitan a residuos de llanta. Otras fuentes de caucho de alto contenido natural, incluyen desperdicios de las pelotas de tenis y tapetes de hule.

Desechos de pulido – caucho de alta calidad de residuos de llanta, que es un subproducto del acondicionamiento del cuerpo de la llanta, en preparación para una nueva banda de rodamiento o recauchutado. La viruta de pulido prácticamente no contiene metal o fibra.

Caucho de banda de rodamiento – caucho de residuos de llanta que consta principalmente de caucho de banda de rodamiento con menos de aproximadamente 5 por ciento de caucho de la pared lateral.

Corteza de banda de rodamiento – piezas de caucho de residuos de la banda de rodamiento de la llanta que también son un subproducto de las operaciones de colocación de una nueva banda de rodamiento o recauchutado, que contiene poca o ninguna cuerda de llanta.

Caucho de llanta entera – caucho de residuos de llanta que incluyen la banda de rodamiento y las paredes laterales en proporciones que se aproximan a los respectivos pesos en una llanta promedio.

Métodos de Elaboración del CRM

Trituración Templada - método de procesamiento en el cual el caucho de residuos de llanta es triturado o procesado a o por encima de la temperatura ambiente normal. El procesamiento templado es requerido normalmente para producir partículas rasgadas de forma irregular con un área superficial relativamente grande que favorecen la interacción con el pavimento asfáltico.

Trituración Criogénica – proceso que utiliza nitrógeno líquido para congelar el caucho de residuos de llanta hasta que se torna quebradizo y es entonces que se utiliza un molino de martillo para romper el caucho congelado en partículas suaves con un área superficial relativamente pequeña. Este método es utilizado para reducir el tamaño de las partículas antes de someterse a una trituración final a temperatura ambiente.

Granulado – produce partículas de caucho de corte granulado, cúbicas, de tamaño uniforme con un área superficial reducida.

Molimiento – proceso que reduce las llantas trituradas a piezas de 6 in² (0.023 m²) y menores antes del granulado o de la trituración templada.

Equipo de Procesamiento de CRM

Trituradora de Rodillos – aparato normalmente usado para la trituración templada, que desgarrar el caucho de los residuos de llanta pasando el material entre tambores rotatorios de acero corrugado, reduciendo el tamaño del caucho a partículas granulares, generalmente del tamaño de criba No. 4 al No. 40 (4.75 mm a 425 mm).

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAG-102

Granulador – aparato que recorta el caucho de los residuos de llanta, cortando el caucho con placas giratorias de acero que pasan una tolerancia cerrada, reduciendo el caucho a partículas cúbicas, generalmente del tamaño de criba de 3/8 in. al No. 10 (9.5 mm a 2.0 mm).

Micro-trituración – proceso que tritura adicionalmente las partículas de caucho triturado por debajo del tamaño de criba No. 40 (425 μ m).

Granulometría Densa – se refiere a una mezcla de agregado de granulometría continua, normalmente utilizada para hacer pavimentos de concreto asfáltico de mezcla caliente (HMA, por sus siglas en inglés) con aglomerantes convencionales o modificados.

Caucho Desvulcanizado – caucho que ha sido sujeto a tratamiento por calor, presión o de adición de agentes suavizantes después de la trituración para alterar las propiedades físicas y químicas del material reciclado.

Diluyente – producto de petróleo más ligero (normalmente queroseno o un producto similar con el mismo tipo de características solventes), agregado al aglomerante de asfalto con caucho justo antes de que el aglomerante se pulverice sobre la superficie de pavimento para la aplicación de sellos de gravilla. El diluyente adelgaza el aglomerante para facilitar la ventilación y la aplicación uniforme de la pulverización, y después se evapora con el tiempo sin causar cambios importantes a las propiedades del asfalto con caucho. El diluyente no se utiliza en el ARB para hacer HMA y no es recomendable su uso en capas intermedias que serán recubiertas con HMA en menos de 90 días debido a la evaporación en proceso de los compuestos volátiles.

Proceso en seco – cualquier método que incluya CRM de residuos de llanta como sustituto de un 1 a un 3 % de agregado en una mezcla de concreto asfáltico para pavimentación, no como parte del aglomerante de asfalto. El CRM actúa como un agregado de caucho en la mezcla de pavimentación. Este método aplica únicamente para la producción de mezclas de AC modificado con CRM. Una variedad de granulometría de CRM ha sido utilizada, en rangos que incluyen desde caucho grueso (de tamaño de criba de 1/4 in. hasta más No. 8 (6.3 a 2.36 mm)), hasta CRM de tamaño “Ultrafino”, menos No. 80 (180 μ m). Caltrans cuenta con una disposición especial para RUMAC que incluye una especificación de granulometría intermedia de CRM. Debe tenerse especial cuidado durante el diseño de la mezcla para hacer los ajustes adecuados para la gravedad específica baja del CRM en comparación con el material del agregado para confirmar el análisis volumétrico adecuado. Se han establecido diversos métodos para la alimentación del CRM en seco con el agregado hacia las unidades de la planta para mezclar en caliente antes de que se cargue a la mezcla el cemento asfáltico. Aunque podría haber cierta interacción limitada del CRM con el cemento asfáltico durante la mezcla en la planta de AC, en el silo de almacenamiento, en la transportación, en la colocación y en la compactación, no se considera que el cemento asfáltico sea modificado en proceso en seco.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

Aceite Diluyente – aceite aromático utilizado para favorecer la reacción del cemento asfáltico y el modificador de caucho granulado.

Capa de Desgaste – aplicación de asfalto emulsionado diluido sobre una superficie de pavimento para extender la vida del pavimento y que también podría utilizarse para evitar pérdida de roca en los sellos de gravilla u ondulaciones en el HMA.

Granulometría Irregular – agregado cuya granulometría no es continua para todos los tamaños de fracciones, pero que normalmente pierde o contiene pocas fracciones de los tamaños más finos (menos No. 8 (2.36 mm) o más finas). Dicha granulometría, normalmente traza por debajo de la línea de densidad máxima en un 0.45 de la gráfica de capacidad granulométrica. La granulometría irregular se utiliza para favorecer el contacto de piedra con piedra en el HMA y es similar a la granulometría utilizada en el asfalto de matriz de piedra (SMA), pero con relativamente menos porcentaje de fragmentos de tamaño de criba No. 200 (75 μ m). Este tipo de granulometría es más frecuentemente utilizado para elaborar mezclas de concreto asfáltico con caucho de granulometría irregular (RAC-G, por sus siglas en inglés) para pavimentación.

Interacción – el intercambio físico entre en cemento asfáltico y el CRM cuando se mezclan entre sí a elevadas temperaturas, lo cual incluye la expansión de las partículas de caucho y el desarrollo de las propiedades físicas específicas de la mezcla de asfalto y CRM para cubrir los requisitos. Aunque se le conoce frecuentemente como reacción, la interacción no es una reacción química, sino más bien, una interacción física en la cual el CRM absorbe aceites aromáticos y fracciones ligeras (pequeñas moléculas activas o volátiles) del cemento asfáltico y libera algunos de los aceites similares utilizados en la composición del caucho, en el cemento asfáltico. La interacción puede ser definida más adecuadamente como expansión del polímero.

Agregado Ligero – agregado poroso de muy baja densidad, como la arcilla expandida, la cual se fabrica normalmente. Ha sido utilizado en sellos de gravilla para reducir el daño a parabrisas.

Granulometría abierta – granulometría del agregado que se pretende que sea permeable y consta principalmente de 2 o 3 tamaños nominales de partículas de agregado con pocas partículas finas y de 0 a 4 por ciento de la masa pasando la criba No. 200 (0.075 mm). La granulometría abierta se utiliza en aplicaciones de mezcla caliente para proporcionar superficies relativamente delgadas o capas de rodadura con buenas características de fricción que drenen rápidamente el agua de la superficie para reducir el hidropneumático, las salpicaduras y la aspersion.

Reacción – término comúnmente utilizado para denominar la interacción entre el cemento asfáltico y el modificador de caucho granulado cuando se mezcla entre sí a temperaturas elevadas (consulte, Interacción).

Caucho reciclado de llanta – caucho obtenido del procesamiento de llantas de automóvil, camioneta o autobús usadas (esencialmente llantas para autopista o “sobre la carretera”). Los requisitos químicos para el caucho de residuos de llanta tienen el propósito de eliminar fuentes inadecuadas de caucho de residuos de llanta como lo son las llantas sólidas; las llantas de montacargas, aeronaves y equipos de movimiento de

tierra; y otras llantas no automotrices que no proporcionan los componentes adecuados para la interacción del asfalto con caucho. Las fuentes de caucho que no son llantas pueden ser utilizadas únicamente para proporcionar Caucho de Alto Contenido Natural para complementar el caucho reciclado de llanta.

Asfalto con Caucho – cemento asfáltico modificado con CRM que podría incluir menos del 15 por ciento de CRM del total de la masa y por tanto, podría no cumplir con la definición de la ASTM de asfalto con caucho (ASTM D 8, Vol. 4.03). En el pasado, las mezclas terminales (aglomerantes de asfalto modificado con CRM de proceso en húmedo sin agitación, incluyendo los materiales de los Aglomerantes Modificados [MB, por sus siglas en inglés]) normalmente han caído en esta categoría.

Concreto asfáltico con caucho (RAC, por sus siglas en inglés) – material producido para aplicaciones de mezcla caliente al mezclar aglomerantes de asfalto con caucho o asfalto de goma con un agregado de cierta granulometría. El RAC puede ser de granulometría densa, irregular o abierta.

RUMAC – tipo genérico de proceso húmedo para mezclas de RAC que ha tomado el lugar de los exclusivos sistemas de procesos en seco, tales como el PlusRide.

Membrana de Absorción de Esfuerzos (SAM, por sus siglas en inglés) – un sello de gravilla que consta de un aglomerante caliente de asfalto con caucho pulverizada sobre una superficie existente de pavimento, seguido inmediatamente por una aplicación de una cubierta de agregado de tamaño uniforme, el cual es después aplanado e incrustado a la membrana del aglomerante. Su grosor nominal, es generalmente del rango de entre 3/8 y 1/2 pulgada (9 y 12 mm) dependiendo del tamaño de la cubierta de agregado. Una SAM es un tratamiento superficial que se utiliza principalmente para restaurar las características de fricción de la superficie, sellar grietas y proporcionar una membrana a prueba de agua para minimizar la intrusión de agua superficial al interior de la estructura del pavimento. Las SAM se utilizan para la preservación, mantenimiento y reparación limitada del pavimento. Las SAM de asfalto con caucho minimizan el agrietamiento reflexivo del asfalto deteriorado subyacente o del pavimento rígido y pueden ayudar a mantener la funcionalidad del pavimento pendiente de rehabilitación u operaciones de reconstrucción.

Membrana de Capa Intermedia de Absorción de Esfuerzos (SAMI, por sus siglas en inglés) - originalmente definida como la aplicación con pulverizador de un aglomerante de asfalto con caucho y una cubierta de agregado. Sin embargo, las capas intermedias actualmente podrían incluir sellos de gravilla de asfalto con caucho (SAMI-R), textiles (SAMI-F, por sus siglas en inglés) o de agregado sin aglomerar.

Membrana de Capa Intermedia de Absorción de Esfuerzos con Caucho (SAMI-R, por sus siglas en inglés) – SAMI-R es una SAM de asfalto con caucho que se superpone con una mezcla de pavimento asfáltico que puede o no incluir CRM. La SAMI-R retrasa la propagación de las grietas (agrietamiento reflexivo) mediante el nuevo recubrimiento.

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

Mezcla Terminal – Consulte Proceso en Húmedo – Sin Agitación.

Llantas de camión – llantas con un diámetro exterior mayor a 26 pulgadas (660 mm) y menor a 60 pulgadas (1520 mm); usadas en camiones comerciales y autobuses.

Viscosidad – es la propiedad de resistencia al flujo (fuerzas de corte) en un fluido o semifluido. Los fluidos espesos como el asfalto con caucho tienen alta viscosidad; el agua tiene baja viscosidad. La viscosidad se especifica como una medida de control de calidad en campo para la producción de asfalto con caucho y su utilización en mezclas con RAC.

Caucho vulcanizado – caucho crudo o sintético que ha sido sujeto a tratamiento con sustancias químicas, calor y /o presión para mejorar la resistencia, estabilidad, durabilidad, etc. El caucho de las llantas está vulcanizado.

Proceso en Húmedo – método para modificar cemento asfáltico con CRM elaborado de caucho de residuos de llanta y otros componentes, conforme a los requisitos antes de incorporar el aglomerado a los materiales de pavimentación asfáltica. Caltrans requiere el uso de aceite diluyente y la adición de CRM de alto contenido natural. El proceso en húmedo requiere un mezclado exhaustivo del CRM en cemento asfáltico caliente (375°F a 435°F, 190°C a 224°C) y mantener la mezcla resultante a temperaturas elevadas (de 375°F a 425°F, 190°C a 218°C) por un periodo de tiempo mínimo determinado (normalmente de 45 minutos) para promover una interacción entre el CRM y el asfalto. Los requisitos de las especificaciones de Caltrans incluyen un rango de operación para viscosidad rotacional y penetración de cono, y un valor mínimo para el punto de reblandecimiento y la resiliencia.

El proceso en húmedo puede utilizarse para producir una gran variedad de aglomerantes modificados con CRM que tienen rangos correspondientes respectivos de las propiedades físicas. Sin embargo, las distinciones más importantes entre las distintas mezclas parecen estar relacionadas con la viscosidad rotacional de la mezcla resultante de CRM - cemento asfáltico a alta temperatura (el umbral es 1,500 centipoises (cPs) o 1.5 Pa/s a 375°F [190°C] dependiendo de la especificación gobernante) y al hecho de si la mezcla requiere o no de agitación constante para mantener una distribución relativamente uniforme de las partículas de caucho. La viscosidad está fuertemente relacionada con el tamaño de las partículas del CRM de llanta triturada y del contenido de caucho de llanta en el aglomerante modificado con CRM. La granulometría de CRM utilizada en el proceso en húmedo es típicamente de tamaño de criba menos No. 10 (2 mm) o más fina. Debe asumirse que los aglomerantes modificados con CRM con viscosidades = 1,500 cPs a 375°F (190°C) requieren agitación.

Proceso en Húmedo - Sin Agitación: una forma de proceso en húmedo donde el CRM se mezcla con el cemento asfáltico caliente en una refinería o en una terminal de almacenamiento y distribución de asfalto y se transporta a la planta de mezclado de HMA o al sitio de trabajo para su uso. Este tipo de asfaltos con caucho (que incluyen a los Aglomerantes Modificados con Caucho, RMB) no requieren de agitación constante para mantener a las partículas de CRM uniformemente distribuidas en el aglomerante modificado. El término “mezcla terminal” se utiliza frecuentemente para describir a dichos materiales, aunque también podrían ser producidos en el campo.

Por tanto, nombrarlos mezclas terminales es innecesariamente restrictivo y la descripción predilecta para este tipo de aglomerantes es “proceso en húmedo - sin

agitación". Tales aglomerantes son modificados normalmente con partículas de CRM más finas que el tamaño de criba del No. 50 (300 μm) que pueden ser digeridas (desechas y derretidas) relativamente rápido y/o pueden mantenerse dispersas por la circulación normal dentro del tanque de almacenamiento, en lugar de por la agitación de brocas o paletas especiales. También podrían incluirse polímeros y otros aditivos. En el pasado, los contenidos de caucho para mezclas de este tipo han sido generalmente = 10% de la masa del asfalto o del total del aglomerante (lo cual no satisface la definición D 8 de la ASTM para asfalto con caucho), pero informes recientes indican que algunos productos en California incluyen ahora 15% o más de CRM. Aunque tales aglomerantes pueden desarrollar un nivel considerable de modificación con caucho, los valores de viscosidad rotacional raras veces se acercan al rango mínimo de 1500 (cPs) o 1.5 Pa/s a 375°F (190°C), que es necesario para incrementar significativamente los contenidos del aglomerante por encima de las mezclas convencionales HMA sin escurrimiento excesivo.

Proceso en Húmedo - Alta Viscosidad – aglomerantes de asfalto modificados con CRM que mantienen o exceden el rango mínimo de viscosidad rotacional de 1,500 cPs a 375°F (190°C) por un periodo de interacción deben describirse como aglomerantes de “proceso en húmedo – alta viscosidad” para distinguir sus propiedades físicas de aquellos materiales de proceso en húmedo - sin agitación. Dichos aglomerantes requieren de agitación para mantener las partículas de CRM uniformemente distribuidas. Éstos podrían ser fabricados en grandes tanques estacionarios o en unidades de mezclado móviles que los bombean hacia tanques agitadores o tanques móviles de almacenamiento. Los aglomerantes de proceso en húmedo – alta viscosidad incluyen materiales de asfalto con caucho que cubren los requisitos de la ASTM D6114. Los aglomerantes de proceso en húmedo – alta viscosidad normalmente requieren de al menos un 15% de caucho de residuos de llanta para alcanzar el rango de viscosidad. Caltrans requiere un mínimo de contenido total de CRM del 18%.

Agregados para Concreto Asfáltico

Clasificación de Rocas

- Sedimentaria.
- Ígnea.
- Metamórfica.

Fuentes de Agregado

- Agregados Naturales - grava, arena.
- Agregados Procesados – agregado molido.
- Agregados Sintéticos – escorias de alto horno.

Tamaño Máximo de la Partícula y Granulometría

- Específicos para cada mezcla de concreto asfáltico para pavimentación.
- Agregado grueso – retenido en la criba No. 4.
- Agregado fino - pasa la criba No. 4.
- Relleno mineral /polvo – pasa la criba No. 200.

Gravedad Específica

- Los agregados de gravedad específica baja cubren un mayor volumen por tonelada y, por tanto, requieren un mayor porcentaje de cemento asfáltico.
- Los agregados de gravedad específica alta cubren un menor volumen por tonelada y, por tanto, requieren un menor porcentaje de cemento asfáltico.

Limpieza

- Libre de material inadecuado.
- Resistencia.
- Resistente a la abrasión.

Forma de la Partícula

- Partículas molidas se entrelazan para proporcionar resistencia.
- Partículas finas, redondas proporcionan trabajabilidad, pero actúan como rodamientos de bolas en la mezcla, de modo que el contenido debe ser limitado. Muchas agencias limitan este tipo de materiales a un máximo de 15% del total del agregado para minimizar los efectos adversos al entrelazarse el agregado y los VMA.

Textura de la Superficie

- El asfalto tiende a pelarse de superficies lisas.

Capacidad Absorbente

- La habilidad para absorber asfalto influencia la cantidad total de asfalto requerido. Mucha capacidad de absorción incrementa el contenido del aglomerante.

Afinidad con el Asfalto

- Habilidad del agregado para adherirse al aglomerante asfáltico.

Asfalto

Características

- Material cementoso, negro, hecho en gran medida de hidrocarburos.
- Material plástico visco-elástico – quebradizo y duro cuando está frío; suave y viscoso cuando está caliente.

Clasificaciones

- Cemento asfáltico (asfalto de grado de pavimentación).
- Asfalto líquido (mezclado con rebajadores) - no utilizado en el RAC.
- Asfalto emulsionado (mezclado con agua) - no utilizado en el RAC.

Propiedades Físicas

- Durabilidad.
- Adhesión.
- Susceptibilidad a la temperatura – la modificación con CRM reduce la susceptibilidad a la temperatura.
- Envejecimiento y endurecimiento.

Pruebas para Asfaltos

Las siguientes pruebas se utilizan para aglomerantes de asfalto con caucho, pero no para pruebas de asfalto con Grado Desempeño (PG, por sus siglas en inglés).

Viscosidad – habilidad para fluir, consistencia – dependiente de la temperatura.

Penetración – valor de dureza, también medida de consistencia a una sola temperatura.

Punto de ignición - temperatura a la que la muestra se "enciende" ejemplo, arde en llamas.

Prueba de Película Delgada /Prueba Rotatoria de Película Delgada – métodos para envejecimiento.

Ductilidad – partículas separadas de CRM afectan los resultados de las pruebas, normalmente muestran fracturación temprana.

Estabilidad – limitado a las emulsiones. Para aglomerantes sin agitación, use la prueba de separación y las pruebas de cumplimiento de las especificaciones para evaluar la estabilidad de las propiedades.

Gravedad Específica – usada en cálculos volumétricos de diseño de mezcla y para dosificación durante la producción de la mezcla.

Métodos de Diseño de Mezclas

- Método Marshall de Diseño de Mezcla.
- Mezclas para pavimentación de asfalto de mezcla caliente, tamaño máximo del agregado de una pulgada (para moldes de 4 pulgadas).
- Determina el contenido óptimo de cemento asfáltico para una mezcla particular de agregados.
- Las características principales son: 1) un análisis de densidad/vacíos y 2) una prueba de estabilidad / flujo Marshall.

Método HVEEM de Diseño de Mezclas

- Pavimento de mezcla caliente, agregado de tamaño máximo de una pulgada de
- Las características principales son:
- Equivalente Centrífugo de Queroseno.
- Prueba de Estabilidad Hveem.
- Prueba de expansión. (permeabilidad)
- Vacíos de aire.
- Exudación: sangrado/lorado.

Características de Diseño de Mezclas

- El diseño de mezclas de las mezclas para pavimentación asfáltica y de asfalto de goma es un intercambio entre el alto contenido de aglomerante para perfeccionar la durabilidad a largo plazo y el desempeño, y el suficiente espacio de vacío en posición para evitar ahuellamiento, inestabilidad, sangrado y llorado.
- Los vacíos de aire proporcionan espacios para el movimiento del aglomerante de cemento asfáltico o de un aglomerante de asfalto con caucho dentro de la mezcla compactada.
- Un contenido alto de vacíos de aire indica una densidad relativamente baja y permeabilidad incremental de la mezcla compactada. El objetivo máximo de diseño es 6% de vacíos de aire, para alto volumen especial y/o condiciones climáticas calientes.
- Una densidad baja resulta normalmente en corrimiento y/o peladuras, mayor susceptibilidad al envejecimiento, fatiga y daño ambiental, y reducida vida de servicio relativa.
- Un contenido bajo de vacíos de aire indica una densidad relativamente alta y una tendencia incremental de exudación del asfalto, el ahuellamiento y la corrugación en

Aplicaciones y Usos

Transferencia Tecnológica RAC-102

la mezcla de asfalto. El objetivo mínimo de diseño es 3% de vacíos de aire.

- La densidad alta también mejora la Resistencia a la fatiga y al daño ambiental, la durabilidad y el desempeño a largo plazo, en tanto que los vacíos de aire en posición sean suficientes para prevenir sangrado o inestabilidad.

Vacíos en el Agregado Mineral (VMA, por sus siglas en inglés)

- Total de vacíos excluyendo aquellos permeables al agua y asfalto. Los VMA son una función de la granulometría del agregado, forma de las partículas y textura.
- Los VMA adecuados proporcionan suficiente espacio para el aglomerante, lo cual resulta en una película asfalto de espesor duradero.

Diseño del Contenido de Asfalto

- Depende de la granulometría del agregado (particularmente los VMA), la habilidad para absorber el asfalto y el esfuerzo y tipo de compactación. Los métodos Hveem y Marshall producirán diferentes resultados para la misma mezcla.
- El relleno mineral afecta en gran medida el diseño de contenido del aglomerante asfáltico. Demasiado relleno cubre los vacíos, reduce los VMA y tiene alta demanda para el aglomerante, lo que resulta en una mezcla seca. Muy poco relleno resulta en una mezcla húmeda. Sin embargo, se utiliza una pequeña cantidad de relleno en las mezclas RAC debido a las limitaciones en el porcentaje que pasa la criba de tamaño No. 200.

Propiedades de Diseño de Mezclas

Estabilidad

- Habilidad para resistir el corrimiento y el ahuellamiento, ejemplo, deformación permanente.
- Dependiente de la fricción interna de los agregados (entrelazado) y de la cohesión del aglomerante de asfalto a la superficie de agregado.
- Las partículas angulares de agregado con una superficie de textura áspera resultan en pavimentos de estabilidad alta.

Durabilidad

- Habilidad para resistir a los cambios en el asfalto, (polimerización y oxidación) desincrustación del agregado y peladuras en la película de asfalto.
- La durabilidad puede mejorarse incrementando el aglomerante de asfalto y

alcanzando la compactación adecuada.

Impermeabilidad

- Relacionada con el contenido de vacíos de aire y con las características de los vacíos (si están interconectados, el tamaño de los vacíos y si los vacíos están ubicados en la superficie). El tamaño de los vacíos se relaciona con el tamaño de las partículas del agregado; mezclas de piedras grandes tienen vacíos individuales más grandes.

Trabajabilidad

- La trabajabilidad describe la facilidad con la que la mezcla puede ser colocada y compactada.
- Las mezclas ásperas (agregado grueso, pocos finos) tiende a presentar baja trabajabilidad – las mezclas RAC-G no son aptas para trabajo manual.
- Las mezclas blandas (demasiada arena o partículas de agregado redondas) tienden a correrse durante el aplanamiento.
- La temperatura de la mezcla afecta en gran medida la trabajabilidad.

Flexibilidad

- Habilidad para ajustarse a los cambios graduales en la subrasante o por la presión desigual en los recubrimientos sin agrietarse aplicados a lo largo de grietas.
- Las mezclas de granulometría abierta o irregular tienen más flexibilidad que las mezclas de granulometría densa, dado que tienen mayor contenido de aglomerante de asfalto con caucho y, por tanto, se utilizan cuando se desea resistencia al agrietamiento reflexivo.

Resistencia a la Fatiga

- Habilidad para resistir la deformación y flexión repetida bajo las cargas de tránsito
- Un contenido bajo de vacíos de aire y un contenido alto de asfalto incrementan la resistencia a la fatiga.
- Los aglomerantes de asfalto-caucho de alta viscosidad han demostrado ser altamente resistentes al agrietamiento por fatiga.

Resistencia al Deslizamiento

- Mide la habilidad de la superficie de asfalto a resistir al deslizamiento o derrapamiento de las llantas de los vehículos. Los pavimentos rugosos tienen una mayor resistencia al deslizamiento que los pavimentos lisos o exudados.

Fallas Típicas del Pavimento Asfáltico

Fallas en los Bordes

- Espesor insuficiente, falta de soporte lateral, base saturada o cargas de tráfico pesado.

Superficie Desgastada o Seca

- Contenido insuficiente de aglomerante durante la elaboración de la mezcla, pérdida de aglomerante debido a peladuras u ondulaciones, sobrecalentamiento o agregados absorbentes.

Baches

- Falla estructural ocasionada por la falta de base y/o soporte del subrasante, insuficiente espesor del pavimento o mezcla segregada. La infiltración de agua es generalmente un importante factor de contribución.

Agrietamiento Piel de Cocodrilo (por Fatiga)

- Falla estructural ocasionada por la falta de base y/o soporte del subrasante, insuficiente espesor del pavimento, aglomerante insuficiente o envejecido, o saturación de agua

Sangrado (exudación) e Inestabilidad

- Contenido excesivo de aglomerante, imprimación pesada, exceso de finos en el agregado, agregados redondos, bajo contenido de vacíos de aire.

Ondulaciones

- Mezcla delgada (con bajo contenido de aglomerante) o sobrecalentada.
- Baja densidad/mala compactación.

Deslizamiento

- Alta presión de corte, falta de adherencia con la capa subyacente debido a la imprimación inadecuada o a la limpieza inadecuada de la superficie existente.

Peladuras

- Pérdida de aglomerante, más frecuentemente, ocasionadas por daños por humedad o por las características de la superficie de agregado.

Erosión Superficial

- Paso o estancamiento de agua en el pavimento por largos periodos de tiempo.
- Agregados blandos.

Agrietamiento Longitudinal o Transversal

- Agrietamiento reflexivo del pavimento existente – difícil de prevenir. La resistencia al agrietamiento reflexivo es uno de los principales beneficios de desempeño de las mezclas calientes de asfalto-caucho.
- El agrietamiento longitudinal usualmente se manifiesta a lo largo de las juntas del pavimento; si se localiza en las trayectorias de las ruedas, es un antecesor de agrietamiento piel de cocodrilo.