



EVALUACIÓN DE DIFERENTES ESTRUCTURAS QUÍMICAS DE EMULSIFICANTES ASFÁLTICOS EN LA APLICACIÓN DE MICROSUPERFICIE A BAJAS TEMPERATURAS

Álvaro Gutiérrez Muñoz¹, Raúl Terán Orozco²,
Luis Felipe Ortiz Cárdenas³

¹ Quimi-Kao S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, México, agutierrez@kao.com

² Quimi-Kao S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, México, rteran@kao.com

³ Quimi-Kao S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, México, lortiz@kao.com

Resumen

Los tratamientos superficiales son una excelente tecnología para prolongar la durabilidad de las carpetas asfálticas dado que impiden entre el agua a estas y las capas inferiores del pavimento, reducen la oxidación del asfalto de la carpeta existente, incrementan el coeficiente de fricción, disminuyen la profundidad de la rodera y disminuyen el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Uno de los principales tratamientos superficiales es la Microsuperficie siendo una mezcla que se realiza en una máquina especial y se coloca sobre la superficie de la carpeta asfáltica existente y después de una hora es posible abrir al tráfico. Es muy difícil lograr abrir al tráfico después de una o dos horas de haber sido colocada la mezcla cuando la temperatura del aire oscila alrededor de los 10°C, es por ello que en este estudio se analiza como las diferentes estructuras químicas de emulsificantes asfálticos y su dosificación, influyen drásticamente en este tiempo de apertura al tráfico a bajas temperaturas.

Palabras-clave: Agregado, Emulsión, Asfalto, Emulsificante, Microsuperficie.

1 Introducción

Los tratamientos superficiales son una excelente tecnología para prolongar la durabilidad de las carpetas asfálticas dado que impiden la migración del agua a estas y las capas inferiores del pavimento, reducen la oxidación del asfalto de la carpeta existente, incrementan el coeficiente de fricción, disminuyen la profundidad de la rodera y disminuyen el Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Dentro de los tratamientos superficiales tenemos el riego de la emulsión asfáltica, el riego de sello, el doble riego de sello, el Cape Seal, el Slurry Seal y la Microsuperficie y podemos decir que todos ellos son eficientes pero ayudan a la



corregir diferentes problemas de la carpeta asfáltica, es por ello que el mejor tratamiento superficial será aquel que corrige el problema específico de la carpeta asfáltica presentado en ese momento.

Uno de los principales tratamientos superficiales es la Microsuperficie y consiste en la mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímero, agregado de excelente calidad, cemento o cal, agua y otros aditivos. Esta mezcla se hace utilizando un máquina especial que también la coloca sobre la carpeta asfáltica formando un sello que puede ser de una (mono capa) o dos capas (bicapa). La Microsuperficie es una herramienta muy usada en los países desarrollados para incrementar la vida de la carpeta asfáltica y se utiliza tanto como mantenimiento preventivo como correctivo. Esta tecnología es considerada como un proceso de alta especialización tanto de los aplicadores como de los fabricantes de la emulsión asfáltica y cada aplicación requiere de un diseño propio considerando todas las variables que intervienen en el proyecto y que van desde el análisis del agregado hasta las condiciones meteorológicas.

La mayoría de las veces que se habla de Microsuperficie se habla también de Slurry Seal dado que casi siempre están incluidos juntos en la literatura y en los mismos manuales de diseño de la ISSA causando una gran confusión ya son tratamientos superficiales muy diferentes.

El tratamiento Slurry Seal es definido como una mezcla de agregado, asfalto emulsionado, agua y aditivos adecuadamente proporcionados para que después esta mezcla sea extendida sobre una superficie asfáltica formando un sello de una sola capa (mono capa). En algunas ocasiones el asfalto es modificado con polímero para después emulsionarlo o bien se modifica este adicionando látex ya sea en la solución jabonosa antes de hacer la emulsión o después de fabricada la misma.

En la tabla 1 podemos observar las diferencias entre los tratamientos superficiales Slurry Seal y Microsuperficie y por lo tanto son dos tratamientos diferentes, siendo la Microsuperficie un tratamiento que ofrece más ventajas y durabilidad.



Tabla1. Principales diferencias entre los tratamientos superficiales Slurry Seal y Microsuperficie.
[1], [2]

	Slurry Seal	Microsuperficie
Tipo de emulsión asfáltica	CSS-1 SS-1	CQS 1HP
Tipo de emulsificante	Catiónico, Aniónico.	Catiónico
Rompimiento de la emulsión con el agregado	Por evaporación.	Por reacción química
Contenido de asfalto	60% mínimo	62% mínimo
Polímero en el asfalto	Puede o no llevar polímero	Siempre debe de llevar un mínimo 3% de polímero respecto a el asfalto
Punto de reblandecimiento del asfalto (residuo de la emulsión)	No especificado	57°C como mínimo
Penetración del asfalto (residuo de la emulsión)	40 a 90 dmm	40 a 90 dmm
Gradación	Tipo I, II y III	Tipo II y III
Prueba de desgaste de los ángeles	35% máximo	30% máximo
Equivalente de Arena	45% mínimo	65% mínimo
Azul de metileno	No especificado	No especificado
Tiempo de mezclado a 25°C (TB-113)	Mínimo 180 minutos	Mínimo 120 minutos
Prueba de cohesión a los 30 minutos. (TB-100)	Mínimo 12 kg-cm (sólo para Quick Set)	Mínimo 12 kg cm
Prueba de cohesión a los 60 minutos. (TB-139)	Mínimo 20 kg-cm (sólo para Quick Set)	Mínimo 20 kg-cm o NS
WTAT (TB-100) 1 hora sumergido en agua	Máximo 538 g/m ²	Máximo 538 g/m ²
WTAT (TB-100) 6 días sumergido en agua	No especificado	Máximo 807 g/m ²
LWT (TB-109) (Adhesión de arena)	Máximo 538 g/m ²	Máximo 538 g/m ²
Schultze Breüer Ruck (TB-144)	No especificado	Mínimo 11 puntos
Tiempo de apertura al tráfico	Máximo 1 hora (sólo para Quick Set)	Máximo 1 hora
Capa	Mono capa	Mono capa, Bicapa
Facilidad de aplicación	Fácil aplicación	Requiere de personal altamente calificado
Usos	Mejora y sella la textura de la superficie	Reduce el problema de rodera.

Al observar las diferencias existentes entre los tratamientos superficiales Slurry Seal y Microsuperficie mostradas en la tabla 2, nos damos cuenta que esta diferencia radica principalmente en que en la Microsuperficie el rompimiento de la emulsión asfáltica es por reacción química y por lo tanto el emulsificante juega un papel fundamental, ya que es el que rige este rompimiento así como la adhesión del asfalto con el agregado haciendo la mezcla asfáltica más resistente al daño causado

carga total del agregado disminuya. En la tercera etapa los glóbulos de asfalto son atraídos electrostáticamente por el agregado debido a que las cargas son opuestas, y finalmente en la cuarta etapa el emulsificante que esta alrededor del glóbulo de asfalto reacciona con el agregado formando carbonato de amina (materiales calizos), o silicato de amina (materiales silicosos), generando el rompimiento de la emulsión separándose el agua del asfalto. Cuando se genera el rompimiento se forma una película de espesor uniforme de asfalto alrededor de cada partícula de agregado, y en ese momento se inicia la evaporación de agua, logrando que la mezcla asfáltica adquiera su máxima cohesión cuando toda el agua es evaporada.

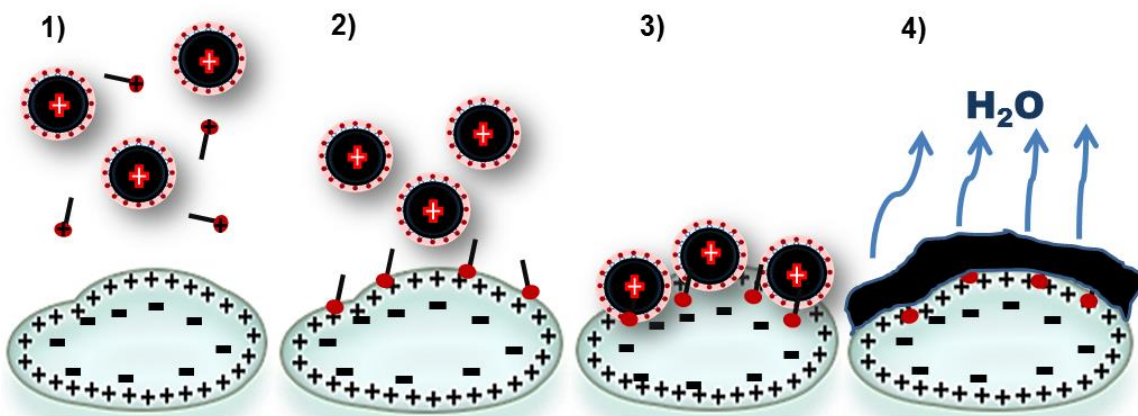


Figura 2 Mecanismo de rompimiento de la emulsión asfáltica al estar en contacto tanto con materiales Calizos como Silicosos en la aplicación de Microsuperficie.

En la figura 2 podemos apreciar que el emulsificante asfáltico libre (el que no está alrededor del glóbulo de asfalto), es la primer molécula atraída por el agregado debido a que esta tiene un peso molecular menor que el glóbulo de asfalto y por lo tanto es más veloz, este emulsificante libre reacciona con el agregado inhibiendo la carga del mismo. Entre más emulsificante libre más se inhibe la carga y es por ello que a mayor dosis de emulsificante el rompimiento de la emulsión es más lento porque el agregado tiene menos carga, esto ocasiona que la emulsión tenga mayor tiempo de mezclado con el agregado. Con la misma intención de disminuir la carga parcial o total del agregado para obtener un tiempo mayor de mezclado de la emulsión con el agregado, se utilizan otras sustancias químicas tales como el Sulfato de Aluminio (solución acuosa). Éstas sustancias actúan de la misma manera que el emulsificante libre pero con la ventaja de que esta solución la podemos tener en el tanque de aditivo localizado en el camión mezclador, y puede ser adicionado en diferentes proporciones según se requiera para prolongar el tiempo de mezclado (aunque la ISSA no especifica la cantidad, en base a la experiencia constructiva se recomiendan dosis desde 0.1% hasta 1.5% respecto al agregado). De manera opuesta, para que el glóbulo de asfalto sea atraído con mayor velocidad al agregado



con el objetivo de que la emulsión rompa más rápido, se utilizan pequeñas cantidades de carga mineral siendo el más común el cemento Portland para generar más carga negativa por parte del agregado (usualmente las dosis se encuentran entre 0.1% y 3.0% respecto al agregado).

En base a lo anteriormente dicho, podemos comprender que aplicar un tratamiento superficial de Microsuperficie conlleva a utilizar un diseño muy particular para cada aplicación teniendo en cuenta muchas variables, siendo una de las principales la velocidad de atracción del glóbulo de asfalto hacia el agregado (tiempo de mezclado y rompimiento). Esta velocidad es debida a la diferencia de cargas entre el glóbulo de asfalto (positiva impartida por el emulsificante), y el agregado (negativa), además de la temperatura tanto de todos los materiales como la del medio ambiente. Dado que la temperatura es directamente proporcional al movimiento de las moléculas y, a mayor temperatura mayor velocidad de atracción del glóbulo de asfalto hacia al agregado, por lo tanto el tiempo de mezclado será menor. Así por ejemplo, podemos aplicar una Microsuperficie con una emulsión asfáltica catiónica que ofrece un buen tiempo de mezclado justo al amanecer, mientras que pasada el medio día ya no es posible mezclarla con el agregado por el incremento de la temperatura en el ambiente y de la superficie del pavimento donde es colocado. Es entonces el momento de usar un aditivo para disminuir la carga del agregado y lograr el tiempo de mezclado agregado-emulsión; o bien al amanecer podemos mezclar fácilmente la emulsión con el agregado pero esta no rompe y entonces es el momento de usar una carga mineral para incrementar la carga del agregado, de esta manera se forzará a que la emulsión rompa.

El emulsificante tiene una gran responsabilidad en la impartición de la carga al glóbulo de asfalto para controlar el tiempo de mezclado y el rompimiento de la emulsión en la aplicación de Microsuperficie. En este estudio son comparadas emulsiones asfálticas fabricadas con diferentes moléculas de emulsificantes que varían en su estructura tanto en la parte lipofílica como en la hidrófilica. Siendo el N-Sebo Aquil Tripropilen Tetramina ramificado, bajo cierto tipo de agregado, el emulsificante que desarrolla un tiempo de mezclado y rompimiento más efectivo, desarrollando una alta cohesión a la condición de mezclado y aplicación de 10°C de temperatura en el medio ambiente.

2 Desarrollo experimental

2.1 Generalidades

En este estudio se utilizan cinco emulsificantes asfálticos catiónicos de estructura química diferente y con cada uno de ellos se fabrican una emulsión asfáltica a las



mismas condiciones de producción utilizando el mismo lote de asfalto AC-20 de la refinería de Salamanca, México.

Cada emulsión es mezclada con el agregado banco “Tonalá” del Estado de Jalisco, México y, se analiza el tiempo de rompimiento y desarrollo de cohesión con el objetivo de verificar que estructura química como emulsificante es la adecuada para un tratamiento tipo Microsuperficie aplicado a una temperatura de 10°C.

2.2 Estructura química de los emulsificantes asfálticos

Las diferentes estructuras químicas de los emulsificantes asfálticos utilizados en estudio son mostradas en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Estructura química de los diferentes emulsificantes asfálticos utilizados.

Letra de identificación del emulsificante asfáltico	Estructura química de la molécula del emulsificante
A	<p><i>N-Aquil Sebo Tetrapropilen Pentamina Ramificada</i></p>
B	<p><i>N-Sebo Alquil Dipropilen Triamina</i></p>
C	<p><i>N-Sebo Alquil Tripropilen Tetramina</i></p>
D	<p><i>N-Sebo Alquil Tripropilen Tetramina Ramificada</i></p>
E	<p><i>N-Alquil Tall Oil Amido Tetrapropilen Tetramina</i></p>



2.3 Características del agregado

El agregado utilizado en todas las pruebas de este estudio fue el banco denominado “Tonalá” cuya descripción granulométrica se muestra en la tabla 3, y en la figura 13 podemos observar que es un material tipo III. El equivalente de arena del mismo es de 65% y el valor de la prueba de azul de metileno es de 10 mg/g.

Tabla 3. Descripción granulométrica del agregado denominado banco “Tonalá”

Malla	Retenido parcial (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulativo (g)	Retenido acumulativo (%)	Pasa la malla (%)
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0
No. 4	3.01	0.12	3.01	0.12	99.9
No. 8	810.78	32.82	813.79	32.94	67.1
No. 16	792.16	32.06	1605.96	65.00	35.0
No. 30	312.49	12.65	1918.45	77.65	22.4
No. 50	115.33	4.67	2033.77	82.32	17.7
No. 100	107.49	4.35	2141.27	86.67	13.3
No. 200	77.84	3.15	2219.11	89.82	10.2
Pasa 200	251.59	10.18			
Suma	2470.70	100.00	2470.70		

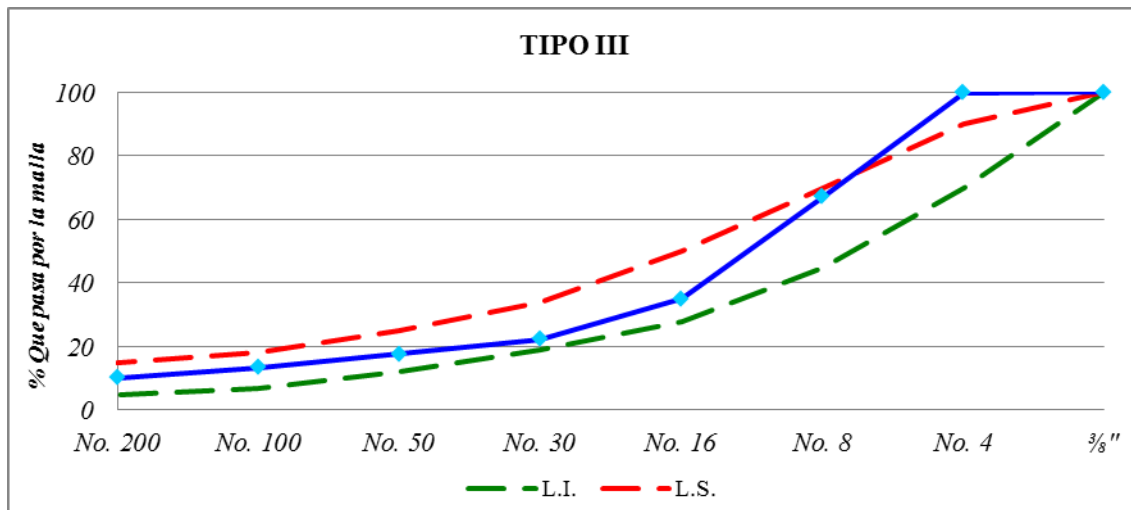


Figura 3 Descripción granulométrica del banco “Tonalá”, el cual presenta una granulometría tipo III.

2.4 Condiciones de fabricación de las emulsiones asfálticas

Las emulsiones se fabricaron en el laboratorio de Quimi-Kao empleando el mismo molino coloidal y el mismo asfalto, y en todas ellas se utilizó 3.0% de látex de SBR. Las condiciones de fabricación son mostradas en la tabla 4.



Tabla 4. Condiciones de fabricación de las emulsiones utilizadas en este estudio.

No. de emulsión	Tipo de emulsificante	Dosis de emulsificante (%)	pH de la solución jabonosa	Temp. solución jabonosa (°C)	Temp. Asfalto (°C)	Residuo Asfáltico (%)
1	A	1.0	2.1	40.1	139	65.1
2	B	1.0	1.9	39.8	141	65.0
3	C	1.0	2.1	40.2	141	64.9
4	D	1.0	1.9	40.5	140	65.1
5	E	1.0	2.0	40.2	142	65.1

2.5 Condiciones de fabricación de la mezcla

Siguiendo el boletín técnico de la ISSA TB-113 [3], se utilizaron 100 gramos el agregado banco “Tonalá” controlado a una temperatura de 10°C. Basados en el contenido de asfalto teórico del agregado calculado en base a su granulometría, se consideró un residuo asfáltico de 9.3%; Considerando una emulsión asfáltica con 62% de residuo asfáltico, para los mismo 100 gramos de agregado es necesario 15 g. de emulsión asfáltica, es decir el 15% con respecto al peso del agregado.

Todos los materiales fueron acondicionados a 10°C de temperatura por lo menos 4 horas, y se hicieron diferentes mezclas teniendo como objetivo lograr un tiempo de mezclado entre 100 y 130 segundos, para lo cual algunas mezclas requirieron agregar carga mineral (cemento Portland), y a otras una solución acuosa de Sulfato de Aluminio al 10% (peso/peso), como aditivo. Las mejores condiciones para lograr el tiempo de mezclado son mostradas en la tabla 5.

Tabla 5. Condiciones de fabricación de las mezclas asfálticas.

No. de emulsión	Tipo de emulsificante	Dosis de emulsión (%)	Cemento Portland (%)	Agua de premezclado (%)	Aditivo $Al_2(SO_4)_3$ (%)	Tiempo de mezclado (seg)
1	A	15	0.5	8	0.0	120
2	B	15	0.0	12	0.0	105
3	C	15	1.0	8	0.0	100
4	D	15	0.2	10	0.4	130
5	E	15	0.3	8	1.0	105

2.6 Pruebas de evaluación de desempeño

La evaluación de desempeño de las mezclas asfálticas de la tabla 5, fue realizada por medio de la prueba de cohesión ISSA TB-139 [4], la cual nos proporciona el criterio para el tiempo de apertura al tráfico y este es cuando el valor de torque es de 20 Kg-cm o la apariencia de la mezcla después del esfuerzo de torque es de "NS" tal como lo muestra la figura 4.

Es importante subrayar que la temperatura ambiente se mantuvo a 10°C durante el tiempo de curado de todas las mezclas, para simular la condición de desarrollo de cohesión de la mezcla a bajas temperaturas y con esto poder diferenciar cual emulsión (y por ende cual emulsificante), es el que desarrolla más cohesión en menos tiempo.

Cohesión (Calidad) / Torque Equivalente

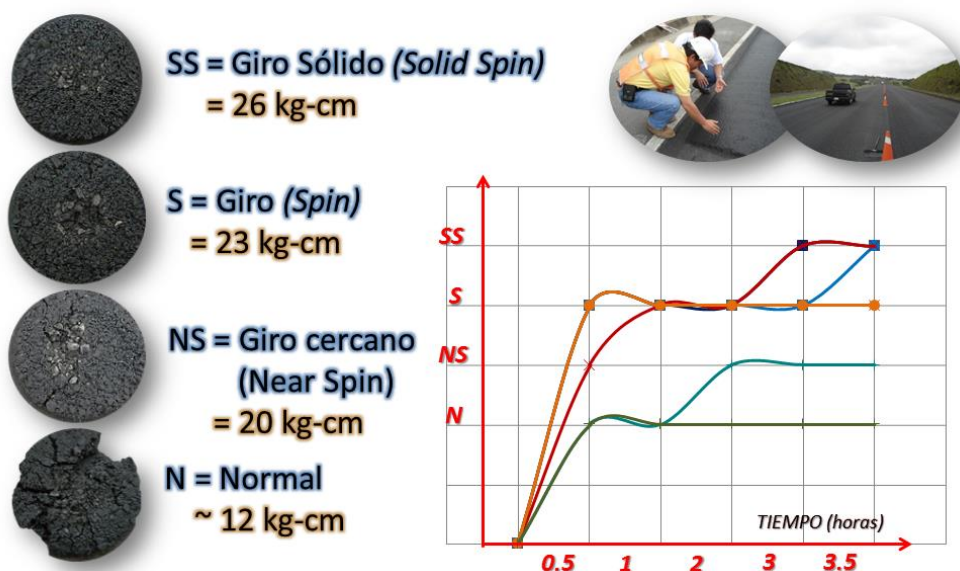


Figura 4. Descripción de los valores de cohesión para la apertura al tráfico

3 Resultados

3.1 Cohesión

Los resultados de la evaluación del desarrollo de cohesión de las mezclas asfálticas después de haber aplicado el esfuerzo de torque son mostrados en la tabla 6, mientras que en las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 se muestran la apariencia de cada mezcla después de valorar la cohesión. Los lapsos de tiempo de curado fueron de

una y dos horas a una temperatura ambiente de 10°C siguiendo la norma de la prueba de cohesión ISSA TB 139 [4].

Tabla 6. Resultados de cohesión de las mezclas asfálticas después un tiempo de curado de una y dos horas a una temperatura ambiente de 10°C.

Emulsificante	Emulsión	1 hora		2 horas	
		Torque (kg-cm)	Torque Equivalente	Torque (kg-cm)	Torque Equivalente
A	1	13	N	14	NS
B	2	15	NS	17	S
C	3	11	N	13	N
D	4	15	S	18	SS
E	5	11	N	14	NS

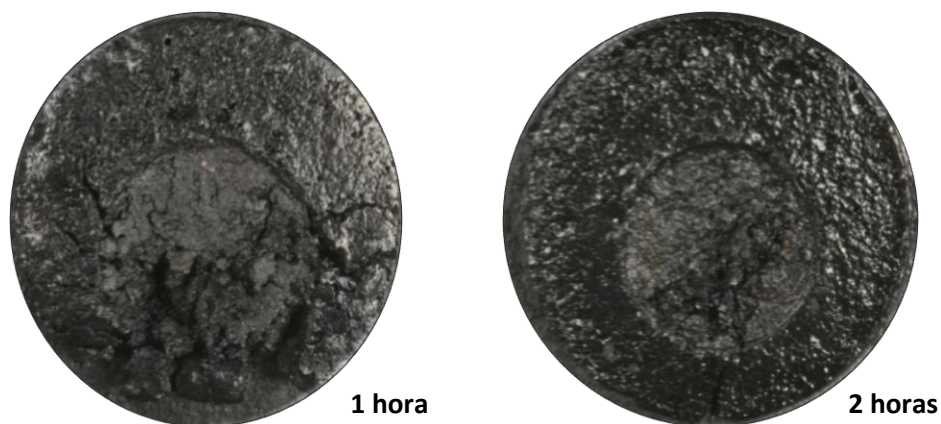


Figura 5. Apariencia de la cohesión de las mezclas, Emulsificante A / Emulsión 1



Figura 6. Apariencia de la cohesión de las mezclas, Emulsificante B / Emulsión 2



Figura 7. Apariencia de la cohesión de las mezclas, Emulsificante C / Emulsión 3



Figura 8. Apariencia de la cohesión de las mezclas, Emulsificante D / Emulsión 4

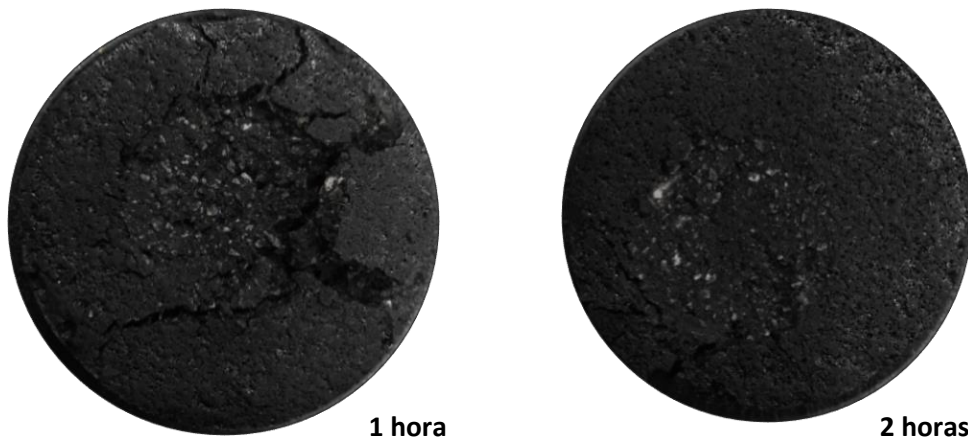


Figura 9. Apariencia de la cohesión de las mezclas, Emulsificante E / Emulsión 5



3.1 Pérdida de material por abrasión en húmedo

Un punto importante a valorar es la capacidad de desgaste por pérdida de material pétreo en el ensayo de abrasión en húmedo a 1 hora basado en la prueba de Wet Track Abrasion Test (WTAT), ISSA TB 100 [5]. En el cual bajo las mismas proporciones para las mezclas podemos distinguir la diferencia entre las emulsiones ensayadas y por ende de los emulsificantes. En la figura 10 se puede observar la capacidad adherente de cada emulsificante reduciendo la cantidad de material desprendido después del ensayo comparándolas con las mismas cantidades de asfalto.

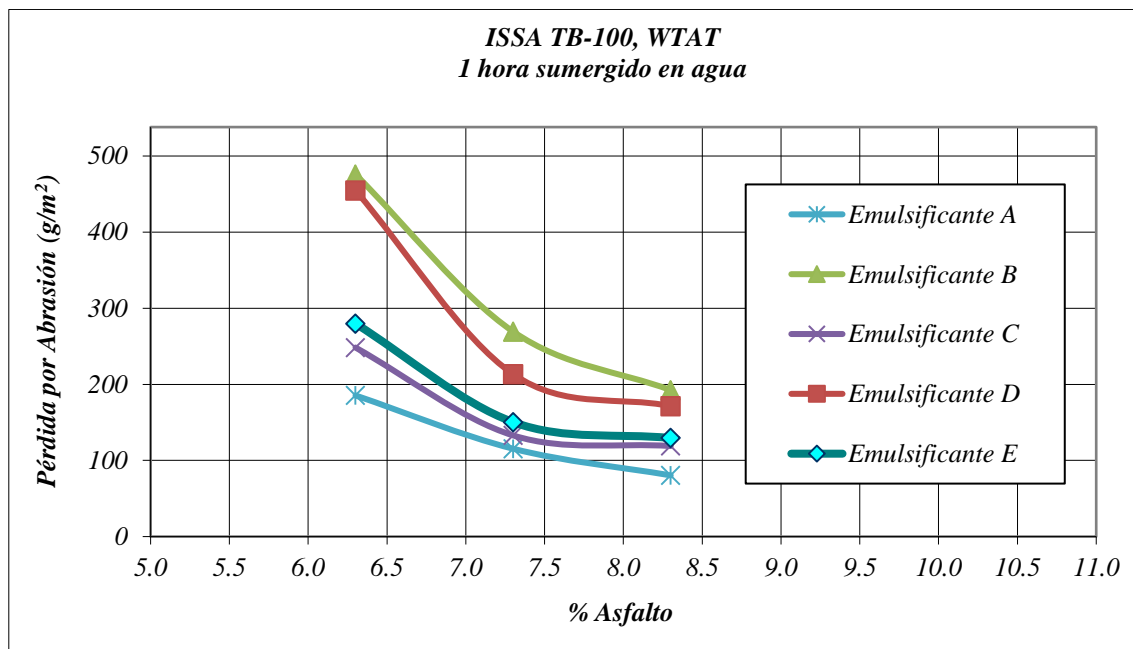


Figura 10. Ensayo de pérdida de masa por abrasión ISSA TB-100 (WTAT)

4 Conclusiones

1. Las emulsiones asfálticas que se emplean en la aplicación de Microsuperficie deben de fabricarse con emulsificantes asfálticos catiónicos. Los emulsificantes catiónicos reaccionan con las cargas del mineral sin importar la carga del agregado. Propiciando una reacción en cadena que entre el emulsificante y el agregado, depositándose las partículas de asfalto en la superficie del agregado y creando fuertes lazos entre ellos.
2. La reacción en cadena entre el agregado y el emulsificante está en función de la estructura química del emulsificante. Sin embargo esta reacción debe ser capaz de ser controlada mediante el uso de aditivos y carga mineral adicional.



3. El tiempo de mezclado varía para cada agregado y emulsión, es por ello que es necesario realizar pruebas de mezclado para comprender el comportamiento del emulsificante con el agregado en cuestión. Este proceso es un parte esencial del desarrollo del diseño de Microsuperficie.
4. Cuando se comparan diferentes emulsificantes (estructuras químicas), bajo las mismas condiciones ambientales, se puede observar diferencias en comportamiento tanto en tiempo de mezclado, curado como en su cohesión.
5. El tiempo para la apertura al tráfico está basado en el desarrollo de la cohesión de la mezcla, el cual se ve incrementado proporcionalmente en el incremento del tiempo. Con diferentes estructuras químicas como emulsificantes, se puede mejorar la cohesión y apariencia de la mezcla para que el tráfico pueda aperturar en 1 hora de haber sido aplicado.
6. La emulsión 4, fabricada con el emulsificante "D" cuya estructura química es una N-Sebo Alquil Tripropilen Tetramina Ramificada, fue la que desarrollo mayor cohesión. Logrando en un tiempo de curado de dos horas un torque de 18 Kg-cm y un torque equivalente (aparencia) de "SS". Lo anterior a una temperatura ambiente 10°C, con lo cual podemos decir que utilizando este banco denominado "Tonalá" tipo silicoso y esta emulsión "D", es posible aplicar una Microsuperficie a dicha temperatura, pudiendo abrir al tráfico en un tiempo de 2 horas.
7. La emulsión 3, fabricada con el emulsificante "C" cuya estructura química es una N-Sebo Alquil Tripropilen Tetramina fue la que desarrollo menor cohesión bajo las mismas condiciones, con un tiempo de curado de dos horas logró un torque de 13 Kg-cm y un torque equivalente (aparencia) "N", lo cual indica que si la Microsuperficie es aplicada con esta emulsión tardaría mayor tiempo en poder abrir al tráfico.
8. La mezcla derivada de la emulsión 5, fabricada con el emulsificante "E" presenta mayor capacidad adherente, reduciendo la pérdida de material por abrasión con el mismo contenido de asfalto. Sin embargo para el agregado ensayado, las 5 mezclas se encuentran por debajo del máximo permitido por la ISSA A-143 de 538 g/m² para cualquiera de los tres contenidos de asfalto evaluados.

5 Bibliografía

- [1] International Slurry Surfacing Association. (2010). ISSA A105 Recommended Performance Guideline for Emulsified Asphalt Slurry Seal. Annapolis, MD. ISSA.
- [2] International Slurry Surfacing Association. (2010). ISSA A143 Recommended Performance Guideline for Emulsified Asphalt Slurry Seal. Annapolis, MD. ISSA.
- [3] International Slurry Surfacing Association. (2005). Technical Bulletin No.113, "Trial Mix Procedure for Slurry Design". Annapolis, MD. ISSA.
- [4] International Slurry Surfacing Association. (2005). Technical Bulletin No.139, "Test Method to Classify Emulsified Asphalt/Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester Measurement of Set and Cure Characteristics". Annapolis, MD. ISSA.
- [5] International Slurry Surfacing Association. (2005). Technical Bulletin No.100, "Test Method to Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces". Annapolis, MD. ISSA.