

ESTUDIO DE TÉCNICAS DE RECICLADO EN FRÍO: TERCERA PARTE (DISEÑO DE MEZCLAS RECICLADAS EN FRÍO EN BASE A EMULSIONES)

Study of Cold Recycling Techniques: Third Part (Cold Recycled Mix Design Using Emulsions)

Por Guillermo Thenoux Z., Gabriel García S.

Resumen

No existe en la actualidad un método mundialmente aceptado y estandarizado para diseñar mezclas recicladas en frío cuando se utilizan emulsiones asfálticas como aditivo reciclador. No obstante, la mayoría de los diseños de mezcla se basan en el método Marshall pero aplicando procedimientos que difieren del usado en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

El presente trabajo corresponde a la tercera y última parte sobre el tema de reciclado en frío. En la primera publicación (Revista RIC N° 20) se presentaron los fundamentos básicos del reciclado en frío y en la segunda (Revista RIC Volumen 15 – N°1) se trataron las etapas de un proyecto de reciclado en frío con emulsiones. En esta tercera parte, se presentan los resultados de un estudio enfocado principalmente a investigar una metodología de dosificación de mezclas recicladas en frío con emulsiones, para ser aplicada en Chile. La investigación se desarrolló fundamentalmente en laboratorio. Se ensayaron 5 emulsiones diferentes: CSS-1h, CMS-2, CMS-2h, CSS-1h con polímeros SBR y CSS-1h con polímeros SBS. Una vez ensayadas las briquetas, los mejores resultados estructurales se obtuvieron con la emulsión CSS-1h con polímeros SBR, lográndose coeficientes estructurales (a_2) cercanos a 0,35 (según correlación del Método de Diseño AASHTO). En cambio los coeficientes estructurales más bajos se obtuvieron con la emulsión CMS-2, alcanzándose aproximadamente 0,30.

Palabras Claves: pavimentos asfálticos, reciclado en frío. Reciclado de pavimentos asfálticos, rehabilitación de pavimentos, conservación de pavimentos, diseño de mezcla.

Abstract

Presently there is no universal or standard mixture design method for cold recycled mixes when using asphaltic emulsions as recycler additive. Notwithstanding, most mix designs are based on the Marshall method but with procedures different from those used in the design of hot asphalt mixes. The present work corresponds to the third and final publication on the subject of cold recycling. In the first publication (Thenoux and García, 1999) the basic foundations of cold recycling were presented and in the second (Thenoux and García, 2000) appeared the component stages of a cold recycling project and the most important aspects that must be considered in each one. This third part, presents the results of a study centered on the research of mix design methodologies for cold recycled mixed with emulsions, to be applied in Chile. The related research, was carried out mainly at the laboratory. Five different emulsions were tested: CSS-1h, CMS-2, CMS-2h, CSS-1h with SBR (called Polymuls-Lh) and CSS-1h with polymers SBS (called CSS-1E). Once the briquettes were prepared and tested, the evaluation of their structural results concluded that the best results were obtained with the combined mix of CSS-1h emulsion and SBR polymers, reaching structural values (a_2) around 0,35 (according to correlation with the AASHTO Structural Design Methodology). On

the other hand, the lowest structural values (approximately 0,30) were obtained with the CMS-2 emulsion.

Keywords: asphalt pavements, cold recycling, asphalt pavement recycling, pavement rehabilitation, pavement maintenance, mixture design.

1. INTRODUCCIÓN

Análogamente al proceso de diseño de las mezclas asfálticas en caliente, en el caso de las mezclas recicladas en frío se busca básicamente determinar la combinación de emulsión y RAP (eventualmente también, árido virgen y otros aditivos recicladores) que le darán el mejor comportamiento a la mezcla como parte de la estructura de pavimento reciclado.

No existe en la actualidad un método de diseño de mezclas recicladas en frío con uso de emulsiones, mundialmente aceptado. No obstante, la mayoría de los métodos de diseño de mezclas recicladas que se están aplicando actualmente están basados en el método Marshall, pero con procedimientos diferentes de aquellos utilizados para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. También, en el último tiempo se están incorporando nuevos métodos basados en el empleo de compactadores giratorios y se vislumbra que la tendencia futura se aproximará hacia esta opción (Thenoux, 2000). Este trabajo presenta los resultados de un proyecto de investigación, de cuyos objetivos principales, se destacan los siguientes:

- Estudio de metodologías de dosificación de mezclas recicladas en frío.
- Comparación del comportamiento de mezclas recicladas en frío con emulsiones asfálticas tanto convencionales como modificadas con polímeros.
- Evaluación de la aplicación de los métodos del Instituto del Asfalto y del Departamento de Transporte del Estado de Oregon para determinar un contenido estimado de emulsión inicial (CEE).

El estudio de los diferentes métodos que están siendo aplicados en aquellos países en los que el reciclaje en frío ha alcanzado cierto desarrollo, como EE.UU., Canadá, Australia, España y algunos países Latinoamericanos, permite concluir que en la actualidad no existen normativas de carácter oficial probadas, que normen la confección de mezclas recicladas en frío; recién están comenzando a aparecer recomendaciones técnicas que requieren ser contrastadas con ensayos a escala real y validadas por resultados consistentes a través de varios años. Es así como en la actualidad, el reciclaje en frío se considera todavía, como una tecnología no probada o experimental.

Por otra parte, los métodos tradicionales de diseño de mezclas tanto en frío como en caliente (Marshall y Hveem) no son aplicables directamente al reciclaje en frío dada la particular característica que le confiere el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) y las condiciones propias del reciclado en frío tanto in-situ como en planta.

Para la presente investigación se requería además que el método de diseño fuera fácilmente aplicable, en lo posible empleara los equipos y experiencias disponibles en nuestro país, como también que permitiera la utilización del mayor contenido de RAP. Es decir, se buscaba un método que en lo posible derivara del método Marshall y que idealmente permitiera diseñar mezclas hasta con un 100 % de RAP.

Como resultado del estudio de metodologías de dosificación se concluyó que el método que mejor reunía los requisitos expuestos además de su simplicidad y rapidez, era el “Método de Diseño de Mezcla Marshall Modificado” (AASHTO-AGC-ARTBA, 1998).

2. PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

La investigación de laboratorio se desarrolló a través de 5 etapas las cuales están representadas esquemáticamente en la Figura 1 y se describen resumidamente en las secciones que siguen.

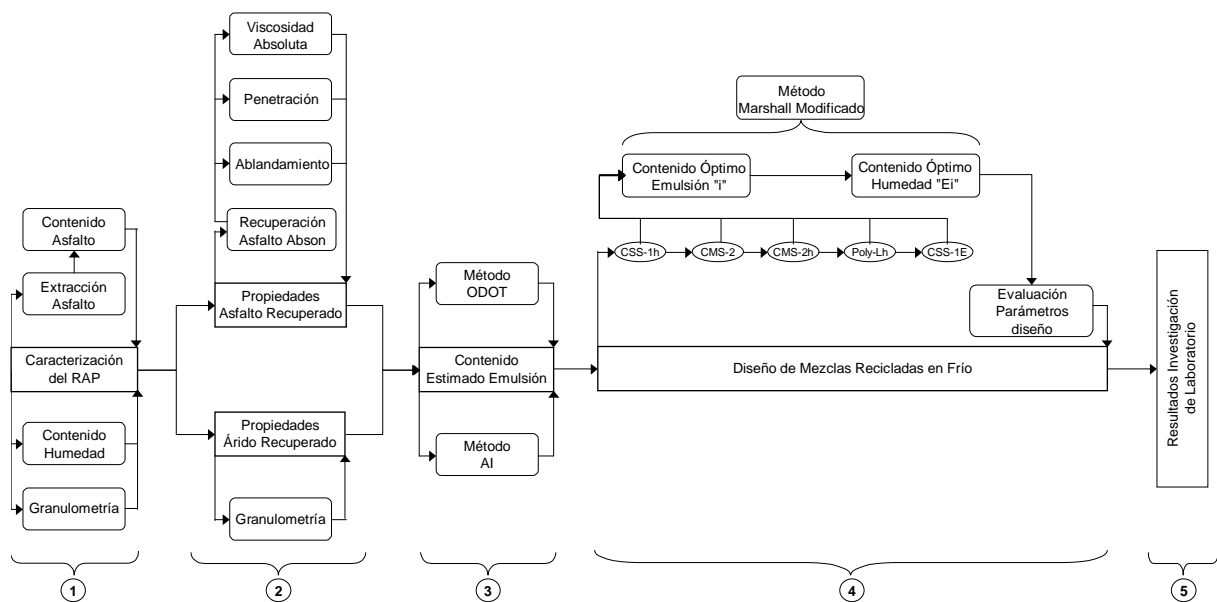


Figura 1. Diagrama de flujo del programa de investigación de laboratorio

2.1. Caracterización del RAP (Etapa 1)

Se analizaron las características del RAP, para establecer las condiciones iniciales requeridas por el método de diseño de mezclas seleccionado.

El material utilizado en la presente investigación se trató de un RAP proveniente de un recapado asfáltico sobre un pavimento de hormigón existente en el aeropuerto internacional de Santiago de Chile. Dicho recapado fue construido aproximadamente en 1988 con un espesor alrededor de los 18 cm. Durante su vida de servicio el recapado asfáltico fue parchado en algunos sectores no existiendo antecedentes sobre la magnitud de éstos; no obstante, por política de mantenimiento los parches se realizan con materiales que deben cumplir las especificaciones originales de diseño. No se le aplicaron riegos ni sellos de conservación de superficie.

Como se aprecia en la Figura 1, la Etapa 1 consistió en determinar su contenido de humedad, granulometría (previa a la extracción de asfalto), extracción y contenido de asfalto.

2.2. Propiedades del Árido y del Asfalto Recuperado (Etapa 2)

a) Propiedades del árido recuperado

Consistió en realizar un análisis granulométrico del árido resultante una vez extraído el asfalto del RAP.

b) Propiedades del asfalto recuperado

El asfalto extraído del RAP fue recuperado por medio del Método Abson (LNV 11 y ASTM D1856) y en él se determinaron el punto de ablandamiento (LNV 48 y ASTM D36), penetración (LNV 34 y ASTM D5) y viscosidad absoluta (LNV-41 y ASTM D2171).

2.3. Contenido Estimado de Emulsión CEE (Etapa 3)

El CEE, es un contenido inicial de emulsión (punto de partida), para poder aplicar el método de diseño de mezcla reciclada, en torno al cual se van haciendo variaciones cada 0,5% (CEE ± 0,5% y CEE ± 1,0%) y así, dentro de ese rango, poder encontrar el contenido óptimo de emulsión. Se aplicaron dos métodos distintos, para determinar el más adecuado.

a) Método Instituto del Asfalto (AI)

Este método (Asphalt Institute, 1983) se resume en la Figura 2 y se basa fundamentalmente en las características granulométricas del árido recuperado del RAP.

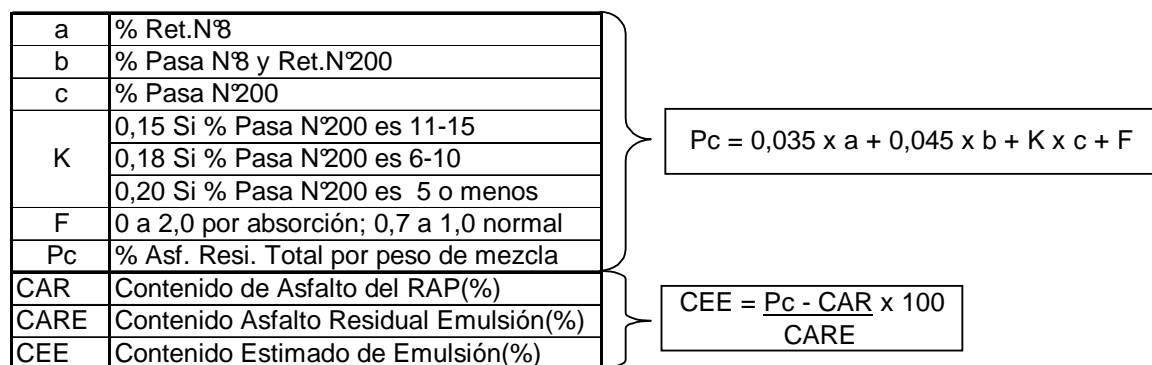


Figura 2. Método Instituto del Asfalto para determinar el CEE

El método, busca determinar un porcentaje de asfalto residual por peso de la mezcla, aplicando una fórmula empírica basada en el material retenido en el tamiz Nº8 (a), el retenido en el tamiz Nº200 pero que pasa el Nº8 (b), el porcentaje de material que pasa el Tamiz Nº200 (c y K) y la absorción del agregado (F). En lo referido al factor F, varía entre 0 y 2,0 basado en una gravedad específica del material de 2,6 a 2,7; pero sugiere un rango entre 0,7 y 1,0 (en nuestro caso se adoptó 1,0) para cuando no se cuente con estos datos, lo que cubriría la mayoría de las condiciones que se presenten y por lo tanto, será un dato de “apreciación” de quien utilice el método.

Una vez determinado el porcentaje de asfalto residual (Pc) y conociendo el “Contenido de Asfalto de una Emulsión” dada (CARE) se llega al “Contenido Estimado de Emulsión” (CEE).

b) Método Departamento de Transporte Estado de Oregon (ODOT)

Este método (AASHTO-AGC-ARTBA, 1998), presentado en la Figura 3, establece ajustes a partir de un contenido base de emulsión (1,2% por peso de RAP) hechos a partir de ensayos de laboratorio realizados sobre muestras representativas del material a reciclar.

A_G	% Ajuste Granulometría RAP, T 1/4"
A_{AC}	% Ajuste Contenido de Asfalto RAP
$A_{P/V}$	% Ajuste Penetración o Viscosidad A.
CEE	Contenido Estimado de Emulsión(%)

$CEE = 1,2 + A_G + A_{AC} + A_{P/V}$

Ajustes del Contenido de Emulsión para Determinar CEE

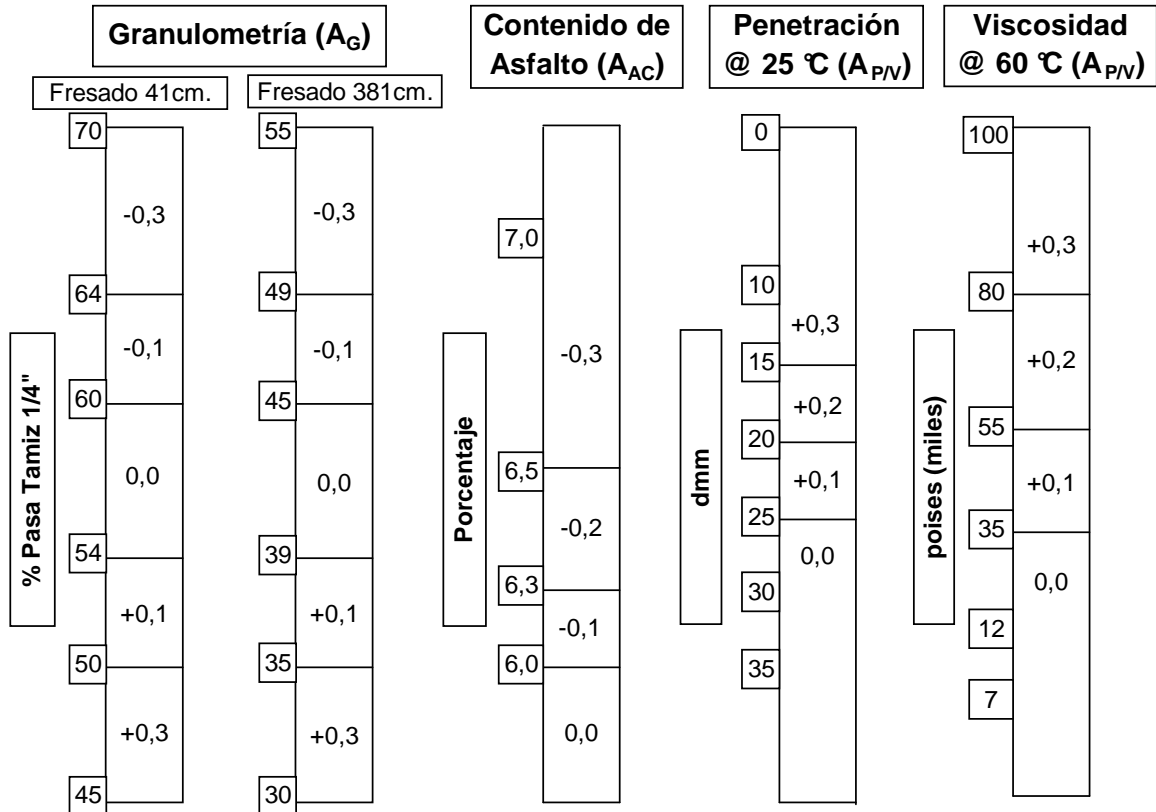


Figura 3. Método Departamento de Transporte Estado de Oregon para determinar el CEE

El método, se basa en muestras obtenidas por medio de una máquina fresadora de 41 cm. de ancho, pero esto está correlacionado con una fresadora de 381 cm. de ancho. En el caso de la presente investigación se utilizó esta última correlación por cuanto se asimilaba a las características del fresaje realizado para obtener el RAP estudiado.

Los siguientes ensayos de laboratorio deben ser realizados sobre las muestras de RAP obtenidas:

- Granulometría del RAP (determinada sólo por tres tamices: 12,5 mm; 6,3 mm y 2 mm [$1/2''$, $1/4''$ y N°10]).
- Extracción y recuperación del asfalto que contiene el RAP por medio del Método Abson (para determinar el contenido de asfalto y producir muestras para el ensayo de penetración y viscosidad).
- Penetración del asfalto recuperado a 25°C.
- Viscosidad absoluta del asfalto recuperado a 60°C.

Con los resultados de los ensayos de laboratorio sobre las muestras de RAP, se puede determinar el contenido estimado de emulsión (CEE) usando la ecuación y gráficos de la Figura 3. En el caso del ajuste por penetración o viscosidad se elige el que dé un menor contenido de emulsión de los dos.

2.4. Diseño de mezclas recicladas en frío (Etapa 4)

Esta etapa consistió en la aplicación del Método de Diseño de Mezcla Marshall Modificado a 5 emulsiones diferentes. En la Tabla 1 se presentan las principales características de las emulsiones utilizadas.

Tabla 1. Características de las emulsiones empleadas

Emulsión	Viscosidad SSF (s)	Penetración Residuo (dmm)	Contenido Asfalto (%)	Polímero (Tipo - %)	Solvente (%)
CSS-1h	59 @ 25°C	70	67,6	-	-
CMS-2	145 @ 50°C	143	65,9	-	7,5
CMS-2h	91 @ 50°C	76	66,1	-	6,5
Polymuls-Lh (CSS-1h)	60 @ 25°C	70	68,0	SBR - 3%	-
CSS-1E (CSS-1h)	92 @ 25°C	80	67,5	SBS - 3%	-

El método de diseño que se expone en esta sección, es el que la presente investigación propone para el reciclado en frío de pavimentos asfálticos, y el que fue empleado durante el trabajo de investigación de laboratorio. Ya que se basa en el método de diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente convencionales, también se le denomina “Método Marshall Modificado para el Diseño de Mezclas Recicladas en Frío”.

La Tabla 2 y la Figura 4, presentan un resumen y un diagrama de flujo respectivamente, de las principales actividades que se requieren para la aplicación del método de diseño.

Básicamente consiste en emplear las mismas probetas, martillo y equipo utilizados para diseñar mezclas asfálticas en caliente con el método Marshall, preparando un mínimo de tres probetas por cada contenido de emulsión a ensayar. La temperatura de mezclado, compactación y de ensayo que se utiliza normalmente es de 25°C y fue la utilizada en esta investigación; sin embargo, esta temperatura podría adecuarse a las temperaturas probables de encontrar en los lugares donde se realice el reciclado.

Para una emulsión determinada, primero se determina el “Contenido Óptimo de Emulsión” (COE), pero agregando suficiente cantidad de agua durante el mezclado tal que cada muestra alcance un 3 % de contenido de agua total por peso seco de RAP (considerando la humedad del RAP, el agua de la emulsión y el agua agregada para el mezclado). Se confeccionan 3 probetas por contenido de emulsión y se ensayan 5 contenidos distintos con incrementos de 0,5 % por peso seco de RAP (en esta investigación se utilizó 0,7; 1,2; 1,7; 2,2 y 2,7 % de emulsión), además, se prepara una muestra suelta por cada contenido de emulsión para determinar la densidad máxima teórica (Dmm). Una vez preparadas las probetas con los contenidos de emulsión a ensayar y luego del período de curado, tanto en horno como a temperatura ambiente, se ensayan en el equipo Marshall convencional, y con los resultados se establece el contenido óptimo de emulsión. Usando el diagrama de flujo de la Figura 4, primero se sigue por la parte derecha del gráfico hasta determinar el COE.

Tabla 2. Resumen de actividades del método de diseño de mezclas recicladas

ACTIVIDADES	
1	Tomar muestras de RAP desde pavimento a reciclar (se recomienda uso de fresadora)
2	Determinar humedad del RAP {110 °C hasta masa const ante}
3	Tamizar RAP. Reducir tamaño a 1"
4	Calentar RAP a temperatura de mezclado [al menos 1 hora]
5	Agregar agua para 3% contenido agua total (A. Emulsión + A. RAP + A. Agregada = 3%)
6	Mezclar a mano {25°C} [1 minuto]
7	Agregar emulsión {a 60°C}. Incrementar cada 0,5%
8	Mezclar muestra hasta completa dispersión de emulsión [no más de 2 minutos]
9	Precalear moldes {60°C} [1 hora]
10	Fabricar probetas con 50 golpes por cara {25°C} (ASTM D 1559 o AASHTO T 245)
11	Curar probetas en sus moldes en horno {60°C} [6 ho ras]
12	Enfriar probetas a temperatura ambiente sobre sus costados [toda la noche]
13	Extraer probetas de sus moldes
14	Registrar masa seca de cada probeta (Ai)
15	Sumergir probetas en agua {25°C} [3 a 5 minutos]
16	Registrar masa sumergida de cada probeta (Ci)
17	Registrar masa saturada superficialmente seca (sss) de cada probeta (Bi)
18	Calcular gravedad específica bruta (densidad real de mezcla compactada, ASTM D 2726)
19	Ambientar probetas en horno a temperatura de ensayo {25°C} [2 horas]
20	Ensayar probetas para estabilidad y fluencia {25°C} (ASTM D 1559 o AASHTO T 245)
21	Determinar densidad máxima teórica, Dmm (ASTM D 2041 o AASHTO T 209)
22	Determinar contenido óptimo de emulsión, COE
23	Fabricar 3 probetas por cada contenido de agua total diferente del 3% (2; 2,5; 3,5 y 4%)
24	(Opcional) Determinar sensibilidad de mezcla a humedad (AASHTO T 283)
25	Determinar contenido óptimo de agua, COEH
26	Diseño final (Vacíos de aire totales (VTM) recomendados, entre 9 - 14 %)
NOTA: Una temperatura de compactación alternativa podría ser la temperatura máxima normal del aire en el lugar del proyecto durante la construcción. La temperatura de ensayo podría ser la estimación de la máxima temperatura superficial del pavimento durante la construcción	

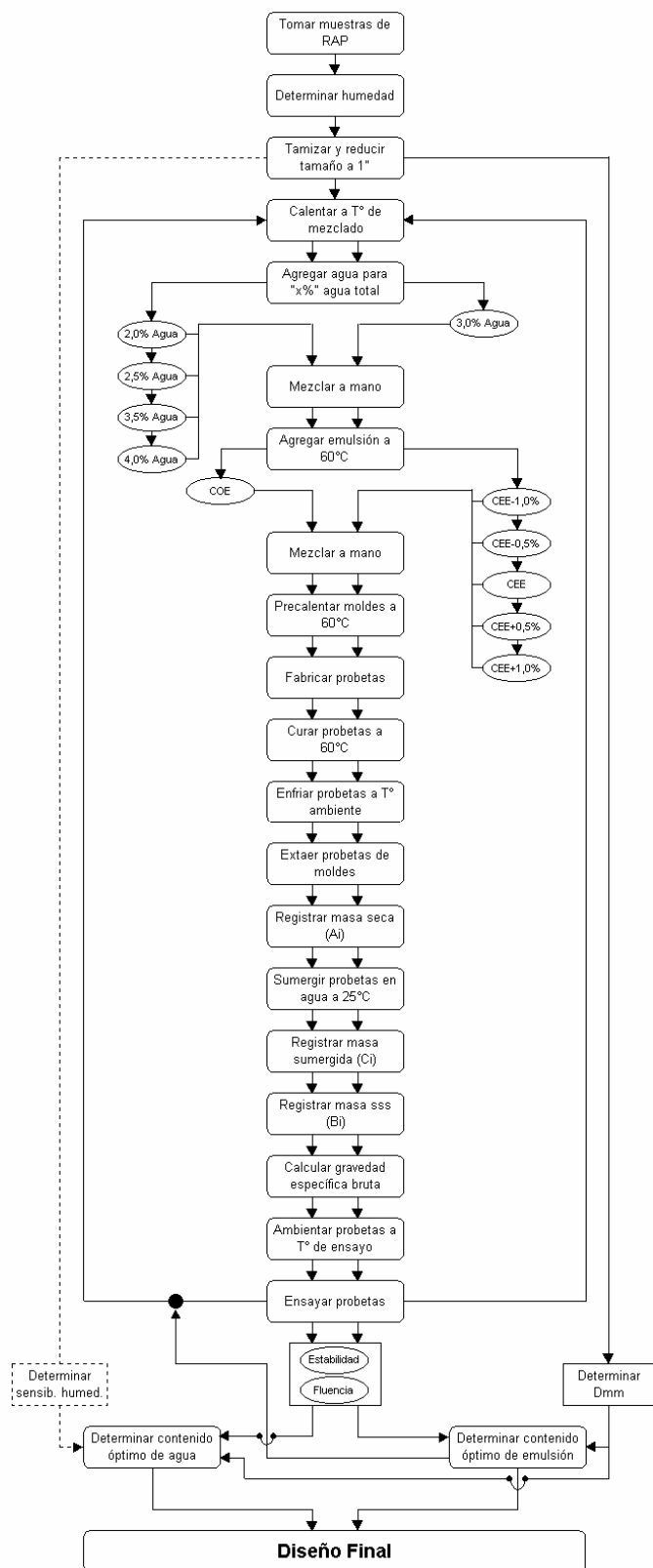


Figura 4. Diagrama de flujo método de diseño mezclas recicladas en frío

Una vez establecido el COE, se procede a repetir el proceso anterior pero esta vez manteniendo el contenido de emulsión fijo (determinado según el párrafo anterior) y haciendo variar el contenido de agua total para el mezclado a 2,0; 2,5; 3,5 y 4,0 %. Esta vez se sigue por la parte izquierda el diagrama de flujo de la Figura 4.

Finalmente, evaluando los resultados obtenidos en ambos procesos anteriores se determina el “Contenido Óptimo de Emulsión y de Humedad” (COEH) para cada tipo de emulsión.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 3 presenta los resultados de la granulometría del RAP y del árido recuperado (considerando los mismos tamices de la banda original del pavimento), la granulometría de los tres tamices que exige el método ODOT para determinar el CEE, las características del asfalto residual del RAP y el CEE determinado por ambos métodos evaluados.

Tabla 3. Granulometrías, ensayos asfalto residual del Rap y CEE

GRANULOMETRÍA				
TAMIZ		% PASA		
ASTM	(mm)	Banda Original	Arido Recuperado	RAP
1"	25,00	100	100	100
3/4"	20,00	100	99	96
1/2"	12,50	79 - 99	93	87
3/8"	10,00	68 - 88	88	79
Nº4	5,00	48 - 68	72	55
Nº8	2,50	33 - 53	59	37
Nº16	1,25	20 - 40	49	23
Nº30	0,63	14 - 30	37	11
Nº50	0,315	9 - 21	22	3
Nº100	0,16	6 - 16	14	1
Nº200	0,08	3 - 6	9	0
GRANULOMETRÍA PARA CEE-ODOT				
1/2"	12,50			85
1/4"	6,30			60
Nº10	2,00			30
ASFALTO RESIDUAL				
Ensayo		Resultado		
Penetración @ 25 °C (dmm)		1		
Viscosidad absoluta @ 60 °C (poises)		400.994		
Punto de Ablandamiento (°C)		75,5		
Contenido de asfalto del RAP (%)		5,9		
CONTENIDO ESTIMADO DE EMULSIÓN CEE				
Método		Resultado		
AI (%)		0,6 - 0,7		
ODOT (%)		1,2		

La aplicación del método AI resulta más sencilla por cuanto sólo requiere la granulometría del árido recuperado y el contenido de asfalto del RAP (el factor relativo a la absorción se basa en el criterio y

experiencia de quien lo aplica), en cambio el método ODOT requiere de la granulometría del RAP (RAP que debe ser obtenido con fresadora), también del contenido de asfalto del RAP, y de la penetración y viscosidad absoluta del asfalto residual del mismo. Sin embargo, el CEE obtenido por el método AI resultó muy bajo (entre 0,6 y 0,7 % de emulsión) por lo que no se pudo aplicar para establecer el rango donde determinar el contenido óptimo (COE). Por otra parte, el valor obtenido por el método ODOT resultó mucho más razonable (1,2 % de emulsión), no obstante ser aun algo bajo; por esta razón, durante la investigación se asumió un CEE de 1,7 %.

La Tabla 4 muestra los resultados de la aplicación del método Marshall Modificado para diseñar mezclas recicladas en frío con las cinco emulsiones estudiadas.

Las 5 primeras columnas, representan los resultados para determinar el contenido óptimo de emulsión, usando siempre un 3 % de contenido de agua total. Los valores achurados corresponden al contenido óptimo de cada tipo de emulsión (COE).

Las 5 columnas restantes, representan los resultados para determinar el contenido óptimo de agua total o humedad (COEH). En el encabezado de este grupo de columnas se observa, para cada tipo de emulsión, el COE determinado en la primera parte del método. Análogamente, los valores achurados corresponden al COEH para cada emulsión.

Como se observa en la Tabla 4, los contenidos óptimos de emulsión variaron entre 1,7 % y 2,2 % (según el tipo) y los contenidos óptimos de agua total entre 3,0 % y 3,5 %, lo que indica una cierta homogeneidad en los resultados. No obstante, no resulta sencillo establecer dichos contenidos óptimos por cuanto el método sugiere un rango de vacíos de aire (VTM) entre 9 % y 14 % como único parámetro de diseño pero establece que es sólo un indicador ya que éste es dependiente del método de muestreo y procesamiento del RAP, del procedimiento de fabricación de las briquetas y de la temperatura de ensayo de la mezcla (que puede variar), por lo tanto estos parámetros deberían ser ajustados de acuerdo a las condiciones locales y al historial de comportamiento de mezclas recicladas equivalentes.

Si se analiza el resultado de los parámetros evaluados en el proceso de diseño para cada emulsión, según la Tabla 4, y se toman los valores extremos de cada uno de ellos (máximo y mínimo) resultantes en cada etapa (1ª etapa: % emulsión variable, % agua total fijo y 2ª etapa: % emulsión fijo, % agua total variable), se pueden dibujar los gráficos de la Figura 5. En ellos es posible apreciar los rangos de dispersión obtenidos en los ensayos realizados. En cuanto a la estabilidad, excepto para la emulsión modificada Polymuls-Lh, para todas las otras claramente resultan más homogéneos los resultados obtenidos durante la primera etapa, también se ve que ambas emulsiones modificadas presentan estabilidades superiores a las convencionales; lo anterior quiere decir que la estabilidad no es muy sensible a la variación del contenido de emulsión, pero sí lo es a la variación del contenido de agua total, excepto en la modificadas con polímeros que cuyos rangos de dispersión en ambas etapas resultan similares. En la fluencia, nuevamente existe una mayor homogeneidad en los resultados de la primera etapa para las emulsiones convencionales, no así en las modificadas con polímeros que en ambas etapas mostraron rangos similares pero a su vez mayores que los rangos de las convencionales; es decir, para las emulsiones convencionales, la fluencia no resultó muy sensible a la variación del contenido de emulsión, pero sí algo más a la variación del contenido de agua total y para las modificadas, la fluencia resultó igualmente sensible en ambas situaciones. Respecto a los vacíos de aire, no hay una tendencia muy marcada si se compara la 1ª con la 2ª etapa, lo que sí se aprecia es que los vacíos resultantes con la emulsión CSS-1h claramente son mayores a los del resto de las emulsiones estudiadas.

Tabla 4. Resultados método marshall modificado para diseño de mezclas recicladas

CSS-1h									
3,0 % CONTENIDO AGUA TOTAL					1,7 % CONTENIDO DE EMULSIÓN				
Emulsión (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)	Agua Tot. (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)
0,7	8,93	24,6	1.951	16,3	2,0	10,05	38,0	1.907	17,5
1,2	8,46	22,1	1.947	15,8	2,5	8,15	28,4	1.909	17,4
1,7	8,47	25,9	1.951	15,6	3,0	8,47	25,9	1.951	15,6
2,2	8,75	27,3	1.932	15,1	3,5	8,04	24,4	1.941	16,0
2,7	8,31	29,9	1.944	14,6	4,0	7,34	25,3	1.955	15,4

CMS-2									
3,0 % CONTENIDO AGUA TOTAL					2,2 % CONTENIDO DE EMULSIÓN				
Emulsión (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)	Agua Tot. (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)
0,7	7,12	25,2	1.966	14,9	2,0	9,29	37,3	1.925	14,8
1,2	8,28	32,1	1.927	15,3	2,5	8,02	31,2	1.927	14,7
1,7	7,32	29,0	1.933	15,0	3,0	7,58	25,6	1.930	14,5
2,2	7,58	25,6	1.930	14,5	3,5	7,60	24,8	1.940	14,1
2,7	7,35	27,3	1.950	11,8	4,0	7,60	25,1	1.977	12,5

CMS-2h									
3,0 % CONTENIDO AGUA TOTAL					2,2 % CONTENIDO DE EMULSIÓN				
Emulsión (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)	Agua Tot. (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)
0,7	7,14	22,8	1.975	14,9	2,0	11,43	34,8	1.923	15,4
1,2	8,38	26,1	1.966	14,9	2,5	10,40	28,3	1.950	14,2
1,7	8,76	25,0	1.956	14,2	3,0	8,74	26,0	1.968	13,4
2,2	8,74	26,0	1.968	13,4	3,5	7,77	20,7	1.968	13,4
2,7	8,08	23,7	1.967	13,4	4,0	8,31	21,4	1.962	13,7

Polymuls-Lh (CSS-1h SBR)									
3,0 % CONTENIDO AGUA TOTAL					2,2 % CONTENIDO DE EMULSIÓN				
Emulsión (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)	Agua Tot. (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)
0,7	10,47	23,3	1.966	14,9	2,0	11,14	38,2	1.921	14,6
1,2	10,61	34,0	1.954	15,8	2,5	10,81	36,8	1.928	14,3
1,7	9,54	36,4	1.925	15,7	3,0	10,34	35,5	1.928	14,3
2,2	10,34	35,5	1.928	14,3	3,5	9,76	33,0	1.960	12,8
2,7	11,05	39,7	1.931	13,4	4,0	10,15	26,9	1.939	13,8

CSS-1E (CSS-1h SBS)									
3,0 % CONTENIDO AGUA TOTAL					1,7 % CONTENIDO DE EMULSIÓN				
Emulsión (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)	Agua Tot. (%)	Estab. Corr. (kN)	Fluencia (0,25 mm)	Peso Uni. (kg/m ³)	Va. Aire (%)
0,7	10,22	21,6	1.978	14,5	2,0	11,22	34,5	1.947	15,6
1,2	9,81	25,1	1.962	15,2	2,5	9,47	32,7	1.936	16,0
1,7	9,36	17,7	1.961	15,0	3,0	9,36	17,7	1.961	15,0
2,2	9,39	23,7	1.938	16,2	3,5	10,10	28,7	1.954	15,3
2,7	9,27	33,9	1.928	15,6	4,0	10,30	27,5	1.960	15,0

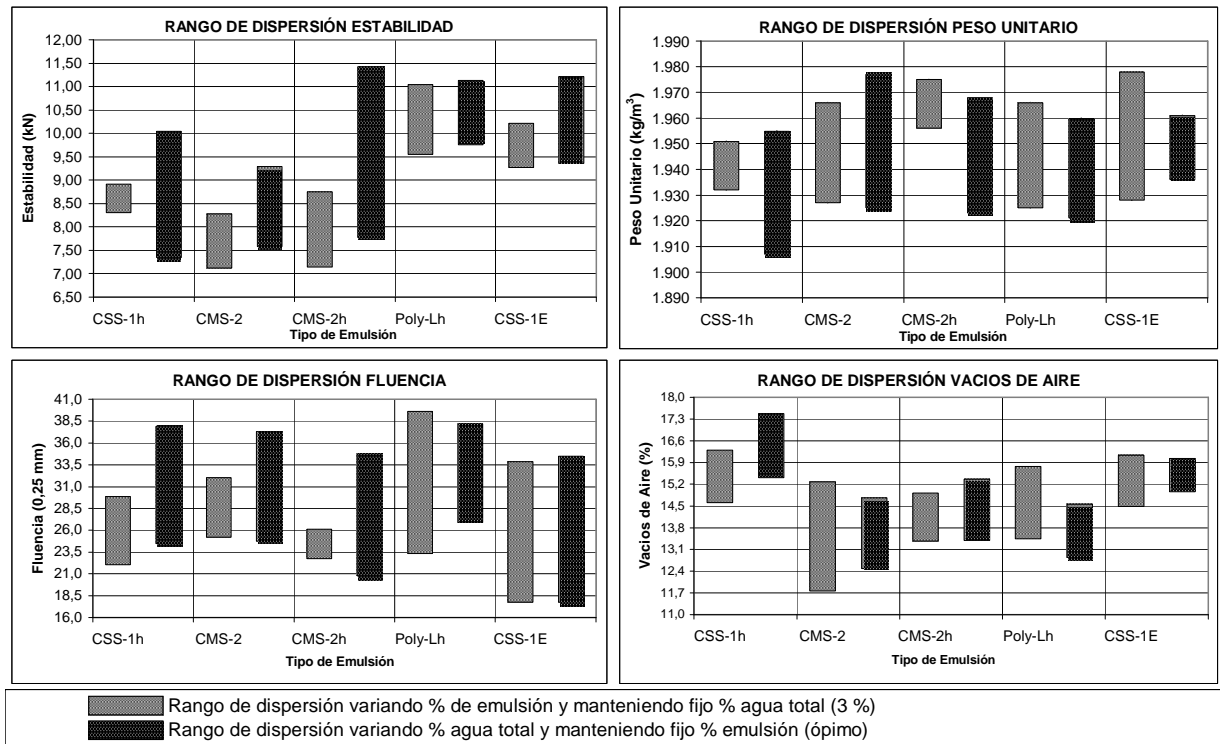


Figura 5. Rangos de dispersión para cada parámetro evaluado y para cada emulsión

En el manual para el diseño estructural de pavimentos de la AASHTO (AASHTO, 1996), no existe una correlación específica para determinar el coeficiente estructural a_2 para mezclas recicladas en frío. No obstante, se puede determinar en algunos casos como este usando las recomendaciones del citado manual para bases tratadas con asfalto. Así, tomando la estabilidad corregida obtenida de las mezclas con los contenidos óptimos de emulsión y agua total para cada emulsión (de acuerdo a Tabla 4), se obtienen coeficientes estructurales superiores a 0,35 para las emulsiones modificadas con polímeros, alrededor de 0,35 para las emulsiones CSS-1h y CMS-2h y alrededor de 0,30 para la emulsión CMS-2. Estos valores son sólo referenciales y pueden servir como una buena aproximación antes de iniciar el reciclado en terreno.

4. CONCLUSIONES

El método “Marshall Modificado” es aplicable a mezclas recicladas en frío que utilicen sólo RAP y a aquellas que usen una combinación de éste con proporciones variables de agregado virgen. El aditivo a utilizar puede ser una emulsión asfáltica convencional o modificada con polímeros, o una combinación de estas emulsiones con cemento portland o cal.

Una de las principales potencialidades del método expuesto es la rapidez y facilidad con la cual puede realizarse un diseño de mezcla reciclada.

Para determinar el CEE se recomienda tomar con cautela el método AI, especialmente en lo referido al factor “F” relativo a la absorción del material, ya que para el caso investigado dio un CEE de 0,6 - 0,7 % lo cual resultó no ser práctico para la metodología de diseño. Por otra parte, el método ODOT

resultó más adecuado (1,2 % de emulsión), aun cuando su desventaja radica en que se requieren determinar más datos iniciales.

Aun cuando el coeficiente estructural (a_2), que se obtiene a partir de las correlaciones de estabilidad Marshall para bases tratadas con asfalto del método AASHTO (AASHTO, 1996), no puede asumirse como absolutamente representativo, los valores obtenidos concuerdan con aquellos encontrados en la literatura técnica internacional. Además, sirven como una buena aproximación antes de iniciar el reciclado en terreno y ajustar los parámetros de diseño conforme a las características reales que se vayan presentando.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1996). "Guide for Design of Pavement Structures". American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- AASHTO-AGC-ARTBA (1998). "Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements". American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- ASPHALT INSTITUTE (1983). "Asphalt Cold-Mix Recycling". Asphalt Institute, Maryland.
- THENOUX, G., GARCÍA, G. (1999). "Estudio de Técnicas de Reciclado en Frío: Primera Parte". Revista Ingeniería de Construcción, N° 20, Julio-Diciembre 1999, p.p 5 – 14.
- THENOUX, G., GARCÍA, G. (2000). "Estudio de Técnicas de Reciclado en Frío: Segunda Parte (Etapas de un Proyecto de Reciclado en Frío con Emulsiones)". Revista Ingeniería de Construcción, Volumen 15 – N°1, Enero-Junio 2000, p.p 5 – 17.