

MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO EN MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE

Mgt. Ing. H. Gerardo BOTASSO, Sr. Oscar R. REBOLLO, Ing. Cecilia J. SOENGAS,

Sr. Juan Pablo Nieto, Sr. Christian Piernaria

LEMaC, Centro de Investigaciones Viales
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata
La Plata - Buenos Aires - Argentina
lemac@frlp.utn.edu.ar

1.- RESUMEN

La medición del ahuellamiento producido por el tránsito en las mezclas asfálticas, ha sido un tema de amplia discusión tanto en América Latina como en la Unión Europea, sobre todo a nivel de equipamiento de laboratorio, tratando de lograr una base normativa que permita obtener valores correlacionables a la hora de predecir el mismo.

En Argentina existen en la actualidad unos 5 equipos de Wheel Tracking Test, los cuales han sido desarrollados en su mayoría bajo norma BS EN 12697-22.

En el presente trabajo se busca poner de manifiesto los cambios registrados en el ahuellamiento en una mezcla asfáltica densa en caliente en base a dos variables consideradas de mayor significación en la tecnología vial: La temperatura y el tipo de ligante, manteniendo constantes el resto de los condicionantes principales.

La variación de temperatura se manifiesta en diferentes grados de compactación y distribución de la mezcla, en tanto que la variación de los ligantes utilizados se dará entre un CA - 30 y un AM 3 según norma IRAM 6835 y 6596 respectivamente.

La característica de la mezcla, el tipo de agregado y el filler utilizado, son de uso habitual en las obras de pavimentación de la región. El objeto será demostrar la incidencia de estas dos variables, esperando se jerarquice el control de temperatura en obra y la inversión en la tecnología de los asfaltos modificados para este tipo de mezclas

2.- INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas se emplean en capas de rodadura y en capas inferiores, con el objeto de brindar aporte estructural, transmitir adecuadamente las cargas y dar regularidad superficial. Se ven así dos funciones, por un lado brindar aporte estructural y por otro mejorar las características superficiales tales como adherencia neumático calzada, mejor superficie de rodadura, comodidad de circulación y mejores propiedades ópticas.

La formación de ahuellamiento en las mezclas asfálticas provoca deterioro estructural y superficial de la vía. El ahuellamiento es una deformación plástica permanente, provocado por un inadecuado diseño de la mezcla asfáltica, o fallas de la subrasante entre otras razones.

El presente trabajo pretende desarrollar criterios de diseño de mezclas asfálticas densas en caliente, a fin de que resistan a las deformaciones plásticas permanentes.

Si bien son muchos los factores que intervienen en el diseño, tales como, granulometría, forma y tamaño de los áridos, polvo mineral, tipo de ligante asfáltico, vacíos, etc. se hace hincapié en dos variables fundamentales:

1. El tipo de ligante asfáltico, variando de uno convencional a otro modificado con polímero
2. La temperatura de compactación, siendo el parámetro fundamental en la colocación de la mezcla asfáltica en caliente, ya que al compactar a baja temperatura, por cualquier motivo, se obtienen capas de rodaduras deficientes, susceptible a mayores deformaciones plásticas y a fenómenos de post compactación.

El equipo de ahuellamiento fue adquirido por el LEMaC cumpliendo con la Norma de la Comunidad Europea, BS EN 12697 - 22, como así también el procedimiento de compactación normalizado por las Normativas Europeas.

Las variaciones de temperatura de las mezclas representarán situaciones típicas de obras, por lo cual se le realizarán los ensayos que se utilizarán para su control diario, todos los parámetros del ensayo Marshall y el ensayo de adherencia de la norma AASHTO 283 - 89, estos se repetirán para todas las temperatura en estudio y en los dos ligantes seleccionados, para luego poder correlacionar estos valores con los del Wheel Tracking Test.

La acumulación de deformaciones plásticas en una capa de concreto asfáltico pueden ser causadas por una reducción volumétrica del material que compone la mezcla asfáltica y por las deformaciones debidas a los esfuerzos cortantes que transmiten las cargas del tránsito.

La deformación plástica permanente se caracteriza por una sección transversal del pavimento que no se encuentra en la posición original de diseño; se llama permanente porque representa una acumulación de pequeñas cantidades de deformación irrecuperable que ocurre cada vez que se le aplica la carga.

En este tipo de fallas es central el diseño de las mezclas asfálticas que resistan las acciones dinámicas del tránsito. Resultan relevantes las condiciones ambientales, tales como humedad y temperatura, y cobra especial importancia la intensidad del tránsito y la frecuencia del mismo. Las cargas pesadas y

lentas serán en general las que mayor incidencia posean en las deformaciones plásticas, al elevarse el tiempo de permanencia de la carga.

Se puede decir que los mecanismos principales de formación de huellas en el área de sollicitación es el siguiente:

- Compactación del tránsito. En esta fase inicial, la compactación debida al tránsito tiene una mayor influencia en las deformaciones.
- Luego, el volumen que disminuye por debajo de las llantas es aproximadamente igual al volumen que se incrementa por los bordes en la parte superior del pavimento. Esto es un indicador de que mayormente la compactación se lleva a cabo bajo las sollicitaciones del tránsito y que las huellas son causadas primordialmente por desplazamiento con volumen constante. Esta fase se consideró en gran parte para representar el comportamiento de la deformación en el tiempo de vida del pavimento.
- La deformación a través de las capas de concreto asfáltico es mayor cerca de la superficie donde se aplican las cargas y gradualmente decrece en las capas de niveles inferiores. El flujo plástico se reduce con la profundidad.

Los principales factores que hacen sensible a una mezcla al ahuellamiento son:

- Granulometría de los áridos.
- Forma, tamaño y textura de los áridos.
- Contenido de polvo mineral en la mezcla.
- Tipo y cantidad de ligante asfáltico. Modificación del asfalto.
- Contenido de vacíos en el agregado mineral y contenido de vacíos en la mezcla asfáltica.
- Cargas por eje equivalente de los vehículos y presión de contacto de los neumáticos con el pavimento y frecuencia.
- Las condiciones ambientales.
- Temperatura de compactación.

Se pretende desarrollar criterios de diseño de mezclas asfálticas densas en caliente, a fin de que resistan a las deformaciones plásticas permanentes.

3.- MATERIALES

3.1.- Ligante asfáltico

Para la elección de los ligantes, se optó por los de mayor consumo en el país, el cemento asfáltico convencional utilizado corresponde a un CA - 30 y el modificado a un AM 3. La caracterización de los mismos conforme a la Normativa Argentina IRAM 6835 "Asfaltos para uso vial. Clasificación por Viscosidad" se resume en la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestran las características del asfalto modificado según los requisitos de la Norma IRAM 6596 "Asfaltos modificados con polímeros para uso vial – Clasificación y Requisitos".

Tabla 1 - Clasificación de asfalto IRAM 6835

Ensayo	Método	AC - 30
Viscosidad 60 °C, 1 rpm, S29 (dPa s)	IRAM 6837	2600
Punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	52
Índice de Penetración	IRAM 6835, apartado 5.1	- 0.6
Viscosidad 135 °C, 10 rpm, S21 (mPa s)	IRAM 6837	490
Oliensis	IRAM 6594	negativo
Sobre el residuo de RTFOT IRAM 6839		
Índice de durabilidad	IRAM 6835, apartado 5.3	2
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min (cm)	IRAM 6579	> 100

Tabla 2 - Clasificación de asfalto modificados IRAM 6596

Ensayo	Método	AM 3
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	IRAM 6576	71
Punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	84
Recuperación elástica por torsión total (a 25°C) (%)	IRAM 6830	86
Punto de inflamación (°C)	IRAM IAP A 6555	235
Requisitos para los asfaltos modificados, luego de someterlos al ensayo de estabilidad al almacenamiento IRAM 6840		
Diferencia del punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	2
Diferencia de penetración (0,1 mm)	IRAM 6576	1
Requisitos del residuo de película delgada (RTFOT) IRAM 6839		
Variación de masa (5 h, 163 °C) (%)	IRAM 6839	0,5
Penetración residual (25 ° C, 100 g, 5 s) (%)	IRAM 6576	70
Variación del punto de ablandamiento (°C)	IRAM 6841	- 1

3.2.- Áridos

El árido utilizado para el presente trabajo, corresponde a un agregado granítico gris cuarzo - feldespático, proveniente de la ciudad de Olavaria provincia de Buenos Aires, el motivo de la elección obedece al gran uso que se le da este tipo de agregados. En la Tabla 3 se muestran las normas de los ensayos y los valores obtenidos, los cuales cumplen con lo exigido en las Especificaciones Técnicas de la Comisión Permanente del Asfalto, para el agregado grueso. En la Tabla 4 se muestran los del agregado fino.

Tabla 3 - Agregado Grueso

Parámetro	NORMA	Valor
Peso específico (g/cm ³)	IRAM 1533	2.68
Absorción (%)	IRAM 1533	0,5
Desgaste Los Ángeles (%)	IRAM 1532	21
Índice de lajas	IRAM 1687-1	24,2
Índice de agujas	IRAM 1687-2	23,6
Partículas con dos ó más caras de fractura	IRAM 1851	100

Tabla 4 - Agregado Fino

Parámetro	NORMA	Valor
Peso específico (g/cm ³)	IRAM 1520	2.64
Equivalente de arena (%)	IRAM 1682	71

3.3.- Filler

El material fino de aporte utilizado, filler, es cal hidráulica, en la Tabla 5 se muestra la granulometría y en la Tabla 6 la concentración crítica.

Tabla 5 - Granulometría Filler IRAM 1641

Abertura de Malla (mm)	Tamiz N°	% PASA
590	30	99,9
297	50	96,3
74	200	84,8

Tabla 6 - Concentración Crítica IRAM 1542

Cv	Cc	Cv/Cc
0,317	0,335	0,95
< 1,00 (VERIFICA)		

4.- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Como se mencionara, se ha optado por una mezcla asfáltica tipo densa denominada CAC D20 de uso corriente en la Ciudad de La Plata.

El huso granulométrico de referencia se observa en la Tabla 7, mientras que en la Tabla 8 se detalla el huso granulométrico resultante de la combinación de las fracciones y en el Grafico 1 las curvas mencionadas.

Tabla 7 - Límites de la Mezcla

Abertura de Malla (mm)	Tamiz N°	% Pasa	
		Mínimo	Máximo
25400	1"	100	100
19100	¾"	83	97
9520	3/8"	60	75
4760	4	45	60
2380	8	33	47
590	30	17	29
297	50	12	21
74	200	5	8

Tabla 8 - CAC D20 LEMaC

Abertura de Malla (mm)	Tamiz N°	% pasa
25400	1"	100
19100	¾"	96,1
9520	3/8"	64,2
4760	4	51
2380	8	35,7
590	30	19,5
297	50	14,6
74	200	5,2

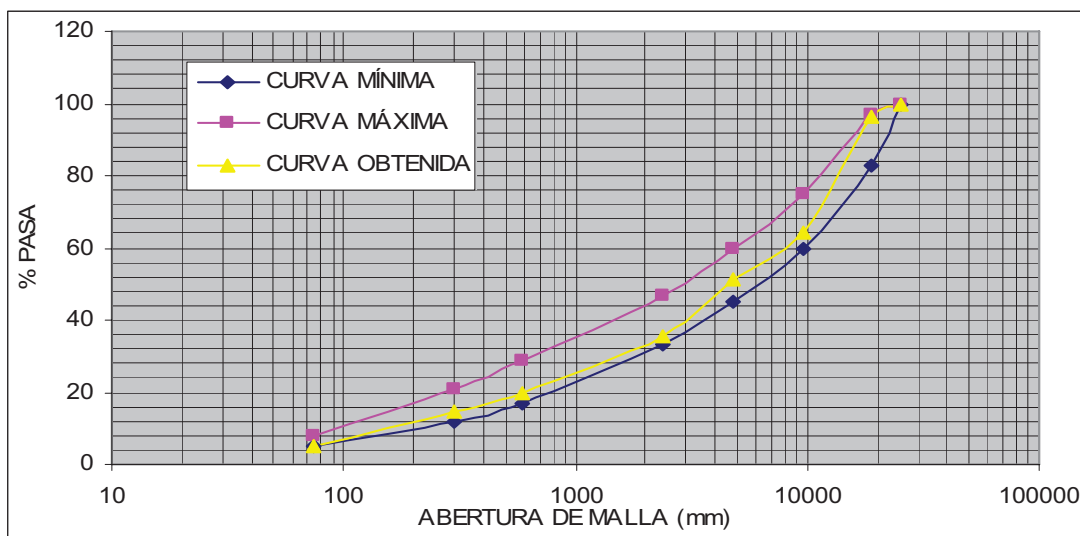


Gráfico 1 - Curvas Granulométricas de las Mezclas

El porcentaje de ligante óptimo, determinado mediante la metodología Marshall, según las Normas de Vialidad Nacional, VN-E9; VN-E12; VN-E27; VN-E32, fue de 4.8 % respecto del total de la muestra, utilizando para la dosificación una energía de compactación de 75 golpes por cara para ambos tipos de ligante. Las propiedades principales se resumen a continuación en la Tabla 9 y en la Tabla 10 se muestran los valores del ensayo de adherencia mediante la expresión del Índice de Resistencia Conservada

Tabla 9 - Parámetros Marshall de verificación de fórmula

Densidad Rice (g/cm ³)	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos Marshall (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	Relación Est./Fluencia (kg/cm)	VAM (%)	RBV (%)
2,510	2,412	3,6	1098	4,5	2440	15,2	76,3

Tabla 10 - Índice de resistencia conservada AASHTO T 283

Temperatura de Ensayo	Tracción Indirecta S/Acond (R1)	Tracción Indirecta Acond. (R2)	IRC = R2 / R1 x 100
°C	gr/cm ²	gr/cm ²	%
145	16,9	15,6	92,3

5.- RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LA MEZCLA CON ASFALTO NORMAL CA 30

A la mezcla se le realizaron las determinaciones Marshall, Adherencia y Wheel Tracking Test, para cada temperatura de compactación adoptada como se dijera anteriormente, en la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos en los ensayos Marshall con asfalto CA 30, en la Tabla 12 se muestran los valores del ensayo de Tracción Indirecta para valorar la Adherencia, los valores obtenidos

son promedio de tres determinaciones. En la Tabla 13 se muestran los valores del ensayo Wheel Tracking Test.

Tabla 11 - Parámetros del ensayo Marshall

Temp. de Ensayo (°C)	Densidad Rice (g/cm ³)	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos Marshall (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	Relación Est./Fluencia (kg/cm)	VAM (%)	RBV (%)
145	2,502	2,412	3,6	1098	4,5	2440	15,2	76,3
135		2,41	3,7	1286	4,2	3062	15,2	75,9
125		2,404	3,9	1077	4,2	2564	15,5	74,7
115		2,402	4	1070	5,5	1945	15,5	74,3
100		2,401	4	1066	5,3	2011	15,6	74,1

Tabla 12 - Índice de resistencia conservada AASHTO T 283

Temperatura de Ensayo	Tracción Indirecta S/Acond (R1)	Tracción Indirecta Acondicionada (R2)	IRC = R2 / R1 x 100
°C	gr/cm ²	gr/cm ²	%
145	16,9	16,6	98,2
135	15,4	15,0	97,4
125	14,0	13,4	95,7
115	13,3	11,4	85,7
100	11,1	9,1	82,0

Tabla 13 - Medición del ahuellamiento

Método EN 12697 - 22, Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 22: Wheel tracking test.					
Probeta N°	Temperatura de Ensayo (°C)	Índice de compactación (%)	Profundidad de huella = RD _{AIR}	Profundidad de huella proporcional = PRD _{AIR} (mm/mm)	Wheel tracking slope = WTS _{AIR} = (mm/10 ³ ciclos de carga)
1	145	98,9	4,4	0,088	0,206
2		98,0	4,4	0,088	0,222
3	135	97,9	5,2	0,104	0,210
4		97,6	5,5	0,110	0,230
5	125	97,4	6,9	0,139	0,406
6		97,0	7,6	0,152	0,416
7	115	98,1	7,8	0,156	0,520
8		97,0	7,5	0,150	0,580
9	100	98,0	9,3	0,186	0,122
10		97,8	10,7	0,214	0,418

En el Gráfico 2 se muestran las curvas de deformación obtenidas para cada temperatura de ensayo en función de las pasadas.

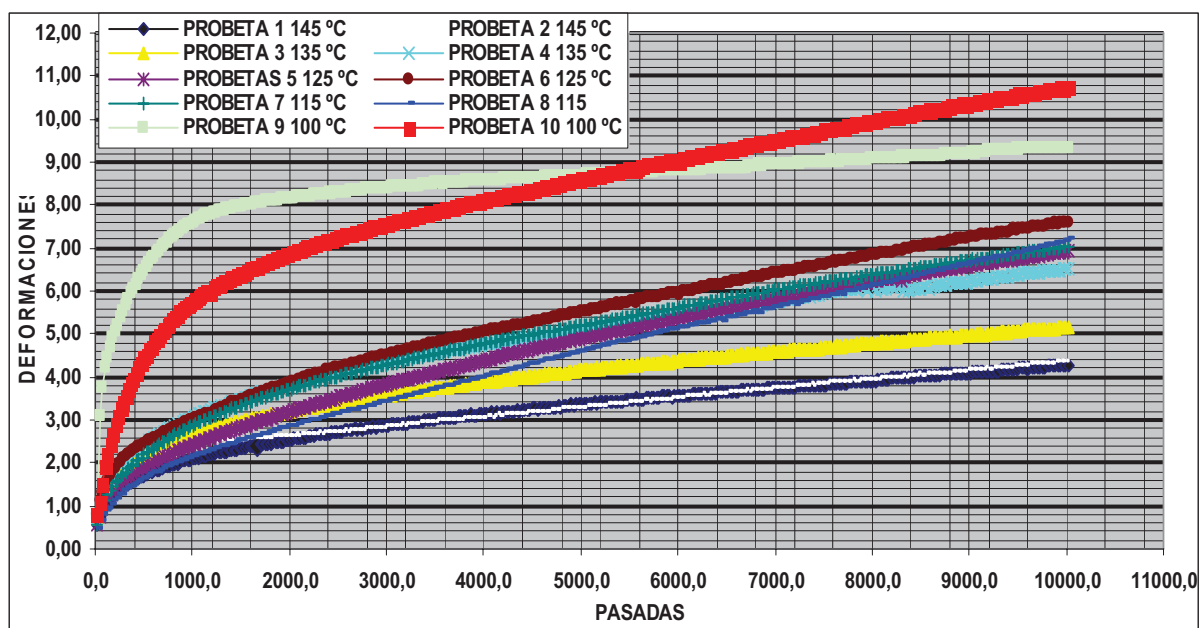


Gráfico 2 - Curvas de deformación vs. pasadas

6.- RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LA MEZCLA CON ASFALTO NORMAL AM 3

Para el moldeo de esta mezcla se utilizó asfalto modificado AM 3, con el mismo porcentaje que la mezcla con asfalto normal, 4,8%, manteniéndose la misma curva granulométrica. Los parámetros Marshall obtenidos se muestran en la Tabla 14, los valores del ensayo de Adherencia se muestran en la Tabla 15 siendo los mismos expresados como el resultado del promedio de tres determinaciones. En la Tabla 16 se muestran los valores del ensayo de ahuellamiento y en el Gráfico 3 se muestran las curvas deformación vs pasadas.

Tabla 14 - Parámetros del ensayo Marshall

Temp. de Ensayo (°C)	Densidad Rice (g/cm ³)	Densidad Marshall (g/cm ³)	Vacíos Marshall (%)	Estabilidad (Kg)	Fluencia (mm)	Relación Est./Fluencia (kg/cm)	VAM (%)	RBV (%)
165	2,510	2,431	3,1	1500	3,8	3947	14,8	78,8
150		2,410	4,0	1459	4,0	3648	15,6	75,0
140		2,406	4,1	1435	5,3	2708	15,7	74,4
130		2,404	4,2	1412	5,5	2567	15,8	74,0

Tabla 15 - Índice de resistencia conservada AASHTO T 283

Índice de Resistencia Conservada AASHTO T 283			
Temperatura de Ensayo	Tracción Indirecta S/Acond (R1)	Tracción Indirecta Acond. (R2)	IRC = R2 / R1 x 100
°C	gr/cm ²	gr/cm ²	%
165	17,6	16,8	95,5
150	17,2	15,6	90,7
140	17,0	14,8	87,1
130	16,0	13,2	82,5

Tabla 16 - Medición del ahuellamiento

Método EN 12697-22, Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 22: Wheel tracking test.					
Probeta N°	Temperatura de Ensayo (°C)	Índice de compactación (%)	Profundidad de huella = RD _{AIR}	Profundidad de huella proporcional = PRD _{AIR} (0,1mm)	Wheel tracking slope = WTS _{AIR} = (mm/10 ³ ciclos de carga)
11	165	97,7	1,2	0,024	0,020
12		97,7	1,2	0,024	0,020
13	150	98,0	2,1	0,042	0,060
14		97,1	2,0	0,040	0,080
15	140	97,0	2,6	0,052	0,060
16		97,0	2,7	0,054	0,060
17	130	96,2	3,7	0,066	0,100
18		96,4	3,3	0,074	0,080

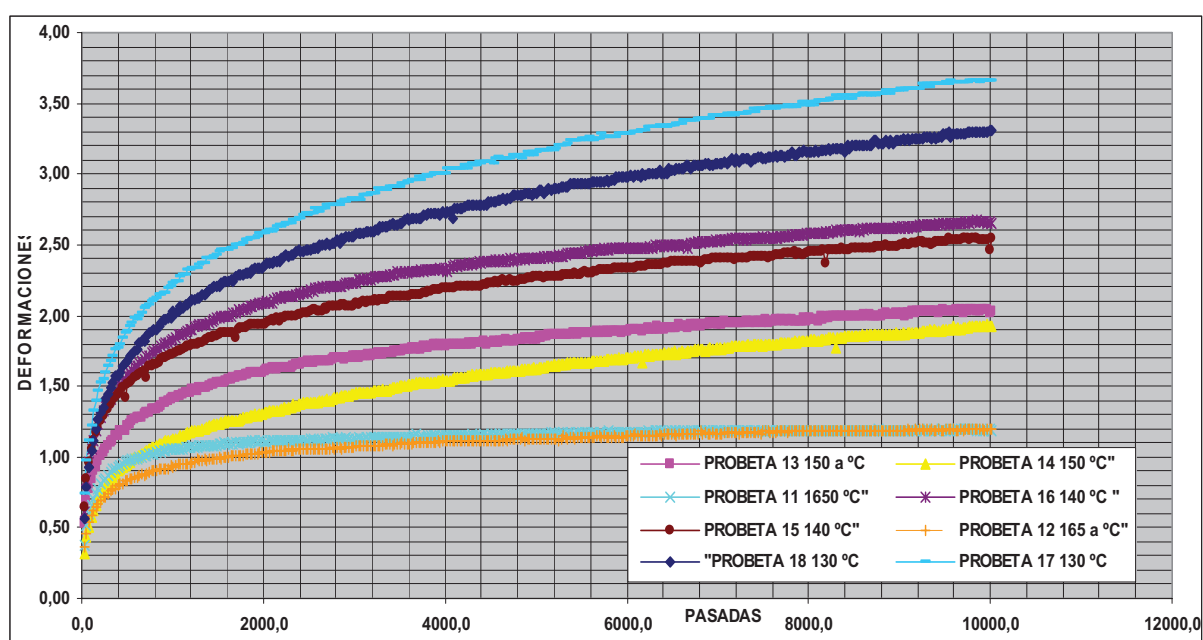


Gráfico 3 - Curva deformación vs pasadas - Asfalto modificado

7.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

7.1- Análisis del ensayo Marshall

- A. Los resultados obtenidos con el ensayo Marshall cuando la temperatura de compactación disminuye en las mezclas confeccionadas con asfalto convencional, muestra que no hay una ley de variación definida, aunque se aprecia que van disminuyendo muy levemente la densidad Marshall y la estabilidad, aumentando la fluencia a medida que disminuye la temperatura; también se ve que el porcentaje de vacíos va aumentando. La diferencia en por ciento de la densidad no supera el 2% si relacionamos los parámetros obtenidos en la compactación de la mezcla a la temperatura de diseño, con los parámetros obtenidos en la compactación de la mezcla a la más baja temperatura adoptada, como se muestran en la Tabla 11.
- B. Cuando se utiliza un asfalto modificado sucede algo similar, las densidades Marshall apenas disminuyen, lo mismo que la estabilidad mientras que la fluencia aumenta, estos valores tampoco nos muestran una ley de variación específica uniforme, en la Tabla 14 se muestran los valores promedios obtenidos.

7.2- Análisis del ensayo de tracción indirecta

- A. Los resultados obtenidos con este ensayo muestran que cuando disminuye la temperatura de compactación de las mezclas confeccionadas con asfalto convencional, los valores del Índice de Resistencia Conservada van bajando notoriamente, llegando a perder más del 15% pero sin embargo no llegan a ser más bajos que el mínimo establecido para este ensayo del 80%, aun para la temperatura más baja adoptada, los valores se pueden observar en la Tabla 12.
- B. Si se reemplaza el asfalto convencional por el modificado en la mezcla, vemos que el comportamiento es similar al anterior, sin llegar el Índice de Resistencia Conservada al mínimo del 80%, la Tabla 15 muestra lo expresado anteriormente.

7.3- Análisis del ensayo de wheel tracking test

- A. En este ensayo se aprecia claramente que cuando la temperatura de compactación de las mezclas asfálticas confeccionadas con asfalto convencional disminuye, las deformaciones plásticas aumentan rápidamente, llegando éstas a superar el 40 % del valor de la deformación de la mezcla compactada con la temperatura de diseño. Los valores que se obtuvieron se muestran en la Tabla 13 y en el Gráfico 1 se muestran las curvas de deformación en función de los ciclos, siendo estos de 26.5 pasadas/minutos.
- B. Las mezclas realizadas con asfalto modificado muestran que se comportan de igual forma que las moldeadas con asfalto convencional, pero registrándose valores de profundidad de huella, RD inferiores a los 4 mm de deformación, aun para la temperatura más baja. En la Tabla 16 se muestran

estos datos y en el Gráfico 2 se muestran las curvas de deformación en función de los ciclos.

C. La pendiente de ahuellamiento, WTS aumenta en forma notoria con la disminución de la temperatura en ambos casos.

8.- CONCLUSIONES

1. Cuando las mezclas asfálticas en caliente confeccionadas con asfalto convencional o modificado, se compactan a temperaturas menores que las recomendadas, el ensayo Marshall no refleja lo que ocurre en la misma, pudiendo confundirse estos valores como un error del operario, ya que los valores obtenidos en forma volumétrica y mecánica están dentro de los parámetros permitidos por la Norma.

2. En lo que respecta al ensayo de Adherencia realizado bajo Norma AASHTO T 283, se valora cómo disminuye el porcentaje del Índice de Resistencia Conservada en las probetas moldeadas con asfaltos convencional o modificado, cuando la compactamos a menor temperatura que la recomendada. En este caso se mantiene una ley de variación correspondiendo a cada disminución de la temperatura siempre una disminución del valor del Índice de Resistencia Conservada.

3. El ensayo de Wheel Tracking pone de manifiesto claramente lo que sucede con las mezclas compactadas a temperaturas menores que las recomendadas cuando se utiliza asfalto convencional registrándose mayores pendientes de ahuellamiento, profundidad de huella y profundidad de huella proporcional.

9.- BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Norma AASHTO T 283 “Resistencia de Mezclas Bituminosas Compactadas Para Daños por Humedad Inducidos”.

ANGELONE S., MARTINEZ F. Deformación de Mezclas Asfálticas Permanentes. IMAE Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. Año 2006.

ANGELONE S., MARTINEZ F., CAUHAPE M., ANDREONI R. Influencia de los Factores de Carga y de Servicio en el Ensayo de Rueda Cargada. IMAE Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. Año 2006

BOTASSO H., REBOLLO R., BALIGE M., BISSIO., GONZALEZ R. Nueva Metodología Para la Valoración de la Adherencia Árido Ligante. LEMaC, Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP. Argentina. Año 2005.

BOTASSO H. Gerardo. Inclusión de Caucho Reciclado en Mezclas Asfálticas. ISBN 978 – 950 – 42 – 0114 - 4. LEMaC, Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP. Argentina. Año 2007.

MOREA Francisco. Deformaciones Permanentes en Mezclas Asfálticas. Problemática y Medición en Laboratorio. LEMIT – CIC. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica. Argentina. 2008.

PADILLA RODRIGUEZ A., Comportamiento de las Deformaciones Permanente de Las Mezclas Asfálticas en Caliente. UPC. Año 2002.

Especificaciones Técnicas de la Comisión Permanente del Asfalto, versión 01 año 2006.

BS EN 12697 – 22, 2003. Bituminous mixture “Test methods for hot mix asphalt. Part 22: Wheel tracking.