

MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Estudio de algunas dificultades en la obtención de los huecos en áridos y huecos en mezcla (*)

SALVADOR LUNA BLANCO

Laboratorio del Servicio de Apoyo Técnico II (MÁLAGA)

RESUMEN. *A partir de áridos idóneos, se estudian las interdependencias entre granulometría, densidad, huecos en mezcla y huecos en áridos, de distintas mezclas bituminosas; usando diversos métodos para medir la densidad relativa de la mezcla de áridos y la densidad aparente de la mezcla bituminosa. Se comprueba específicamente la imposibilidad de cumplir simultáneamente la exigencia de huecos en árido y huecos en mezcla, indicadas en el Pliego de Prescripciones PG-3. El trabajo concluye proponiendo algunas reformas en la norma de ensayo Marshall y en el Pliego PG-3. Por otro lado, propone estudiar la influencia de la forma del árido y de la energía de compactación, en los huecos en árido y los huecos en mezcla.*

1. INTRODUCCION

Recientemente, al efectuar los estudios previos de laboratorio para dosificar una mezcla bituminosa en caliente, tuvimos algunas dificultades que impedían obtener una fórmula de trabajo conforme con las prescripciones vigentes.

Tratamos de conseguir una mezcla tipo S-20 del PG-3 (**) para capa de rodadura. Los áridos son de naturaleza ofítica, la arena caliza y el filler cemento. Tanto los áridos como el cemento, cumplen lo exigido en el pliego de carreteras. Igual ocurre con el betón que es del tipo 40/50. Los áridos son ampliamente utilizados en la zona, con buen comportamiento según nuestra información.

Al mismo tiempo recibimos en el laboratorio un nuevo equipo automático de compactación y una mezcladora mecánica en caliente. La coincidencia de ambos hechos nos anima a estudiar más profundamente los problemas planteados.

Nos encontramos ante la situación siguiente:

- Unos áridos que cumplen todas las especificaciones del art. 542 del PG-3.
- Un betón en igual condición ante el art. 211 del PG-3.
- La granulometría de los áridos permite obtener, con margen suficiente, una curva granulo-

métrica total dentro del huso prescrito para las mezclas semidensas, tipo S-20.

- Unos criterios para proyectar mezclas por el método Marshall, expuestos en la tabla 542.3 del PG-3.
- La imposibilidad, o gran dificultad, de cumplir estos criterios, en lo referente a HA y HM.

Se comprenderá nuestra sorpresa, pues partiendo de unos áridos, betón y granulometría plenamente aceptables, no nos es posible cumplir a la vez los criterios de HA y HM.

2. PROGRAMA DE TRABAJO

Nuestro enfoque es eminentemente práctico. Intentamos encontrar las causas de la contradicción entre la exigencia del Pliego, en cuanto al material compuesto, cuando los componentes y la elaboración están dentro de lo especificado, y la imposibilidad de cumplirla.

Realizamos el programa de trabajo siguiente:

- Comprobación de todos los equipos y su conformidad con la norma de ensayo.
- Preparación de áridos, de forma que se cubran las zonas superior, media e inferior del huso S-20.
- Medición de la densidad de la mezcla de áridos por tres sistemas diferentes: con aceite de parafina, con el pnenómetro de aire y con la media ponderal definida por el Instituto del Asfalto.
- Fabricación de quince probetas (tres por cada

* En todo el estudio denominaremos HA = huecos en áridos y HM = huecos en mezcla.

** Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (1975).

porcentaje de betún) para cada curva granulométrica.

- Determinar la densidad de las probetas por tres métodos: hidrostático sin parafinar, hidrostático parafinado y con picnómetro de aire.
- A partir de los datos anteriores, cálculo de HA y de HM en todas las combinaciones posibles.

Nuestra intención, con este programa, es triple:

- Comprobar el estricto cumplimiento de la norma de ensayo.
- Ver la influencia de la granulometría (dentro de los límites del huso) sobre HA y HM.
- Observar cómo influyen los diferentes métodos de medición conocidos sobre el cálculo de HA y HM. Es interesante no olvidar que tanto los HA como los HM, son un cálculo matemático a partir de tres mediciones: la densidad de la mezcla de áridos, la densidad de las probetas y la densidad relativa del betún.

3. RESULTADOS

3.1. COMPROBACION DE TODOS LOS EQUIPOS Y SU CONFORMIDAD CON LA NORMA DE ENSAYO

Existe una leve diferencia entre el modelo de placa de base que poseemos y el descrito en la norma de ensayo. Igualmente la maza de compactación, aún cumpliendo en sus aspectos esenciales, se diferencia de la norma de ensayo en aquellos detalles obligados por su adaptación a un equipo automático.

Los demás equipos, descritos en la norma, cumplen lo prescrito. La diferencia estriba en que utilizamos un equipo automático, con registro gráfico, para medición de estabilidad y deformación.

3.2. MEZCLAS DE ARIDOS

Empleamos tres granulometrías diferentes que denominamos «Arriba», «Media» y «Abajo», por estar en el borde superior, en el centro y en el borde inferior del huso S-20 respectivamente.

Obtenemos estas granulometrías separando los áridos originales en las mismas fracciones que el huso utiliza y recomponiéndolas después para alcanzar la granulometría deseada.

3.3. DENSIDAD DE LAS MEZCLAS DE ARIDOS

Efectuamos esta medición con tres métodos:

- Aplicando la norma NLT-167/74 «Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina».
- Utilizando el picnómetro de aire, con los áridos en estado de superficie saturada seca. Seguimos las instrucciones de manejo del picnómetro (Tonindustrie Kr. 1839216).
- Determinando la densidad de los áridos y filler componentes según NLT-153/76, 154/76 y 155/77. Posteriormente obtenemos la densidad relativa de la mezcla como media ponderal de las distintas fracciones utilizadas. Para este cálculo tomamos, como densidad de cada árido, la media de la densidad relativa real y la aparente s.s.s.

DENOMINACION	% QUE PASA POR EL TAMIZ DE ABERTURA EN mm									
	25	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,08
HUSO S-20	100	80/90	65/80	60/75	43/58	30/45	15/25	10/18	6/13	3/7
ARIBA	100	95	80	75	58	45	25	18	13	7
MEDIA	100	87,5	72,5	67,5	50,5	37,5	20	14	9,5	5
ABAJO	100	80	65	60	43	30	15	10	6	3

CUADRO I. Granulometrías de las mezclas de áridos.

CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDIDA		
	ACEITE DE PARAFINA	MEDIA PONDERAL	PICNOMETRO DE AIRE
ARIBA	2,765	2,734	2,784
MEDIA	2,770	2,741	2,777
ABAJO	2,781	2,748	2,799

CUADRO II. Densidad de las mezclas de áridos.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

BETUN % (*)	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIESTATICO SEN PARAFINAR	HIESTATICO PARAFINADAS	PIENOMETRO DE AIRE PARAFINADAS
2	ARRIBA	2,399	2,399	—
	MEDIA	2,402	2,412	2,403
	ABAJO	2,387	2,411	—
3	ARRIBA	2,459	2,456	—
	MEDIA	2,450	2,452	2,442
	ABAJO	2,496	2,492	—
4	ARRIBA	2,516	2,518	—
	MEDIA	2,505	2,506	2,509
	ABAJO	2,523	2,528	—
5	ARRIBA	2,516	2,520	—
	MEDIA	2,520	2,524	2,518
	ABAJO	2,528	2,541	—
6	ARRIBA	2,481	2,485	—
	MEDIA	2,492	2,493	2,485
	ABAJO	2,504	2,521	—

CUADRO III. Densidad de las probetas de mezcla bituminosa.

(*) Porcentaje en masa sobre masa de mezcla bituminosa.

3.4. FABRICACION DE PROBETAS

Cuidamos especialmente la obtención de las temperaturas de amasado y compactación. El tiempo de amasado es de 2 1/2 min. en la amasadora mecánica en caliente. Para calentar los áridos no podemos emplear la temperatura indicada en la norma sino una inferior (20 °C). Esto es debido a que las pérdidas caloríficas en la amasadora son mínimas.

3.5. DENSIDAD DE LAS PROBETAS DE MEZCLA BITUMINOSA

Medimos la densidad por tres métodos. Ninguno está normalizado. A partir del conocimiento de la masa de la probeta, los métodos se diferencian en la forma de conocer el volumen. En el primer método pesamos las probetas sumergidas en agua y calculamos el volumen por el empuje hidrostático. En el segundo método parafinamos las probetas, pesándolas después sumergidas en agua; evitamos así que el agua penetre en la probeta y determinamos el volumen por el empuje hidrostático, con la corrección debida al volumen de parafina. En el tercer método obtenemos el volumen con el picnómetro de aire, estando las probetas parafinadas y sumergidas en agua.

El método de picnómetro tiene la dificultad de que a la menor imperfección del parafinado, debido a la presión aplicada, la probeta se inunda de agua haciendo erróneas las lecturas. Así ocurrió en las probetas procedentes de las curvas «Arriba» y «Abajo», no pudiendo determinar las densidades por este método.

3.6. CALCULO DE HA Y HM

Partiendo de los datos anteriores calculamos los HA y HM. Todas las variantes de estos cálculos (para las diferentes densidades de mezclas de áridos y de probetas) están recogidas en los cuadros IV al IX.

Como una forma diferente de representar estos datos, dibujamos los gráficos de densidad mezcla bituminosa-porcentaje de betún, representando en ellos las isolíneas de HA y HM. Las zonas sombreadas indican lo exigido por el Pliego PG-3 para HA y HM, así como la zona de fluctuación de los resultados obtenidos, por los diferentes métodos para las densidades de las probetas de mezcla bituminosa. Todos los gráficos están recogidos en la figura 1.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE ARE, PARAFINADAS
2	ARIBA	15,0	15,0	—
	MEDIA	15,0	14,7	15,0
	ABAJO	15,9	15,0	—
3	ARIBA	13,7	13,8	—
	MEDIA	14,2	14,1	14,5
	ABAJO	12,9	13,1	—
4	ARIBA	12,6	12,6	—
	MEDIA	13,2	13,1	13,0
	ABAJO	12,9	12,7	—
5	ARIBA	13,6	13,4	—
	MEDIA	13,6	13,4	13,6
	ABAJO	13,6	13,2	—
6	ARIBA	15,7	15,5	—
	MEDIA	15,4	15,2	15,6
	ABAJO	15,4	14,8	—

CUADRO IV. Huecos en áridos. Densidad de la mezcla de áridos. Aceite de parafina.

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE ARE, PARAFINADAS
2	ARIBA	14,0	14,0	—
	MEDIA	14,1	13,8	14,1
	ABAJO	14,9	14,0	—
3	ARIBA	12,8	12,9	—
	MEDIA	13,5	13,2	13,6
	ABAJO	11,9	12,0	—
4	ARIBA	11,6	11,6	—
	MEDIA	12,3	12,2	12,1
	ABAJO	11,9	11,7	—
5	ARIBA	12,6	12,4	—
	MEDIA	12,7	12,5	12,7
	ABAJO	12,6	12,2	—
6	ARIBA	14,7	14,6	—
	MEDIA	14,5	14,3	14,8
	ABAJO	14,3	13,8	—

CUADRO V. Huecos en áridos. Densidad de la mezcla de áridos. Medio pesado.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE AIRE, PARAFINADAS
2	ARRIBA	15,6	15,6	—
	MEDIA	15,2	14,9	15,2
	ABAJO	16,4	15,6	—
3	ARRIBA	14,3	14,4	—
	MEDIA	14,4	14,3	14,7
	ABAJO	13,5	13,6	—
4	ARRIBA	13,2	13,2	—
	MEDIA	12,8	13,3	13,3
	ABAJO	13,5	13,3	—
5	ARRIBA	14,2	14,0	—
	MEDIA	12,8	12,7	13,9
	ABAJO	14,2	13,8	—
6	ARRIBA	16,3	16,1	—
	MEDIA	15,8	15,4	15,8
	ABAJO	15,9	15,3	—

CUADRO VI. Huecos en áridos. Densidad de la mezcla de áridos. Pícnometro de aire.

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE AIRE, PARAFINADAS
2	ARRIBA	10,3	10,3	—
	MEDIA	10,4	10,0	10,3
	ABAJO	11,3	10,4	—
3	ARRIBA	6,6	6,7	—
	MEDIA	7,1	7,0	7,4
	ABAJO	6,7	6,8	—
4	ARRIBA	2,9	2,8	—
	MEDIA	3,5	3,4	3,4
	ABAJO	3,2	3,0	—
5	ARRIBA	1,4	1,2	—
	MEDIA	1,4	1,2	1,5
	ABAJO	1,5	0,9	—
6	ARRIBA	1,3	1,1	—
	MEDIA	1,0	0,8	1,2
	ABAJO	1,2	0,2	—

CUADRO VII. Huecos en mezcla. Densidad de la mezcla de áridos. Aceite de parafina.

CARRETERAS Y AEROPUERTOS

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE AIRE PARAFINADAS
2	ARriba	9,4	9,4	—
	MEDIA	9,5	9,1	9,4
	ABAJO	10,2	9,4	—
3	ARriba	5,6	5,7	—
	MEDIA	6,2	6,1	6,5
	ABAJO	4,7	4,8	—
4	ARriba	1,9	1,8	—
	MEDIA	2,6	2,5	2,4
	ABAJO	2,1	1,9	—
5	ARriba	0,4	0,3	—
	MEDIA	0,5	0,3	0,6
	ABAJO	0,4	-0,1	—
6	ARriba	0,2	0,1	—
	MEDIA	0,1	-0,2	0,3
	ABAJO	-0,2	-0,8	—

CUADRO VIII. Huecos en mezcla. Densidad de la mezcla de áridos. Medida ponderal.

BETUN %	CURVA GRANULOMETRICA	METODO DE MEDICION DEL VOLUMEN DE LAS PROBETAS		
		HIDROSTATICO SIN PARAFINAR	HIDROSTATICO PARAFINADAS	PICNOMETRO DE AIRE PARAFINADAS
2	ARriba	10,9	10,9	—
	MEDIA	10,6	10,2	10,6
	ABAJO	11,8	10,9	—
3	ARriba	7,2	7,2	—
	MEDIA	7,3	7,2	7,6
	ABAJO	6,3	6,4	—
4	ARriba	3,5	3,4	—
	MEDIA	3,7	3,6	3,6
	ABAJO	3,7	3,5	—
5	ARriba	2,0	1,8	—
	MEDIA	1,6	1,3	1,7
	ABAJO	2,0	1,3	—
6	ARriba	1,8	1,6	—
	MEDIA	1,2	1,0	1,4
	ABAJO	1,4	0,7	—

CUADRO IX. Huecos en mezcla. Densidad de la mezcla de áridos. Ponderal.

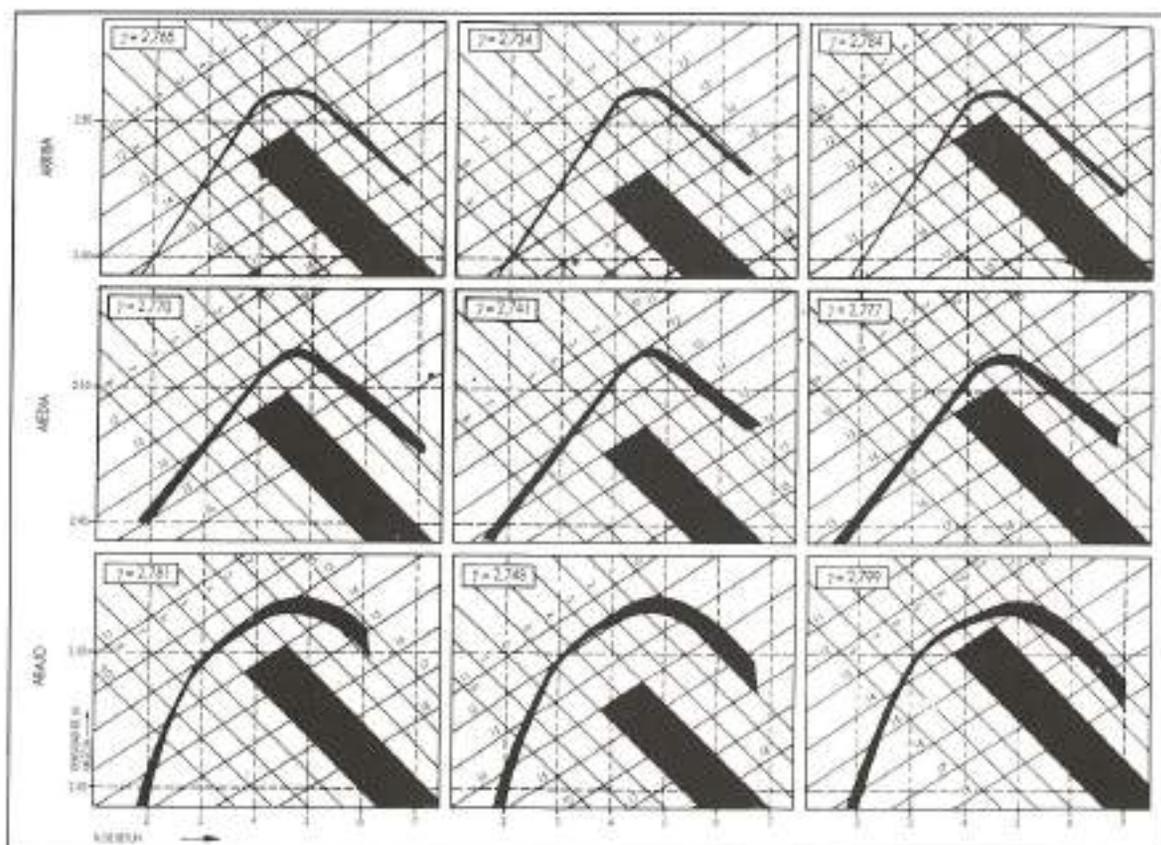


FIGURA 1.

4. COMENTARIOS A LOS RESULTADOS

— COMPROBACION DEL ESTRICTO CUMPLIMIENTO DE LA NORMA DE ENSAYO:

Prácticamente todos los equipos utilizados, así como la metodología empleada, son conformes a lo prescrito por la norma.

— INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA SOBRE HA Y HM:

No existe una tendencia claramente definida. Sin embargo la curva central del huso (Media) da, la mayoría de las veces, resultados algo más elevados en HA y HM que las curvas de los bordes del huso (denominadas Arriba y Abajo).

— INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES METODOS DE MEDICION SOBRE EL CALCULO DE HA Y HM:

Carecen de interés en este caso (mezcla S-20) las diferencias obtenidas con los tres métodos de medir las densidades de las probetas de mezcla bituminosa.

Los métodos para conocer la densidad de la mezcla de áridos, influyen en el sentido que matemáticamente era de esperar. Conforme más alta es la densidad obtenida, para una misma curva granulométrica, más elevamos los porcentajes de HA y HM.

Para un mismo método de medición, la densidad de la mezcla de áridos va aumentando desde la curva de «Arriba» hacia la de «Abajo». Sin embargo, esto no es comparable con los resultados de HA y HM, pues las distintas curvas tienen diferente capacidad de compactación. Así nos encontramos que la curva granulométrica «Media», es la que da frecuentemente mayores cantidades de HA y HM, aunque su densidad de mezcla de áridos no sea la más alta.

En la figura 1 es interesante observar que la gráfica densidad de mezcla bituminosa-porcentaje de betún, nunca atraviesa la zona sombreada exigida por el Pliego PG-3. Esta condición es imprescindible para alcanzar un porcentaje óptimo de betún.

5. CONCLUSIONES

La norma de ensayo Marshall debe contemplar los aspectos siguientes:

- Descripción minuciosa del ensayo, automatizando todos los pasos posibles. Compactadora automática y mezcladora mecánica deben ser descritas en la norma.
- La determinación de la densidad de las probetas de mezcla bituminosa, en el caso S-20, puede hacerse por pesada hidrostática sin parafinar. Así pues deben indicarse las operaciones a realizar.
- Estimamos como más parecida a la realidad la densidad de mezcla de áridos medida con aceite de parafina. La norma debe exigir que los cálculos de HA y HM se realicen con este dato.

En cuanto al Pliego PG-3 y su posible actualización entendemos lo siguiente:

La exigencia de $HA > 14\%$ y $3\% < HM < 5\%$ es evidente que, en este caso, es imposible de cumplir. Ante la realidad de que con materiales componentes, plenamente aceptables por el Pliego, no podamos fabricar una mezcla cumpliendo lo exigido por el mismo, caben dos caminos:

- Considerar las exigencias HA y HM muy estrictas, ocasionando situaciones como la plan-

teada. En este caso hay que variar las exigencias del Pliego. Nótese que, en nuestro caso, con una prescripción de $HA > 13\%$ podemos resolver el problema.

- Considerando adecuadas las limitaciones impuestas, hay que pensar en alguna variable no considerada con la importancia debida. Nosotros pensamos que, aunque no hemos podido comprobarlo, la forma del árido también influye en su capacidad de compactación. Es cierto que el Pliego exige un valor máximo para el ensayo de Índice de Lajas. Esto apunta a que el árido no sea excesivamente defectuoso. Pero podemos tener un árido con una forma excelente que facilite mucho la compactación (normalizada en el ensayo) y dificulte la obtención de la especificación de HA y HM. Si esto fuese cierto —ya hemos dicho que es sólo una especulación—, habría que introducir una prescripción evitando los áridos con formas que faciliten la compactación o, alternativamente, prever la realización del ensayo Marshall con distintas energías de compactación.

6. AGRADECIMIENTO

El autor agradece a los señores Francisco Sánchez y Manuel Ruiz su colaboración en el trabajo experimental.