

INFLUENCIA DE LA VISCOSIDAD DEL BETUN Y DE LA NATURALEZA DEL "FILLER" EN LOS RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL EN AGLOMERADOS DE GRANULOMETRIA DISCONTINUA (*)

Por SANDRO ROCCI

Dr. Ingeniero de Caminos.
Servicio Regional de Construcción.
1.º Jefatura Regional de Carreteras.

Se presenta un estudio realizado en un laboratorio de obra. Sobre un aglomerado asfáltico fabricado en central, con destino a una capa de rodadura de una obra REDIA. Se pretendía estudiar las variaciones de los resultados del ensayo "Marshall", con una granulometría fija y variando simultáneamente la naturaleza del "filler" y la dureza del betún asfáltico empleados. Analizados los resultados obtenidos, con vistas a obtener un aglomerado a la vez impermeable (cerrado) y resistente a la formación de rodadas, se establece que es interesante la utilización del cemento como "filler", al menos parcialmente; que la penetración del betún utilizado tiene poca influencia; y que el criterio "Marshall", referente a la preparación de huecos rellenos por ligante, debe ser modificado. Asimismo, se estudia la dosificación óptima del ligante.

1. INTRODUCCION Y AMBITO DE ESTE ESTUDIO

Como consecuencia de la aparición de rodadas en ciertos sitios localizados (carriles adicionales para vehículos lentos) de la CN-I/tramo San Agustín-Buitrago, se han realizado en el laboratorio de la Unidad de obra encargada del mismo, sito en Venturada, unos ensayos Marshall sobre la fórmula de aglomerado para capa de rodadura que se ha venido empleando, con objeto de averiguar si el cambiar de tipo de betún o de naturaleza del "filler" tiene una influencia favorable en las características del aglomerado.

A continuación se resumen los resultados de los ensayos y se ofrecen unos comentarios sobre los mismos.

2. DESCRIPCION DEL ENSAYO

Los áridos empleados en la fabricación del aglomerado proceden en su totalidad del machaqueo de cantos rodados silíceos del río Jarama (gravera de Talamanca), incluso el árido fino. La fórmula de trabajo, discontinua como las que se han venido empleando por el Grupo 3 del Servicio Regional de Construcción de Madrid en el resto de la CN-I a su cargo, se dosifica (en frío) a base de 55 por 100 de árido grueso 5/11 mm. y 45 por 100 de árido fino 0/3 mm. Su granulometría figura en el cuadro 1:

Obsérvese que el cernido por el tamiz # 200 ("filler") es aproximadamente el 15 por 100 del cernido por el tamiz # 4 (mortero); y que, excepto lo que concierne al tamiz # 4, se trata de una mezcla incluida en el huso IVA del Instituto del Asfalto.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 1 de octubre de 1970.

CUADRO 1

Tamiz ASTM	Cernido ponderal acumulado (%)			
	Arido 5/11	Arido 0/3	Fórmula de trabajo R-4	Huso IVa
1/2"	100	100	100	100
3/8"	77	100	84	80-100
# 4	2	100	45	55-75
# 8	0	94	41	35-50
# 30	0	50	22	18-29
# 50	0	35	17	13-23
# 100	0	25	11	8-16
# 200	0	13	7	4-10

Los ensayos se han realizado jugando simultáneamente con dos variables:

- a) *Tipo de betún.*—En unas series de probetas se ha empleado betún asfáltico B 40/60 (penetración medida: 44) y en otras series B 60/80 (penetración medida: 60). El betún empleado hasta el momento presente en la obra es B 60/80.
- b) *Naturaleza del "filler".*—En unas series de probetas se ha empleado únicamente "filler" de recuperación, procedente de los propios áridos y, naturalmente, silíceo; en otras series se ha empleado cemento Portland P-350, en una proporción del 5 por 100 del total de áridos, incluido "filler". El aglomerado empleado hasta ahora en la obra responde al primer tipo, y no se han presentado dificultades en cuanto a adhesividad, que se ha comprobado anteriormente a este estudio por los ensayos oportunos.

Las probetas se han compactado a 140° C con 75 golpes de maza normalizada Marshall por cada cara, ensayándose después a 60° C. Los resultados figuran en el cuadro 2.

3. COMENTARIO DE LOS RESULTADOS

A continuación se expone un comentario de los resultados de los ensayos, particularizado para cada uno de los parámetros estudiados por el "Marshall", a la luz de las comparaciones siguientes:

- a) A igualdad de tipo de betún, efecto de utilizar o no cemento como "filler".
- b) A igualdad de tipo de "filler", efecto de utilizar betún más "duro" o "blando" (*).

(*) Los términos "duro" y "blando" tienen un valor relativo.

CUADRO 2

Características	B 40/60								B 60/80											
	Sin cemento				Con cemento				Sin cemento				Con cemento							
	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
Betún/árido (%).	2,272	2,311	2,330	2,344	2,342	2,289	2,345	2,363	2,367	2,344	2,271	2,316	2,339	2,345	2,333	2,291	2,337	2,355	2,363	2,345
Peso específico conjunto (kilo-gramo/dm³) ...	880	1 064	1 246	1 170	921	1 065	1 298	1 381	1 170	906	900	999	1 182	1 140	917	968	1 241	1 264	1 123	829
Estabilidad (kgf)	8	10	12	15	17	10	11	14	17	20	8	9	11	13	16	9	10	12	17	20
Fluencia (0,01")	9,41	6,59	4,57	2,77	1,75	8,74	5,22	3,22	1,82	1,66	9,45	6,39	4,20	2,73	2,13	8,66	5,54	3,55	1,48	1,62
Huecos residuales (%)	47,34	61,81	73,69	84,30	90,57	49,36	67,49	80,12	89,19	91,02	47,13	62,58	75,36	84,49	88,71	49,62	66,07	78,45	88,33	91,22
Huecos rellenos (%)	17,87	17,26	17,37	17,65	18,57	17,26	16,05	16,20	16,84	18,49	17,91	17,08	17,05	17,61	18,88	17,19	16,33	16,48	16,98	18,46

3.1. Estabilidad.

Las curvas de estabilidad/dosificación de ligante (ver fig. 1) presentan el clásico máximo, con rama descendente común. En las mezclas con cemento se presenta el máximo para contenidos de ligante más bajos (del orden de 0,5 por 100) y, además

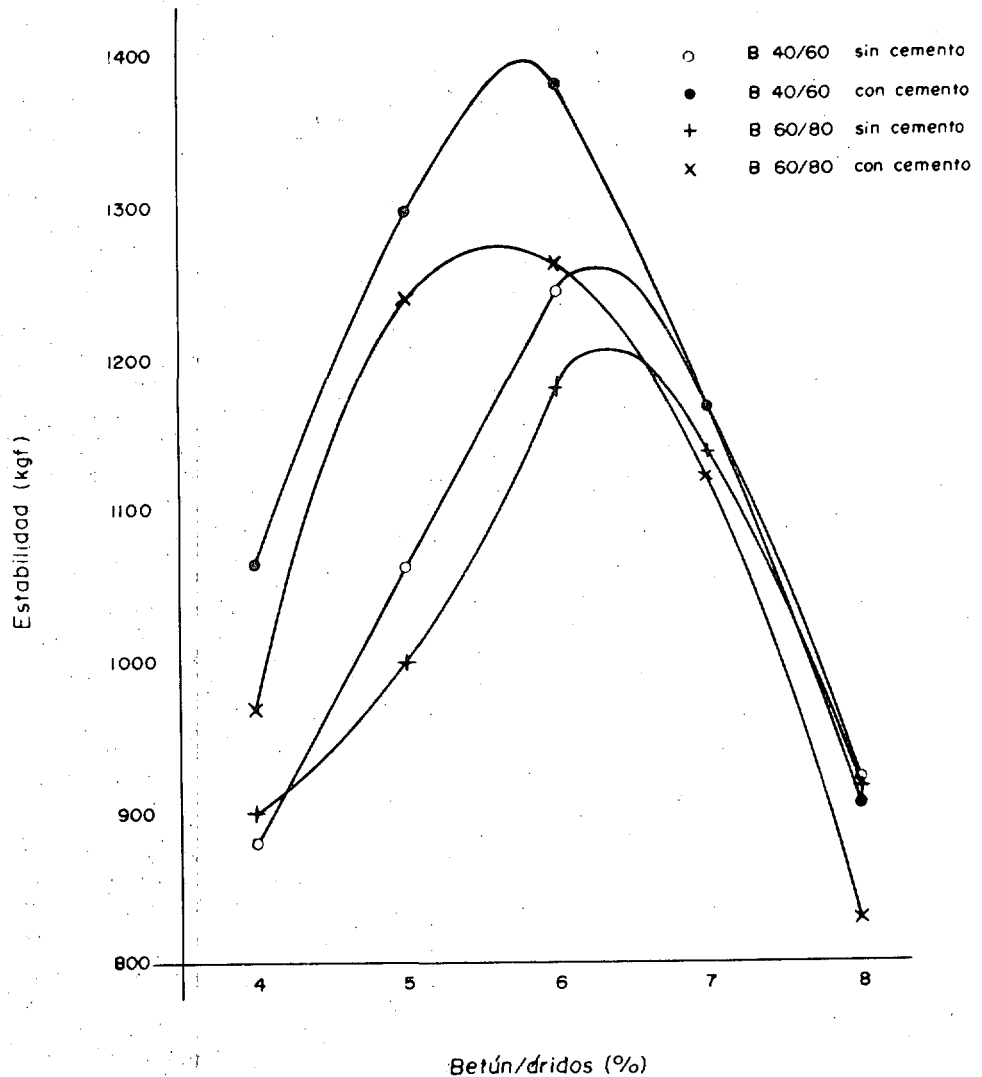


Figura 1.

presenta un valor absoluto mayor (entre 120 y 160 kgf) que el correspondiente a mezclas con cemento. Es interesante destacar que, para dosificaciones bajas de ligante, la estabilidad alcanzada por las mezclas con cemento es mayor.

Como es intuitivo, el utilizar un betún "duro" aumenta la estabilidad (entre 20 y 50 kgf), situándose el máximo para una dosificación de ligante parecida en ambos casos.

Como consecuencia, parece más interesante, desde el punto de vista de una mayor estabilidad, el empleo de un "filler" activo como el cemento, que el de un betún más duro, puesto que los resultados, especialmente para dosificaciones de ligante bajas (que luego veremos son interesantes por otros conceptos) son mejores. Naturalmente, combinando ambas medidas el efecto es mayor.

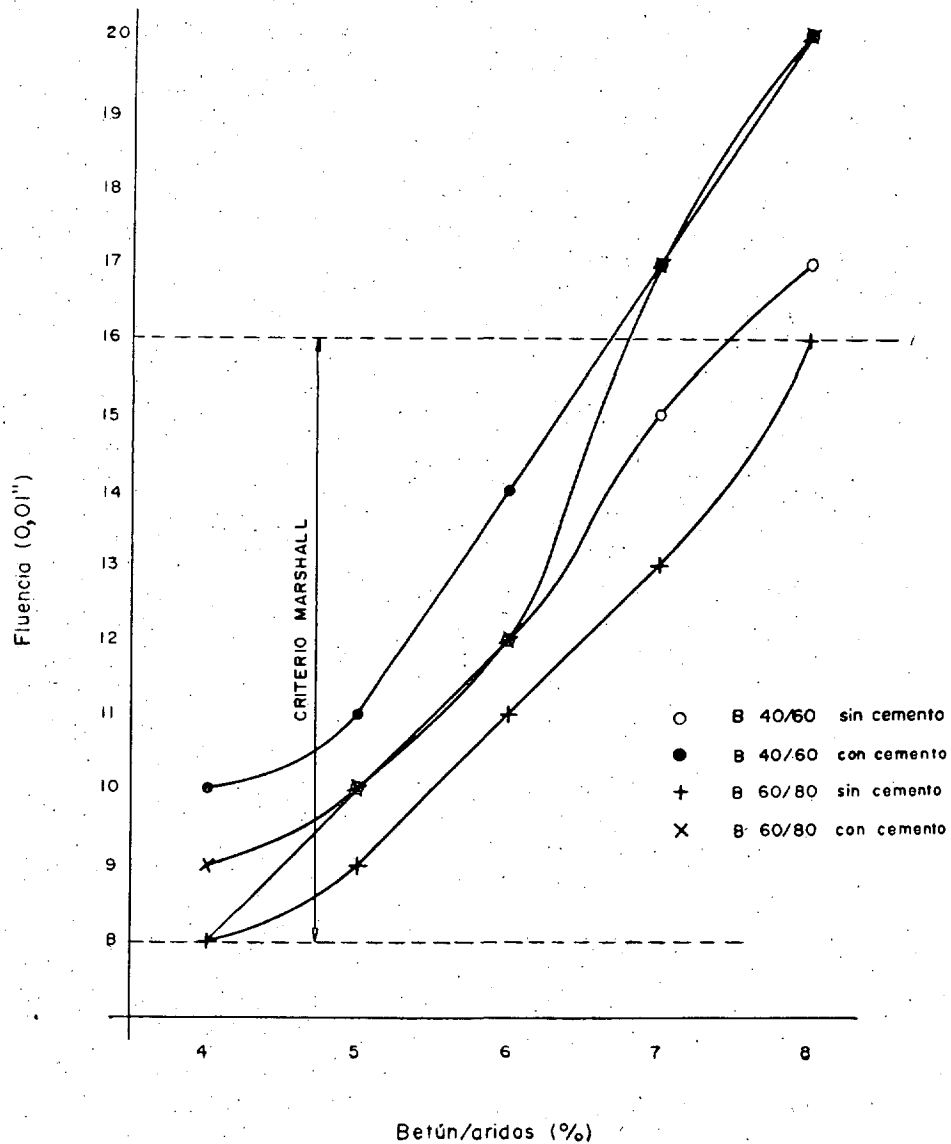


Figura 2.

3.2. Fluencia.

La utilización de uno u otro tipo de betún no tiene influencia apenas sobre la fluencia (con el margen de error apreciable en el ensayo). Por el contrario, el empleo de cemento como "filler" (ver fig. 2) resulta desfavorable, pues aumenta la

fluencia entre 2 y 4 centésimas de pulgada, correspondiendo los mayores aumentos a las mayores dosificaciones de betún. Esta aparente paradoja se ve confirmada por los resultados del análisis de huecos, que se detalla en el apartado siguiente.

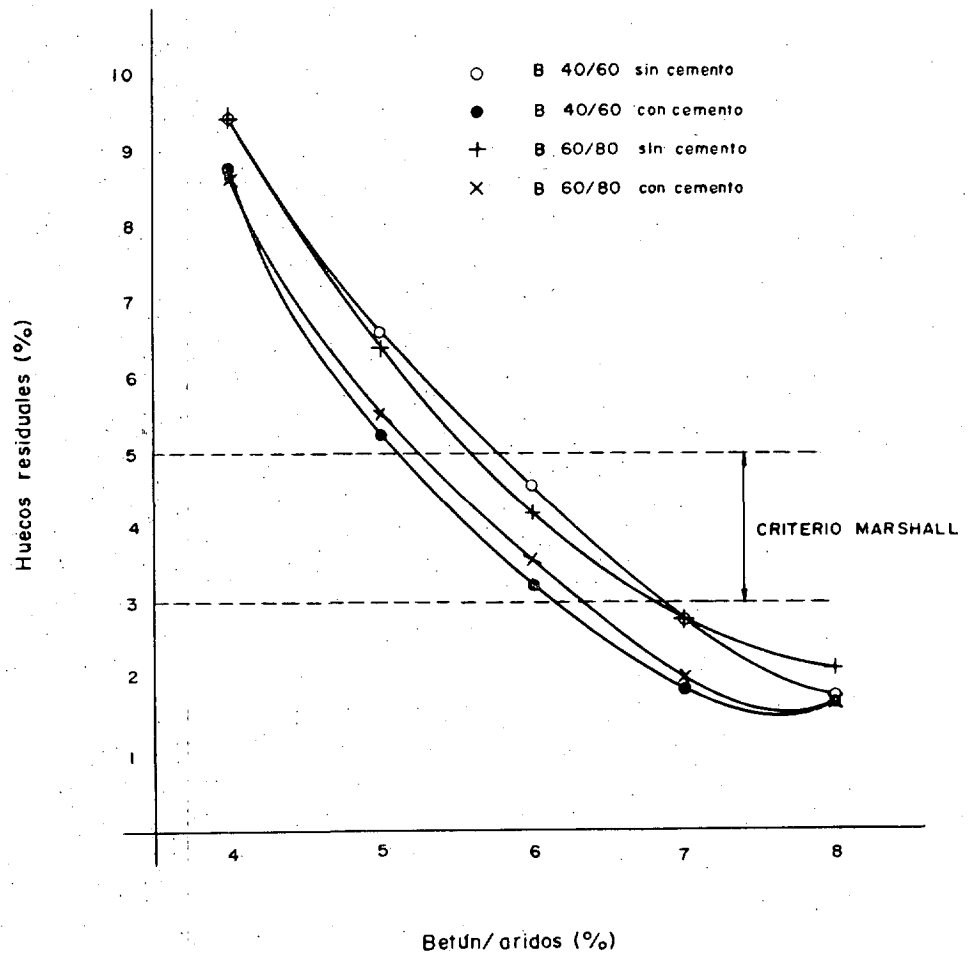


Figura 3.

Si se aplican los criterios Marshall (8-16) se pueden clasificar las mezclas de más "agrias" a menos, así:

- Betún "blando" sin cemento (lo que se venía empleando).
- Betún "duro" sin cemento.
- Betún "blando" con cemento.
- Betún "duro" con cemento.

Por tanto, desde el punto de vista de una menor fluencia, no interesa utilizar cemento y, en grado menor, tampoco endurecer el betún.

3.3. Análisis de huecos.

Las figuras 3 y 4 muestran que el empleo de cemento (y, en menor grado, el empleo de betún más "duro") conduce a mezclas más cerradas, con menos huecos residuales y más huecos rellenos de ligante. Entre estos dos últimos parámetros

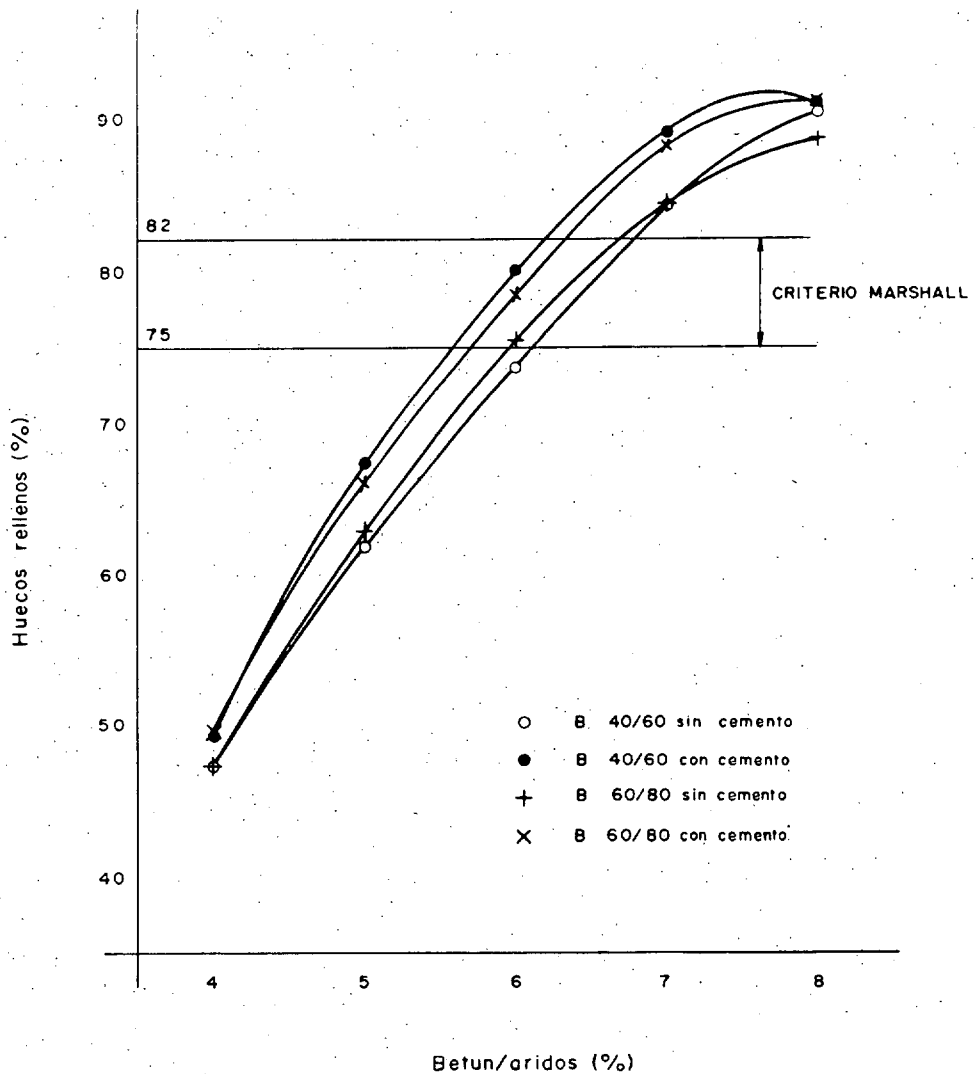


Figura 4.

existe para esta mezcla particular la relación lineal aproximada (ver fig. 5).

$$HR = 100 - 5,777 H$$

siendo:

HR = huecos rellenos (%).

H = huecos residuales (%).

Esta relación muestra que la aplicación de los criterios Marshall ($3 < H < 5$, $75 < HR < 82$) concuerda bastante bien por un extremo ($H = 3$ corresponde aproximadamente a $HR = 82$); pero por el otro extremo, el aprovechar el extremo superior de H ($H = 5$) obliga a no respetar el tope inferior $HR = 75$, sino a rebajarlo a 70; esto, como se verá más adelante, es interesante.

Las mezclas, ordenadas de más o menos cerrada, se clasifican así:

- Betún "duro" con cemento.
- Betún "blando" con cemento.
- Betún "blando" sin cemento.
- Betún "duro" sin cemento.

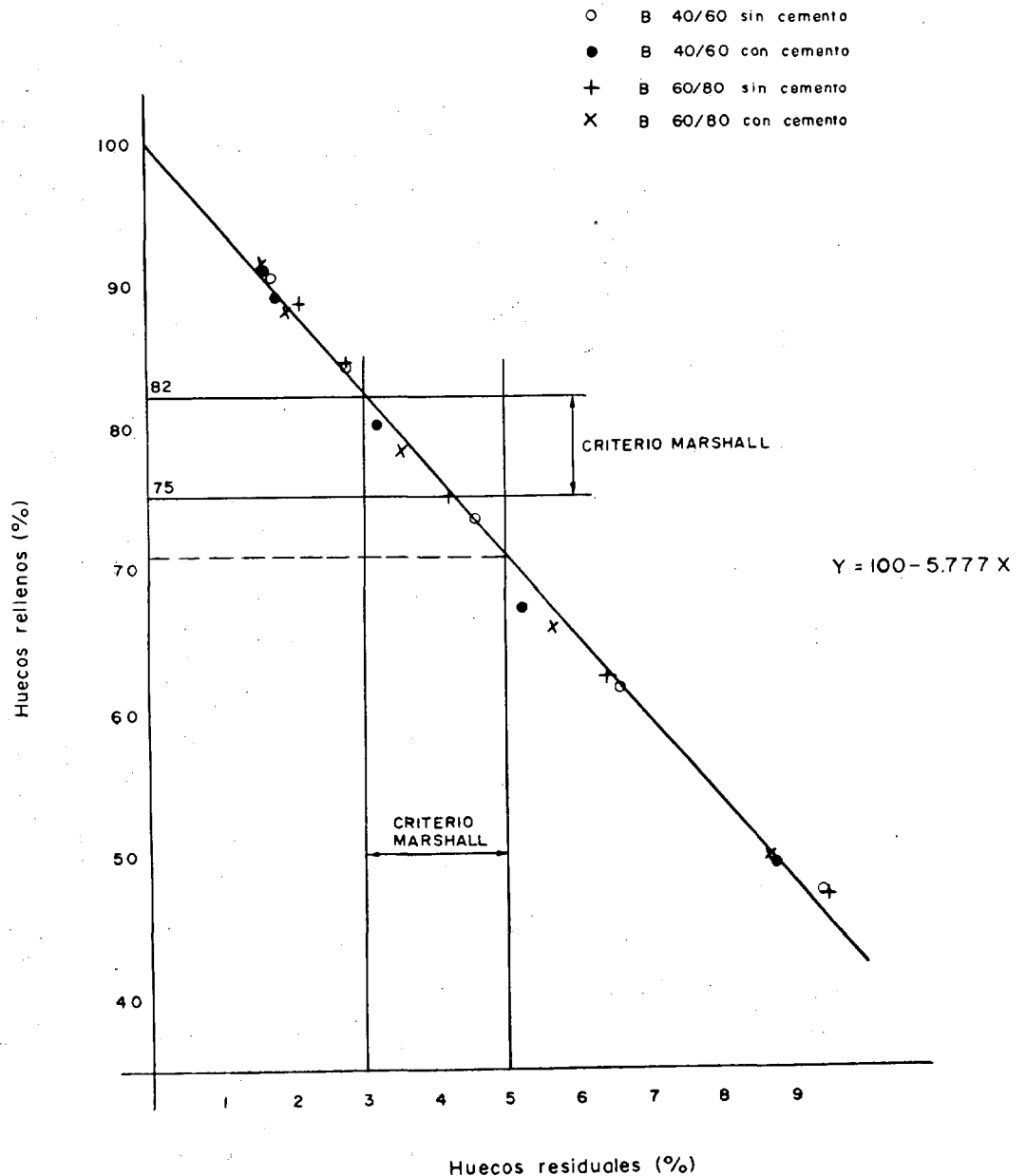


Figura 5.

Por tanto, desde el punto de vista de conseguir huecos residuales altos y huecos rellenos bajos, no interesa utilizar cemento como "filler", ni tampoco (en menor grado) utilizar betún más duro. La explicación de lo primero puede estar en que el cemento actúa de lubricante, permitiendo obtener mezclas más densas a igualdad de energía de compactación; pero la de lo segundo es más difícil.

La figura 6 muestra la variación de los huecos del esqueleto mineral formado por los áridos, presentando todas las curvas el clásico mínimo para dosificaciones de ligante algo más bajas en el caso de mezclas con cemento (5 por 100 frente a 5,5 por 100), y siendo el valor del mínimo, asimismo, más bajo (esqueleto más trabado) en dicho caso, lo cual refuerza la suposición de que el cemento actúa de lubricante. El efecto de la utilización de betún más duro es distinto según la mezcla tenga cemento o no, siendo favorable en el primer caso y levemente desfavorable en el segundo.

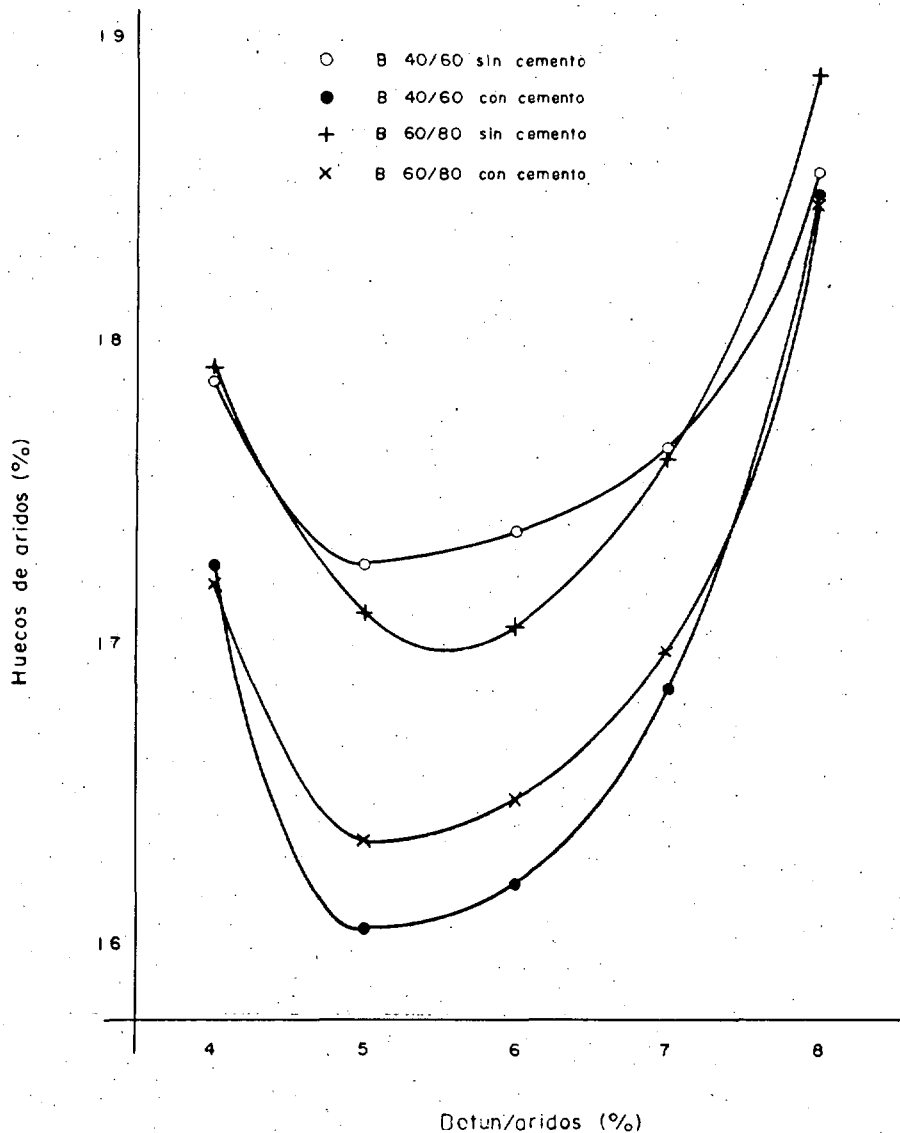


Figura 6.

Por tanto, desde el punto de vista de obtener unos huecos en el esqueleto mineral lo más bajos posible, interesa desde luego la utilización de cemento y subsidiariamente el endurecimiento del betún (aunque no lo segundo sin la primera).

3.4. Peso específico conjunto.

Aunque este dato *per se* no signifique gran cosa, sí puede corroborar el aserto del apartado anterior de que la adición de cemento (ver fig. 7), proporciona mezclas más densas.

3.5. Relación estabilidad/fluencia.

Es evidente que cuánto mayor sea la estabilidad y menor sea la fluencia de un aglomerado, mayor será su resistencia a la deformación (todo ello a la temperatura de ensayo 60° C) y, por tanto, menos susceptible a la formación de rodadas.

En Europa se considera imprescindible, últimamente, una relación mínima estabilidad/fluencia de 300 kgf/mm, lo cual trasladado a las unidades en que habitualmente expresamos la fluencia, equivale a 75 kgf/0,01".

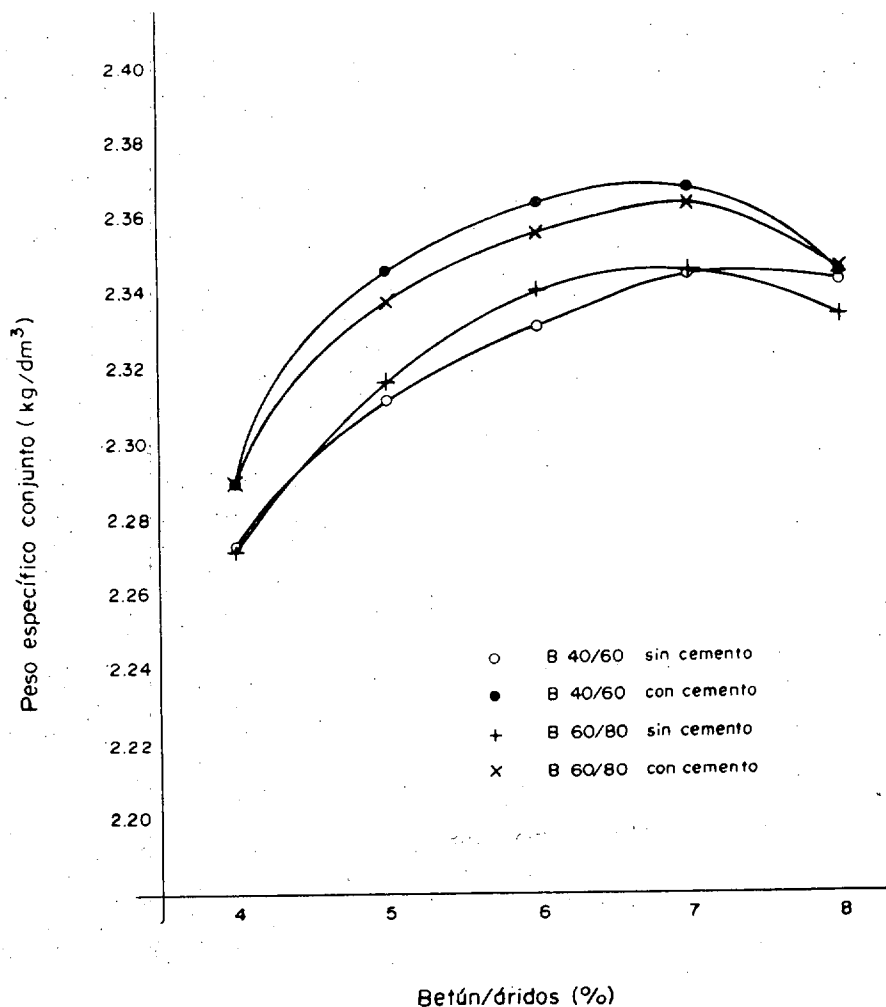


Figura 7.

Análogamente se puede considerar la fórmula de Metcalf, que indica la presión de contacto de un rodillo capaz de deformar el aglomerado a 60° C:

$$P \text{ (psi)} = \frac{\text{estabilidad (lb)}}{\text{fluencia (0,01")}} \times \frac{120 - \text{fluencia}}{100}$$

que, traducido a las unidades habituales, resulta ser

$$P \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{estabilidad (kgf)}}{\text{fluencia (0,01")}} \times \frac{120 - \text{fluencia}}{644}$$

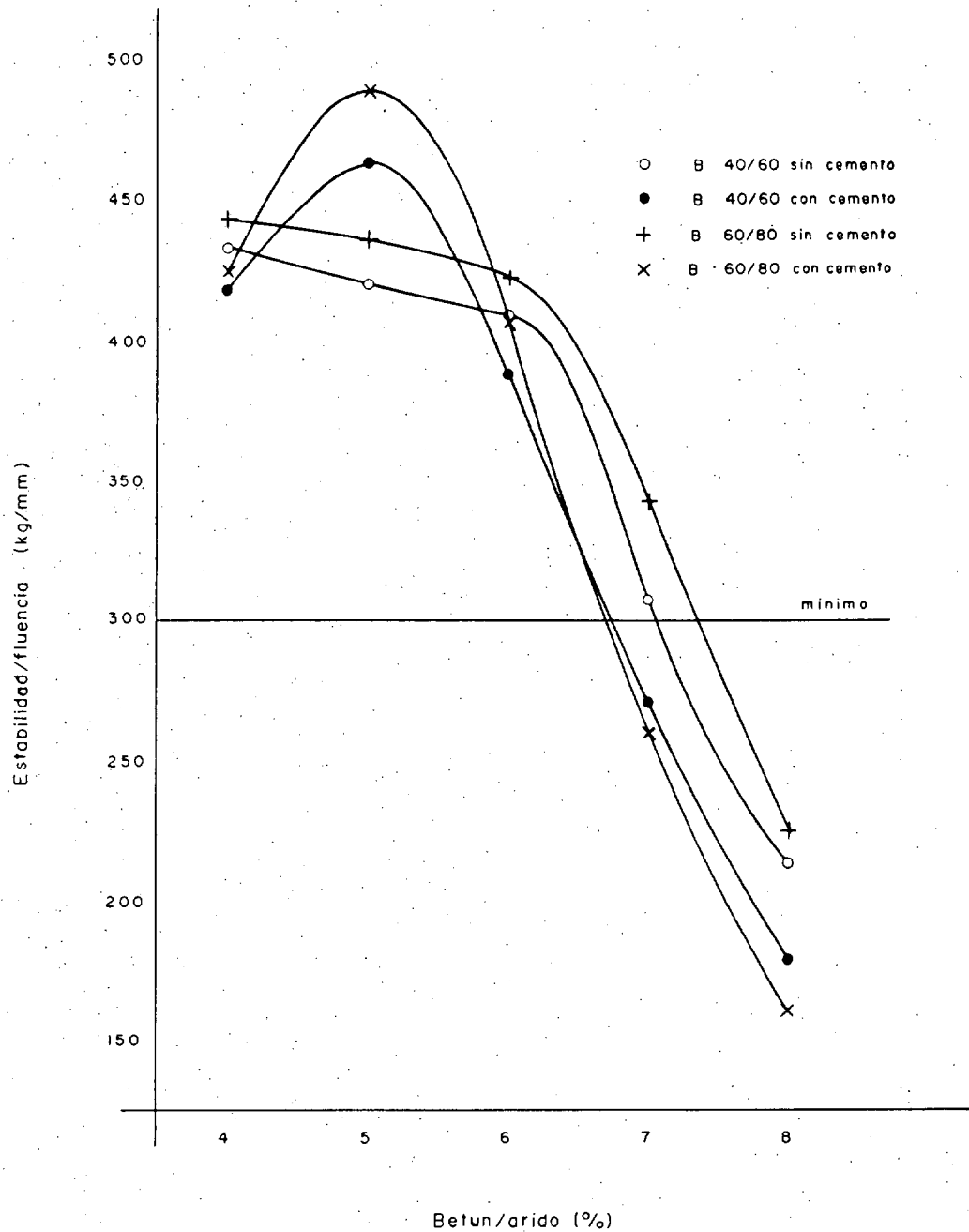


Figura 8.

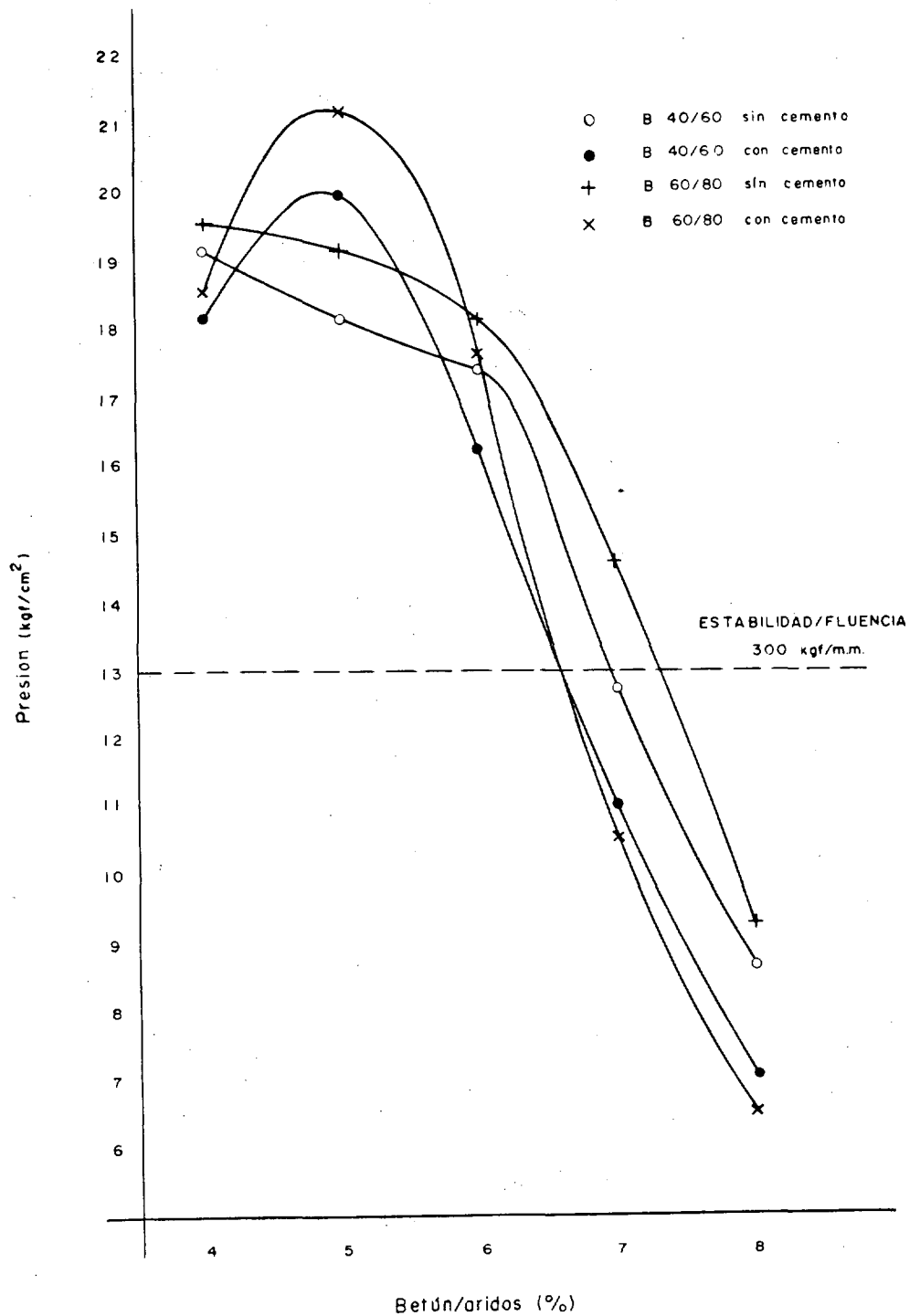


Figura 9.

La presión crítica, por la fórmula anterior, correspondiente al criterio europeo antes citado, es del orden de 13 kgf/cm², que es una presión, efectivamente, rara vez alcanzada por los neumáticos que emplea el tráfico, aunque últimamente son frecuentes las presiones de 10 kgf/cm² o algo más.

Aplicando ambos criterios a los resultados del ensayo, se obtiene el cuadro 3.

La representación de estos parámetros (figs. 8 y 9) permite establecer interesantes conclusiones:

a) En las mezclas sin cemento los valores de dos parámetros decrecen suavemente al principio y, a partir de una dosificación de betún del orden del 6 por 100, caen bruscamente por debajo incluso del valor mínimo preconizado.

b) Las mezclas con cemento presentan un máximo de mayor valor absoluto que el mejor valor de las sin cemento para dosificaciones ligeramente inferiores al 5 por 100, cayendo más bruscamente que las del caso anterior.

c) En ambos casos, el betún más "blando" da resultados superiores al "duro", fenómeno que no parece explicable intuitivamente.

En resumen: desde el punto de vista de la resistencia a la deformación, el empleo de cemento es aconsejable con dosificaciones bajas de ligante, comprendidas entre el 5 y 6 por 100 (mejor las más bajas), no debiendo rebasarse en caso alguno el 6,5 por 100. No interesa el empleo de betunes duros.

4. CONCLUSIONES

Dadas las numerosas y a veces contrapuestas indicaciones expuestas en el apartado anterior, las tendencias que permiten predecir con cierta garantía que el aglomerado será a la vez impermeable (cerrado) y resistente a la formación de rodadas son, para este tipo particular de mezclas, las siguientes:

a) Interesa la utilización del cemento como "filler", puesto que posiblemente por ejercer cierta acción lubricante, favorece la formación de mezclas cerradas, con esqueleto mineral compacto, y con elevada resistencia a la deformación para dosificaciones de ligante limitadas, aunque la estabilidad no sea la máxima.

b) Es prácticamente indiferente la penetración del ligante elegido, con ligera ventaja para el betún "duro" 40/60.

c) Para B 40/60 con cemento, la dosificación óptima de ligante se sitúa alrededor del 5 por 100, que coincide:

- Con el extremo inferior del criterio Marshall "huecos residuales" (5 por 100).
- Con el mínimo (lado descendente) de la curva "huecos en áridos".
- Con el máximo de las curvas "estabilidad/fluencia" y "presión crítica (Met-calf)".

d) Los criterios Marshall de "huecos rellenos" deben ser rebasados por abajo (67-70 por 100 en lugar de 75).