

Determinación del contenido de ligante en las mezclas bituminosas en caliente mediante el empleo de un horno de infrarrojos



POR ANNA PARÍS MAJRONA
JORGE ORTIZ RÍPOLI
SORIGUÉ, S.A.

1. Introducción

Uno de los ensayos más frecuentemente empleados en el control de fabricación de las mezclas asfálticas es la determinación del contenido de ligante, ya que este componente tiene una influencia primordial en su comportamiento y, además, suele ser objeto de abono independiente. Para esta determina-

ción se emplean disolventes en frío como el Tricloroetileno ($\text{Cl}_2\text{C} \cdot \text{CHCl}$), el 1,1,1 Tricloroe-

tano (CH_3CCl_3) o el Diclorometano (CH_2Cl_2), separando (mediante un extractor centrífugo o del tipo cubeta) la disolución de los áridos.

El principal inconveniente de este procedimiento radica, precisamente, en la utilización del disolvente clorado. Este disolvente es altamente volátil, por lo que su mera utilización supone una contaminación ambiental, muy perjudicial, como es sabido, para la capa de ozono. Por otra parte, durante la extracción se generan olores y vapores, no sólo molestos, sino también nocivos para la

**El consumo medio de
disolvente clorado por
muestra ensayada es
de 3 a 4 litros por
cada 2 a 3 kg de
mezcla bituminosa**

salud del personal que realiza el ensayo, debiéndose tomar las precauciones necesarias para su manejo; evitando además, en la medida de lo posible, su contacto directo con la piel. Y, finalmente, la disolución con el betún extraído constituye un residuo tóxico de difícil tratamiento, ya que, aunque el disolvente puede ser en un principio recuperado mediante destilación fraccionada, este proceso sólo puede realizarse un número de veces muy reducido, por lo que acaba constituyendo un verdadero residuo no reciclable, que no puede verterse en desagües ni alcantarillas y que requiere una empresa especializada para su recogida y tratamiento.

El consumo medio de disolvente clorado por muestra ensayada es de 3 a 4 litros por cada 2 a 3 kg de mezcla bituminosa. El número de ensayos realizados diariamente varía en función de la producción, del tipo de mezcla fabricado y del cliente a quien va destinada. Puede estimarse, sin embargo, que un fabricante de mezclas asfálticas puede consumir, sólo para su autocontrol, del orden de 1 500 litros por cada 100 000 t producidas. Estos valores conducirían a unos consumos totales en España por este concepto del orden de 400 000 litros, ya que la actividad del sector se sitúa sobre los 26 millones de toneladas de mezclas bituminosas en caliente por año. Consecuentemente, la contaminación ambiental producida por el uso de estos disolventes durante el proceso de ensayo, así como el volumen de residuo tóxico generado, son significativos.

Existe un método, desarrollado en Estados Unidos, en el que la separación del betún del árido se realiza por calcinación, mediante el empleo de un horno. Las tecnologías adaptadas por los hornos permiten eliminar el residuo generado por el empleo de disolventes.

Sorigué, S.A. ha considerado obligado incorporar un método

de ensayo que sustituya a los tradicionales procedimientos que generan residuos tóxicos para las personas y para el medio ambiente y que ya se han desechado en otros países por existir una mejor técnica disponible.

2. Antecedentes

En 1969 se realizó un estudio en Estados Unidos llevado a cabo por Antrim y Busching, formando parte del *National Cooperative Highway Research Project*, que propuso el método de ignición para la determinación del contenido de betún, ya que se comprobó que se podía alcanzar la completa combustión del ligante bituminoso con el mero hecho de someter la mezcla a altas temperaturas (843 °C, aproximadamente) y con la aportación de un exceso de oxígeno. Esta propuesta impulsó un exhaustivo estudio, liderado por el *National Center for Asphalt Technology (NCAT)*, que permitió observar que se producía una importante disminución de la masa de los áridos en el proceso de combustión. Este hecho distorsionaba los resultados de la determinación del contenido de ligante de la mezcla, objetivo del ensayo; por lo que se optó por utilizar una temperatura inferior, para reducir este efecto desfavorable. Los estudios concluyeron que 593 °C era la temperatura ópti-

ma para minimizar el tiempo de ensayo y la pérdida de masa de los áridos, haciendo el ensayo muy efectivo.

En 1995 se llevó a cabo un estudio definitivo para evaluar la precisión y exactitud del nuevo método en comparación con el tradicional (método de extracción) con la colaboración de varios laboratorios de prestigio del país. La Administración norteamericana, volcándose con la iniciativa, patrocinó los estudios en los que participaron diferentes asociaciones tanto públicas como privadas, llegando a los siguientes resultados:

- El método de ignición puede ser utilizado para la determinación del contenido de ligante bituminoso con una precisión MAYOR que la del método tradicional: resultado obtenido del tratamiento conjunto de las desviaciones sobre una misma muestra analizada en los diferentes laboratorios y después de su análisis estadístico.
- También se comprobó que, después de la combustión, se puede realizar el análisis granulométrico de los áridos recuperados, hecho que no era posible, por ejemplo, con los métodos nucleares, pero sí con los de disolución. Así, combinando estos resultados y teniendo en cuenta el bajo coste del método, la rapidez con la que se puede realizar el ensayo y que no fuera obligatorio tener un operario presente durante su ejecución, se consolidó este procedimiento como una seria alternativa a la utilización de los productos clorados.
- En cuanto a la pérdida de masa de los áridos, se observó que cubría un amplio rango de valores, según el tipo de árido ensayado, por lo que se debía de calibrar el ensayo introduciendo un factor corrector para cada tipo. Áridos de diferente naturaleza experi-

En 1995 se llevó a cabo un estudio definitivo para evaluar la precisión y exactitud del nuevo método en comparación con el tradicional (método de extracción)

mentan pérdidas de masa muy distintas durante el proceso de calcinación.

Poco tiempo después, en Australia, y basándose en la experiencia americana, desarrollaron el mismo procedimiento, conscientes de que los resultados americanos no podían adoptarse como propios por la diferente naturaleza de los áridos entre uno y otro país, e hicieron un estudio similar. La iniciativa fue subvencionada por la Asociación Australiana de Pavimentos de Asfalto (AAPA), que, en colaboración con una empresa constructora privada, analizó el funcionamiento del método con sus áridos. Los resultados obtenidos fueron muy interesantes en cuanto a exactitud y precisión respecto del método tradicional, corroborando los resultados americanos y llegando a la conclusión que el método de ignición superaba los métodos hasta entonces utilizados.

Un primer inconveniente de los hornos de ignición es el humo que se desprende en el proceso de calcinación. Tanto los americanos como los australianos identificaron y estudiaron este aspecto del nuevo método, llegando a la solución de incorporar unos filtros que permitieron reducir las emisiones en un 90% de la cantidad inicial. Esta solución se tomó como válida, aunque reconociendo la inconveniencia de este aspecto, de solución aparentemente imposible, ya que la generación de humos es un proceso intrínsecamente ligado al proceso de combustión del ligante, por lo que parecía un problema inevitable.

La firma TROXLER, especializada en el diseño y comercialización de hornos de ignición, halló una solución para este gran problema: el horno de infrarrojos. Este horno de ignición de segunda generación (denominado horno de infrarrojos, por incorporar esta tecnología) mitiga el problema planteado en los de primera generación, ya que al calentar el ligante mediante radiaciones in-

En España, de momento, se halla normalizado únicamente el ensayo mediante disolventes clorados

frarrojas se reduce la emisión de humos.

En España, de momento, se halla normalizado únicamente el ensayo mediante disolventes clorados; y, además, sólo existen unos pocos hornos de ignición de primera generación en laboratorios muy especializados, como es el caso del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, dependiente del Ministerio de Fomento), que fue el primero en adquirir el anterior modelo de horno y que, con su favorable experiencia, impulsó a nuestra empresa a adquirir el nuevo horno con tecnología de infrarrojos.

3. Tecnología de infrarrojos

Los hornos de combustión hacen desaparecer el betún presente en una muestra con el mero hecho de elevar la temperatura suficientemente para que el betún se calcine. La energía térmica necesaria para que se produzca debe ser transmitida desde una fuente de calor hasta la muestra.

La segunda generación de hornos de combustión, que incorpora la tecnología de infrarrojos, transmite la energía directamente a la muestra excitando las moléculas de la mezcla sin calentar el aire de la cámara. Como segundo efecto, este aire se calienta por conducción y convección desde la muestra.

La principal ventaja de este nuevo método recae en la posibilidad de rebajar la temperatura de

la cámara donde se realiza el ensayo, permitiendo disminuir el tiempo del ensayo, reduciendo en un tercio la emisión de humos con respecto al horno de primera generación.

3.1. Descripción del horno

En este horno se produce la combustión de la mezcla en caliente, utilizando unos elementos generadores de infrarrojos con los que se consigue una combustión limpia y eficaz del ligante, y a la vez una menor degradación del árido que en el anterior modelo. El equipo combina esta técnica con un sistema de pesaje integrado, que permite la valoración continua de la pérdida de masa que se produce durante la combustión, y un sistema de procesamiento de datos que permite ver en la pantalla el contenido de ligante desprendido por la muestra, y en la impresora un registro escrito del contenido de ligante cada minuto. Adicionalmente, incorpora una función de auto-tara que, automáticamente, pone a cero la balanza en el momento en que no hay muestra sobre ella.

Conjuntamente, el teclado y la lógica interna del sistema permiten controlar el ensayo, almacenar datos y manejar la información. Así, el teclado permite que el usuario controle el empleo del horno, planificando el estado de la balanza (peso inicial) e introduciendo los factores de corrección necesarios (según tipo de mezcla, tipo de árido...).

El horno dispone de dos señales de advertencia audibles que son un zumbador instalado en el interior y un avisador en el lado posterior. El primero funciona como respuesta a una pulsación válida de una tecla con un sonido corto, mientras que el sonido es largo si la tecla pulsada no es la correcta o hay un mensaje de error en la pantalla del horno.

3.2. Descripción del ensayo

El horno de infrarrojos es de fácil empleo, ya que la única ope-



Foto 1. Horno Troxler NTO.

ración necesaria consiste en extender una muestra de aglomerado en unas bandejas metálicas que posteriormente se introducen en la cámara del horno.

La muestra se reparte entre dos bandejas, que se colocan una sobre otra de forma que la superior hace de tapa de la inferior, finalmente existe una tapa que cubre la bandeja superior y unifica todas las piezas.

La primera operación consiste en pesar las bandejas, antes de colocar la muestra; posteriormente se reparte la muestra en las bandejas y se pesa todo el conjunto. A continuación, se coloca la muestra en el horno, se introduce el peso de la muestra en el ordenador del horno, y se inicia la operación de incineración del betún.

La cámara del horno debe de estar a una temperatura inicial entre 300 °C y 400 °C, ya que existe una relación entre la temperatura de inicio de la cocción y la temperatura máxima alcanzada por el horno: cuanto más caliente esté el horno a la hora de empezar el ensayo más alta será la temperatura alcanzada.

La máxima cantidad de muestra por bandeja es de 2,5 kg, lo

que implica una cantidad total de muestra máxima de 5 kg.

La cantidad de muestra ensayada influye en una variación automática del tiempo del ensayo. Los valores más habituales son los descritos en la *tabla 1*.

El horno está programado para que finalice la cocción cuando la pérdida de masa de la muestra en dos minutos consecutivos sea inferior al 0,01 %. La pérdida de masa producida en el proceso de cocción a lo largo del tiempo (minuto a minuto) está directamente ligada con la temperatura del horno en aquel instante y en momentos anteriores. Así pues, la temperatura alcanzada por el horno durante todo el proceso marca la duración total del ensayo.

En el método de infrarrojos (como en el método de primera ge-

neración o en la tecnología de los microondas) el contenido de betún se determina a partir de los datos de masa de la muestra antes y después de la combustión. El contenido de betún se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\%B = \left(\frac{M_B - M_A}{M_B} \times 100 \right) - C$$

siendo:

- % B: Contenido de ligante, medido en porcentaje en masa sobre la muestra de mezcla bituminosa secada en estufa.
- M_B : Masa total de mezcla bituminosa antes del ensayo de combustión.
- M_A : Masa total del árido después del ensayo de combustión.
- C: Término de calibración de la pérdida de masa de los áridos.

La pérdida de masa de los áridos se corrige restando el factor C en la fórmula, cuyo valor es función de la naturaleza de los áridos. En el siguiente apartado "Método y plan de trabajo" se describe el procedimiento que empleamos para obtener este factor C de los áridos.

3.3. Método y plan de trabajo

Para establecer las hipótesis de partida y el método de trabajo de esta nueva tecnología, se ha contactado con la colaboración del Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Los objetivos perseguidos fueron dos: por un lado, conocer la

Tabla 1: Duración del ensayo en función de la masa de la muestra

Masa de la muestra (gramos)	Duración del ensayo (minutos)
1 200	20
2 000	35
3 000	50

**El árido empleado,
de un único
tipo, procedía
de nuestra instalación
de Balaguer
(provincia de Lleida)**

variabilidad entre el contenido de betún real (contenido de betún añadido en la mezcla fabricada en laboratorio) y el obtenido con el método de infrarrojos; y por otro, conocer el factor C (factor de pérdida de masa) de nuestros áridos.

La documentación empleada para la realización de los ensayos fue la siguiente:

- Borrador de la Norma NLT 384/00 "Contenido de ligante en mezclas bituminosas por el método de combustión" publicada por el CEDEX.
- NLT 165/90 "Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas bituminosas."
- AASHTO TP53-97 "Standard test method for determining the asphalt content of hot mix asphalt (HMA) by ignition method"
- ASTM D6307-98 "Standard test method for asphalt content of hot mix asphalt by ignition method".

Para analizar el nuevo proceso, basado en la combustión por infrarrojos, nos planteamos comparar los resultados obtenidos sobre un número suficiente de muestras que contemplen las máximas variables posibles en relación con las características de los componentes de la mezcla asfáltica.

Se seleccionó una amplia gama de materiales, distintas mezclas bituminosas, y distintos tipos y contenidos de betún aunque se escogió únicamente un tipo de árido.

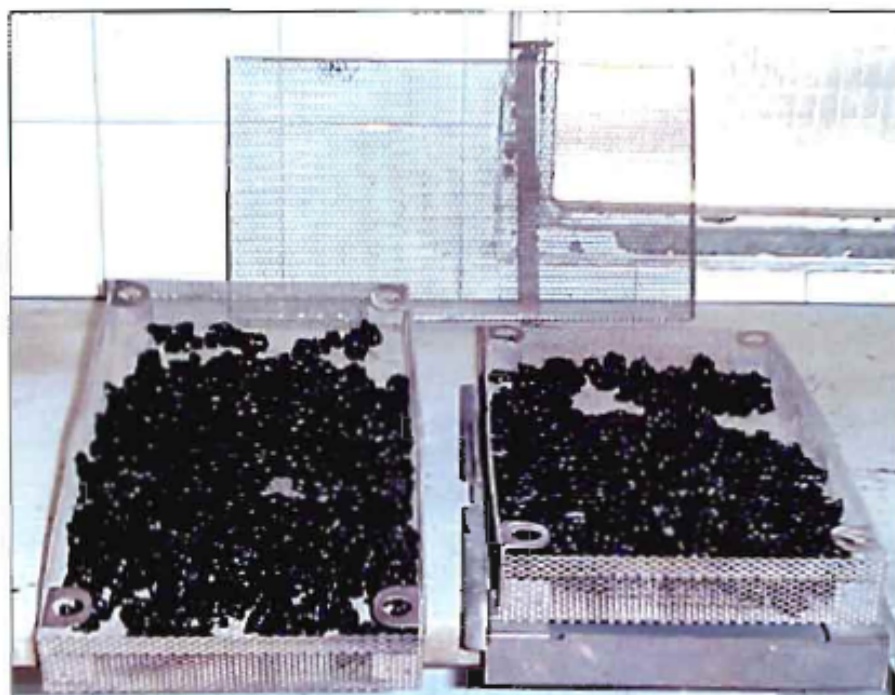


Foto 2. Muestra antes del ensayo.

Las mezclas bituminosas empleadas fueron del tipo M-10, S-12, S-20, G-12 y G-20.

Los tipos de betún empleados fueron 60/70 y betún modificado BM 3C. Los contenidos de betún se establecieron en 2 %, 3 %, 4 %, 5 % y 6 %.

El árido empleado procedía de nuestra instalación situada en el término municipal de Balaguer (provincia de Lleida). Se trata de unos áridos de naturaleza predominantemente silicea, que cumplen con las especificaciones establecidas en la Orden Circular

299/89 T, tanto para capas de base o intermedia, como para rodaduras. Este hecho simplifica ciertamente el proceso de calibración, puesto que la composición mineralógica del conjunto de los áridos es la misma cualquiera que sea la mezcla estudiada.

También se planteó la variabilidad en las condiciones de ensayo (en la cantidad de muestra y en la temperatura inicial del horno). Las cantidades de muestra ensayada fueron de 2 000 g, 2 200 g, 2 500 g y 2 700 g. Las temperaturas iniciales del horno va-

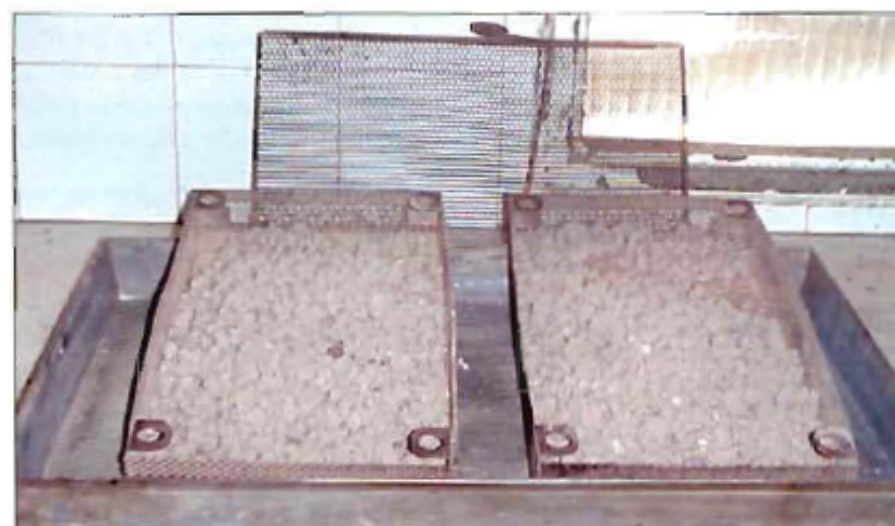


Foto 3. Muestra después de producirse la combustión del ligante.

naron entre 300 °C y 410 °C.

No se actuó en las variables tiempo de combustión, potencia y temperatura máxima del ensayo, ya que se tomaron las que, por defecto, adopta el horno.

A pesar de que nunca se introduce la muestra en el horno hasta que, como mínimo, éste alcanza una temperatura de 300 °C, por el hecho de abrir la puerta al inicio del ensayo, la temperatura desciende de 40 a 50 °C. La temperatura máxima (que corresponde al tiempo en el que la combustión del betún es máxima) se alcanza entre los 18 y los 22 minutos después de haberse iniciado el ensayo. Una vez que se ha quemado todo el betún, la temperatura vuelve a descender.

Los hitos o actividades programadas fueron los siguientes:

1. Selección de materiales y establecimiento de protocolos internos de ensayo.
2. Fabricación de mezclas en laboratorio.
3. Realización de los ensayos por el método de infrarrojos y por el método tradicional.
4. Tratamiento y análisis de los resultados.
5. Conclusiones.

4. Resultados

4.1. Resultados en función del tipo de mezcla y tipo de betún

Se fabricaron en laboratorio las diversas mezclas de contenidos de betún conocidos, todas ellas con



Foto 4. Muestra una vez tamizada.

betún 60/70, excepto la mezcla M-10 que se fabricó con betún 60/70 y con betún modificado BM 3C.

Conocida la granulometría y el contenido de betún de cada una de las mezclas fabricadas en laboratorio, el horno nos proporcionó los datos de porcentaje de betún quemado, temperatura inicial, temperatura máxima y tiempo de duración del ensayo para cada una de las muestras.

Se calcularon los valores de media y desviación típica para cada una de las mezclas a partir de los datos de las diferencias entre el contenido de betún incorporado en la mezcla y el contenido de betún incinerado.

Los resultados obtenidos para las diferentes mezclas son los expuestos en las tablas 2 a 7.

Las diferencias entre los contenidos de betún reales y los medidos se mantienen en un intervalo reducido, con valores medios

de $0,275 \pm 0,015$ y desviaciones típicas inferiores a cinco centésimas para todas las muestras ensayadas.

4.2. Resultados con variaciones destacadas en contenido de betún

Se fabricó en laboratorio la mezcla S-12 con diferentes contenidos de betún.

Los contenidos de betún fueron 2, 3, 4, 5 y 6 % y el tipo de betún empleado fue 60/70.

Con los valores proporcionados por el horno, en lo que respecta a contenido de betún, se calculó la diferencia, las medias de contenido de betún para cada porcentaje y las medias de las diferencias entre el porcentaje de betún real y el medido por el horno.

Los resultados obtenidos para los diferentes contenidos de betún son los expuestos en la tabla 8.

Tabla 2. Mezcla S-12 con betún 60/70

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
S 12	1	4,73	4,98	0,25	355	497	36
	2	4,65	4,92	0,27	335	538	30
	3	4,61	4,87	0,26	341	543	32
	4	4,71	5,01	0,30	422	552	38
	5	4,67	4,97	0,30	408	585	47
Media				0,28			
Desviación típica				0,02			

Tabla 3. Mezcla S-20 con betún 60/70

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
S 20	1	4,50	4,82	0,32	320	488	33
	2	4,44	4,72	0,28	339	551	35
	3	4,42	4,69	0,27	322	480	32
	4	4,44	4,69	0,25	341	544	31
Media				0,28			
Desviación típica				0,03			

Tabla 4. Mezcla G-12 con betún 60/70

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
G 12	1	4,16	4,43	0,27	319	486	32
	2	4,20	4,43	0,23	342	550	36
	3	4,16	4,45	0,29	325	478	33
	4	4,12	4,42	0,30	340	548	32
Media				0,27			
Desviación típica				0,03			

Tabla 5. Mezcla G-20 con betún 60/70

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
G 20	1	3,84	4,11	0,27	325	490	35
	2	3,80	4,06	0,26	340	550	37
	3	3,89	4,13	0,24	320	472	33
	4	3,70	3,99	0,29	345	548	32
Media				0,27			
Desviación típica				0,02			

Tabla 6. Mezcla M-10 con betún 60/70

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
M 10	1	4,89	5,20	0,31	366	586	32
	2	4,90	5,16	0,26	373	585	35
	3	4,84	5,11	0,27	389	576	29
	4	4,86	5,07	0,21	365	578	37
Media				0,24			
Desviación típica				0,04			

Tabla 7. Mezcla M-10 con betún BM 3C

	Muestra	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	T° inicial	T° máxima	Tiempo
M 10	1	4,96	5,31	0,35	366	586	32
	2	4,92	5,21	0,29	373	585	35
	3	4,77	5,07	0,30	389	576	29
	4	4,91	5,13	0,22	365	578	37
Media				0,29			
Desviación típica				0,05			

Tabla 8. Mezcla S-12 con distintos contenidos de betún

	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	Media de % betún	Media % diferencia
2 %	2,35	2,56	0,21	2,21	0,21
	2,21	2,4	0,19		
	2,13	2,36	0,23		
	2,13	2,34	0,21		
	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	Media de % betún	Media % diferencia
3 %	2,96	3,12	0,16	2,94	0,24
	3,00	3,23	0,23		
	2,94	3,18	0,24		
	2,85	3,16	0,31		
	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	Media de % betún	Media % diferencia
4 %	3,83	4,09	0,26	3,87	0,26
	3,86	4,09	0,23		
	3,93	4,23	0,30		
	3,85	4,09	0,24		
	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	Media de % betún	Media % diferencia
5 %	4,88	5,21	0,33	4,88	0,29
	4,87	5,13	0,26		
	4,88	5,15	0,27		
	% Betún real	% Betún horno	% Diferencia	Media de % betún	Media % diferencia
6 %	6,30	6,64	0,34	6,20	0,33
	6,34	6,62	0,28		
	6,25	6,53	0,28		
	5,90	6,32	0,42		

Para valores tan extremos como 2 % y 6 %, el factor C varía entre 0,21 % y 0,33 %, lo que no parece de ningún modo excesivo. En intervalos inferiores a ± 1 % puede adoptarse un factor de corrección independiente del contenido de betún con error inferior a las 5 centésimas.

4.3. Resultados obtenidos aplicando el factor C

Conocido el contenido de betún real (incorporado en la fabricación de la mezcla), conocido el contenido de betún proporcionado por el horno y establecido un factor de corrección en 0,275 (que es el obtenido para los áridos ensayados) se calculó el betún corregido. El contenido de betún corregido es la diferencia entre el porcenta-

je de betún que proporciona el horno y el factor C.

A partir del valor del betún corregido se calculó la diferencia entre los contenidos de betún real y

Con el objeto de observar si influía la cantidad de muestra en la pérdida de masa a lo largo del tiempo, se elaboraron 4 muestras, de distinto tamaño, todas ellas de tipo mezcla M-10 con betún modificado

betún corregido. De esta serie de valores se obtuvo la media y la desviación típica (tabla 9).

Los valores de media y desviación típica son inferiores a los considerados, y la diferencia máxima aceptable entre dos resultados es inferior a los valores de precisión que establece la NLT-384/00. Este hecho asegura la repetibilidad y reproducibilidad del método. La precisión del método nos ha permitido realizar la simplificación del factor C, en un único factor para todos los casos.

4.4. Resultados en función de la cantidad de muestra

Con el objeto de observar si influía la cantidad de muestra en la pérdida de masa a lo largo del tiempo, se elaboraron 4 muestras, de distinto tamaño, todas ellas de

tipo mezcla M-10 con betún modificado.

Como se observa en la figura 1 (ver la página siguiente) en pesos de muestra no extremos tiene escasa influencia la duración del ensayo y consecuentemente la pérdida de masa provocada en la muestra, lo que permite adoptar un factor de corrección independiente del tamaño de la muestra.

4.5. Resultados en función de la temperatura inicial

Se prepararon 4 muestras de mezcla M-10 con betún modificado que se introdujeron en el horno con distintas temperaturas iniciales. El objeto de estos ensayos era conocer si la temperatura inicial de la mezcla influye en el tiempo de duración del ensayo.

De la figura nº 2 (ver la página siguiente) se desprende que la temperatura inicial de la muestra no influye en el tiempo de duración del ensayo, de modo que para las condiciones iniciales habitualmente utilizadas es posible asegurar la precisión del método.

5. Conclusiones

Los estudios presentados se refieren, como se indica, a mezclas fabricadas con áridos de tan sólo una procedencia. Esta circunstancia no debe restar generalidad a nuestros análisis. La utilización del método de incineración con mezclas fabricadas con proporciones variables de distintos áridos obligará probablemente a la obtención de factores de corrección diferentes, según sean las proporciones usadas. En cualquier caso, de nuestra experiencia se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El método de incineración proporciona una medida correcta del contenido de betún de la muestra independientemente de la granulometría utilizada. El factor de corrección no se ve afectado por esta variable.

Tabla 9. Conjunto de resultados calculados a partir de las operaciones del factor C con los resultados obtenidos para todos los tipos de mezcla y todos los tipos de betún ensayados.

% Betún real	% Betún horno	% Betún corregido = (% Betún horno - C)	% Betún real - % Betún corregido
4,73	4,98	4,70	0,025
4,65	4,92	4,64	0,005
4,61	4,87	4,59	0,015
4,71	5,01	4,73	-0,025
4,67	4,97	4,69	-0,025
4,50	4,82	4,54	-0,045
4,44	4,72	4,44	0,005
4,42	4,69	4,41	0,005
4,44	4,69	4,41	0,025
4,16	4,43	4,15	0,005
4,20	4,43	4,15	0,045
4,16	4,45	4,17	-0,015
4,12	4,42	4,14	-0,025
3,84	4,11	3,83	0,005
3,80	4,06	3,78	0,015
3,89	4,13	3,85	0,035
3,70	3,99	3,71	-0,015
4,89	5,20	4,92	-0,035
4,90	5,16	4,88	0,015
4,84	5,11	4,83	0,005
4,86	5,07	4,79	0,065
4,96	5,31	5,03	-0,075
4,92	5,21	4,93	-0,015
4,77	5,07	4,79	-0,025
4,91	5,13	4,85	0,055
4,88	5,21	4,93	-0,055
4,87	5,13	4,85	0,015
4,88	5,15	4,87	0,005
Media			-0,0007
Desviación típica			0,0321

2. La precisión del método y el factor de corrección son también independientes de la cantidad de betún presente en la mezcla e incluso del tamaño de la muestra.

Estas dos condiciones garantizan la corrección del procedimiento cualesquiera que sean las alteraciones en la fabricación o la representatividad de la muestras analizadas, requisitos que deben reunirse para asegurar la idoneidad del plan de control.

3. Las operaciones de calibra-

ción previas a la aplicación del método no son en absoluto dificultosas y pueden simplificarse en gran medida, cuanto mayor sea la constancia en la procedencia de los áridos.

Esta última conclusión facilita particularmente el empleo del método de incineración en los planes de autocontrol de calidad de los fabricantes de mezclas bituminosas en caliente.

Nuestra experiencia parece permitir su encarecida recomen-

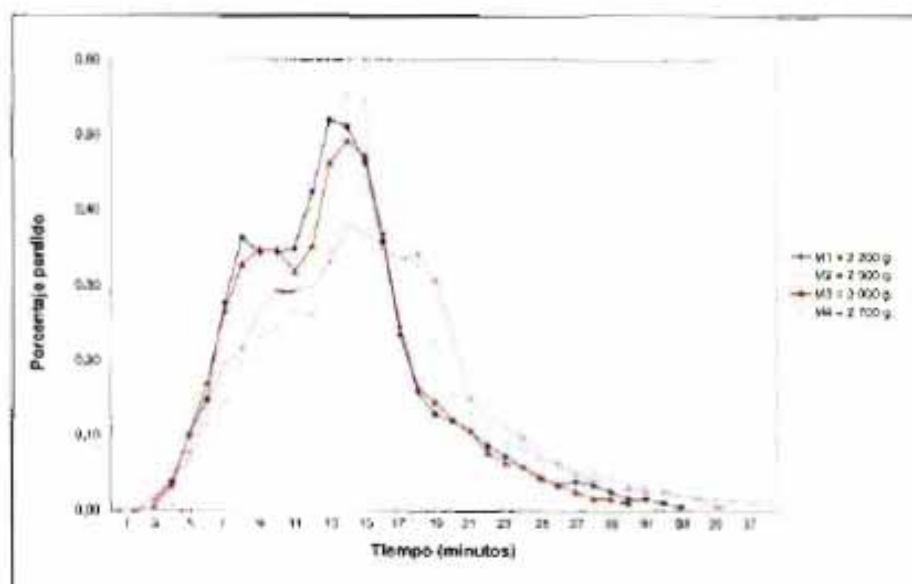


Figura 1: Pérdida de masa en el tiempo para una mezcla M-10 con betún modificado BM 3C.

dación en este caso: las ventajas en seguridad y salud y medioambientales frente al método de extracción se unen a unos valores de precisión y repetibilidad también superiores.

Las limitaciones del procedimiento descrito no son grandes: además de las obvias derivadas de no permitir la recuperación del ligante para su análisis, pueden mencionarse las mayores dificultades que supone su utilización para laboratorios externos. Nuevos estudios sobre reproducibilidad interlaboratorios y con mezclas de distintas procedencias, así como

las necesarias tareas de normalización, han de resolver esta cuestión.

6. Referencias bibliográficas

AASHTO TP-53-97 "Standard test method for determining the asphalt content of hot mix asphalt (HMA) by ignition method". (1997)

ASTM D 6307-98. "Standard test method for asphalt content of hot mix asphalt by ignition method. (1998).

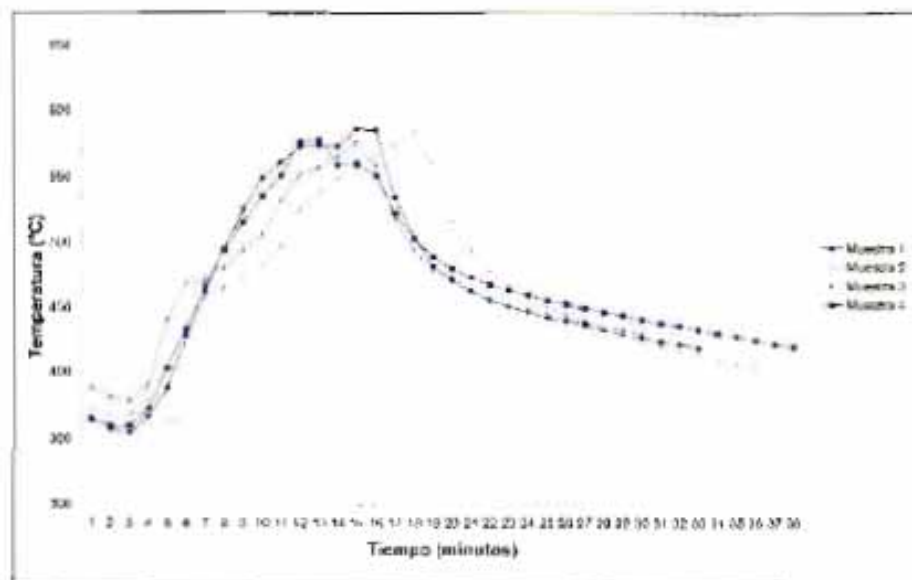


Figura 2: Temperatura en el tiempo para una mezcla M-10 con betún modificado BM 3C

Las ventajas en seguridad y salud y medioambientales frente al método de extracción se unen a unos valores de precisión y repetibilidad también superiores

BROWN, E.R., MURPHY, N.E., YU, L. MAGER, S. Historical development of asphalt content determination by the ignition method. NCAT (National Center of Asphalt Technology. Auburn University). Report nº 95-2 (1995).

BROWN, E.R. MAGER, S. Asphalt content by ignition round robin study. NCAT (National Center of Asphalt Technology. Auburn University). Report nº 95-3 (1995).

MALLICK, R. BROWN E.R. Development of method for early prediction of the asphalt content of hot mix asphalt (HMA) by ignition test. NAPA (National Asphalt Pavement Association). 991660 (1999).

MALLICK, R., BROWN, E.R. Limited round robin asphalt content test using Troxler furnace. NCAT (National Center of Asphalt Technology. Auburn University). Report nº 99-6 (1999).

PÉREZ, I., RUÍZ A. Estudio del contenido de ligante de mezclas bituminosas mediante el uso de una estufa de incineración. Revista Ingeniería Civil. Nº 121. (2001).

PROWELL, B. YOUTCHEFF, J. Effect of Lime on Ignition Furnace Calibration. Transportation Research Record 1712. Paper Nº 00-1452.

VALOR, F. Determinación del contenido de ligante en mezclas asfálticas. Método de incineración versus métodos tradicionales. Revista Carreteras. Nº 113. (2001). ■