

Experimentación en Cámara Climática de los Productos Filmógenos para el Curado de Hormigón. Ensayo ASTM.

Por Fco. Javier Sáinz de Cueto Torres y Antonio Román López García

Laboratorio General de Estructuras
y Materiales. CEDEX. MOPU.



Foto 1: Empleo de productos de curado en pavimento de hormigón de la carretera N-II. P.K. 113

LA norma de ensayo ASTM C 156 es el método más elemental de ensayo para la determinación de la eficacia en la retención de humedad de los productos filmógenos, empleados para el curado de hormigón. También, desde sus orígenes, su procedimiento de ensayo ha sido motivo de numerosas controversias.

Basándose en el análisis de ensayos realizados por el Laboratorio Central MOPU Madrid, se pueden deducir algunas consideraciones.

El trabajo se encuadra dentro de un Convenio financiero por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Introducción

RESULTA esencial el lograr reproducir en Laboratorio las condiciones reales que

va a sufrir en la obra un producto, para intentar evaluar la respuesta que cabe razonablemente esperar del mismo.

El empleo de productos filmógenos para el curado del hormigón está imponiéndose, especial-

mente en el caso de firmes y pavimentos, sobre el curado húmedo.

Desde finales de la década de los 60, los grandes rendimientos de las máquinas pavimentadoras de encofrados deslizantes han llevado a la utilización masiva de productos de curado formadores de película superficial impermeable.

El proceso de puesta en obra del hormigón queda íntimamente relacionado con las exigencias que éste necesitará para su curado.

Si analizamos dicho proceso en una obra de pavimentación de carreteras, en la que se construye un firme catalogado (Instrucción sobre Secciones de Firme de Autovías M.O.P.U. 31 de Julio 1986), observamos una llegada de hormi-

gonos al tajo con una consistencia seca (Cono 2 a 3 cm.). Las máquinas pavimentadoras automáticas son muy sensibles, trabajando mal con conos inferiores a los 2 cm. En caso de hormigones más plásticos resulta difícil mantener las tolerancias de los perfiles y se puede esperar una retracción superior.

El tren de hormigonado suele tener una velocidad de avance de 90 a 100 m/h (1,5 m/min.) lo cual indica que en una jornada puede quedar ejecutado un tramo del orden del kilómetro.

El hormigón al paso de la pavimentadora es distribuido mediante tornillo sinfín, compactado, vibrado y enrasado. Tras la introducción de los pasadores hay un enrasado final con regla de vaivén que determina la superficie prácticamente definitiva del pavimento.

No obstante posteriormente se realiza un fratasado transversal con la "bailarina" y un acabado manual de los bordes. Una arpillera húmeda, arrastrando sobre el hormigón, proporciona una suave textura final.

A partir de este momento el hormigón queda sometido a las condiciones climatológicas del medio, comenzando a evaporar el agua de exudación.

La aplicación del producto de curado en obra se suele realizar entre los 15 y los 45 minutos posteriores a su puesta en obra (Fotos 1 y 2).

Con la máquina pulverizada del producto, y previamente al pinta-



Foto 2: Aplicación del líquido filmógeno mediante su pulverización.

do, se realiza el estriado de la superficie. El estriado se obtiene mediante púas de plástico que evitan

“El hormigón al paso de la pavimentadora es distribuido mediante tornillo sinfín, compactado, vibrado y enrasado.”

el arrancamiento de los áridos. Hoy día se tiende a estriados longitudinales, por ser menos ruidosos. Las estrías suelen ser de trazado ondulado con una separación entre ellas de 20 a 25 mm. Una estría típica puede tener 2 mm. de anchura y de 1 a 2 mm. de profundidad. Inmediatamente después del estriado se pulveriza el producto filmógeno que se va depositando uniformemente sobre la superficie. En las estrías se puede advertir una tendencia del producto a fluir de los labios verticales acumulándose en su fondo. (Foto 3).

Queda así el hormigón, aún fresco, recubierto del producto filmógeno protector esperando su fraguado y el serrado de las juntas longitudinales y transversales, operación que tiene efecto habitualmente a las 24 h.

En obra suelen detectarse visualmente algunas zonas que han sido menos recubiertas, siempre dentro de la homogeneidad que puede lograrse en la aplicación del producto filmógeno y para lo cual es muy conveniente la pigmentación de dichos productos.

En cuanto a la elección de dotación de producto a aplicar, parecen basarse en las obras en la tradición constructiva y no en unos ensayos previos rigurosos. De aquí que no suele haber respuesta al cuestionamiento de la conveniencia de aplicar una dotación mayor.



Foto 3: Detalle del producto extendido y de la textura superficial del pavimento.

Experiencias en U.S.A. sobre curado

La importancia que tiene el curado adecuado de los hormigones es una preocupación mayor cada día para las Administraciones responsables de este tipo de obras.

No obstante en un informe presentado al Comité ACI 308 en 1982 se reflejaba que en Estados Unidos el 75% del hormigón puesto en obra no se curaba o se curaba sin conformidad a especificaciones técnicas. Esta situación era aún más grave en hormigones para edificación.

En obras de firmes de hormigón para carreteras si parece que se van imponiendo técnicas más o menos contrastadas para asegurar un cierto curado del hormigón colocado. Recientemente se ha efectuado en Estados Unidos una encuesta, en la que participaron 49 Departamentos de las Administraciones Estatales, pretendiendo recopilar las prácticas habituales sobre curado de hormigones. En dicha encuesta se solicitó respuesta para la siguientes cuestiones:

1. ¿Qué método de curado se prescribe más frecuentemente?
2. ¿Qué ensayo se utiliza para comprobar la efectividad de los productos?
3. ¿Cuál es el criterio de aceptación-rechazo?
4. ¿Es satisfactorio el ensayo y por qué razones?
5. ¿Difieren las especificaciones para tableros de puente de las de pavimentos?
6. ¿Cómo se asegura que el curado sea suficiente? (Fijando dotación, composición, etc.).
7. ¿Qué duración se recomienda para el período de curado?

Las respuestas recogidas arrojaron el siguiente balance:

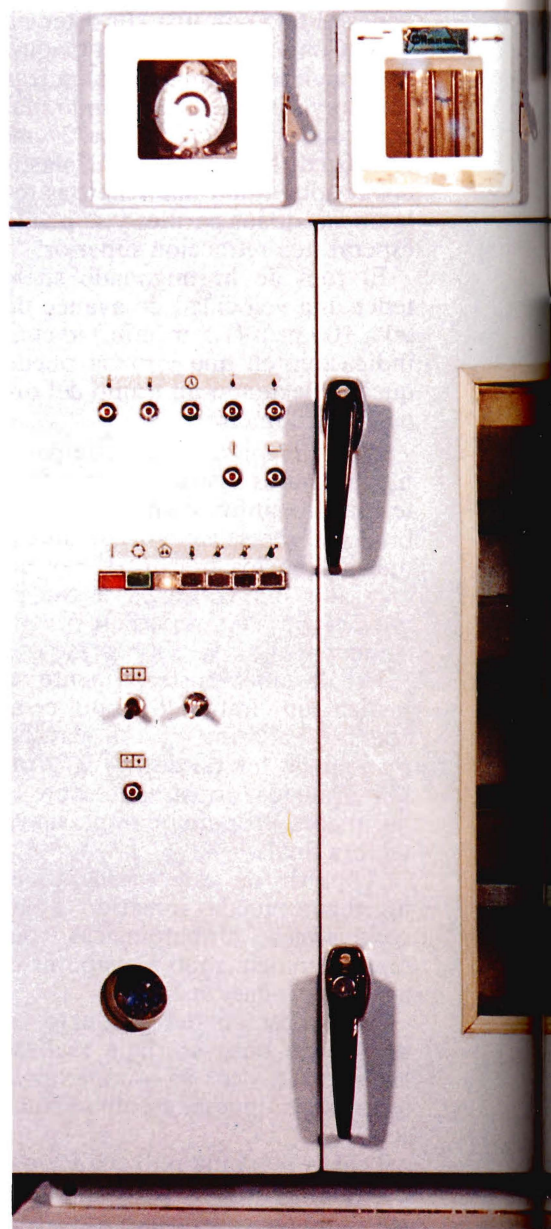
1. Método más frecuente de curado: La aplicación superficial de productos filmógenos. Para los pavimentos de hormigón se utilizan preferentemente los pigmentados en blanco del Tipo II. Sin embargo para tableros de puente es más habitual la utilización de arpilleras húmedas. Casi todos los Estados permiten el uso de recubrimientos con telas plásticas y de papel resistente al agua. En algunos Estados del Oeste se cita el curado con emulsión de aceite de linaza.

2. Ensayo para comprobar la efectividad del producto: De los 49 Estados encuestados, 38 utilizan el método AASHTO T 155 ó ASTM C 156 con una frecuencia mayor. 11 Estados utilizan versiones del mismo con notables modificaciones, o bien métodos radicalmente diferentes. Las modificaciones más habituales corresponden a la forma y tamaño de la probeta, el método de cálculo de resultados y su especificación a 24 y 72 h, el empleo de infrarrojos y aireación para simular las condiciones de sol y viento, el uso de distintas condiciones de temperatura, humedad relativa y ventilación de la cámara climática y la utilización de distintas mezclas de mortero.

3. Criterio de aceptación rechazo: Los 38 Estados que prescriben el método AASHTO T 155 o ASTM C 156 toman como límite establecido para las pérdidas máximas de humedad, tras 72 h. de secado, $0,55 \text{ kg/m}^2$. Uno de los Estados hace uso del mismo método, pero reduce la especificación a $0,40 \text{ kg/m}^2$. Cuatro de los 49 Estados han optado por un criterio de aceptación-rechazo diferente. En su criterio se especifica la cantidad de humedad retenida como un porcentaje del agua de amasado del mortero. Valores aceptables del índice de eficacia oscilan entre el 90% y el 96%.

4. Grado de satisfacción por el procedimiento: Treinta y tres de los 49 Estados manifiestan satisfacción por el ensayo empleado. Siete no están satisfechos y los nueve restantes no realizan experimentación en sus propios laboratorios. En todo caso 42 de los 49 Estados parecen estar de acuerdo

“**T**reinta y tres de los 49 Estados manifiestan satisfacción por el ensayo empleado. Siete no están satisfechos y los nueve restantes no realizan experimentación en sus propios laboratorios.”



con el método ASTM C 156, pese a todas las controversias que suscita.

5. Especificaciones para pavimentos y tableros de puente: Ocho de los 49 Estados disponen las mismas especificaciones para tableros de puente que para pavimentos. Sólo uno de los Estados tenía especificaciones más exigentes para los tableros. El resto indicaba que debería cuidarse más el curado de los tableros mediante períodos más prolongados del curado, combinaciones de método de curado y dotaciones mayores de productos filmógenos. Es conveniente señalar que hay coincidencia en los Estados menos exigentes, respecto al curado de ta-

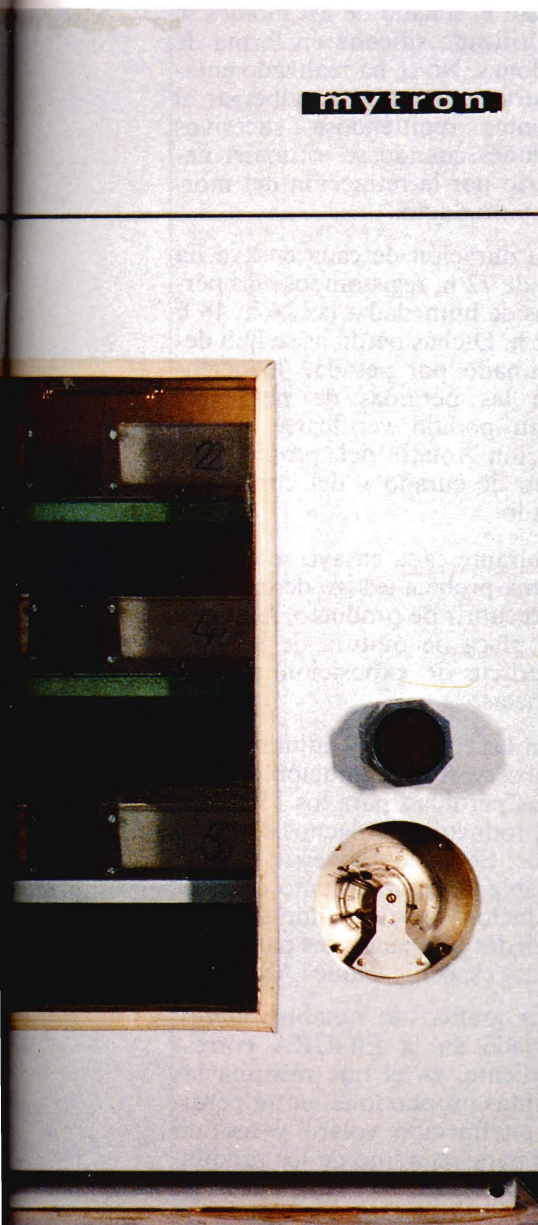


Foto 4: Cámara climática de ensayo.

bleros de puente (los de la mitad norte de USA), con problemas de durabilidad detectados en sus tableros.

6. Forma de asegurar el curado suficiente: El medio más habitual, señalado en la encuesta, es el de fijar la dotación de producto. El rendimiento suele oscilar entre 2,45 a 4,90 m²/l (200 a 400 g/m² de dotación). La realización de inspecciones "in situ", la resistencia a flexión del hormigón y el ensayo previo de los productos filmógenos son las formas más corrientes de control.

El hábito de adoptar determinados rendimientos, en la aplicación de los productos filmógenos, no parece basarse en razones técni-

cas, sino en la tradición constructiva.

Conviene puntualizar con respecto a la dotación de productos que muy pocos Estados prescriben los rendimientos en función de las texturas superficiales que se van a tratar. Únicamente cuatro de los Estados toman en consideración la textura en sus especificaciones.

7. Período de curado: La duración que se prescribe con mayor frecuencia es de tres días como mínimo a siete días como máximo. Los períodos especificados suelen basarse en el tipo de cemento, el desarrollo de la resistencia a flexión y las condiciones ambientales.

Como resumen de la encuesta se pueden hacer las anotaciones siguientes:

- Los productos filmógenos son los empleados más frecuentemente en el curado de los hormigones.
- El 77% de los Estados en USA utilizan el método de ensayo ASTM C 156.
- El 14% de los Estados consideran dicho método de ensayo poco seguro, el 22% lo han modificado y al menos el 18% de los Estados no evalúan rutinariamente los productos antes de su empleo.
- El 83% de los Estados consideran que el curado de los tableros de puente debe ser más cuidado que el de los pavimentos. Un período de curado de 3 días es demasiado corto.
- La mayor parte de los Estados prescriben un recubrimiento mínimo para el curado y sólo el 8% toma en consideración la textura superficial del pavimento.

“L *El medio más habitual, señalado en la encuesta, para asegurar el curado suficiente, es el de fijar la dotación de producto. El rendimiento puede oscilar entre 2,45 a 4,90 m²/l (200 a 400 g/m² de dotación).*”

Ensayo de retención A.S.T.M.

Desde 1940, el método de ensayo recogido en la Norma ASTM C 156 ha sido ampliamente difundido y empleado en la determinación de la eficacia de retención de agua por los productos filmógenos de curado.

Ya desde sus orígenes, esta norma ha sido objeto de controversias por la falta de precisión que se imputa a determinados aspectos. Se ha señalado, por ejemplo, que en ciertos casos puede conducir a ensayos, realizados en el mismo laboratorio y por el mismo operador, que superen unas veces las exigencias y otras veces no.

Las especificaciones para los productos filmógenos de curado del hormigón se recogen en la norma AASTHO M 148 (coincide con la ASTM C 309). Concretamente para el ensayo de retención de agua, realizado conforme a la Norma ASTM C 156, se estipula que las pérdidas de agua, a través de la película, no excedan de 0,55 kg/m² a las 72 h.

El ensayo de retención de agua según la Norma ASTM C 156 presenta las siguientes peculiaridades:

Los moldes estarán fabricados en metal, vidrio, goma rígida o plástico con unas dimensiones de 150 x 300 x 50 mm.

La cámara para el curado de las probetas (Foto 4) será regulable a una temperatura de 37,8 ± 1,1°C y una humedad relativa de 32 ± 2%.

El mortero de las probetas se fabricarán con cemento Portland y arena normalizada con una relación agua/cemento de 0,40 en peso y un escurrimiento de 35 ± 5. El enmoldado del mortero se realizará en dos capas, compactadas cada una de ellas 50 veces, igualándose seguidamente con la palma de la mano y enrasándose con regla. El ensayo se realizará al menos sobre una serie de tres probetas.

Una vez enmoldadas las probetas se introducirán en la cámara hasta que desaparezca el agua superficial, cepillándose posteriormente.

El producto se aplicará con la dotación prescrita (en su ausencia 0,2 dm³/m²) mediante pulveriza-

do a pistola o pintado a brocha, sellándose seguidamente el perímetro de contacto con un cordón que evite las fugas laterales.

Las pérdidas de peso por evaporación del propio producto se determinará mediante pintado de placas metálicas de igual superficie que la probeta.

La pérdida de agua se determinará, 72 h después de haber aplicado el producto de curado, por pesaje de las probetas. Esta pérdida de agua, en peso, se expresará en kg. por metro cuadrado de superficie a partir del valor medio de tres o más probetas. Si en una serie de tres o más probetas la diferencia entre las pérdidas de humedad mayor y menor excediese los 0,15 kg/m², se debería repetir el ensayo.

Ensayos en el Laboratorio Central

Se han desarrollado una serie de ensayos basados en la Norma ASTM C 156, con ligeras variaciones para adaptarla al ámbito normativo español.

Los líquidos filmógenos a ensayar se consiguieron, mediante una cuidadosa búsqueda dentro del mercado nacional de estos productos. Se recopilaron 15 productos de 7 fabricantes con distintas características. De ellos se ha efectuado un marcaje del 1 al 15 respetando el aspecto confidencial.

La cámara climática Mytron permite el acondicionamiento de la humedad y temperatura. En el caso de estos ensayos las condiciones fueron las siguientes:

Humedad.....	34%
Temperatura.....	38.°C

El mortero de las probetas se ha fabricado con cemento Portland tipo I-45A y arena de granulometría UNE normalizada.

El molde ASTM utilizado presenta un volumen útil de 2.100 cm³.

De esta manera el mortero colocado inicialmente, en un molde, tiene las siguientes características medias en peso:

Agua.....	534 g
Cemento.....	1.068 g
Arena.....	3.204 g
Total testigo.....	4.806 g

La relación agua/cemento ha sido por tanto de 0,50 y la densidad del mortero 2,29 kg/dm³.

Los productos filmógenos han sido aplicados mediante brocha, que parece conseguir una mayor homogeneidad que el pulverizado, además de un mejor control sobre la operación. La aplicación se realiza tras un suave cepillado de la superficie.

Las dotaciones medias estimadas de producto han sido de 260 g/m².

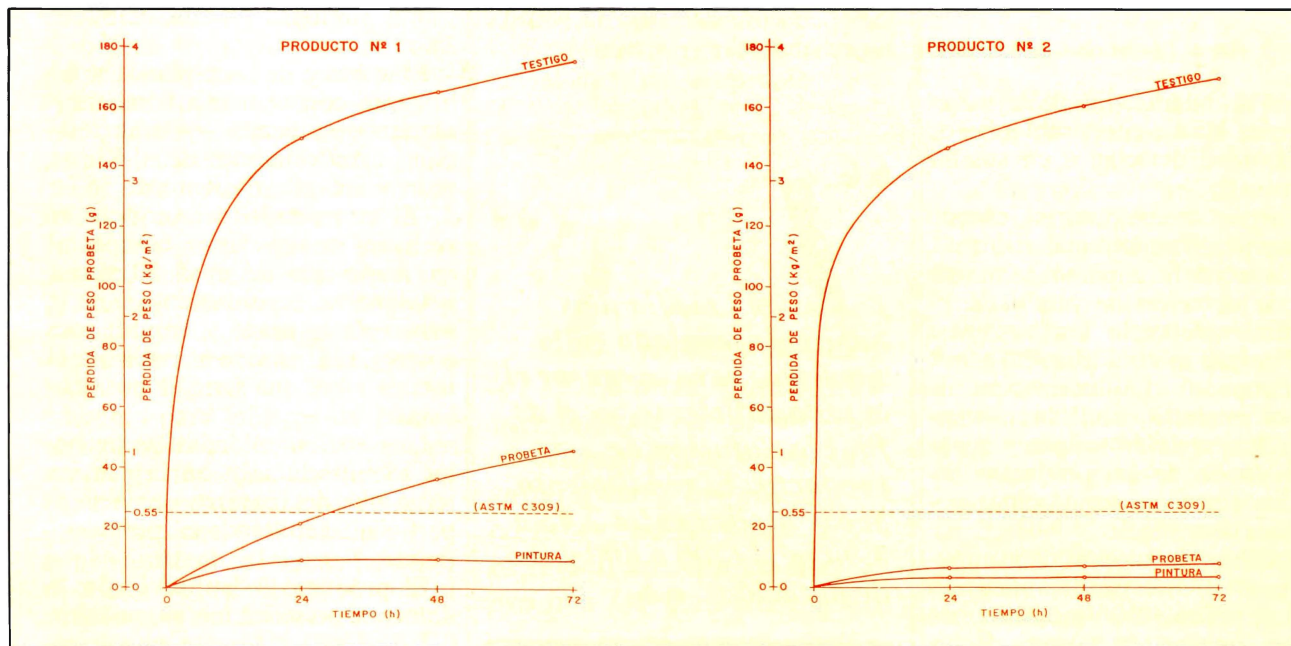
Para el sellado de los moldes se ha utilizado silicona en forma de cordones. No se ha realizado entalladura perimetral para albergar el sellante, repitiéndose sucesivos cordones cuando se estimaba necesario por la retracción del mortero y producto.

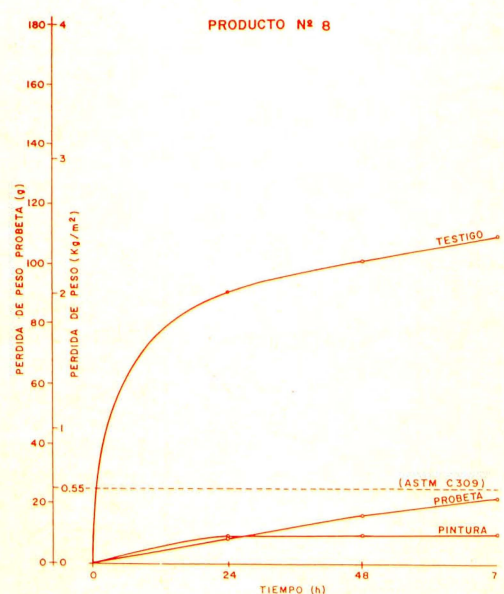
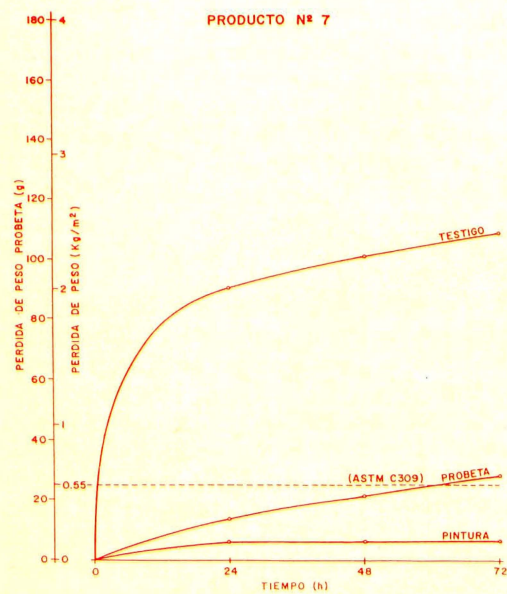
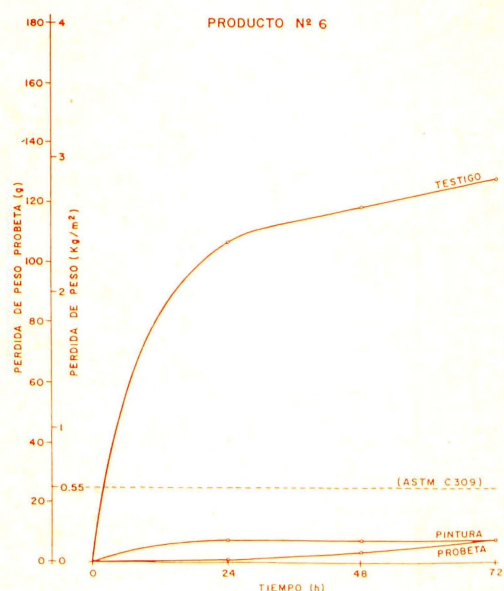
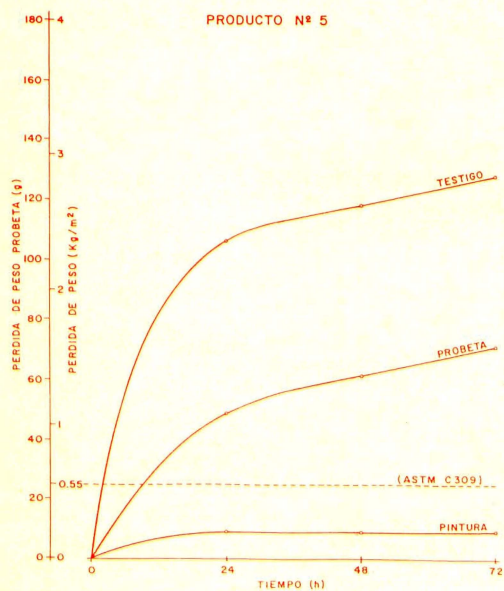
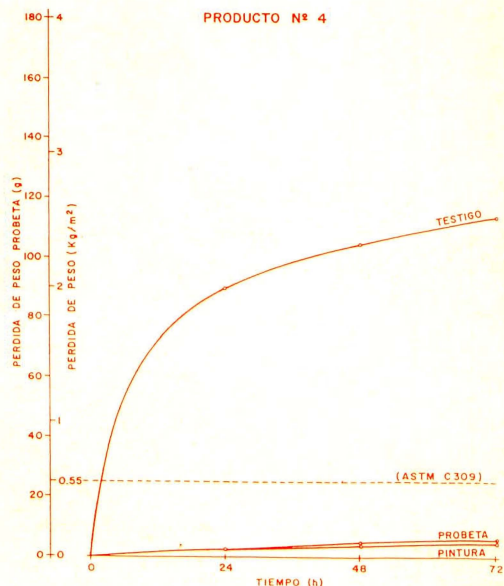
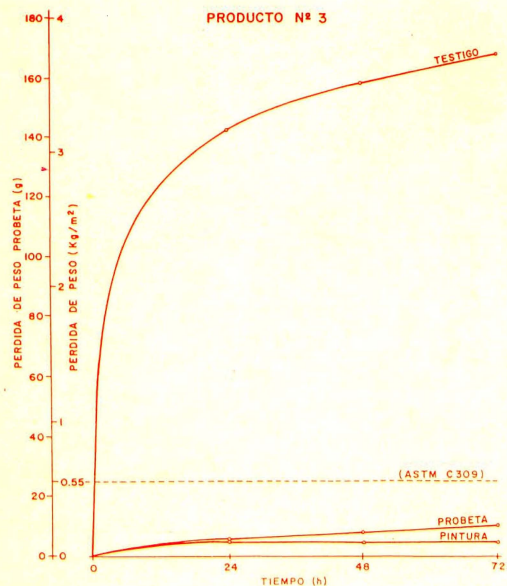
La duración de cada ensayo ha sido de 72 h, registrándose las pérdidas de humedad a las 24 h, 48 h y 72 h. Dichas pérdidas se han determinado por pesada, deduciéndose las pérdidas de peso que hayan podido verificarse por la fracción volátil del propio producto de curado y del cordón de sellado.

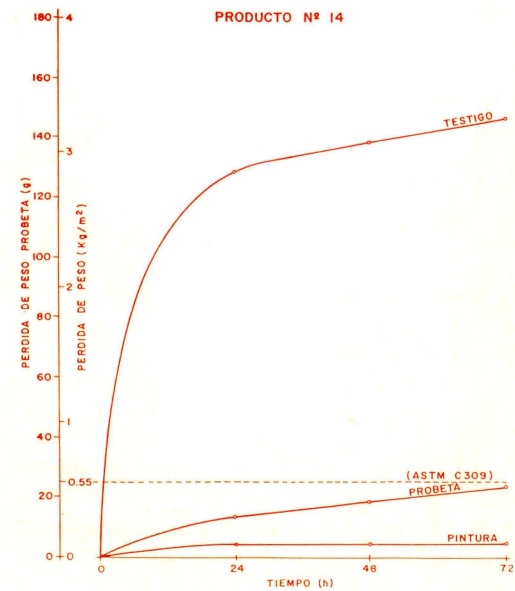
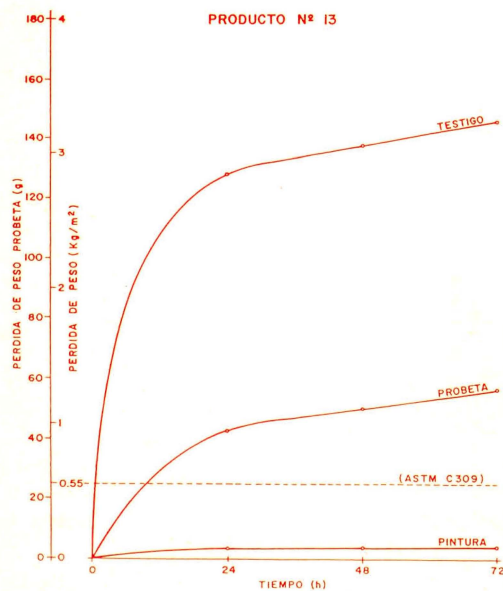
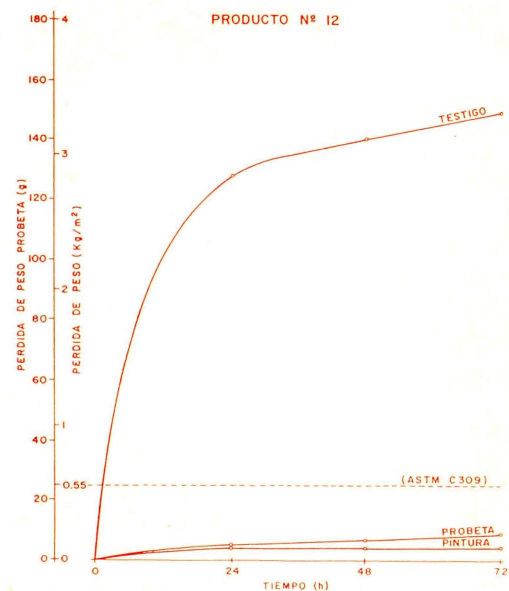
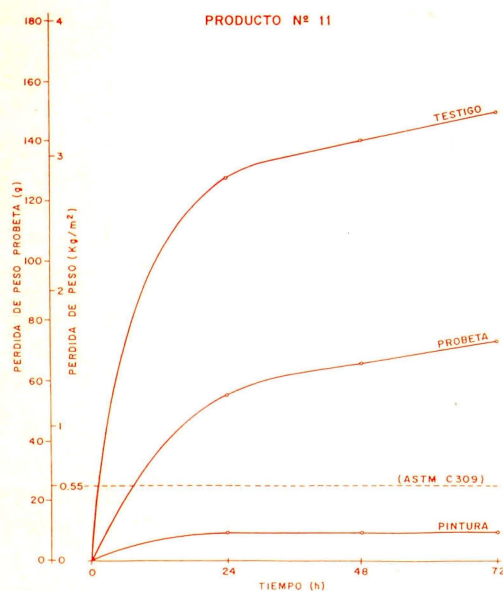
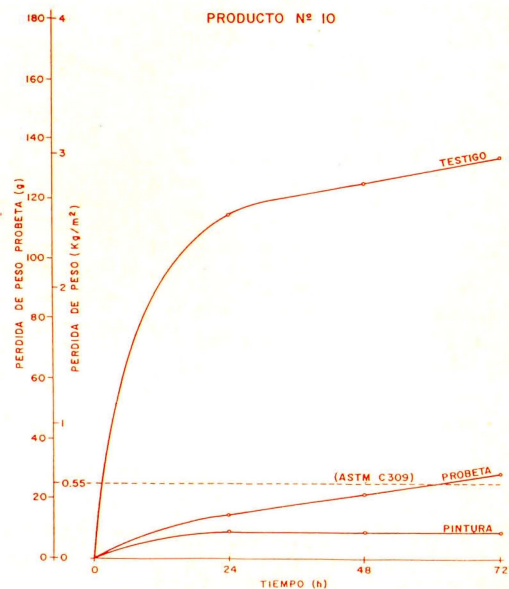
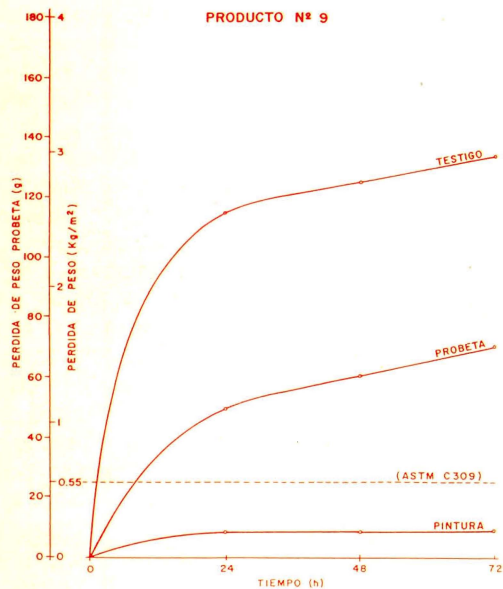
Durante cada ensayo se colocaba una probeta testigo de mortero, sin recubrir de producto, así como una placa de pintura de idéntica superficie de exposición que las probetas.

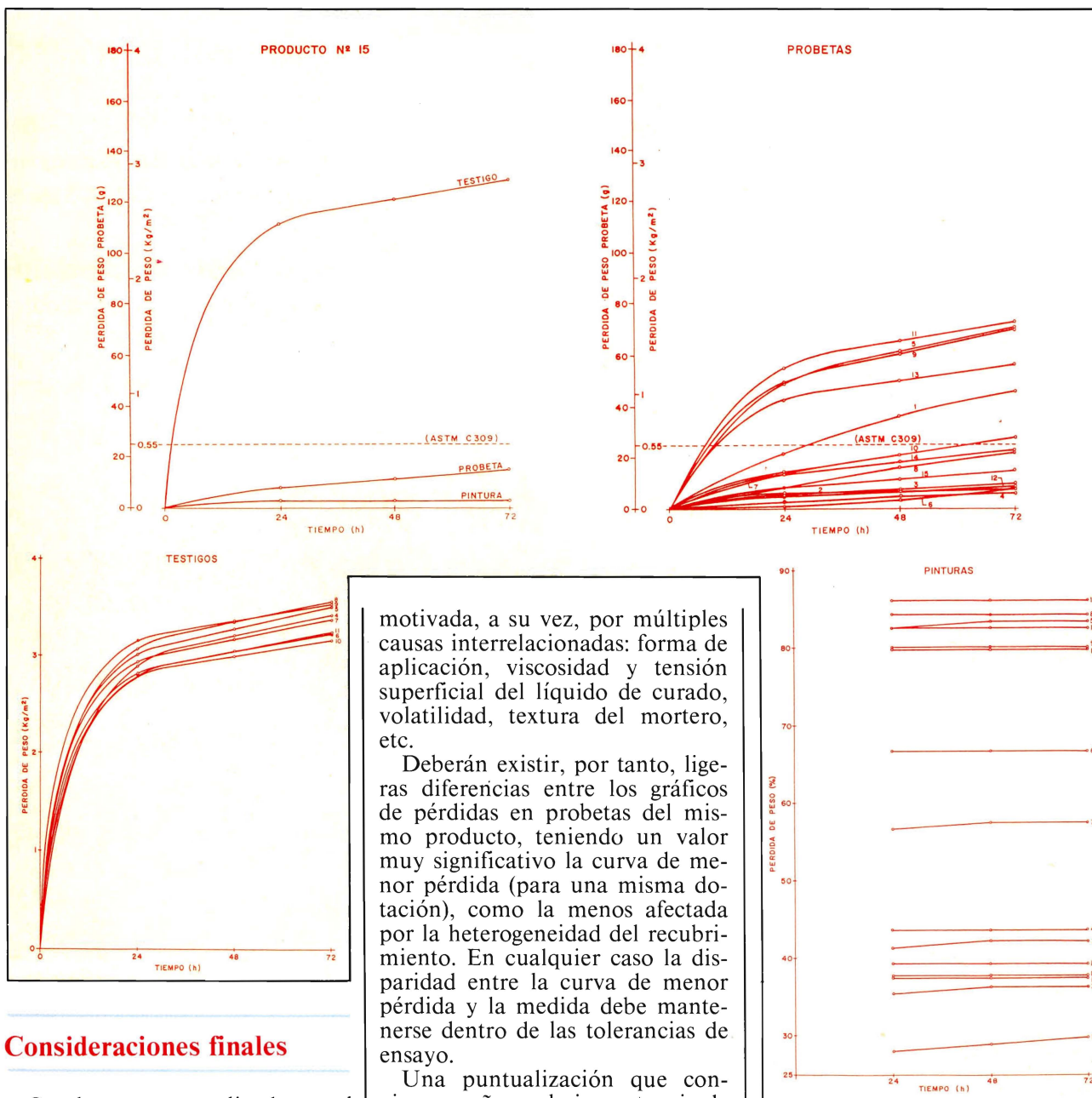
En las FIGURAS adjuntas puede observarse la evolución en peso de las pérdidas, para los 15 distintos productos filmógenos comprobados. Se puede advertir el muy variable comportamiento de estos productos, representando distintas calidades y capacidades para cumplir las especificaciones ASTM.

Un gráfico de notable interés, reflejado en la FIGURA correspondiente, en el que recopila las distintas proporciones entre pérdidas en fracción volátil y residuo seco para cada uno de los productos filmógenos.









Consideraciones finales

Con los ensayos realizados en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, basados en el método de ensayo ASTM C 156 (AASHTO T 155), ha podido constatar la utilidad de dicho método en la determinación de la eficacia de retención de humedad por los productos filmógenos.

En la homologación de un determinado producto conviene ir a un número razonable de ensayos como para permitir disponer del suficiente bagaje de experiencia acerca de su capacidad de retención de humedad.

La causa determinante de la disparidad de resultados es la falta de homogeneidad en el recubrimiento del mortero por el producto. Esta falta de homogeneidad viene

motivada, a su vez, por múltiples causas interrelacionadas: forma de aplicación, viscosidad y tensión superficial del líquido de curado, volatilidad, textura del mortero, etc.

Deberán existir, por tanto, ligeras diferencias entre los gráficos de pérdidas en probetas del mismo producto, teniendo un valor muy significativo la curva de menor pérdida (para una misma dotación), como la menos afectada por la heterogeneidad del recubrimiento. En cualquier caso la disparidad entre la curva de menor pérdida y la medida debe mantenerse dentro de las tolerancias de ensayo.

Una puntualización que conviene reseñar es la importancia de la cantidad y calidad del residuo no volátil de un producto filmógeno. Puede establecerse, a grandes rasgos, una cierta correlación entre productos con mayor proporción de residuo y productos con mayor poder retentivo. No obstante las calidades del residuo, su impermeabilidad y estructura de la película formada condicionan simultáneamente su idoneidad.

Como comentario final puede indicarse que, debido a la enorme y difundida experiencia sobre el método ASTM C 156, este ensayo es una referencia obligada para cualquier comparación o experimentación nueva que se realice sobre los productos filmógenos para el curado del hormigón.

BIBLIOGRAFIA

- *Concrete curing practices in the United States*
Ephraim Senbetta.
Concrete International. pp. 64 a 67.
Noviembre 1988.
- *Annual Book of ASTM Standards 1987*
ASTM.
V.04.02, 997 pp., Philadelphia 1987.
- *Productos Filmógenos de Curado del Hormigón. Normativa.*
F.J. Sáinz de Cueto Torres y A.R. López García.
Rutas. N.º 14 Asociación Técnica de Carreteras. Septiembre 1989.