PRODUCTOS DE CURADO PARA FIRMES DE HORMIGON

Un procedimiento para evaluar su eficacia contra la evaporación del agua de amasado

ERNESTO MUELAS VALDEOLIVAS
Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX)

1. ANTECEDENTES.

En el último decenio ha aumentado considerablemente la utilización del hormigón en la construcción de firmes para carreteras, debido al encarecimiento de los productos derivados del petróleo usados tradicionalmente para este fin.

La exigencia de tener que curar el hormigón y la necesidad de recurrir para ello a técnicas especiales, tales como el uso de productos de curado filmógenos, justificaba el interés por disponer de un documento técnico adecuado, en el que se especificasen las condiciones mínimas que deben satisfacer los productos utilizados con aquella finalidad, así como los métodos de ensayo que permitan comprobarlas.

Por todo ello, la Dirección General de Carreteras del MOPU, firmó un convenio con el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, del CEDEX, en virtud del cual, el mencionado Laboratorio se comprometía a realizar los trabajos pertinentes para la confección del citado documento.

Entre los métodos de ensayo que hubo que poner a punto, destacamos por su importancia el que permite valorar la eficacia de estos productos contra la evaporación del agua de amasado, y es por ello que hemos dedicado a él este artículo.

2. CONSIDERACIONES GENERALES.

Se designa por "curado del hormigón" al conjunto de operaciones realizadas, tras su puesta en obra, tendentes a procurar unas condiciones de humedad y temperatura que permitan el fraguado y endurecimiento del mismo, durante las primeras edades sin que se produzcan fenómenos indeseables tales como fisuración superficial, merma de resistencia, etc.

Por razones evidentes de economía, en los firmes de hormigón para carreteras el "curado del hormigón" se reduce a la forma de mantener la humedad del mismo, y las distintas técnicas utilizadas se basan en una de las dos ideas siguientes:

A. Mantenimiento de la humedad superficial del firme mediante regados frecuentes, evitando de este modo la evaporación del agua de amasado.

B. Confinamiento del firme respecto del medio ambiente mediante la aplicación de una película de un producto que impida la evaporación del agua del hormigón.

Aunque, teóricamente, el curado que se logra con el primer sistema es superior al obtenido con el segundo, se da la circunstancia de que en las regiones más calurosas y secas, donde se hace necesario un curado intenso, el aprovisionamiento de agua para llevarlo a cabo suele ser muy caro debido al transporte.

Finalmente, hay una serie de razones técnicas y económicas, tales como mejor control, no interferencia con otras labores en la obra, equipo más económico, etc.; que hacen que la utilización de estos productos de curado vaya imponiéndose en los firmes rígidos de hormigón para carreteras.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO.

Para conseguir el fin propuesto, el Laboratorio encauzó sus esfuerzos en las tres direcciones siguientes:

A. Estudio de la información técnica y normativa existente sobre estos productos tanto europea como americana.

B. Propuesta de método de ensayo.

C. Estudio experimental de muestras adquiridas en el mercado nacional con el método propuesto.

3.1. JUSTIFICACION DEL METODO DE ENSAYO.

Dentro de las propiedades que estos productos deben tener, la capacidad para impedir o reducir la evaporación del agua de amasado del hormigón es la más importante, desde el punto de vista de la eficacia del curado del mismo, ya que si ésta condición de retención de agua no se verifica, de poco vale el cumplimiento de las restantes condiciones.

El fundamento en el que se basan los métodos de ensayo establecidos por los diferentes países para evaluar la capacidad de retención de agua por un producto de curado es, en general, similar para todos ellos. Se trata de hallar la diferencia entre las pérdidas de peso experimentadas por probetas de mortero sin y con aplicación del producto de protección, después de haberlas sometido, durante un tiempo determinado, a unas condiciones ambientales perfectamente determinadas.

En este último punto es donde cabe destacar el aporte original por parte del Laboratorio a este trabajo, ya que en las normas consultadas se contemplan la temperatura y humedad relativa como variables climáticas, e incluso la radiación infrarroja sobre las probetas, como medio de conseguir la temperatura fijada en la superficie de las mismas, pero en ningún caso se ha considerado el viento como variable climática.

En la norma propuesta por este Laboratorio, sí se ha tenido en cuenta dicha variable, para lo cual hubo que diseñar y construir una "máquina climática" de forma que pudiera reproducir las condiciones de ensayo, prefijando la temperatura, humedad relativa, radiación infrarroja y velocidad del viento, y cuyos valores fueron los siguientes:

AIRE DE ENSAYO:

— Temperatura 30°C ± 2°C.
— Humedad relativa 37% ± 5%.
— Velocidad de circulación 0,9 ± 0,1 m/seg.

RADIACION INFRARROJA: Conseguida mediante tubo de infrarrojos de 65 cm ± 10 cm de longitud efectiva, 1000 a 1500 W de potencia y situado a 88 cm ± 3 cm de la superficie de las probetas objeto de ensayo, montado en serie con un reostato, capaz de ajustar la potencia de modo que la temperartura en el interior de la probeta, a 1 cm de la cara expuesta, fuese de 39 ± 2°C.

3.2. DESCRIPCION DE LA MAQUINA DE ENSAYO

En esencia, este ingenio está constituido por los elementos siguientes (figuras 1, 2, 3, 4 y 5):

El aire sigue el circuito señalado por las flechas de trazo lleno; pero, en el momento que la cámara detecta un cierto aumento en la humedad del

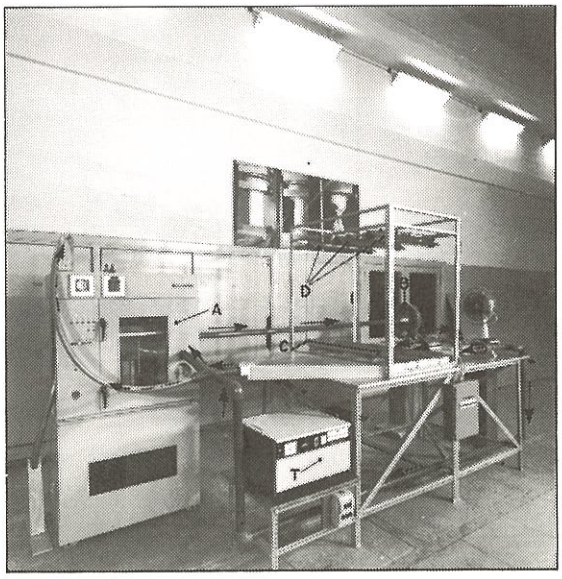

FIGURA 1

A. Cámara para el acondicionamiento del aire a la temperatura y humedad relativa de ensayo.
B. Motor centrífugo para impulsar el aire.
C. Celdas de desecación o "solario".
D. Tubos de radiación infrarroja situados sobre el solario.
T. Estabilizador de corriente.

mismo, producido por el agua que le van cediendo las probetas, parte del aire se deriva por el circuito indicado con flechas de trazos, haciéndolo pasar por un depósito de gel de sílice, hasta que se restablece la humedad relativa deseada.

El regulador de humedad (E), figura 2, tiene una escala circular de humedades relativas sobre

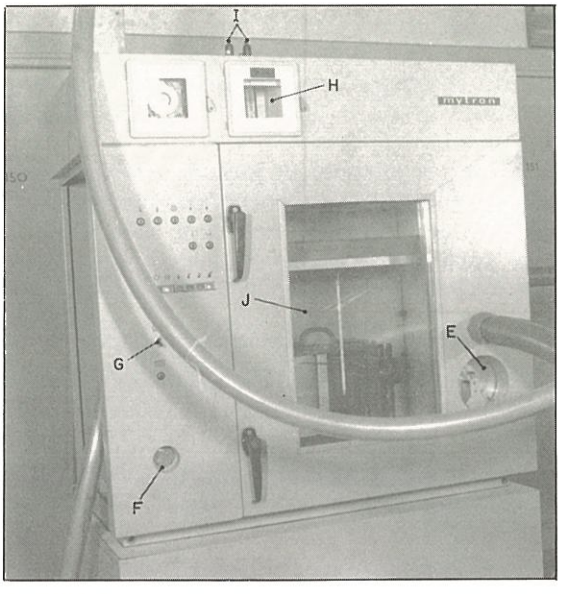

FIGURA 2

la que se mueve una aguja indicadora, como ocurre en cualquier higrómetro y, además, otras dos agujas que se colocan frente a los límites máximo y mínimo fijados para la humedad. Mientras la aguja indicadora se encuentra entre estas dos, la cámara no actúa; pero si la humedad se eleva y la aguja entra en contacto con la que señala el límite superior, se pone en marcha un pequeño motor que extrae aire del circuito principal y lo hace pasar a través del cartucho desecador, cuyo gel de sílice se puede observar a través de una mirilla (F). El color de los granos del gel va cambiando de azul a rosa conforme van perdiendo su capacidad de secado, por lo que es necesario comprobar, antes de empezar cualquier ensayo, que tienen un color azul intenso. Entre dos ensayos, el gel se regenera pulsando una llave (G), que hace pasar aire a más de 90ºC a través del mismo.

Si por el contrario, la aguja del higómetro regulador llega a entrar en contacto con la que fija el límite inferior, por haberse producido un secado del aire algo mayor que el deseado, la cámara pone en funcionamiento un dispositivo de humectación, que consiste, en esencia, en un goteo de agua sobre chapa muy caliente, que va produciendo vapor de agua hasta que la aguja indicadora deja de estar en contacto con la que señala el límite mínimo, cesando entonces el goteo y el sobrecalentamiento de la chapa.

Los dos termómetros termo-reguladores de la temperatura del aire se pueden ver a través de una mirilla (H), y se actúa sobre ellos mediante dos mandos (I) situados sobre la parte superior del mueble. Con el de la derecha, se fija la temperatura máxima deseada, y con el otro la mínima. De todas formas, conviene poner en el interior de la cámara un termómetro de precisión, como ayuda para afinar el ajuste, y un termo-higrógrafo que deje registrado lo que ocurre durante todo el tiempo que dura el ensayo. Estos dos aparatos pueden observarse desde el exterior, a través del doble cristal (J) que tiene la puerta de la cámara. En el interior de ésta, un dispositivo de circulación con un pequeño motor, asegura la homogeneidad, en lo que se refiere a temperatura y humedad del aire.

La zona de secado, o "solario", (figura 3) consta de tres elementos o "células", cubiertas por placas de vidrio apoyadas por sus bordes sobre tiras de material elástico. Las piezas (K) que sujetan las placas al soporte ejercen presión sobre las mismas y aseguran el cierre, en esa zona, evitando que pueda escapar el aire acondicionado por la cámara y que circula bajo esas placas, tangencialmente a la superficie de los tres discos pintados (a la izquierda de la fotografía), las tres probetas sin pintar (en el centro), y las tres pintadas con el producto de curado (a la derecha de la misma).

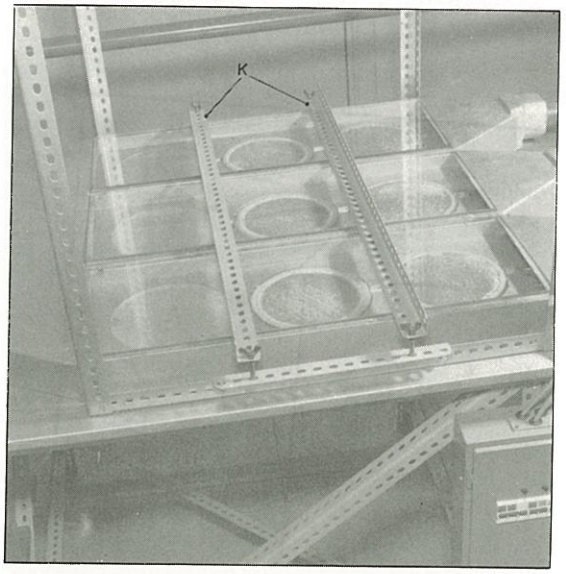

FIGURA 3

En la figura 4 pueden verse las llaves (L), que permiten igualar el paso de aire por las tres "células" de secado. La llave (M) regula el caudal total, abriendo más o menos el "by-pass" sobre el que está instalada. Un anenómetro (N), que puede colocarse, sucesivamente, en cada una de las tres derivaciones que conducen el aire a las mencionadas células, permiten controlar la velocidad del mismo en cada una de ellas. También puede verse

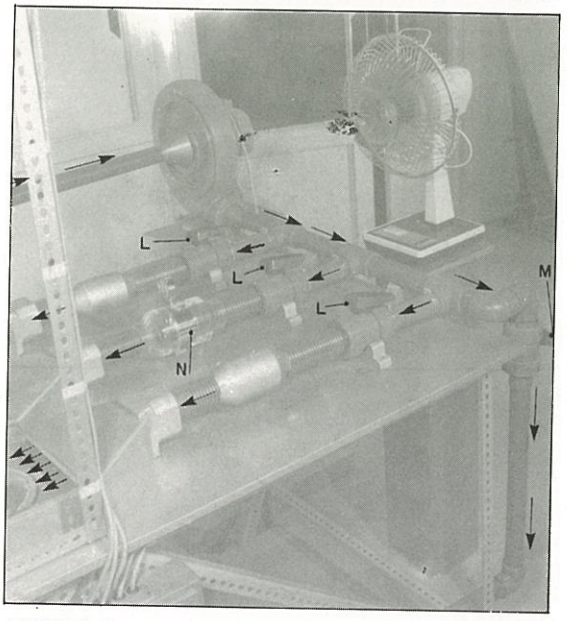

FIGURA 4

en la citada fotografía el ventilador cuya misión es evitar un excesivo calentamiento de las partes del aparato sobre las que inciden más directamente los rayos infrarrojos.

Por último, en la figura 5, aparece el dispositivo para comprobar la temperatura que llega a alcanzar el mortero, bajo la acción combinada de los rayos infrarrojos emitidos por los tubos colocados encima del "solario", y el aire caliente y seco que pasa sobre la superficie de las probetas. En ella se ven los cables (P) que salen de los termopares colocados en el interior de las probetas (Q). Los cables de una de esas probetas aparecen conectados en la fotografía a sendas columnas de mercurio situadas dentro de un vaso con hielo fundente (R), cuya temperatura nos da el cero termométrico del par, y los cables que unen esas columnas con el milivoltímetro digital (S) cuyas indicaciones de diferencia de potencial se traducen, después, a grados centígrados, mediante la tabla de tarado del aparato. Se comprobó que se alcanzaba un régimen prácticamente estacionario, gracias a que las dos variables ajenas al aparato en sí (la temperatura de la nave donde está instalado y la tensión de entrada en los infrarrojos y demás elementos eléctricos) se lograba mantener con oscilaciones muy pequeñas. El estabilizador de corriente (T) que aparece en la figura 1 constribuyó eficazmente a lograr este objetivo.

3.3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para el estudio experimental se adquirieron once muestras de distintas firmas establecidas en España, determinando en todas ellas la densidad

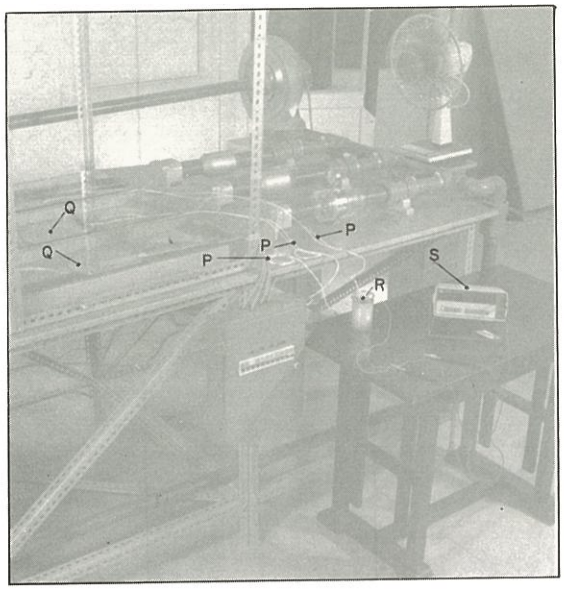

FIGURA 5

relativa, el contenido en volátiles, el residuo fijo, la viscosidad, el grado de sedimentación y el tiempo de secado.

Los ensayos de retención de agua se hicieron con las marcadas con los seis primeros números y con la nº 8. Estos ensayos se realizaron para comprobar las posibilidades del método propuesto, como procedimiento para evaluar la calidad de los productos de curado, en lo relativo a su capacidad para evitar la evaporación del agua de amasado. Para ello parecía necesario comprobar los siguientes puntos:

1. Si los resultados a un día eran indicativos de lo que pasaría a los dos y tres días de ensayo (Primer grupo de ensayos).
2. Influencia sobre los resultados de la falta de exactitud en el tiempo de secado (Segundo grupo de ensayos).
3. Reproducibilidad de resultados, ensayos con un mismo producto realizados en distintas fechas (Tercer grupo de ensayos).

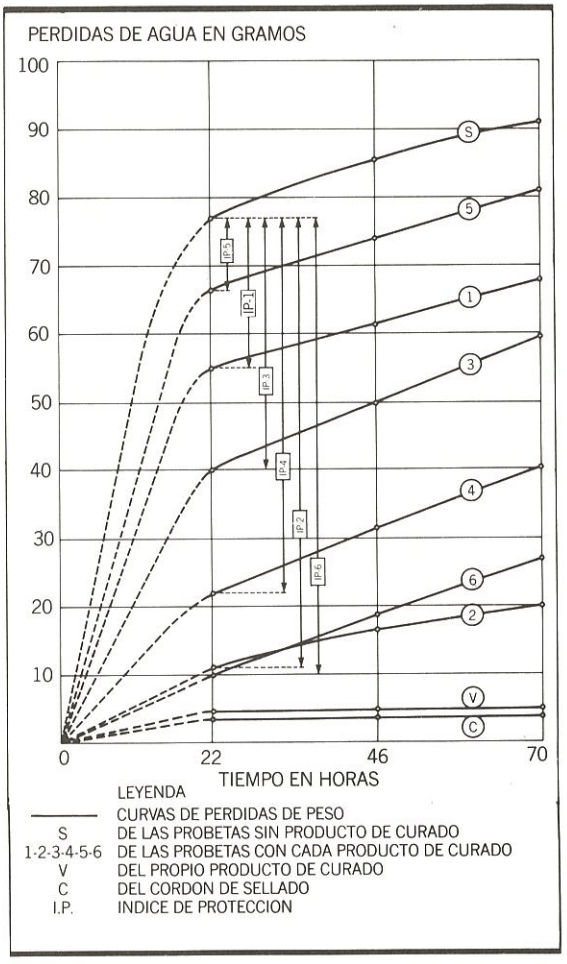

FIGURA 6

FORMA DE EXPRESAR EL RESULTADO	HORAS	Nº DEL PRODUCTO Y CANTIDAD APLICADA EN g/cm²					
		1	2	3	4	5	6
		186	174	196	202	205	182
PERDIDA DE AGUA EN g/cm²	22	0,176	0,037	0,129	0,098	0,213	0,033
	46	0,197	0,056	0,161	0,128	0,236	0,062
	70	0,218	0,072	0,191	0,157	0,258	0,084
COEFICIENTE DE EFICACIA	22	27,7	85,2	47,8	60,4	12,8	86,7
	46	26,4	79,2	42,1	53,6	12,1	78,0
	70	24,1	74,6	35,0	46,7	11,4	72,1
INDICE DE PROTECCION	22	21,1	66,1	37,0	46,7	9,8	68,3
	46	22,2	67,1	36,6	46,0	10,2	68,6
	70	21,7	66,2	32,2	43,0	10,4	67,3

CUADRO 1. Resumen de resultados de los ensayos del Grupo 1º.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. PRIMER GRUPO DE ENSAYOS (hasta 70 horas).

Los resultados numéricos de estos ensayos son los del cuadro nº 1

La pérdida de agua por unidad de superficie se ha calculado dividiendo el agua evaporada, en gramos, por el área de la cara superior de las probetas en cetímetros cuadrados (314,16 cm²).

El llamado "coeficiente de eficacia" es la diferencia entre las pérdidas de agua de las probetas pintadas y sin pintar, expresada en tanto por ciento de la sufrida por las primeras.

Lo que hemos designado por "índice de protección" es la diferencia anterior expresada en gramos.

Al objeto de obtener la información contenida en el cuadro anterior de un golpe de vista, se ha elaborado un gráfico (figura 6) en el que también se han representado las curvas de pérdida de peso de los productos de curado y del cordón de sellado.

4.2. SEGUNDO GRUPO DE ENSAYOS (a 20, 22 y 24 horas).

Para este grupo de ensayos se utilizó el producto de curado marcado con el nº 8, y se hicieron tres ensayos:

En uno de ellos, se calcularon los resultados a las 20 y 22 horas de secaso.

En otro, los resultados a las 20 y 24 horas

El tercero, fue repetición del anterior pero forzando la temperatura hasta los 47ºC.

4.3. TERCER GRUPO DE ENSAYOS (a 22 horas).

Con el producto de curado nº 8 se hicieron cuatro ensayos a 22 horas, en fechas diferentes, al objeto de ver la reproducibilidad de los resultados y detectar la presencia de posibles valores atípicos.

Realizado el estudio estadístico de acuerdo con la norma A.S.T.M. E-178-75, resultó que de los doce valores de las probetas tratadas con el producto de curado, solamente uno era anómalo, y en el caso de las no, tratadas no hubo valor anómalo alguno.

FORMA DE EXPRESAR EL RESULTADO	HORAS	NUMERO DEL ENSAYO Y PRODUCTO APLICADO EN G/CM²		
		1	2	3
		151	152	154
PERDIDA DE	20	0,019	0,032	0,053
	22	0,022	—	—
	24	—	0,036	0,058
COEFICIENTE DE EFICACIA	20	92,4	87,2	79,4
	22	91,5	—	—
	24	—	85,9	77,9
INDICE DE PROTECCION	20	73,5	67,9	63,8
	22	73,4	—	—
	24	—	68,3	64,3

CUADRO 2. Resultados de los ensayos del Grupo 2º

5. CONCLUSIONES

5.1. SOBRE EL METODO DE ENSAYO

1. Sin que se pueda decir que el método presenta dificultades de ejecución, si hay que advertir que debe ser llevado por personal muy cuidadoso y debidamente entrenado.
2. Presenta una buena reproducibilidad en los resultados.
3. Es sensible tanto a las variaciones del tiempo de ensayo como de las condiciones climáticas.
4. Valora muy bien la calidad de un producto de curado.
5. Tiempo de ejecución del ensayo medio-bajo; unos 15 días, incluyendo la fabricación y conservación de probetas de mortero base.

5.2. SOBRE LA MAQUINA.

1. La unidad productora de aire acondicionado (humedad y temperatura) tiene demasiado ajustada su potencia.
2. Las condiciones normalizadas se consiguen con facilidad, pero no permite estudios en condiciones extremas; es decir, temperatura y H.R. bajas simultáneamente o temperatura y H.R. altas.
3. La idea de tener las "celdas" de ensayo separadas de las unidades para producir variaciones climáticas, podría ser aplicada a otros trabajos de investigación donde se necesiten atmósferas gaseosas controladas, etc.

5.3. SOBRE LOS PRODUCTOS DE CURADO ESTUDIADOS.

1. El comportamiento de los distintos productos de curado estudiados ha sido muy diferente, como puede verse en el gráfico resumen.
2. En general, el precio de los mismos estaba en relación directa a la protección que prestaba al hormigón.
3. A "groso modo", el residuo fijo puede ser un índice de su futuro comportamiento, siendo tanto mejor indicador cuanto más extremos son sus valores. Por ejemplo, un producto de curado con un residuo fijo del 50% puede predecirse que tendrá un buen comportamiento, mientras otro que sólo tenga un 5% de r.f. es muy probable que se comportará mal.

AUTORES DEL TRABAJO

Los autores de este trabajo han sido: D. Carlos de la Peña Quevedo, Ingeniero Técnico de O.P., y D. Ernesto Muelas Valdeolivas, Ingeniero Técnico de O.P. y Geólogo.

BIBLIOGRAFIA

— N.B.N. 748-15 (1970) "Método de ensayo belga para determinar la eficacia contra la evaporación de productos de curado".
— "Método de ensayo a aplicar a los productos de curado", propuesto por el Laboratorio Central de Ponts et Chausseés de París.
— Método de ensayo nº 534-A (1968): "Método de ensayo para determinar la eficacia de retención de agua de compuestos de curado líquidos formadores de membrana. "(Estado de California").
— C 156-80 a: "Test Method for Water retention by Concrete Curing Material". Tomo 04.02.
— C 309-81: "Specification for liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete". Tomo 04.02.