



Condensación'92

FRANCISCO ORTEGA ANDRADE, DR. ARQUITECTO

Es cierto que '92 va a ser el signo que caracterice al último cuarto de nuestro siglo e incluso que de personalidad al mundo europeo y con algo de esperanza de elemental soñador, el año en que se arreglen todas las cosas que nuestro país tenga pendiente, pero, no es menos cierto que la humedad de condensación es y será, uno de los problemas que han tomado actualidad y que va a quedar sin resolver en el año en que otros muchos van a solucionarse.

No sólo es un problema actual sino que, por la propia dinámica de los planteamientos fundamentales, la conden-

sación en la edificación tiene todo el aspecto de ir agravándose. Nuestra humedad de condensación tiene sus propias características actuales y no es que antiguamente no se diera este fenómeno de la física de la construcción pero, al menos, no dañaba de manera tan clara a la exigencia del usuario de la edificación.

Como pretendemos dejar constancia, el problema es más actual cuanto mayor es la velocidad de la ejecución de la construcción. Naturalmente, si dicha aceleración se logra a base de acortar los tiempos de puesta en obra y de secado de los materiales, la patología irá en aumento.

CONSIDERACIONES INICIALES

Cuando estudiábamos las ventajas que nos ofrecía la construcción con elementos prefabricados, se nos mostraba la de que se requería menor cantidad de agua para levantar la edificación pues, al venir, el elemento constructivo, fabricado, curado y seco del taller, sólo en las uniones tendríamos que introducir morteros en nuestra obra. Evidentemente, ésta era una consideración que no podía escapar a quien tratara de analizar el tema. Otras razones muy distintas han hecho que la construcción prefabricada no proliferase con mayor intensidad pero, es cierto que en nuestra construcción tradicional la obra nace y permanece, durante largo tiempo húmeda, y el secado de la misma se hace más difícil cuanto mayor es la velocidad de ejecución.

Con poco que nos dediquemos a los números podremos comprobar que son muchos los metros cúbicos de agua que se introducen en la obra al modo tradicional.

Si 200 litros de agua son necesarios para fabricar un metro cúbico de hormigón, sólo 80 quedarán retenidos por este material cuando alcance su humedad de equilibrio, el resto tendrá que eliminarse por evaporación y ello se realizará a una velocidad que dependerá, no sólo de las condiciones atmosféricas sino también, de la forma de curado y de lo pronto o tarde que lo recubramos de otros materiales.

El agua de regado que para curar el hormigón es, por económica, poco tenida en cuenta por los textos de mediciones y valoraciones de obra pero, para los que estudiamos otros aspectos, hemos de suponer que en los más de veinte riegos de curado que se deben dar en

los siete primeros días 80 ó 100 litros por metro cuadrado de forjado son necesarios, al menos, en estos primeros días de edad del material. De este modo para 100 m.² de forjado que requiera 65 m.³ de hormigón armado, en soportes y vigas podemos descubrir que 8.000 litros no es una cifra exagerada, para contabilizar el agua que es derramada sobre la estructura. Naturalmente este agua es evaporada muy rápidamente pero nuestro hormigón, para ser de calidad, tiene que ver retrasada la eliminación de su agua de fabricación.

Un metro cuadrado de fábrica de ladrillo macizo de medio pie de espesor requiere entre 60 y 70 piezas que han de ser humedecidas antes de ser colocadas y tomadas con 17 a 22 litros de mortero por metro cuadrado de fábrica. Por ello, no es de extrañar que sean necesarios de 12 a 20 litros de agua para elaborar un paño de estas dimensiones y condiciones. Cinco a siete litros de agua para la fabricación del mortero y siete a quince litros para humedecer los ladrillos que componen el m.² de fábrica.

Para un metro cuadrado de tabique, de ladrillos aparejados a panderete, son necesarias 35 unidades de ladrillos huecos y 8 litros de mortero, que precisan aproximadamente 12 litros de agua, pa-

ra humedecido previo del ladrillo y fabricación del mortero.

Con todo lo anterior y si admitimos que, para una edificación de 100 m.² construídos, es fácil que se proyecten 60 m.² de cerramiento exterior, tendremos que admitir que sólo en este concepto consumimos por encima de 2.400 litros de agua en este espacio construído.

Naturalmente, la mayor parte de estas cantidades de agua, son evaporadas y eliminadas cada día de la construcción pero, si imaginamos morteros de solería, revestimientos de parámetros verticales y horizontales, podemos hacer un cálculo y obtendremos que 45 kg por m.² es una cifra bastante aproximada para estimar el agua que, químicamente combinada es retenida por los materiales de construcción, y no es eliminada inmediatamente.

De todo lo anterior coincidiremos en admitir que nuestra construcción es una obra que nace húmeda; con mucho más de 4 toneladas de agua para una vivienda de cien metros cuadrados de promedio, y cuyo periodo de secado puede durar hasta algunos años. Este período dependerá mucho del grado de ventilación, y su duración será directamente proporcional a su abrigo, o lo que es lo mismo, a su velocidad de ejecución.

AGUA REQUERIDA PARA ELABORACION VALORES MEDIOS

Unidad	Agua (m. ³)
m. ³ hormigón	0.200
m. ² fábrica, 1 pie, l. macizo	0.035
m. ² fábrica, 1/2 pie, l. macizo	0.018
m. ² fábrica, 1/2 pie, l. hueco	0.013
m. ² fábrica, tabique	0.010
m. ² enfoscado, M-40 (1:6)	0.003
m. ² guarnecido, yeso grueso	0.009
m. ² enlucido, yeso fino	0.004
m. ³ mortero, M-40 (1:6)	0.160



LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Quizás sea la humedad de equilibrio el concepto más difícil de definir de cuantos encontramos en el estudio de las humedades. Para ello se hace necesario establecer el de "humedad de transferencia" y debemos decir que todo material tiene un cierto poder de higroscopia, es decir, cualquier sustancia es capaz de intercambiar agua con el aire que la envuelve en un entorno muy próximo. De esta manera su contenido de humedad, en cada instante, es directamente proporcional al valor de la humedad relativa o grado de saturación del aire en el cual se encuentra inmerso el material.

Si el aire se encuentra muy seco (sirva como ejemplo, una situación por debajo del 50% de humedad relativa), el material evapora agua a gran velocidad y si, por el contrario, el aire se encuentra saturado o próximo a este estado (sea por ejemplo, más allá del 87% de humedad relativa) el material absorbe agua, también, a gran velocidad. En ambos casos, hay una humedad de transferencia entre el elemento constructivo y su entorno inmediato o aire de contacto. Podríamos hablar de una transferencia positiva, en el primer caso, y otra negativa, en el segundo. A medida que el entorno comprendido entre la transferencia positiva y la negativa se va acercando (en el ejemplo anterior 50-87) la "velocidad de transferencia" va acercándose a cero o tiende a anularse, de forma que hay un pequeño campo del entorno donde el contenido de humedad del material permanece prácticamente constante.

De este modo puede definirse, como "humedad de equilibrio" de un elemento constructivo, a aquella que contiene un material en un ambiente determinado, cuando su "velocidad de humedad de transferencia" es nula.

El entorno en el cual podemos definir

el concepto de humedad de equilibrio toma amplitudes muy distintas para los diversos materiales de construcción. Por ello es fácil que, con un determinado grado de humedad, un mortero de cal se encuentre en equilibrio en Cádiz mientras que, con el mismo, se encuentre saturado en Córdoba. La madera es, quizás, el material que mantiene un entorno o humedad de transferencia nula con mayor estabilidad y de esa manera los instrumentos fabricados para determinar los contenidos de humedad, en peso, lo hagan en base a este material.

Así, podemos comprobar como con un 5% de humedad en peso, la madera se encuentra peligrosamente reseca, mientras que un mortero de cal está en equilibrio y, un mortero de cemento de albañilería se halla saturado. Naturalmente, en una atmósfera en torno a un 75% de humedad relativa.

SINTOMATOLOGIA

Esta humedad de obra o congénita, por permanente o asentada, se distribuye según la ley gravitatoria y discurre por la masa del muro descendiendo hasta los forjados que interrumpen su curso. Por ello, es fácil que en viviendas recién terminadas u ocupadas, encontremos, en las partes bajas de sus cerramientos y participaciones, mayor contenido de humedad que en la parte central de las mismas. Esta concentración de humedad en torno al forjado puede mantenerse durante meses.

El agua retenida por dichos planos horizontales, pasa fácilmente al tabique que cierra la cámara del cerramiento o, puede manifestarse por una mancha que asciende sobre el rodapié, mostrándose como si se tratase de humedad procedente del subsuelo. Esto nos sorprende enormemente porque, a veces, encontramos la patología en las plantas superiores.

El cerramiento es la barrera física por la que ha de evacuarse todo el vapor de

agua que liberan, en su secado, los otros materiales y el que se deriva de la utilización de la vivienda, por lo que una edificación cerrada y ocupada muy joven, tarda mucho en llegar a su humedad de equilibrio.

Es claro que el coeficiente de conductividad térmica de cualquier material de construcción es directamente proporcional a su grado de contenido de humedad, o lo que es lo mismo, inversamente proporcional a su capacidad de aislar térmicamente.

Los coeficientes de aislamiento que concedemos a nuestros cerramientos, mediante la N.B.E.-CT-79, están dados para los materiales, cuando éstos han alcanzado la humedad de equilibrio, lo cual está muy lejos de lograrse cuando la edificación ha de ocuparse rápidamente.

Es evidente, que un material que mantiene su contenido de humedad por encima de dicho equilibrio, sufre una amplia caída en su poder aislante térmico y, sin que podamos dibujar una gráfica, material a material, que valore dicha pérdida, todos tenemos conciencia de que saturados, la cerámica, el mortero o el hormigón celular, su resistividad térmica queda prácticamente anulada.

Si hemos admitido que nuestra construcción tradicional nace y se mantiene húmeda durante largo período de tiempo, no puede sorprendernos que, buena parte de ella, adquiera las propiedades que definen a los conocidos puentes térmicos. Al menos, en la primera edad de la edificación.

Con todo lo anterior, puede entenderse y justificarse la frecuente coincidencia de que, gran parte de las construcciones de viviendas actuales, presenten más problemas de humedad de condensación en los dos primeros años que en el resto de su vida útil. Superados dos veranos, es posible que la nueva construcción encuentre su secado y, la condensación originada por la humedad de obra, minore su intensidad.

Esto último no siempre es así, ni mucho menos debe aceptarse como regla general ni natural pues, en la patología de la humedad de condensación, intervienen muchas variables de influencias muy sensibles que nada tienen que ver con el paso del tiempo.

SECADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Hasta aquí, hemos pretendido manifestar la importancia y necesidad que tenemos, para bien de la construcción, de procurar que cualquier unidad de obra se realice sobre un soporte suficiente-

HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCION	
T ≈ 20° C	Hum. relativ. (70÷78)%
Material	H. de equilibrio (%)
Madera	15,0 ÷ 18,0
Mortero de cal	5,0 ÷ 6,0
Mortero de cal/cemento	4,0 ÷ 4,5
Mortero de cemento (1:3)	3,6 ÷ 4,2
Mortero de cemento (1:4)	3,2 ÷ 4,0
Mortero de cemento (1:6)	3,0 ÷ 3,6
Ladrillo cerámico	1,8 ÷ 2,1
Pasta de yeso	0,9 ÷ 1,15

mente seco. Hoy es fácil disponer de medidores, digitales e incluso de bolsillo, que nos den a conocer, de forma inmediata, los contenidos de humedad de los distintos materiales de construcción y compararlos, mediante una escala, con su humedad de equilibrio en una atmósfera o entorno determinado.

El secado de la obra puede lograrse de forma natural o de modo artificial. En el primer caso, dejando transcurrir un determinado tiempo entre la finalización de una unidad ejecutada y el comienzo de otra, que debe ejecutarse sobre la primera. Artificialmente, introduciendo mecanismos que acorten los referidos tiempos. Este último sistema sólo es posible para los elementos constructivos interiores y, en todo caso, supone costos adicionales importantes. Los medios de que nos servimos para ello se basan, en introducir grandes corrientes forzadas de aire que proporcionen fuertes ventilaciones o en utilizar estufas, tras el cierre provisional de parte de la edificación. Estos sistemas han sido necesarios en Holanda y países de alta humedad ambiental y aplicados con la frecuencia suficiente como para que nacieran patentes comercializadas.

Entre los estudiosos de la duración de los tiempos de secado, para cada unidad de obra que ha de ser revestida, podemos destacar a Cadiergues, quien propuso la fórmula y las constantes de aireación que a continuación exponemos:

$T = s \cdot e^2$ donde;
 T = tiempo de espera para secado, en días.
 s = constante de secado del material.
 e = espesor del muro o elemento constructivo, en centímetros.

Aplicando la fórmula propuesta por Cadiergues, a un muro de fábrica de ladrillo de un pie de espesor, obtenemos 161 días como tiempo de secado y 120 días para la capa de hormigón celular de formación de pendiente, de una azotea de 10 cm de espesor medio.

No es que creamos que los valores encontrados, no son acertados; lo que sí podemos asegurar es que, en un entorno constructivo de obra realizada por subcontratación de destajistas, es irrealmente contemplada una fórmula que establezca resultados de esta índole.

Nuestra preocupación por el tema data de algunos años y ello nos permite afirmar cuanto más adelante exponemos y proponer los siguientes puntos:

- a) Cualquier fórmula experimental al respecto, debe contemplar la humedad relativa del entorno y la temperatura media estacional del mismo.
- b) La dificultad principal la encontramos en desecar los núcleos de los muros. La superficie suele perder su agua de saturación relativamente

CONSTANTES DE DESECACION DE DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

Material	c_d
Granito	2,3
Caliza	1,5
Arenisca	1,2
Hormigón (300 Kg CP)	1,8
Hormigón (250 Kg CP)	1,7
Hormigón celular	1,4
Mortero M-80 (1:4)	1,6
Mortero M-40 (1:6)	1,1
Mortero de cal y cemento (1:2:8)	0,8
Mortero de cal	0,5
Ladrillo macizo	0,6
Ladrillo perforado	0,4
Ladrillo hueco	0,3
Pasta de yeso	1,1
Madera de pino	1,0

CONSTANTES DE SECADO DE DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCION, SEGUN CADIERGUES

Material	s
Mortero de cemento	2,50
Hormigón	1,60
Hormigón de áridos ligeros	1,40
Hormigón celular	1,20
Piedra caliza	1,20
Ladrillo	0,20
Mortero de cal	0,25
Corcho	0,14

pronto mientras que el interior, que puede no haber sido saturado durante la ejecución, sigue tomando agua capilar, de forma gravitacional, durante periodos posteriores.

- c) Por las razones expuestas en el apartado anterior, los sistemas artificiales sólo pueden acortar los tiempos de secado pero, nunca anularlos. Cualquier medición del contenido de humedad sobre los revestimientos y otros elementos constructivos desecados por ventilación forzada, calentamiento o flameado, debe realizarse con posterioridad a una semana de finalizado el tratamiento.
- d) Para conocer la humedad contenida en los revestimientos suele ser muy útil el uso de un medidor de conductancia eléctrica, no debiendo pintarse ni recubrirse hasta que no se alcance la humedad de equilibrio. En cualquier caso, y a falta de una instrumentación, no debería pintarse ningún enfoscado ni enlucido antes de cinco semanas; si bien las de los meses de junio, julio y agosto pueden considerarse como semana y media y, las de diciembre y enero deben contabilizarse como medias semanas.
- e) Los tiempos de secado de nuestra propuesta son:

$$t = \frac{3}{7} \cdot \frac{W_r}{T + 10} \cdot c_d \cdot (e-r)^2 =$$

$$= 0,42 c_d (e-r)^2 \cdot W_r / (T + 10)$$

t = tiempo, en días, de espera para secado.
 c_d = constante de desecación.
 e = espesor del elemento constructivo, en cm.
 W_r = humedad relativa.
 T = temperatura media diurna.
 r = influencia superficial.
 r = 2 para e \geq 12 cm. y muro con sus dos caras expuestas.
 r = 1 para e \geq 12 cm. y muro con una sola cara expuesta.
 r = 0,5 para e < 12 cm.

Para los revestimientos y elementos de e < 4 cm, la fórmula anterior toma la expresión siguiente:
 $t = 1,6 \cdot c_d \cdot e^3 \cdot W_r / (T + 10)$

Aplicando los valores y fórmulas anteriores obtenemos para un muro de un pie de espesor, realizado con ladrillo perforado y mortero de albañilería M-40 los siguientes resultados: ($W_r = 65$ y $T = 27^\circ\text{C}$)

$$c_d = \frac{5c_{d1} + 1c_{d2}}{6} = \frac{5 \cdot 0,4 + 1,1}{6} = 0,52$$

$$t = 0,42 \cdot 0,52 \cdot (23 - 2)^2 \cdot 65 / (27 + 10) = 169 \text{ días (5 meses)}$$

Para una citara realizada con ladrillo hueco doble en la misma obra y condiciones:



$$C_d = \frac{5'5c_{d1} + 1'5c_{d2}}{7} = 0.46$$

$$t = 0,42 \cdot 0,46 (11 - 1)^2 \cdot 65/37 = 32 \text{ días (1 mes)}$$

Para un enfoscado de cemento ($W_r = 65$
 $T = 27^\circ\text{C}$:

$$t = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 2^3 \cdot 65/37 = 24 \text{ días (4 semanas)}$$

Para la misma unidad de obra, con $W_r = 70\%$ $T = 21^\circ\text{C}$, tenemos:

$$t = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 2^3 \cdot 70/31 = 32 \text{ días (5 semanas)}$$

Para un tendido de yeso:

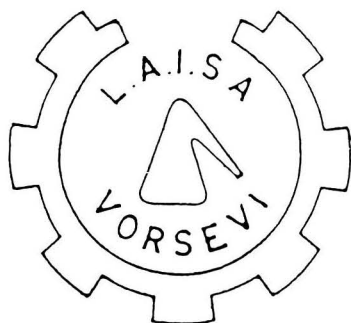
$$t = 1,6 \cdot 0,9 \cdot 2^3 \cdot 65/37 = 21 \text{ días (3 semanas)}$$

Para un revestimiento con mortero de cal:

$$t = 1,6 \cdot 0,5 \cdot 2,5^3 \cdot 65/37 = 21 \text{ días (3 semanas)}$$

No queremos cerrar este corto traba-

jo sin dejar sentado que no nos sobra optimismo como para esperar que, en la programación de obra, se tengan presente las fórmulas expuestas pero, si nos sentimos obligados a recordar, en beneficio del usuario de la construcción, que muchos problemas de humedad de condensación pueden ser evitados teniendo en cuenta las consideraciones que hemos repetido en los párrafos anteriores.



LABORATORIO ANALISIS INDUSTRIALES **VORSEVI, S.A.**

HOMOLOGADO POR EL MINISTERIO DE LA VIVIENDA

ESTUDIOS GEOTECNICOS

CALCULO DE CIMENTACIONES

CONTROL DE OBRAS E INSTALACIONES

PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

ANALISIS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CALCULO DE ESTRUCTURAS

Marqués de Paradás, 21
 (954) 21 52 60 - 21 55 78 (955) 26 33 45
 41001 - SEVILLA

Arqueologo Garay de Anduaga, 20
 (956) 85 26 11
 21004 - HUELVA

Avda. Mesesteeo, 9
 PTO. SANTA MARIA

Ctra. Málaga-Algeciras, Km. 162,8
 ESTEPONA
 (952) 79 19 74

Valladolid, 3
 (924) 25 56 55
 06006 - BADAJOZ

Pintor José de Rivera, 15
 (952) 31 54 89
 29003 - MALAGA