

LAS HUMEDADES DE CONDENSACION

JOSE LUIS CABRERA
Aparejador.

Uno de los problemas que es frecuente encontrar hoy día en viviendas económicas es el de las humedades producidas por la condensación del vapor de agua producido en el interior de la vivienda.

Prescindiendo, de momento, de las causas que han motivado el aumento de dicha producción de vapor en las actuales viviendas, vamos a estudiar un primer fenómeno, prácticamente desconocido, y que produce las condensaciones en superficies no exteriores y facilita las que se forman en paños exteriores.

Recordamos que existen unos topes máximos de humedad relativa interior y de temperatura interior para que las viviendas reúnan las condiciones higiénicas debidas. Estos topes son: humedad relativa menor de un 75 por 100 y temperatura de 14° C. en viviendas sin calefacción y 18° C en viviendas con calefacción pobre.

Por lo tanto, las viviendas deben de permitir que la humedad relativa interior pueda llegar a un 75 por 100, con una de las temperaturas interiores fijadas, y que con estas condiciones no se produzcan condensaciones.

A pesar de esta exigencia en viviendas sin calefacción o con calefacción pobre, se ha podido comprobar la formación de condensaciones sobre paredes medianeras entre dos viviendas, tabiques medianeros entre dos habitaciones y techos medianeros, en oposición de la teoría generalizada de que las condensaciones se producen en paramentos exteriores por falta de aislamiento térmico de los mismos, siendo estas últimas las que se producen en régimen excepcional y de forma ocasional, pues coinciden con los descensos fuertes de temperatura que vienen determinados por las fluctuaciones climatológicas de cada zona.

Hay que destacar que las condensaciones de este tipo no son de régimen excepcional, sino que se producen diariamente a partir de determinadas fechas, y durante cinco meses aproximadamente, en regiones climatológicas de características similares a las de Madrid, y cubriendo una superficie incluso superior a las producidas sobre paramentos exteriores, debidas al mismo fenómeno.

Estas condensaciones de forma más continuada y que se producen sobre paramentos no exteriores son debidas a un principio elemental de los flúidos, y que en los líquidos llamamos "de los vasos comunicantes".

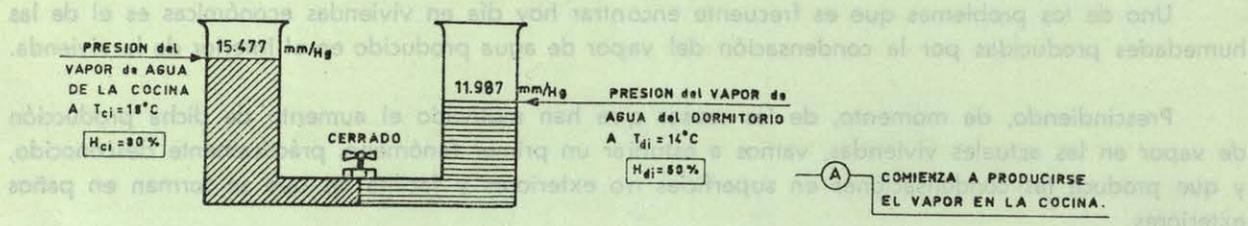
Referido al vapor de agua en el interior de una vivienda sin calefacción o con calefacción pobre, consideramos la cocina como un "vaso" comunicando con otro "vaso": un dormitorio.

Comparamos las características de cada uno de ellos en horas próximas al mediodía, durante las cuales se prepara la comida en la cocina y se ventilan y limpian los dormitorios.

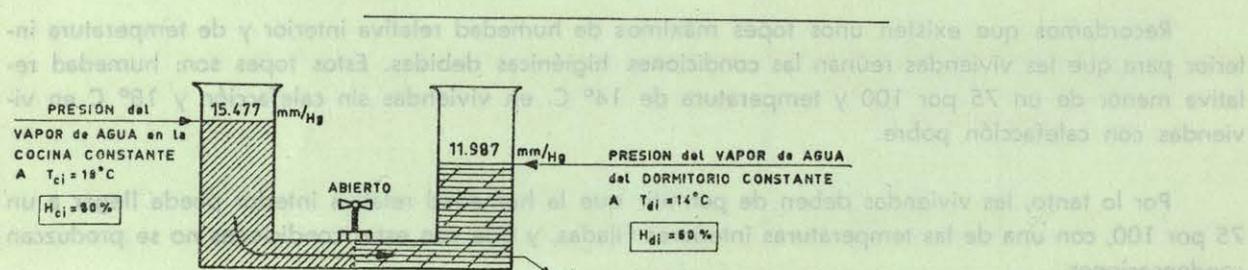
Tomamos unas cifras para mayor claridad del problema:

COCINA	$T_{ci} = 18^{\circ} \text{C}$. (temperatura ambiente de la cocina).
Presión del vapor en la cocina:	$H_{ci} = 80\%$ (humedad relativa del ambiente de la cocina).
$P_{vd} = 15.477 \text{ mm./Hg}$.	
DORMITORIO (sin calefacción)	$T_{di} = 14^{\circ} \text{C}$. (temperatura ambiente del dormitorio).
Presión del vapor en el dormitorio:	$H_{di} = 60\%$ (humedad relativa del ambiente del dormitorio).
$P_{vd} = 11.987 \text{ mm./Hg}$.	

ANALOGIA GRAFICA DEL FENOMENO



(A) COMIENZA A PRODUCIRSE EL VAPOR EN LA COCINA.



(B) EL VAPOR TIENDE A TRASLADARSE DE LA COCINA AL DORMITORIO DEBIDO A LA DIFERENCIA DE PRESION SUCEDIENDO

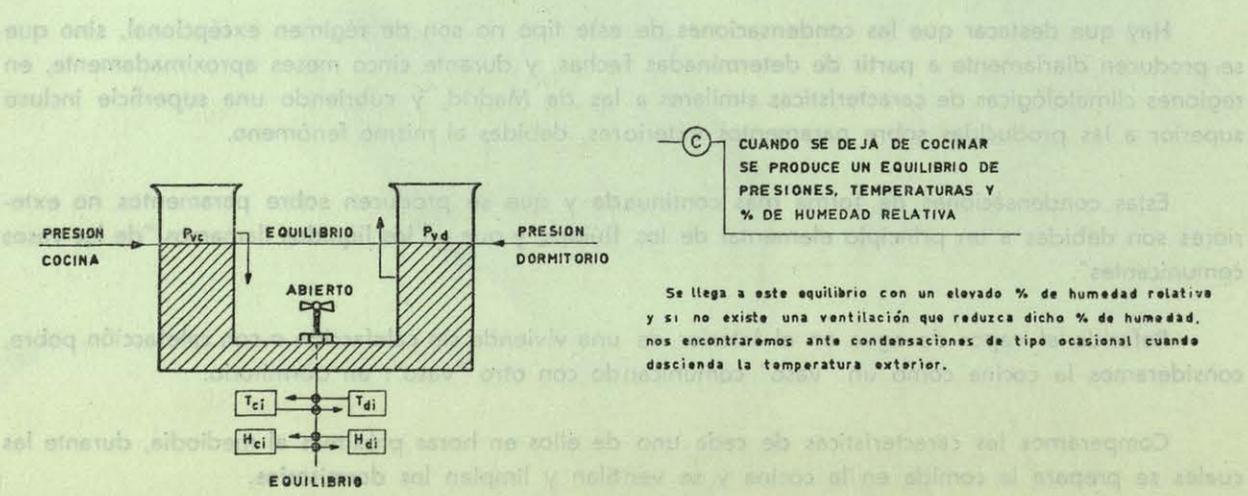
VAPOR de AGUA de la COCINA QUE POR DIFERENCIA de PRESION CON EL DEL DORMITORIO TIENDE HACIA EL. SUCEDE

- 1-PIERDE TEMPERATURA. $\lim T_{ci} = T_{di}$
- 2-AL DISMINUIR LA TEMPERATURA DISMINUYE LA PRESION.
- 3-AL DISMINUIR LA PRESION AUMENTA SU VOLUMEN.

EL VAPOR de AGUA a 15.477 mm/Hg SE REDUCE A 11.987 mm/Hg
 80% — AUMENTA — 110%

SE LLEGA A LA SOBRESATURACION

Es en este momento cuando se producen las condensaciones sobre paramentos medianeros y techos



(C) CUANDO SE DEJA DE COCINAR SE PRODUCE UN EQUILIBRIO DE PRESIONES, TEMPERATURAS Y % DE HUMEDAD RELATIVA

Se llega a este equilibrio con un elevado % de humedad relativa y si no existe una ventilación que reduzca dicho % de humedad, nos encontraremos ante condensaciones de tipo ocasional cuando descienda la temperatura exterior.

ESTUDIO TEORICO-PRACTICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES QUE PUEDEN EXISTIR Y DEDUCCION DE LA FORMA DE EVITAR QUE SE PRODUZCAN.

Es indudable que los factores que influyen en la formación de las condensaciones superficiales son muy variados, pero siempre intervienen los mismos, ya que en cuanto uno de ellos estuviera ausente de una manera absoluta, no se daría el fenómeno. El que aparezcan en distintas condiciones o circunstancias es sólo aparente, y se debe exclusivamente a que predomine uno u otro factor.

La totalidad de los factores a tener en cuenta son:

N1 T_e = Temperatura exterior en °C.

N2 T_i = Temperatura interior en °C.

N3 T_{pi} = Temperatura superficial en °C de la pared interior del muro.

$\frac{1}{K}$ = Coeficiente de resistencia térmica en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

N4 K = Coeficiente de conductancia térmica en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

α_c = Coeficiente de transmisión térmica superficial por convección en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

α_r = Coeficiente de transmisión térmica superficial por radiación en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

N5 $\alpha_i = \alpha_{ci} + \alpha_{ri}$ = Coeficiente de transmisión térmica superficial interior en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

N6 $\alpha_e = \alpha_{ce} + \alpha_{re}$ = Coeficiente de transmisión térmica superficial exterior en $\frac{Kcal}{m^2 h ^\circ C}$

N7 W_i = Cantidad de vapor de agua contenido en un m^3 de aire interior a T_i °C.

N8 W_e = Cantidad de vapor de agua contenido en un m^3 de aire exterior a T_e °C.

N9 u = Valor medio de la producción de vapor en el interior de la vivienda, en $g./m^3 h.$

N10 Porosidad de los materiales, es decir, permeabilidad de los mismos al agua y al vapor.

N11 Orientación del muro con respecto a los vientos predominantes y su situación en el complejo urbanístico.

Matemáticamente hablando, estos 11 grupos de elementos se pueden reunir en la forma combinatoria apropiada, siendo N1, N2, N3..., el número de valores de cada grupo y estando anotado este número dentro de márgenes admitidos como razonables.

El número de condensaciones que se diferencian entre sí, por lo menos en un elemento, sería prácticamente infinito, y por ello este razonamiento matemático puro tiene en la práctica una forma muy diferente.

Nosotros vamos a relacionar grupos entre sí:

Cuando hace viento N. baja la temperatura T_e y los habitantes de la casa tienden a subir, con sus medios, la temperatura T_i .

Cuando "u" aumenta, W_i aumenta también, y al mismo tiempo T_i .

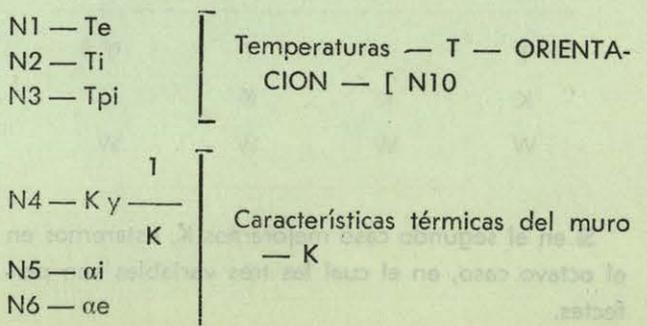
Al aumentar T_i aumenta T_{pi} , sin que varíen α_i y α_e .

Luego nos encontramos con unos elementos relacionados entre sí que giran alrededor de K, T y W, es decir, coeficientes térmicos, temperaturas y cantidad de vapor de agua.

Estos elementos son:

$$\frac{1}{K}, T, T_i, T_{pi}, \alpha_i, \alpha_e, W_i, W_e, u, T_e.$$

Pero dentro de ellos podemos agruparlos por su mayor afinidad entre sí con relación al resto. De esta forma:



N7 — W_i
 N8 — W_e
 N9 — u

Cantidad de vapor de agua
 — W POROSIDAD — [N11

Y precisamente cuando uno de los tres aumenta o disminuye da origen a uno de los siete únicos casos auténticamente diferentes de condensaciones superficiales, siendo el octavo aquel en el que no se producen y que consideramos como óptimo.

A continuación vamos a ver cada uno de estos casos, razonándolos y dando un ejemplo de cada uno de ellos.

En estos ejemplos damos valores no arbitrarios, sino tomados de casos reales y señalando los casos más frecuentes.

La letra incluída dentro de un círculo indica el elemento que no cumple buenas condiciones, y se precisa con una flecha cuál es el que más influye.

Anotamos W_i como límite máximo de cantidad de vapor de agua a temperatura T_i , aproximada en menos de 1 % al W_i , que se consideraría con temperatura de rocío T_{pi} .

De los siete casos estudiados, en dos no se producen condensaciones (en los casos primero y cuarto), siendo precisamente los únicos que tienen como dictamen: "no es corriente", y como indicaciones: "vivienda poco ocupada" y "vivienda no ocupada". Precisamente uno de los máximos problemas es el excesivo uso que se hace de la vivienda; luego podemos apartar estos dos casos.

De los cinco casos restantes, en el quinto caso indicamos: "no es propio de vivienda; sí en fábricas y talleres"; dictaminamos: "menos corriente". Es decir, no descartamos la posibilidad de que se pueda dar en vivienda, pero en circunstancias muy especiales.

Los otros cuatro casos son típicos en las actuales viviendas, y vamos a compararlos entre sí para obtener alguna indicación que nos permita aproximarnos a la solución:

Segundo caso	Tercer caso	Sexto caso	Séptimo caso
T	T	T	T
K	K	K	K
W	W	W	W

Si en el segundo caso mejoramos K, estaremos en el octavo caso, en el cual las tres variables son perfectas.

Segundo caso.—Mejoramos K:

Tomamos el valor de $K = 1,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$. (El valor de K en el segundo caso es: $K = 1,8 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$).

$$T \begin{cases} T_i = + 15^\circ \\ T_e = - 3^\circ \\ T_{pi} = + 8,7^\circ \end{cases}$$

$$K \begin{cases} K = 1,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \\ \alpha_i = 4 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \end{cases}$$

$$W \begin{cases} W_i = 60 \% \\ W_i' = 67 \% \end{cases}$$

Es decir, mientras W_i no llegue a sobrepasar a W_i' , no se producen condensaciones superficiales.

Si en el tercer caso mejoramos W, estaremos también en el octavo caso, y exactamente con el mismo ejemplo del segundo caso, puesto que nos basta hacer descender el valor de W_i del 85 % al 60 %.

Estas mejoras de los casos segundo y tercero se traducen prácticamente en:

Segundo caso: $\left[\begin{array}{l} \text{Mejorar K} \text{ — Disminuir el coeficiente de conductancia térmica del muro.} \\ \text{Mejorar W} \text{ — Ventilar, es decir, disminuir el \% de vapor de agua.} \end{array} \right.$

Refiriéndonos al sexto caso, vemos que si mejoramos únicamente K nos encontramos en el tercer caso, y si mejoramos sólo W será el segundo caso; luego es indudable que habrá que mejorar K y W al mismo tiempo, lo que se traduce en:

Sexto caso: $\left[\begin{array}{l} \text{Mejorar K} \text{ — Disminuir coeficiente de conductancia térmica del muro.} \\ \text{Mejorar W} \text{ — Ventilar.} \end{array} \right.$

Es decir, que hace falta mejorar las dos variantes al mismo tiempo para asegurar que no se produzcan las condensaciones superficiales.

1º CASO

(T) CALEFACCION POBRE,
BUEN K EN MURO, PEQUEÑO W.
K NO ES CORRIENTE.
W INDICA: FALTA DE CALEFACCION,
VIVIENDA POCO OCUPADA.

(T) $T_i = +12^\circ$
 $T_e = -5^\circ$
 $T_{pi} = +6^\circ$ ←
K $K = 1,41 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
W $W_i = 60\%$
 $W' = 66\%$

2º CASO

T CALEFACCION ECONOMICA,
K DEL MURO: REGULAR,
W PEQUEÑO.
(K) MUY CORRIENTE.
W INDICA: FALTA DE AISLAMIENTO
TERMICO.

T $T_i = +15^\circ$
 $T_e = -3^\circ$
 $T_{pi} = +6,9^\circ$ ←
(K) $K = 1,8 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
W $W_i = 60\%$
 $W' = 56\%$

3º CASO

T CALEFACCION ECONOMICA,
K DEL MURO: ACEPTABLE,
W GRANDE.
K MUY CORRIENTE.
(W) INDICA: EXCESO DE PERSONAS
EN LA VIVIENDA.

T $T_i = +15^\circ$
 $T_e = -3^\circ$
 $T_{pi} = +8,7^\circ$ ←
K $K = 1,4 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
(W) $W_i = 85\%$
 $W' = 67\%$

4º CASO

(T) CALEFACCION POBRE,
K DEL MURO: REGULAR.
W PEQUEÑO.
(K) NO ES CORRIENTE.
W INDICA: VIVIENDA
NO OCUPADA.

(T) $T_i = +12^\circ$
 $T_e = -5^\circ$
 $T_{pi} = +4,35^\circ$ ←
(K) $K = 1,8 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
W $W_i = 30\%$
 $W' = 59\%$

5º CASO

(T) CALEFACCION POBRE,
 K DEL MURO: ACEPTABLE.
 W GRANDE.
 K MENOS CORRIENTE.
 (W) INDICA: FABRICAS Y TALLERES.
 NO ES PROPIO DE VIVIENDAS.

(T) $T_i = +12^\circ$
 $T_e = -5^\circ$
 $T_{pi} = +6,05^\circ$ ←
 K $K = 1,4 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
 (W) $W_i = 85\%$
 $W'_i = 67\%$

6º CASO

(T) CALEFACCION ECONOMICA.
 K DEL MURO: REGULAR.
 W ALTO.
 (K) MUY CORRIENTE.
 (W) INDICA: FALTA DE AISLA-
 MIENTO TERMICO, OCUPA-
 CION EXCESIVA, INCLUSO
 CALEFACCION DE GAS
 BUTANO.

(T) $T_i = +15^\circ$
 $T_e = -3^\circ$
 $T_{pi} = +6,9^\circ$ ←
 (K) $K = 1,8 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$
 $\alpha_i = 4$
 (W) $W_i = 85\%$ ←
 $W'_i = 56\%$

7º CASO

(T) CALEFACCION POBRE.
 K DEL MURO: REGULAR.
 W GRANDE.
 (K) ES EL MAS CORRIENTE.
 (W) INDICA: FALTA DE AISLA-
 MIENTO, OCUPACION EX-
 CESIVA, SIN MEDIOS DE
 CALEFACCION.

(T) $T_i = +12^\circ$
 $T_e = -5^\circ$
 $T_{pi} = +4,35^\circ$ ←
 (K) $K = 1,8 \frac{\text{Kcal.}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$ ←
 $\alpha_i = 4$
 (W) $W_i = 85\%$ ←
 $W'_i = 60\%$

Para el séptimo caso no hay dudas posibles, ya que habrá que mejorar K, W y T para llegar al octavo caso, en el cual no se producen las condensaciones.

Deducimos de esto que para evitar las condensaciones superficiales hay que realizar un cuidadoso estudio de las condiciones de la vivienda, siendo necesario medir con los aparatos correspondientes las temperaturas interior y exterior, la cantidad de vapor de agua contenida en el interior y el coeficiente térmico del muro. A la vista de estos datos podremos clasificarlos y enmarcarlos en alguno de los ocho casos, con lo cual sabremos inmediatamente las mejoras a realizar.

Por lo que afirmamos que a priori es imposible dar una solución perfecta, y, sin embargo, lo normal es oír frases como estas tres:

"El problema de condensaciones no existe si hay calefacción."

"El problema de las condensaciones se debe a falta de aislamientos térmicos."

"El problema de las condensaciones es un problema de ventilación."

También es frecuente oír cómo gran número de personas atribuyen el origen de las condensaciones superficiales a la chamberga, o cola usada por los pintores para preparar las superficies a pintar. Contestamos a esta cuestión en el estudio siguiente:

INFLUENCIA DE LA POROSIDAD DEL MURO EN LA FORMACION DE LAS HUMEDADES DE CONDENSACION. SOLUCIONES QUE SE PUEDEN ADOPTAR.

Ante lo expuesto, parece ser que el problema de las condensaciones no ofrece más dificultades. Sin embargo, existe un problema de suma importancia y que, de no tenerse en cuenta, nos produciría condensaciones, primeramente en el interior del muro, para ir a continuación, y de un forma progresiva, avanzando hacia la superficie interior, hasta llegar a ella, donde se producirían las condensaciones superficiales, a pesar de que las tres variables, T, K y W, hayan sido estudiadas con todo cuidado y se encuentren dentro del octavo caso.

Este problema es debido a la porosidad de los materiales que componen el muro, o dicho de otra forma: a la permeabilidad al vapor de agua de los materiales usados corrientemente en la construcción de muros.

El 99 % de los materiales usados en la construcción presentan poros más o menos grandes, a través de los cuales puede infiltrarse el vapor de agua. A medida que penetra en el interior del muro, la temperatura de éste va descendiendo, hasta llegar a

una equivalente a su temperatura de rocío, lo que hace que el vapor de agua se condense y pueda incluso cerrar los poros.

Para mejor comprender el problema damos a continuación un ejemplo. Sea el muro compuesto de:

	m.
1/2 pie de ladrillo macizo.	0,12
Cámara de aire	0,05
Aislante	0,05
Tabique de ladrillo h/s ...	0,05
Yeso	0,02
Muro.....	0,29

Su coeficiente K es igual a $0,4305 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$,

mándose para α_i el valor de $7 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$ y conside-

rando una $T_i = +15^\circ$ y una $T_e = -3^\circ$, siendo $W_i = 70 \%$. Luego estamos claramente en el octavo caso, en el que las tres variables son perfectas.

Con estas condiciones, dibujamos el diagrama de temperaturas, siendo la temperatura superficial de la pared interior: $T_{pi} = 13,92^\circ$

Con $T_{pi} = 13,92^\circ$ se producirán condensaciones superficiales cuando en el aire interior exista un 94 % de vapor de agua a una temperatura $T_i = 15^\circ$. Es decir, el margen de seguridad de W es muy elevado, pues hasta que no llegue a un 94 % no habrá condensaciones superficiales.

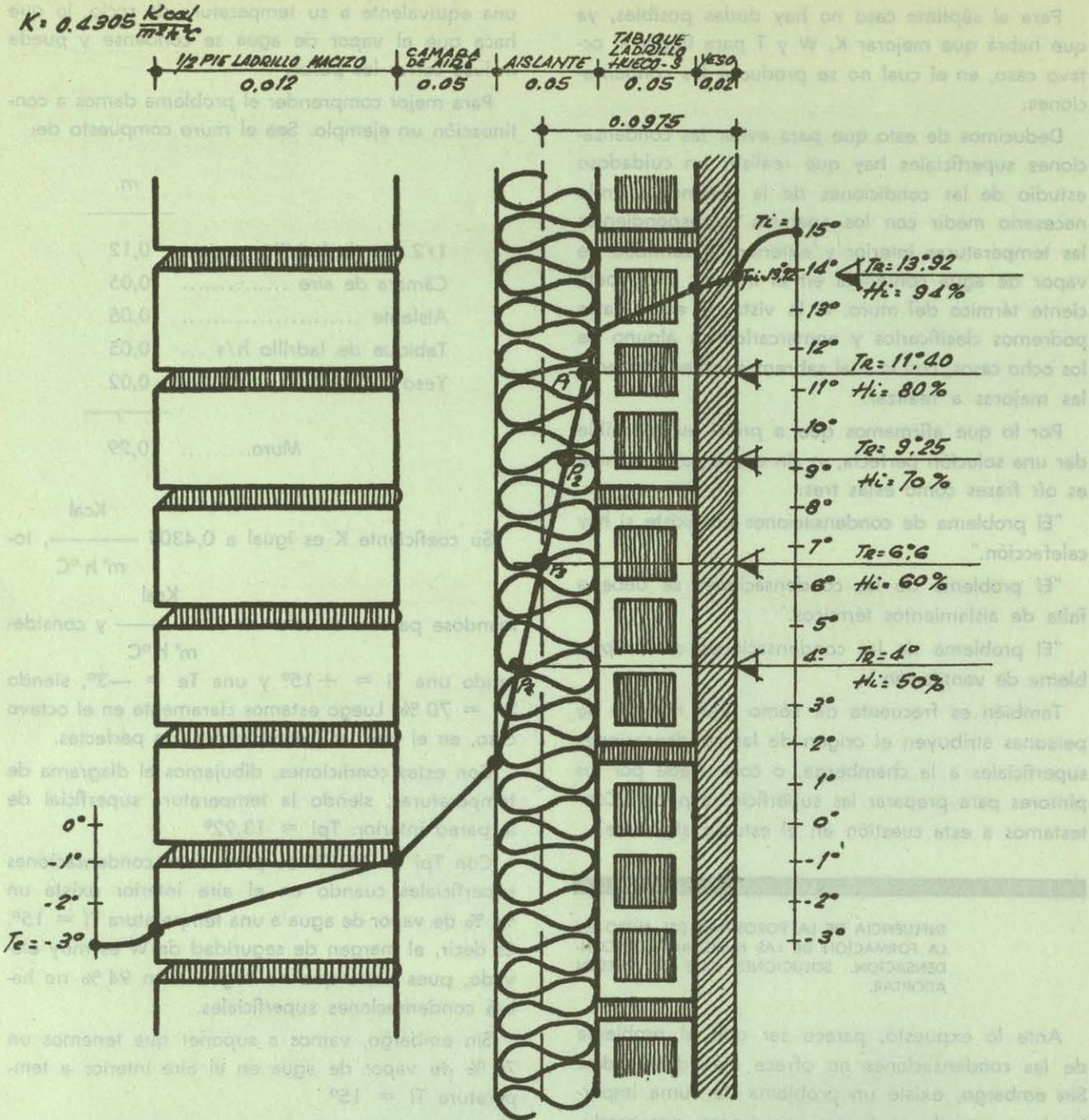
Sin embargo, vamos a suponer que tenemos un 70 % de vapor de agua en el aire interior a temperatura $T_i = 15^\circ$

Como el yeso y el ladrillo hueco sencillo son materiales porosos, y suponemos que el aislante es fibra de vidrio, este 70 % de vapor penetrará a través de los poros hasta llegar al punto P2, de temperatura $T_{p2} = +9,25^\circ$, temperatura de rocío de un 70 % de vapor a $T_i = 15^\circ$, con lo cual inmediatamente se condensará en los poros, formando una barrera de poros obstruidos, de tal forma que el vapor de agua, que sigue penetrando en el muro, se condensa por tensión molecular, debido a la gran diferencia de masas existente entre las gotas microscópicas del vapor que penetra y el agua ocluida en los poros.

De esta forma el agua va rellenando poros hasta que aparece en la superficie de la pared interior.

Consecuencia del estado de humedad al que ha llegado el muro es la pérdida de parte de sus características térmicas, por lo que en la superficie

$$K = 0.4305 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ \text{C}}$$



interior tendremos temperaturas muy cercanas a la T_{p2} , y como a esta temperatura se condensa el 70 % de vapor a $T_i = 15^\circ$, las condensaciones las tendremos de forma regular en la superficie.

Con lo cual demostramos que se pueden producir condensaciones superficiales a pesar de ser las tres variables T , K y W perfectas.

Ante este nuevo problema podemos adoptar dos soluciones: la primera consiste en disponer cámaras ventiladas en comunicación con el exterior, en ciclo completo, y la segunda en colocar en la superficie

interior, o lo más cerca posible, una barrera de vapor de agua, es decir, un material impermeable al mismo.

La primera solución la desechamos debido a la dificultad que implica el hacer circular el aire exterior por la cámara, sin que ésta experimente un descenso de temperatura.

Tomamos como óptima la segunda solución y pasamos a estudiar los diferentes materiales, impermeables al vapor de agua, que se pueden usar.

Consideramos como óptimas las barreras de vapor formadas con láminas metálicas, siendo las más co-

rrientes las de aluminio, cobre y acero. Se están empezando a usar en la actualidad láminas de estaño incorporadas en una de las caras de aislante térmico.

El vidrio puede ser incluido dentro de los materiales impermeables al vapor de agua, aunque no se emplee por su fragilidad.

Son también excelentes barreras de vapor algunas pinturas plásticas. Entre éstas hemos podido comprobar con excelentes resultados la marca CROMOTONE, que además de ésta tiene otras ventajas en

relación con las condensaciones y que veremos en otros estudios.

Los asfaltos aplicados en caliente son aceptables barreras de vapor.

De las dos soluciones damos unos esquemas del comportamiento del vapor de agua con respecto al muro.

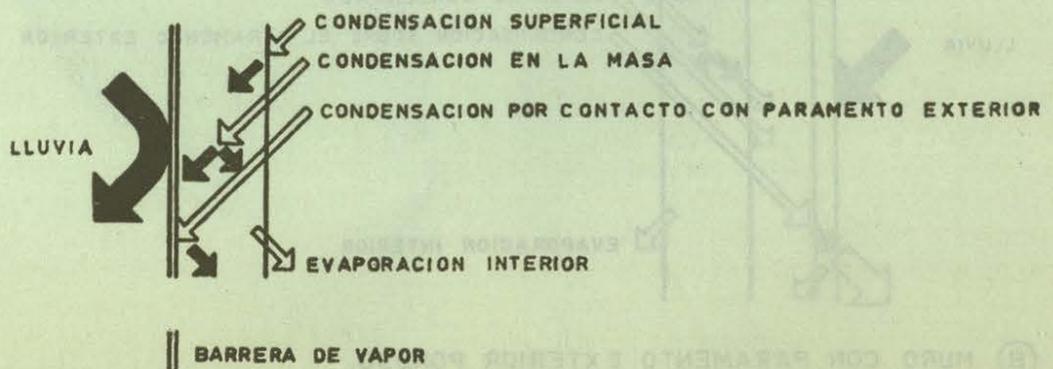
Encabezamos estos esquemas con el del mecanismo de humidificación y secado de un muro macizo tradicional.

(Continuará.)

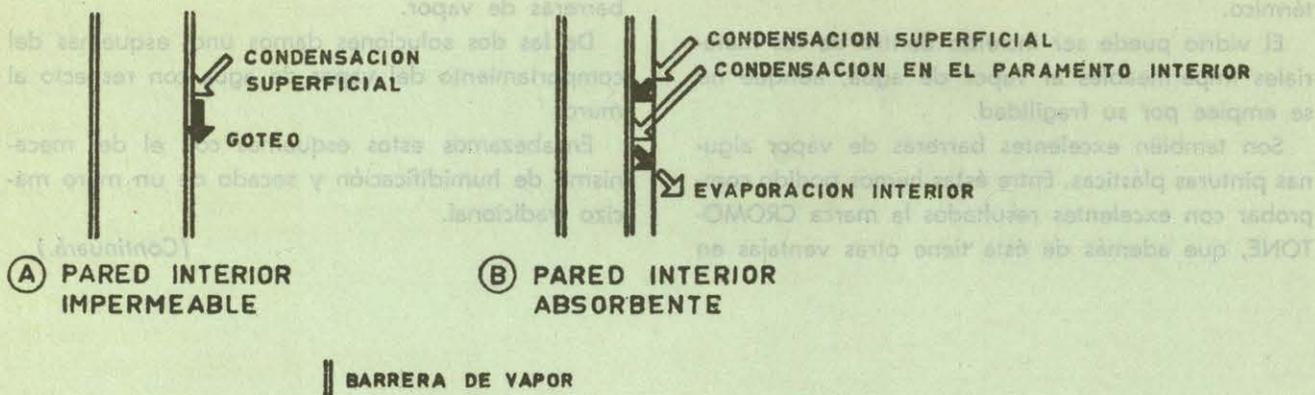
1 MECANISMO DE HUMIDIFICACION Y SECADO DE UN MURO MACIZO.



2 MURO SIN TRASPIRACION.



3 MURO SIN TRASPIRACION CON BARRERA TOTAL DE VAPOR.



4 MURO POROSO CON CAMARA DE AIRE VENTILADA.

