

VENTANAS

VI

Arquitectos: Enrique Lantero
Damián Galmés

La ventana como agente térmico.—En invierno el cristal de la ventana es una superficie fría que absorbe el calor radiante de cuantos objetos le rodean, a través de sus juntas, aunque sean perfectas, permite el paso del aire frío, con la consiguiente pérdida de calorías, y por conductibilidad enfría el aire interior. Además de estos efectos, el frente frío del cristal origina condensaciones de la humedad del aire interior. Este es, en esquema, el comportamiento de una ventana en invierno.

En verano, y especialmente en aquellos locales que están

servidos por un clima artificial, el comportamiento es a la inversa. El cristal irradia calor, calienta por conductibilidad el aire interior más fresco y permite el paso de los rayos infrarrojos del sol, si no se toman medidas para evitarlo.

Comportamiento del cristal como agente térmico.—El cristal es un sólido que, como las paredes que le rodean, tiene gran poder de radiación y transmisión del calor. La diferencia entre el comportamiento térmico del muro y del cristal, se basa fundamentalmente en la diferencia de espesores con que se utilizan. Esto hace que en el cristal todos los fenómenos sean más rápidos y más intensos.

Si en un edificio no se tratara de lograr más que un aislamiento térmico perfecto, hace tiempo se habrían suprimido las ventanas. Pero hay que servir otras funciones de importancia, y esto nos obliga a continuar utilizando el cristal, a pesar de ser un medio aislante detestable y sacar el mejor partido de sus características.

Por mala que sea la calidad y ejecución de un muro de fábrica, proporciona un cierto aislamiento que puede mejorarse siempre, pero el frente de cristal de una ventana, por mucho que se mejore, siempre será peor aislante que cualquier muro.

Se han empleado muchos expedientes para evitar la pérdida de calor a través de las ventanas. Uno de los más socorridos es el empleo de cortinas. En efecto, una buena cortina impide la radiación del calor desde los cuerpos calientes al cristal frío; pero para que la cortina cumpla esta función, debe estar corrida, y así impide el paso de la luz y anula una de las funciones principales de la ventana.

La solución más práctica del problema en su conjunto es el empleo del doble cristal o de la ventana de bastidor doble.

Si consideramos un clima frío en el que se supone una temperatura interior en la habitación de 20 grados y una exterior de cinco grados bajo cero, la cara interior de una ventana con cristal sencillo tendrá una temperatura aproximada de cinco grados; pero, si se emplea doble cristal con cámara de aire de cinco milímetros, esta temperatura se eleva a 15 grados.

Con este sistema se reducen las corrientes, la absorción de calor radiante y se dificulta extraordinariamente la formación de condensaciones. En verano se retrasa la transmisión del calor exterior al ambiente interior, y al ser la cara interna del cristal más fría absorbe calor radiante de los objetos de la habitación.

La utilización de este sistema trae consigo el estudio de los problemas que crea la cámara de aire. Estos problemas son fundamentalmente tres:

1. Dimensión óptima de la cámara.
2. Limpieza del polvo que en ella se deposita.
3. Recogida del agua de condensación que se deposita en el más frío de los dos cristales.

En cuanto a la dimensión de la cámara de aire, su poder aislante varía con la temperatura del aire comprendido entre los cristales y con la distancia entre ellos.

La limpieza del polvo que se deposita en la cámara es cuestión difícil de resolver, salvo en el caso de dos bastidores independientes que se separan para la limpieza del cristal.

La recogida del agua de condensación tiene gran importancia, pues esta humedad si no hay modo de evacuarla puede llegar a destrozarse no sólo los bastidores, sino también el muro de antepecho. Puede resolverse indirectamente evitando que se forme la condensación. Para ello basta con que la cámara de aire esté ventilada al exterior, y así su humedad relativa será la misma que la del aire frío y, por lo tanto, nunca llegará al punto de rocío. Esta solución no es aplicable en los locales que tienen clima artificial durante todo el año, pues al invertirse la distribución de temperatura en verano el sistema no funcionaría.

Para resolver este caso se fabrican hoy unos bastidores con dos o más cristales, con cámara de aire entre cada pareja, en la que el aire va previamente desecado y el conjunto sellado, de modo que la cámara no tenga contacto con el aire

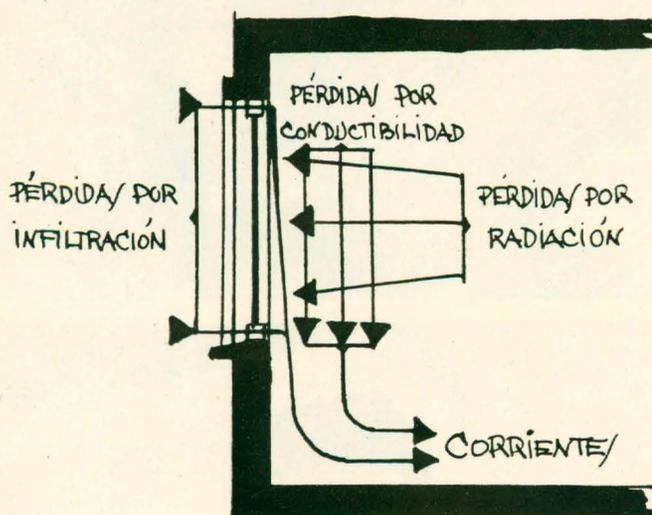


FIG. 51.—Esquema de las pérdidas de calor que origina la ventana en invierno: radiación, conductibilidad e infiltración; estas dos últimas dan lugar a corrientes frías dentro de la habitación.

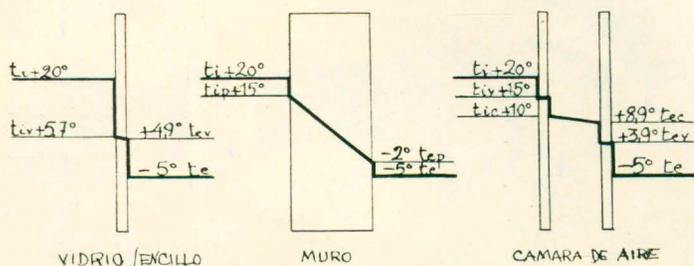


FIG. 52.—Esquemas de transmisión del calor a través de ventanas con cristal sencillo, cámara de aire y un muro. Es importante que la temperatura de la cara interior del vidrio (t_{iv}) sea lo más alta posible, pues así será menor la radiación de calor a esta superficie (proporcional a la diferencia de temperaturas) y menor también la transmisión de calor del cristal al aire, disminuyendo las corrientes. Cuanto mayor sea esta temperatura menor será la posibilidad de condensaciones.

exterior. En estos bastidores no existe ni el problema del polvo ni el de condensaciones en la cámara de aire. Estos bastidores para su empleo se manejan como un solo cristal de mayor grueso.

Otra de las características del cristal es que permite el paso de radiaciones infrarrojas, que son las portadoras del calor. Esto es agradable en el invierno, pero en verano debe evitarse en la mayoría de los casos.

La manera más práctica de impedir el paso de las radiaciones infrarrojas en verano y, sin embargo, dejarlas pasar en invierno, es defender la ventana con una visera dimensionada de tal forma, que impida el paso de los rayos más verticales del sol veraniego y, sin embargo, permita el paso de los rayos más horizontales del sol invernal. Otras soluciones son el empleo de persianas de tablillas orientables (venecianas) o de rompesoles.

Durante la guerra mundial, en las torres de mando de los aerodromos situados en países tropicales, se presentaba el problema de permitir la mayor visibilidad horizontal y vertical sin que el empleado que las ocupaba quedase achicharrado por el sol. Para resolver este problema se desarrolló un nuevo tipo de cristal que absorbe la mayoría de los rayos infrarrojos y, sin embargo, deja pasar la mayor parte de la luz. Esta solución factible en épocas de guerra resulta antieconómica para su aplicación normal.

Otra solución empleada en climas cálidos son las ventanas defendidas por un cajón de fábrica que sale hacia el exterior y va cerrado en sus dos extremos con bastidores de cristal. El aire comprendido entre los dos bastidores actúa como cámara aislante, y la parte de él que se calienta por radiación directa se elimina por un montante de ventilación y se sustituye por otro montante bajo en el bastidor interior que da salida al aire recalentado de la habitación. De este modo se obtiene una cámara de aire aislante y una renovación constante del aire de la habitación.

Modernamente se han hecho experimentos en la Universidad de Purdue, en los Estados Unidos, para lograr un tipo de cristal que sustituya a todos los sistemas explicados.

El sistema se basa en la fabricación de un cristal en cuyo interior quedan embebidas una serie de películas semitranslúcidas de metal que actúan como reflectores de la radiación directa. Este tipo de cristal reduciría con mucho las pérdidas por radiación directa, pero impediría el paso del sol, y la realidad es que sus inconvenientes equilibran a sus ventajas.

En relación con el paso a través del cristal de las radiaciones infrarrojas, surge la idea de si estas radiaciones no serían aprovechables para aliviar el consumo en la calefacción invernal. La cuestión se plantea porque el sol de verano puede ser fácilmente eliminable y, sin embargo, disfrutar plenamente de un soleamiento invernal. Pero paralelamente a este hecho surge la duda de si por un lado el calor de radiación solar compensará la pérdida por radiación que determina la mayor superficie de ventana, y por otro lado, de si esta adquisición de calorías es suficiente, teniendo en cuenta que por la noche el sistema no funciona y que al cabo del invierno son muchos los días nublados. Planteada la cosa en estos términos, la respuesta sólo puede ser el fruto de experimentos.

Recientemente un estudiante de la Universidad de Columbia, Henry Fagin, tomó este tema para su tesis doctoral. Enfocaba el problema desde el punto de vista de que la transmisión del calor en un edificio se verificaba hacia dentro, mientras actuaba el sol sobre el vidrio, y hacia afuera cuando dejaba de actuar. La cuestión era decidir en qué sentido era mayor la circulación. Para sus experimentos Fagin construyó una casa en el paralelo 42, de clima análogo al de Nueva York, con la pared de mediodía completamente de vidrio, y según el resultado de sus experimentos y tomando como término medio un período de diez inviernos, demostró que ese tipo de casa era más económico en cuanto a la calefacción que si tuviese la pared completamente ciega.

Debe tenerse en cuenta que la casa así construída debe llevar como solado una losa de hormigón de bastante espe-

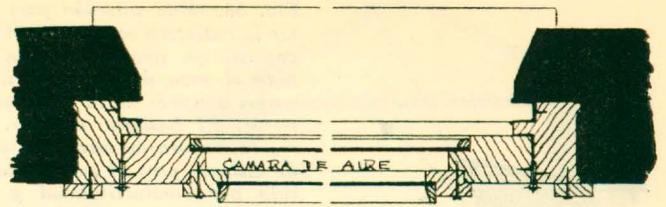


FIG. 53.—Ventana con cámara de aire conseguida mediante un bastidor suplementario atornillado sobre el bastidor móvil de la ventana.

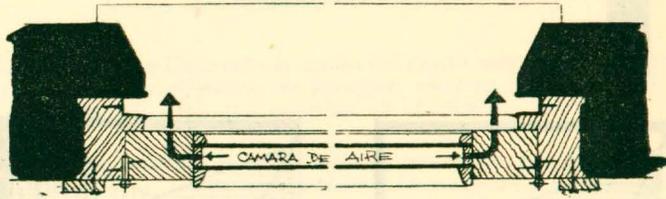


FIG. 54.—Ventana con cámara de aire formada por un solo bastidor con dos cristales. La cámara en este caso va ventilada al exterior, para evitar el peligro de condensaciones. La circulación de aire en la cámara disminuye algo el poder aislante, aunque poco. En el caso de locales que en verano tienen un sistema de refrigeración o clima artificial, este sistema no es válido, pues no es reversible.

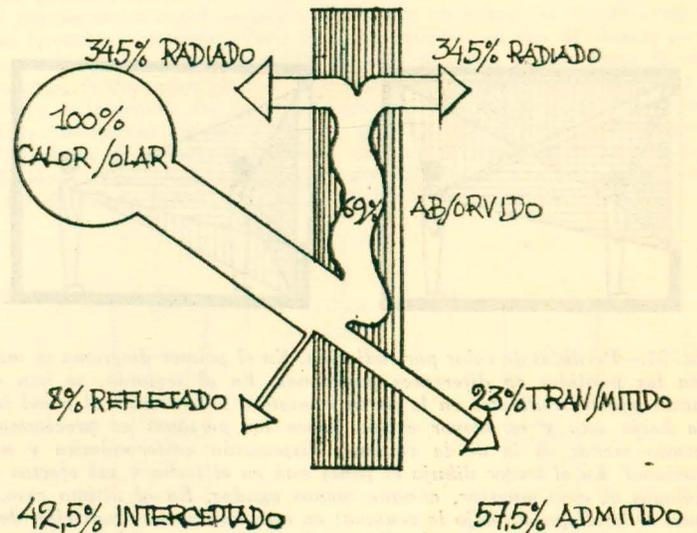


FIG. 55.—Compartimiento del cristal absorbente de rayos infrarrojos. Este tipo de cristal intercepta el 42.5 por 100 de los rayos caloríficos, y, sin embargo, permite el paso del 75 por 100 de la luz.

sor, que sirve de acumulador de radiaciones solares y como elemento radiante cuando el sol no actúa, y que las condiciones climatológicas varían de tal manera que lo que es válido para la casa experimental de Fagin puede no serlo en muchos otros sitios. El hecho en sí de utilizar consciente o inconscientemente la masa de fábrica de un edificio como acumulador y regulador del calor, ha sido observado ya desde hace tiempo en San Pedro, de Roma. Y un ejemplo típico es el clima suave y sin grandes oscilaciones de temperatura que se disfruta a orillas del mar.

Para apreciar el valor de estos estudios, nos faltan datos completos, pues si bien la base teórica es aceptable, a saber: que las ganancias y pérdidas de calor pueden considerarse como términos de distinto signo de una suma algebraica y hasta llegar a aceptar que al cabo del año la suma es positiva y por tanto las ganancias superiores a las pérdidas, no basta esto para aceptar como bueno el sistema. Sería neces-

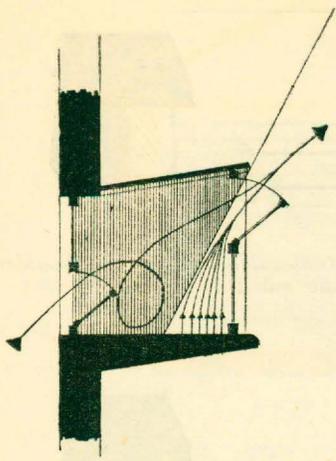


FIG. 56.—Esta solución para evitar la radiación en climas cálidos, consiste en una visera que impide el paso de los rayos infrarrojos a través de la ventana interior. El bastidor exterior cierra la cámara de aire, que actúa de aislante para el calor transmitido por conductibilidad y con el sistema de ventilación cruzada permite la salida del aire caliente interior, movimiento que se ve favorecido por la succión de la masa de aire de la cámara, que se calienta por radiación directa.

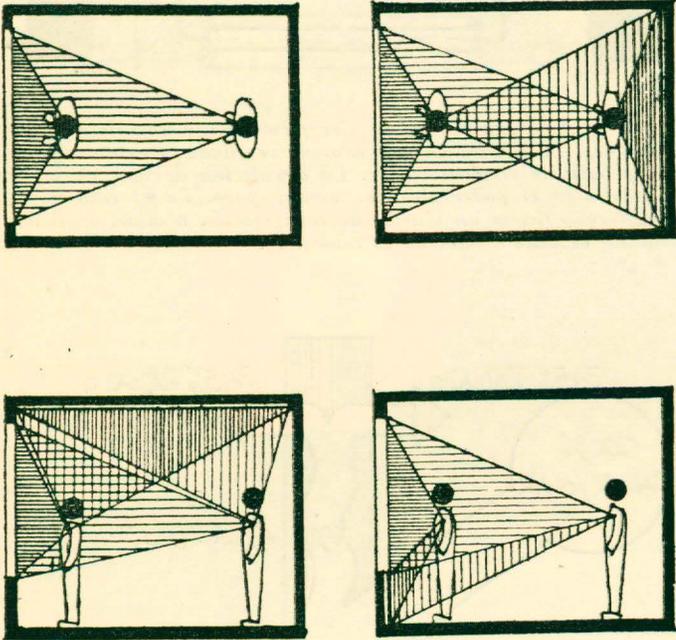


FIG. 57.—Pérdidas de calor por radiación. En el primer diagrama se muestran las pérdidas en diferentes posiciones. En el segundo, se han dispuesto paneles radiantes en la pared opuesta a la ventana; el panel irradia hacia ésta y su mayor acción sobre las personas es precisamente cuando menor es la de la ventana, disposición antieconómica y nada funcional. En el tercer dibujo el panel está en el techo y sus efectos son análogos al caso anterior, aunque menos agudos. En el último caso, el panel se ha dispuesto bajo la ventana; en este caso no hay radiación desde el panel al cristal, y la acción del panel aumenta a medida que aumenta la de la ventana. Esta disposición además crea una corriente ascendente de aire caliente, que defiende el contacto del aire interior con el frente frío del cristal y colabora para calentar el aire infiltrado.

rio que para cada día y noche del año, sea cual fuese la habitación de la vivienda que se considere y cualquiera la estación, esta desigualdad se verifique.

Si llamamos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ a las temperaturas deseables en cada habitación, y $\alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3, \dots$ a las temperaturas que realmente se consignan con la aplicación de este sistema, debe verificarse:

$$\left(\frac{\alpha'_1}{\alpha_1} - K\right) \left(\frac{\alpha'_2}{\alpha_2} - K\right) \left(\frac{\alpha'_3}{\alpha_3} - K\right) \dots \dots \dots (n > 0)$$

Siendo K la tolerancia admisible (puede tomarse el valor 0,9). La desigualdad escrita deja de verificarse en cuanto en cualquier habitación en un día determinado la temperatura conseguida es inferior a la proyectada en un 10 por 100.

Carecemos de datos exactos y amplios sobre este estudio, y por tanto, no sabemos si cumple o no estas condiciones, aunque dudamos que el poder acumulador de la losa sea bastante para hacer frente a los casos extremos. En cuanto a la economía también nos faltan datos para valorar el ahorro en

combustible, comparado con el aumento de coste al hacer la losa más gruesa de lo necesario, en un forjado de piso para aumentar su poder acumulador. Sin embargo, es evidente que la inercia calorífica del acumulador es grande y que el sistema de calefacción complementario deberá ser proyectado con amplitud suficiente para hacerse cargo de la calefacción total en un momento de cambio brusco.

Pérdidas de calor por radiación.—Visto el comportamiento del cristal como agente térmico, pasamos a estudiarlo como elemento colocado en la ventana de una habitación que ha sido caldeada para combatir el frío exterior.

La calefacción puede hacerse por convectores, aire caliente o paneles radiantes.

En los dos primeros casos, la distribución de calor se verifica por corrientes de convección (los radiadores son mucho más efectivos por las corrientes de convección que por radiación), pero en cualquiera de los dos la transmisión de calor se hace calentando el aire.

En estas condiciones, aunque la calefacción esté dispuesta de modo que el aire frío que pueda entrar en la habitación sea calentado o absorbido inmediatamente, el efecto fundamental de la ventana fría es que roba calor radiante de cuanto la rodea.

Para eliminar estas pérdidas de calor radiante parece lo más práctico el recurrir a un sistema de calefacción por paneles radiantes, que proporcionan precisamente el tipo de calor que la ventana absorbe. Así sería si la radiación de los paneles se dirigiese exclusivamente hacia las personas y objetos que hay en la habitación. Pero el frente frío de la ventana, por la gran diferencia de temperatura que existe entre ella y el panel, absorbería una cantidad grande de calor radiante, que irradiaría hacia el exterior en un 50 por 100. Esto hace que el sistema de calefacción por paneles radiantes resulte antieconómico si no se estudia cuidadosamente el emplazamiento de los paneles.

La cantidad de calor que un objeto o persona pierde por radiación a la ventana fría, siendo constante la diferencia de temperaturas entre las personas u objetos y el paramento interior del cristal, puede decirse que aproximadamente resulta proporcional al ángulo que, con vértice en la persona u objeto, subtiende la ventana. Y que la cantidad de calor que admite por radiación del panel sigue la misma ley. En estas condiciones, los diagramas que acompañan al texto nos demuestran que la colocación más eficaz del panel en el caso de grandes ventanales fríos es justamente debajo de ellos, ya sea en el paramento vertical del antepecho o en el paramento horizontal del suelo, inmediatamente debajo de la ventana. Esta superficie de panel puede ser dimensionada de manera que la radiación del panel hacia la persona u objeto anule la pérdida por radiación a la ventana.

En la mayoría de los casos, esta superficie de panel no será suficiente para la buena calefacción del local en su conjunto. Por otra parte, hemos visto que la colocación de paneles radiantes en otras posiciones distintas de la dicha resulta antieconómica. Y, por tanto, se deduce que el panel descrito, colocado de manera que, para cualquier posición de objeto o persona en la habitación, el calor perdido por radiación a la superficie de la ventana quede compensado por el calor de radiación ganado del panel, no puede ser más que una fuente suplementaria de calor, y que, por tanto, la habitación idealmente caldeada sería la que emplease un sistema de radiadores o aire caliente para dar al ambiente la temperatura adecuada y un sistema de paneles radiantes como el descrito, destinado exclusivamente a anular la pérdida por radiación a la ventana fría.

En cuanto a la colocación del panel debajo de la ventana, debe hacerse notar que el panel en el suelo dará mayor rendimiento, puesto que será mayor la cortina de aire calentado por conductibilidad, que defiende el frente frío de la ventana, y evitará las corrientes al calentar el aire frío que pueda penetrar por las juntas defectuosas de la ventana.

Pérdida de calor por infiltración.—La determinación de la superficie de cristal que debe llevar una ventana es función de la iluminación que deba proporcionar y de las vistas que a través de ella se quieran disfrutar.

Dada la superficie de cristal y las temperaturas de exterior e interior, que son siempre datos conocidos, la aplicación de unos coeficientes nos permite determinar exactamente la pérdida de calor a través del cristal, tanto por conductibilidad como por radiación (en este último caso, tener en cuenta la diferencia entre la temperatura de personas u objetos y la de la cara interior del cristal).

Pero hay otra causa de pérdidas de calor que no es tan fácil de medir. Esta es la pérdida de calor por infiltración del aire.

Por bien construída y colocada en obra que esté la ventana, sus juntas no son herméticas, y a través de ellas pasa un volumen de aire, que si es frío roba calor al ambiente interior, y si es caliente aumenta el número de frigorías necesarias para mantener la temperatura deseada.

El volumen de aire que penetra en una habitación en estas condiciones es muy variable, y las pérdidas de calor que origina oscilan entre el 30 y el 300 por 100 de las debidas a la conductibilidad en el mismo cristal.

El paso del aire a través de una ventana depende esencialmente de la diferencia de presión entre los ambientes exterior e interior. En segundo lugar, depende de las características constructivas de la ventana y, por último, de la mayor o menor perfección del recibido de cercos.

La diferencia de presiones es un dato de cálculo que varía con la velocidad del viento exterior o con la diferencia de velocidades si hay aire en movimiento en las dos caras de la ventana.

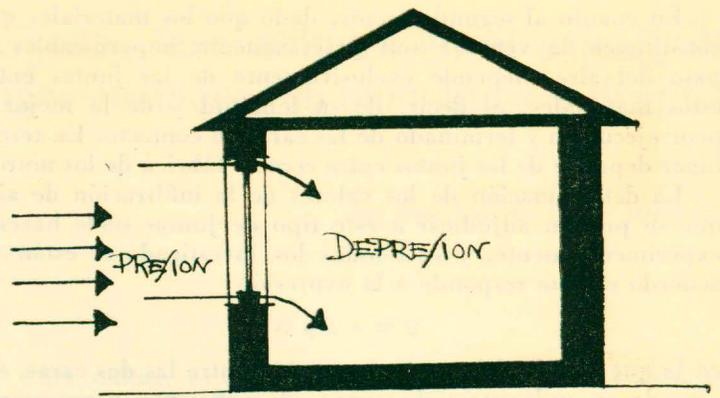
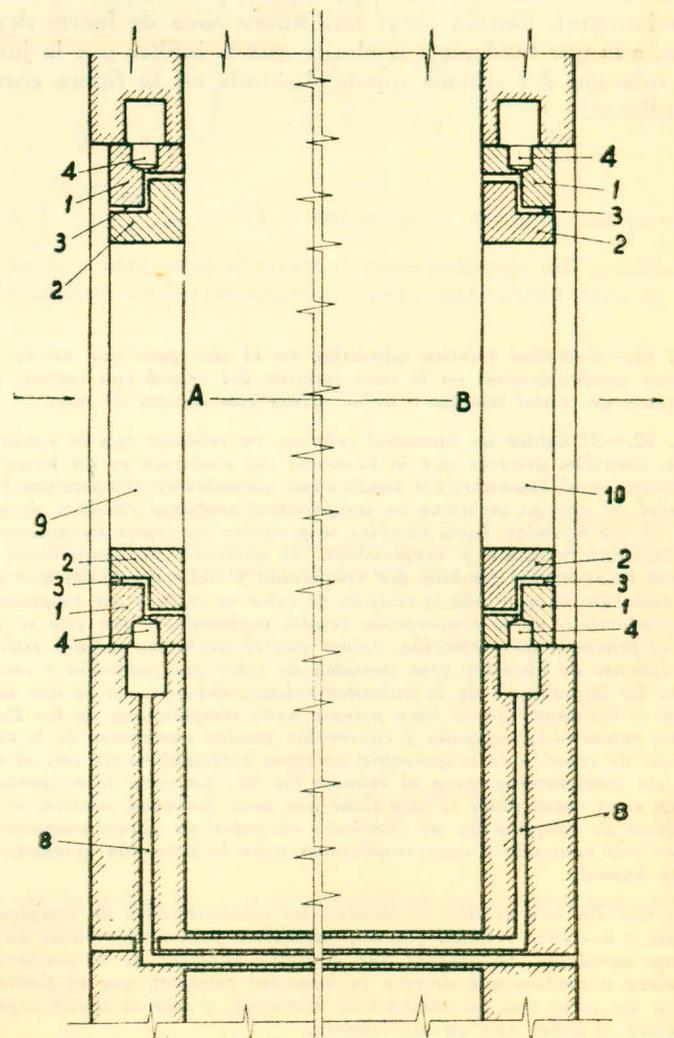
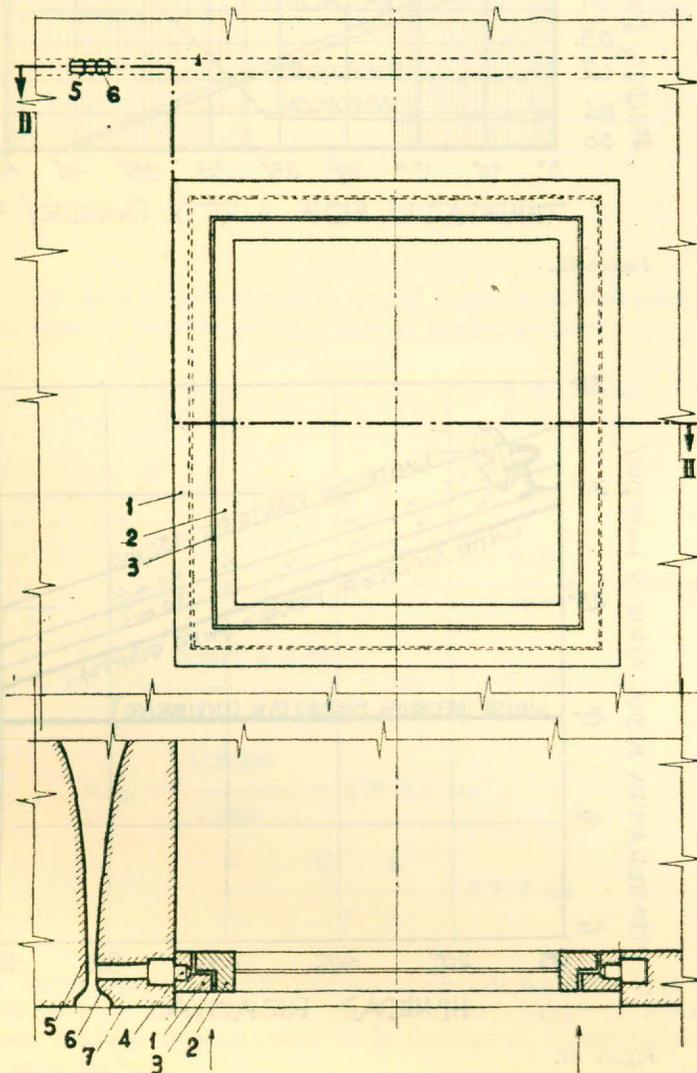


FIG. 58.—Esquema ilustrando la acción del viento sobre juntas que origina la infiltración. La diferencia de presiones entre la zona de presión y la de depresión, es el Δp que se utiliza en el cálculo.

FIGS. 59 y 60.—Sistema de juntas estanco, patentadas, por don Angel Gonzalez del Valle. 1, cerco; 2, bastidor; 3, junta móvil; 4, ensanchamiento; 5, garganta del tubo de Venturi; 6, boca del mismo; 7, paramento sobre el que actúa el viento. Esta patente se basa en que el aire exterior penetra por la junta de ventana debido a la diferencia de presión. Por lo tanto, si al aire que penetra se le ofrece un camino hacia una zona de menor presión que la que hay en la habitación, indudablemente seguirá ese camino, de menor resistencia. Para lograr esta fuerte depresión, el inventor dispone una serie de tomas en puntos diferentes de la junta, que conducen a un canal más amplio, marcado en la figura con el número 4, y este canal lo comunica con la garganta (5) de un tubo de Venturi, cuya boca (6) está en la cara accionada por el viento. En esta garganta la velocidad del viento produce una secreción que facilita el funcionamiento del conjunto. Todo esto en cuanto se refiere a las juntas laterales y superior. Para la junta inferior, la fig. 60 ilustra un sistema de tubos, que, dentro del forjado de piso, llegan hasta la pared opuesta, la depresión que en este lado produce la acción del viento sustituye a la acción del tubo de Venturi. Las ventanas del lado opuesto llevan el mismo sistema de tubos, que en este caso admiten el aire en la fachada de presión del viento, que va, a través de la parte exterior de juntas, hasta salir a la fachada del lado de depresión, originando, en caso de viento fuerte, una pequeña succión en la junta.



En cuanto al segundo factor, dado que los materiales que constituyen la ventana son prácticamente impermeables al paso del aire, depende exclusivamente de las juntas entre estos materiales, es decir, de su longitud y de la mejor o peor ejecución y terminado de las caras en contacto. En tercer lugar depende de las juntas entre cerco y fábrica de los muros.

La determinación de los valores de la infiltración de aire que se pueden adjudicar a este tipo de juntas suele hacerse experimentalmente, y casi todos los investigadores están de acuerdo en que responde a la expresión:

$$q = a \Delta p^{2/3}$$

en la que p es la diferencia de presión entre las dos caras, expresada en milímetros de agua; el coeficiente a representa el valor de la infiltración para una diferencia de presiones de un milímetro (que corresponde a la presión de un viento de cuatro metros por segundo normal a la superficie de la ventana) y expresa las características funcionales de la ventana.

Generalmente suele darse el valor del coeficiente a referido a la longitud total de junta móvil. Pero debe tenerse en cuenta que la infiltración puede tener también lugar por juntas de cristal y bastidor y por juntas de cerco y muro, y que, por tanto, sería más conveniente que el coeficiente a expresase el valor de la infiltración referido no sólo a junta móvil, sino a la totalidad de juntas, o mejor aún al metro cuadrado de ventana.

Para evitar las infiltraciones basta tener en cuenta que éstas dependen del factor a de ventana y de la diferencia de presión. Si consideramos el primer aspecto, para mejorar el comportamiento de la ventana bastará reducir el factor, es decir, aumentar la impermeabilidad de la junta, ya sea con perfiles de más íntimo contacto o con burletes que impidan el paso del aire. En cuanto al segundo aspecto, la diferencia de presiones es la base del sistema patentado por el señor González del Valle. Se basa en la consideración de que, si lo que hace penetrar al aire por la junta es la diferencia de presión entre el interior (Aire en reposo) y el exterior (Aire en movimiento), bastará crear una nueva zona de fuerte depresión, a la que tendería a ir el aire que se infiltra por la junta. La solución del sistema queda ilustrada en la figura correspondiente.

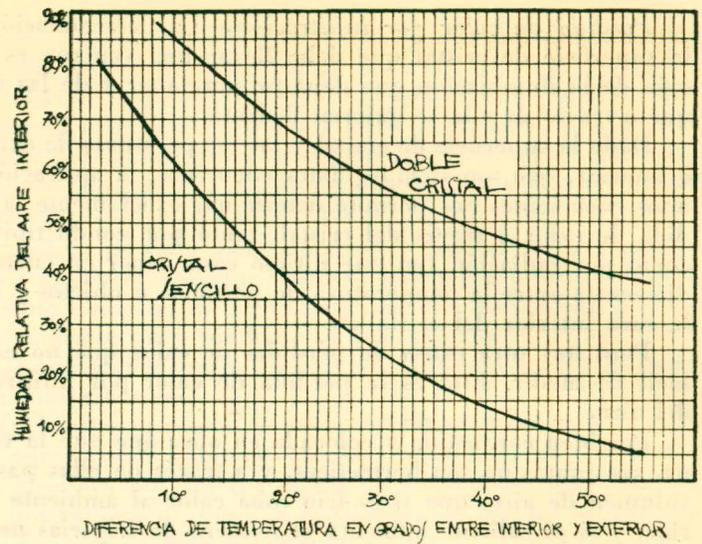


Figura 61.

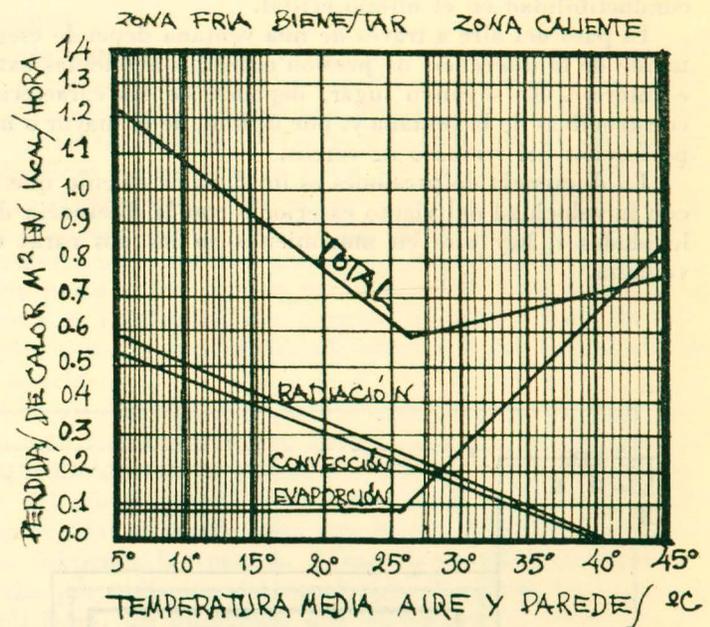


Figura 62.

FIG. 61.—Humedad relativa admisible en el aire para que no se produzcan condensaciones en la cara interior del cristal con curvas, para ventanas de cristal sencillo o doble cristal con cámara de aire.

FIG. 62.—Al hablar de humedad relativa, en relación con la condensación, conviene destacar que la humedad del ambiente es un factor importante en el bienestar. En condiciones normales de temperatura y actividad, el cuerpo mantiene su temperatura mediante cambios de calor con lo que le rodea. Estos cambios se producen mediante mecanismos de convección, radiación y evaporación. Al aumentar la temperatura ambiente decrecen los cambios por convección y radiación, hasta que llega un momento en que toda la emisión de calor se verifica por evaporación. El predominio de la evaporación resulta incómodo, y por ello se tiende, al proyectar la calefacción, cuidar que el aire y las paredes estén en condiciones de absorber gran cantidad de calor por radiación y convección. La importancia de la humedad relativa del aire, en lo que se refiere al bienestar, no se hace patente hasta temperaturas de los 25-30°. Hasta entonces la radiación y convección pueden encargarse de la eliminación de calor, y la evaporación no varía apreciablemente con el cambio de temperaturas, pero al rebasar los 30°, aumenta la evaporación. Si en estas condiciones el aire tiene una gran humedad relativa, el mecanismo de evaporación no funciona, el sudor no puede evaporarse y quien esté sometido a estas condiciones sufre la sensación agobiante del calor húmedo.

FIG. 63.—En este gráfico se ilustran las combinaciones de temperatura media y humedad relativa que son admisibles para proporcionar un ambiente agradable. Se observa que el límite superior de la temperatura se eleva a medida que decrece la humedad relativa; que el límite inferior no varía con los cambios de humedad, y que el límite superior se eleva al haber aire en movimiento.

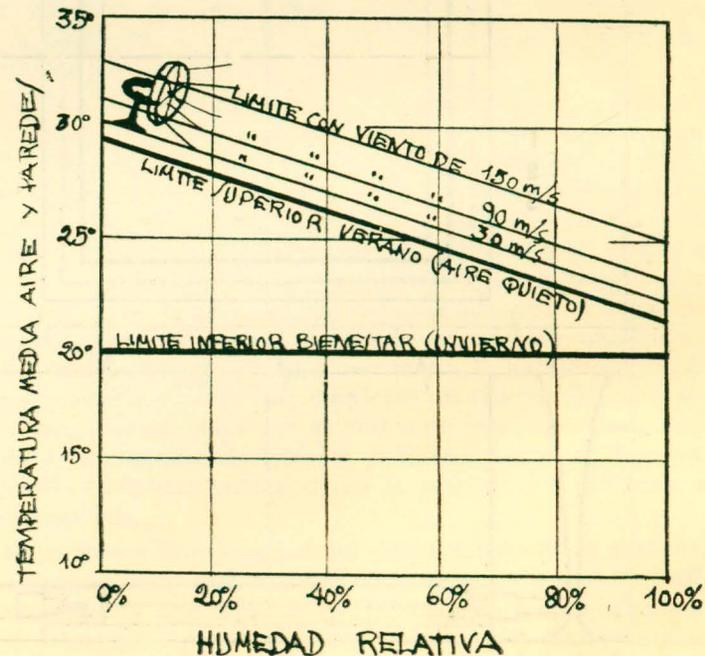


Figura 63.