

# EL ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE EN LOS TEATROS

Por Francisco Huertas, Ingeniero

En realidad, no existe ningún sistema especial para el acondicionamiento del aire en los teatros, resolviéndose este problema por los medios normales de que dispone la técnica frigorífica. El planteamiento del mismo, como su propia ejecución, queda influido no sólo por las más o menos justificadas condiciones que se imponen al proyectista, sino por la propia disposición del edificio, que puede favorecer, dificultar y, a veces, hasta impedir el establecimiento de un adecuado sistema de refrigeración.

En las siguientes líneas daremos una idea de cómo influyen en un sistema de refrigeración las condiciones del edificio.

**Sistema.**—Un sistema de aire acondicionado no es otra cosa que un equipo cuyo fin es compensar de un modo automático los aumentos o disminuciones de energía del aire acondicionado con relación a un determinado punto, que queda definido de antemano. Las pérdidas o ganancias de energía se calculan con relación a determinadas condiciones de temperatura y humedad en el exterior, y deben tenerse en cuenta no solamente las pérdidas por transmisión debidas a la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el interior, como es práctica en las instalaciones de calefacción, sino también las debidas a la radiación directa del sol a través de paredes y ventanas, de cálculo complicado, y la carga correspondiente a la renovación del aire que se necesite introducir por hora. Las otras pérdidas debidas a la iluminación, infiltración del aire, calor humano, etc., también deben ser calculadas cuidadosamente.

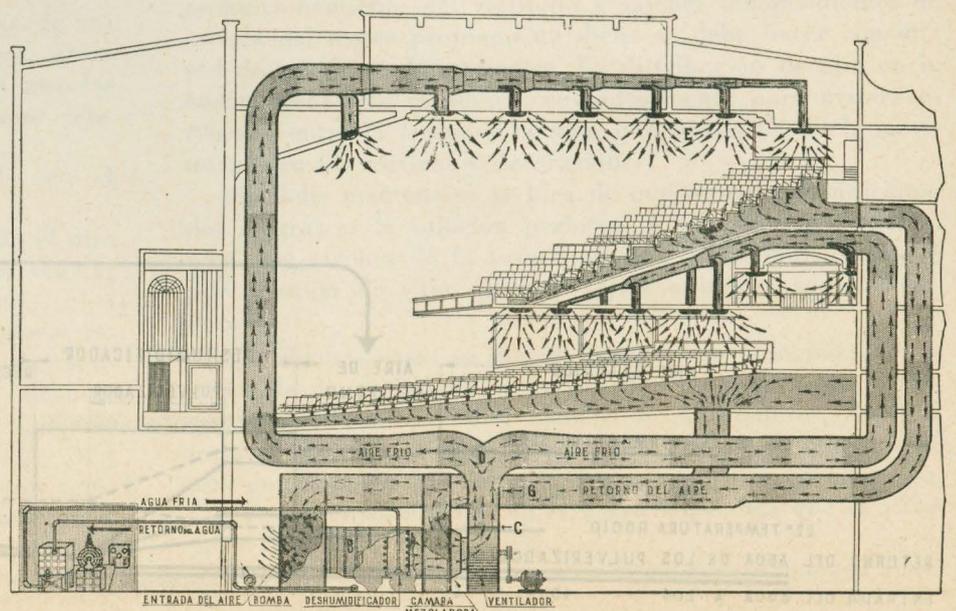
El primer problema que se plantea al definir una instalación de acondicionamiento de aire es fijar las condiciones que se exigen en el interior y apreciar, de un modo ponderado, qué condiciones límites de temperatura y humedad en el exterior deben tenerse en cuenta en el cálculo. No se debe pretender fijar una condición rígida de temperatura y hu-

medad a mantener en el interior. El conseguirlo ya es difícil, pero si se logra es a costa de instalaciones extraordinariamente costosas. Es preferible tener un criterio amplio y tomar como condición no una temperatura ni un grado de humedad, sino toda la zona definida como de confort por la Sociedad Americana de Ingenieros de Ventilación y Refrigeración para los regímenes de invierno y verano, a no ser que existan condiciones especiales que obliguen a limitar esta zona.

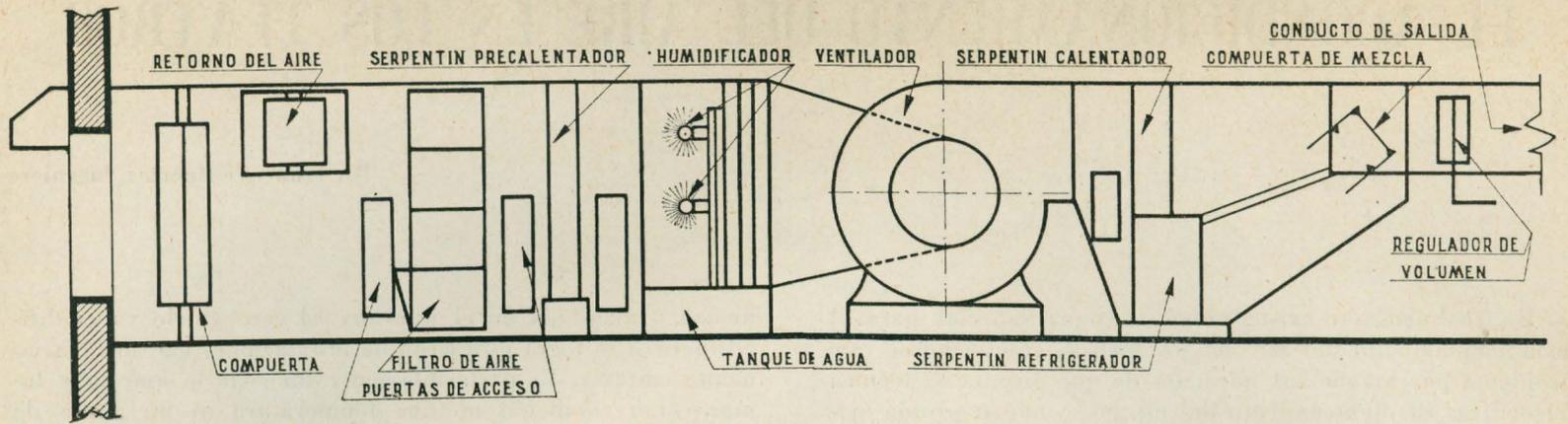
La elección de las condiciones exteriores es importante, porque puede conducir, si se eligen mal, a instalaciones excesivamente costosas, sin consecuencias prácticas proporcionadas. Por lo tanto, la determinación de la carga que ha de servir para el cálculo de la instalación no se debe hacer para unas determinadas condiciones en el interior, sino para conseguir estados comprendidos en la zona de confort, cuando las condiciones exteriores varían dentro de unos prudentes límites elegidos de antemano y correspondientes a la zona climatológica de que se trate.

La determinación de la carga frigorífica debe hacerse tras un detenido estudio de las condiciones límites de la misma. Es fundamental determinar la carga correspondiente a las mínimas temperaturas, seca, húmeda y de rocío, y las correspondientes a las relaciones, mínima y máxima, del calor sensible al calor total. Fijada la mínima temperatura admisible para el aire al entrar en la sala, lo que equivale a fijar también el mínimo volumen de recirculación, se traza sobre la carta psicrométrica de Keenan, por el procedimiento conocido, la curva que representa el lugar geométrico de las características que debe tener el aire a la salida del acondicionador para poder mantener en el interior de la sala el ambiente deseado, cuando la carga varía dentro de las condiciones que previamente se han estudiado.

Se deduce de aquí que no basta estudiar una instalación para conseguir una determinada condición del aire a la sa-



Sección esquemática de un tipo corriente de teatro, mostrando la especial disposición de los aparatos de acondicionamiento y los canales de distribución. A es el equipo refrigerador; B, el acondicionador propiamente dicho; C, los ventiladores; D, canales de propulsión; E, entradas de aire a la sala; G, canales de retorno.



Esquema de un tipo de acondicionador que puede emplearse en las instalaciones de acondicionamiento de un teatro.

lida del acondicionador, sino que es preciso construirlo de forma que permita conseguir las características de la curva anteriormente citada, y hacerlo de un modo automático. Para ello, se comprende perfectamente que es necesario utilizar acondicionadores con un fuerte factor de *by-pass*, toda vez que no es práctico pensar en modificar las temperaturas de evaporación o las de la salmuera, según el caso. Por medio de este sistema de mezcla se consigue compensar cualquier clase de carga dentro de los límites estudiados.

Los detalles del propio acondicionador, cortinas de agua, serpentines de expansión seca o de salmuera, recalentadores, etcétera, debe ser dejado a la completa iniciativa del proyectista, pero el arquitecto debe tener en cuenta en su proyecto del edificio cómo influyen diversos factores constructivos en la determinación de la carga frigorífica.

La orientación, el espesor de los muros, la propia naturaleza de éstos, el color y terminado exterior, influyen poderosamente en la carga, a causa de la radiación solar. Como ésta es intensa a través de los cristales, debe procurarse que todas las ventanas estén provistas de persianas.

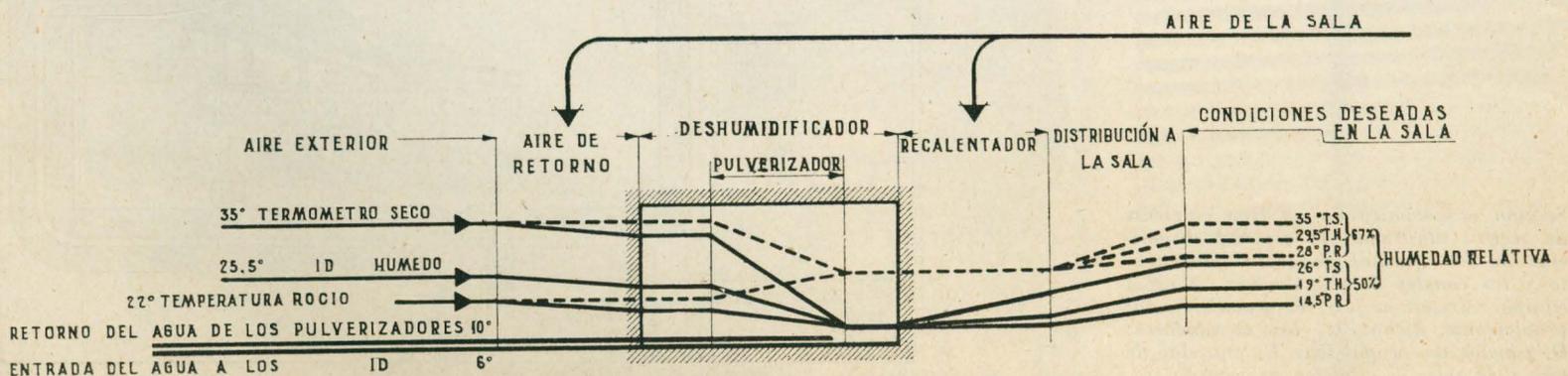
La radiación a través de cristales modifica el calor instantáneo; pero la radiación a través del muro, por el retraso de la transmisión a través de los mismos, algunas veces de considerable número de horas, puede tener el efecto de aumentar la carga precisamente en las horas del espectáculo.

Se debe hacer un cuidadoso estudio de este particular, en colaboración el arquitecto con el ingeniero proyectista.

La renovación del aire debe ser estudiada asimismo con toda atención. La carga frigorífica, debida a este factor, suele ser bastante importante. Generalmente, esta cuestión se trata muy ligeramente, y se llega a exigir renovaciones excesivas como consecuencia de aceptar coeficientes de renovación no justificados. En el caso de los teatros, donde la permanencia continuada no es larga, puede tenerse un criterio muy estrecho, máxime si se tiene en cuenta que lo que llamamos comúnmente aire viciado no quiere decir que esté falto de oxígeno, sino que es debido a un excesivo contenido de sustancias de procedencia humana (sudor), cuya emisión disminuye al bajar la temperatura.

En la determinación de la carga hay un factor casi siempre impreciso, debido a la renovación de aire por infiltración a través de ventanas, puertas, etc., que se pretende eliminar un poco inocentemente, tratando de mantener unas determinadas presiones en la sala; pero esto no corrige nada, porque el sistema lo mismo se desregula si entra aire del exterior al interior a través de puertas y ventanas, como si lo hace en sentido contrario, aun cuando los efectos sobre los ocupantes sean distintos. Por esta razón debe procurarse un completo aislamiento del local acondicionado con el exterior, prescindiendo de cortinas y otras pantallas de esta clase. En

Diagrama mostrando el efecto de una instalación de acondicionamiento. Las líneas sólidas indican el proceso de acondicionamiento con refrigeración. Las líneas de puntos corresponden al mismo proceso con sólo una cortina de agua. Sin refrigeración, la humedad relativa se eleva demasiado.



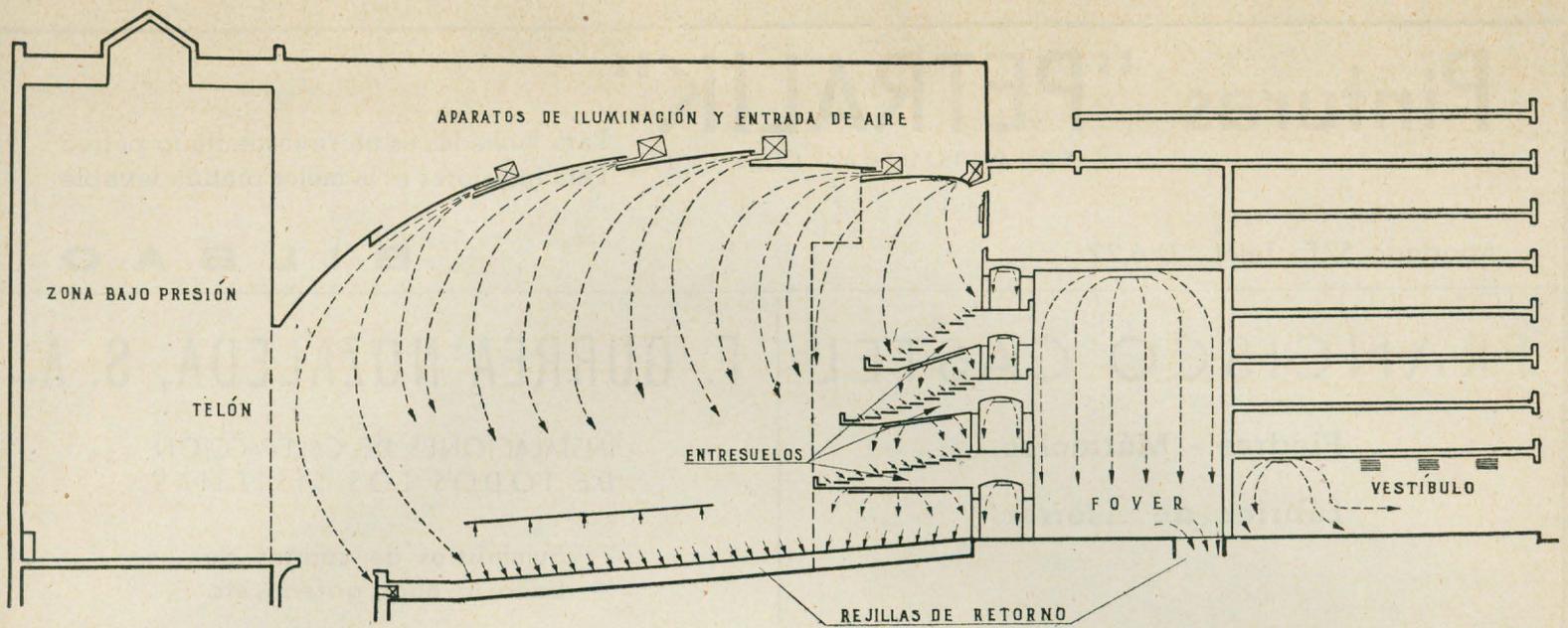


Diagrama mostrando la distribución del aire en un teatro de gran capacidad.

algunos países se está llegando incluso a colocar dobles puertas y ventanas, y esto porque la carga adicional que supone el aire puede ser una parte importante de la carga total, y porque el efecto de las presiones exteriores, factor generalmente no tenido en cuenta, provoca una desregulación del funcionamiento de la red de distribución del aire.

**Canales.**—El éxito de una instalación de acondicionamiento de la clase que nos ocupa depende esencialmente de que los canales estén correctamente proyectados y construidos. Es ésta la cuestión más difícil para el arquitecto y para el ingeniero proyectistas desde el punto de vista de la realización de una buena instalación de acondicionamiento. No deben ser admitidas modificaciones en la red proyectada, y se hará bien en no abordar ningún proyecto si no existe el espacio suficiente para establecer la red de canales de un modo absolutamente correcto; por tanto, es necesario que el proyecto del edificio, desde este punto de vista, se establezca con la colaboración del ingeniero desde el primer momento. Ocurre a veces que un edificio proyectado lleva en sí la imposibilidad de poder establecer una buena instalación de acondicionamiento de aire, aun cuando se esté dispuesto a gastar sobradamente el dinero.

La disposición de la red de distribución depende de varios factores, como son el número de salidas, su clase, situación, velocidad y características del aire que salen por las mismas, así como también de la correspondencia que debe existir entre las rejillas de salida y las de entrada.

Normalmente se introduce el aire acondicionado por el techo y se saca a la altura del suelo.

La mayor sensación de confort se consigue cuando el aire da de cara a los espectadores; por tanto, no se debe obligar a proyectar entradas de aire verticales y hacia abajo, ni a concentrar grandes cantidades de aire en una o en pocas rejillas. Esto es importante para las rejillas de entrada, pero lo es mucho más para las de salida, pues hay que asegurar una densidad y una velocidad de corriente de aire compatible con una buena sensación de confort.

Los diversos entresuelos que se colocan en los teatros constituyen una dificultad para un buen acondicionamiento, y desde este punto de vista se deben colocar el menor número posible, y sobre todo los bajos de techo y profundos, que

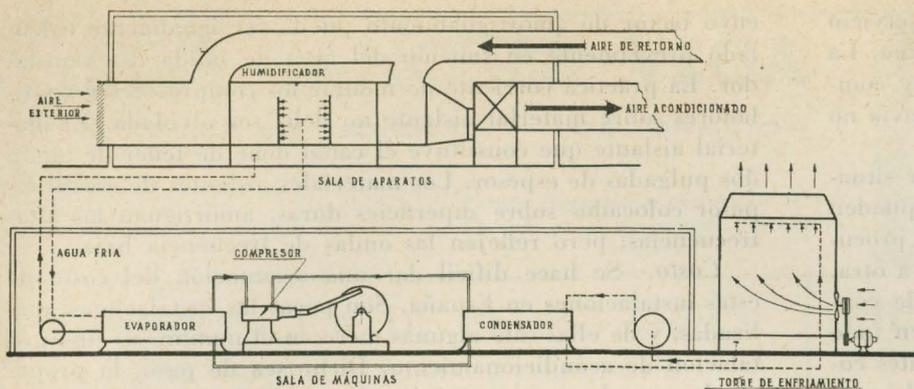
presentan grandes dificultades para una buena distribución del aire. Cada uno de los espacios comprendidos entre dos entresuelos debe ser considerado como una instalación de acondicionamiento, con sus canales de entrada y salidas, y esto no se puede hacer si desde un principio no se prepara la estructura de un modo adecuado. Por regla general se acostumbra establecer rejillas estrechas y alargadas, que, indudablemente, tienen un buen aspecto decorativo; pero para la distribución uniforme del aire acondicionado se precisa una especial disposición de los canales y salidas, que no pueden realizarse bien con aquellas rejillas.

La situación de las rejillas, especialmente las de entrada, depende de la altura del techo. Cuanto más altas estén hay más libertad para poder reducir su número. Si no hay entresuelos y el techo es alto, la introducción del aire puede hacerse por una sola rejilla central, si bien la orientación de la entrada del aire debe ser cuidadosamente establecida. Las rejillas circulares con distribución uniforme, por su perímetro no suelen ser las más indicadas. La entrada del vestíbulo debe estar colocada a distancia de las puertas de entrada a la platea, para permitir que se atempere el aire que pueda entrar de la calle en los momentos de apertura de puertas. El acondicionamiento del vestíbulo y salones independientes de la sala del teatro propiamente dicha se debe hacer con una red de canales independientes. La distribución de aire en la escena tiene que estudiarse cuidadosamente para evitar corrientes entre la escena y la sala, que pueda producir movimiento en las cortinas y decoraciones.

No debe mantenerse la idea de que un solo acondicionador central es la solución perfecta. A veces es conveniente, bien por razones de la propia técnica del acondicionador o por cuestión de sitio, utilizar varias unidades acondicionadoras.

En algunos casos se suelen tomar como base para determinar la capacidad de los ventiladores determinados coeficientes relacionados con el número de espectadores. Este criterio es erróneo, porque el volumen del aire en movimiento está determinado por las propias características del sistema, y depende esencialmente de la carga frigorífica que es necesario absorber.

No obstante esto, podemos indicar que se pueden obtener



Esquema de los aparatos esenciales que constituyen una instalación de acondicionamiento de aire.

ner buenos resultados con volúmenes que oscilan entre los 750 y 1.250 litros por ocupante y minuto.

La red de canales debe estar aislada, a lo menos en los conductos principales; pero si la instalación ha de ser empleada para calefacción, se debe elegir un aislamiento incombustible o ser revestido interiormente. Los canales deben estar completamente libres y exentos de obstáculos. La resistencia al paso del aire depende esencialmente de estos detalles, que deben ser cuidadosamente vigilados durante la construcción. Las normas para el trazado de curvas y derivaciones deben ser observadas inflexiblemente, pues de otra forma es imposible conseguir resistencias uniformes y una distribución adecuada. El empleo de canales metálicos normalizados es aconsejable por las razones apuntadas.

**Equipo frigorífico.**—Entre los varios tipos posibles, no hay duda que para las instalaciones que, hoy por hoy, se abordan en España, sólo hay un tipo recomendable: el de la utilización de compresores alternativos de acción recíproca utilizando freón, como refrigerante ideal. El empleo del cloruro de metilo puede ser también consentido. La utilización del amoníaco para instalaciones de acondicionamiento debe ser prohibida. En algunos países está prohibido o existen recomendaciones en contrario.

La utilización de los compresores centrífugos sólo es recomendable cuando las instalaciones tienen una carga de 400 toneladas o más. Los compresores rotativos tienen su campo de aplicación en pequeñas instalaciones.

Las instalaciones a base de anhídrido carbónico han dejado de utilizarse, y en nuestro país no han llegado siquiera a tener aplicación. La razón es la excesiva presión a que han de trabajar los compresores, porque desde el punto de vista de inocuidad del gas no cabe duda que el anhídrido carbónico es excelente.

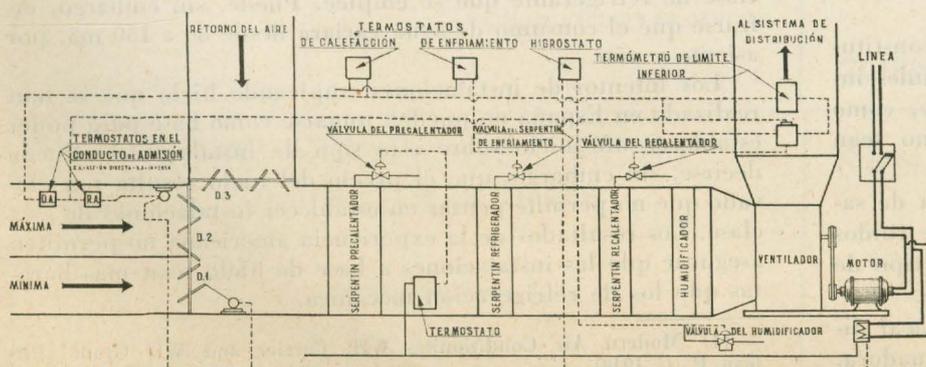
Las instalaciones a base de vapor de agua frío, que tienen la gran ventaja de ser instalaciones sin elementos con movimiento, no se han empleado todavía en nuestro país. En Norteamérica se emplean en instalaciones de gran capacidad.

El consumo de agua necesario para la condensación es importante, y esto obliga con frecuencia a establecer torres de enfriamiento que eviten un gasto excesivo y sirvan también, en algunos casos, para asegurar el funcionamiento de las instalaciones cuando falta el agua en la red principal.

El establecimiento de una torre de enfriamiento lleva consigo muchos problemas, pues ocupa mucho volumen y tiene un peso considerable. Generalmente no hay más solución que colocarla en el tejado, lo cual crea problemas de orden estético, que deben ser considerados desde un principio. Tanto el tipo que se utilice como su capacidad, funcionamiento silencioso y ruidos, son problemas que deben ser considerados con toda atención.

**Equipos de control.**—Es muy importante tener ideas claras sobre este asunto. El control de una instalación puede hacerse automático o manual. Cada uno de estos sistemas tiene sus ventajas y sus inconvenientes, y no es fácil tomar una determinación acertada. En uno y otro caso se precisa la intervención de un maquinista inteligente, pues si ha de manejar la instalación manualmente, siguiendo las indicaciones de los aparatos de medida, ha de saber interpretar su lectura, y si, por el contrario, la instalación está dotada de un sistema de control automático más o menos perfecto, precisa tener a punto dichos aparatos, y esto solamente lo puede hacer una persona especializada. Se deduce claramente que, en uno y otro caso, la responsabilidad del funcionamiento de la instalación debe ser encomendado a persona que reúna los conocimientos necesarios.

Los sistemas automáticos de control de las instalaciones de acondicionamiento son muy complejos, toda vez que es preciso no solamente poner en marcha o parar determinadas baterías o cortinas de agua, sino que es preciso también regular de un modo automático la cantidad de aire fresco y de aire recirculado que penetre en el acondicionador, y todo ello en función de la temperatura y humedad del interior y del exterior en cada momento. Un sistema de control perfecto debe ser también modulado, es decir, que debe permi-



Esquema del control automático de una instalación de acondicionamiento.

tir el movimiento de las compuertas y la puesta en servicio de las baterías y cortinas de agua de un modo paulatino. La industria norteamericana ha desarrollado sistemas muy complejos de accionamiento eléctrico o neumático que todavía no han sido aplicados íntegramente en nuestro país.

Los equipos de refrigeración y de control deben ser situados en el mismo local. Si los aparatos de control no pueden ser colocados en la misma sala de máquinas, debe procurarse que exista un fácil y directo acceso de una sala a otra. Si la instalación de acondicionamiento y su sistema de control están debidamente diseñados, se podrá mantener en todo momento la temperatura y la humedad dentro de límites correctos. Si la instalación es insuficiente, o el equipo de control no funciona bien, se puede llegar a mantener en la sala temperaturas demasiado bajas, mientras que el grado higrométrico subirá considerablemente, creando un ambiente desagradable. La tendencia de los empresarios a mantener la sala a baja temperatura, de lo que se hace alarde en las propagandas, es un mal punto de partida para establecer una correcta instalación de acondicionamiento.

**Ruidos.**—El problema de los ruidos en una instalación de acondicionamiento de aire en los teatros tiene mucha importancia. Debemos reconocer que la práctica actual en nuestro país debe ser notablemente mejorada con la colaboración de todos los interesados.

El problema de los ruidos consiste fundamentalmente en lo siguiente:

a) Determinar el nivel de ruido admisible. Para un teatro, esta cifra es de 40 decibelios.

b) Medir o calcular el ruido producido.

c) Determinar los amortiguadores que es necesario instalar para reducir el ruido al nivel requerido.

En un teatro, la fuente de ruidos, por lo que a la instalación de acondicionamiento se refiere, está localizada principalmente en la sala de máquinas. Los compresores y ventiladores producen, aun en el mejor de los casos, un nivel de ruido que no es admisible en la sala del teatro. El ruido puede propagarse por los propios muros o por los conductos de aire. El amortiguamiento de los ruidos a través de los muros debe ser considerado a tiempo. El ruido también se propaga por los canales, pero éstos, generalmente, sirven de amortiguadores. La fórmula que determina la capacidad de amortiguación de un canal en decibelios es la siguiente:

$$R = 12,6 L \frac{P}{S} a^{14}$$

donde  $L$  es la longitud del conducto;  $P$ , el perímetro;  $S$ , la sección, y  $a$ , el coeficiente de absorción del material de que está construido el canal.

Esta fórmula indica claramente que los canales largos y estrechos son de por sí amortiguadores. En el caso de un canal corto debe disminuirse  $S$ , y si esto no se puede hacer, hay que subdividir el canal general en varios canales pequeños. Esta fórmula permite calcular el ruido que llega a la sala y determinar los amortiguadores complementarios que hay que colocar para reducirlos.

La elección de las rejillas, como decimos antes, constituye de por sí un problema. No se deben adoptar actitudes intransigentes para defender motivos de decoración, y, como consecuencia, adoptar rejillas que por su trazado no sean amortiguadoras de ruido.

Existen fórmulas que permiten determinar el área de salida de rejillas en función del factor de absorción de ruidos de la sala, y determinada el área, conviene elegir un tipo de rejilla cuyo factor amortiguador sea el mayor posible.

Cuando de un mismo acondicionador es necesario sacar diversos canales, es preciso crear una cámara amortiguadora,

cuyo factor de amortiguamiento puede ser igualmente calculado previamente en función del área de salida del ventilador. La práctica corriente de montar los compresores y ventiladores sobre material aislante no debe ser olvidada. El material aislante que constituye el canal debe de tener de una a dos pulgadas de espesor. Los materiales aislantes de escaso espesor colocados sobre superficies duras, amortiguan las altas frecuencias, pero reflejan las ondas de frecuencia baja.

**Costo.**—Se hace difícil dar una orientación del costo de estas instalaciones en España. Son pocas las instalaciones realizadas, y de ellas sólo algunas merecen el nombre de una instalación de acondicionamiento. Dicho sea de paso, la propaganda que algunos empresarios hacen de las instalaciones de sus teatros puede ser a la larga funesta, porque el público está haciéndose a la idea de que las instalaciones de acondicionamiento de aire son las simples instalaciones de ventilación con algún filtrado elemental del aire, que dichos teatros poseen. Las pocas instalaciones realizadas lo han sido en épocas tan diversas que sus costos no pueden ser tomados en consideración para tener una idea de lo que hoy puede costar una instalación de esta clase.

Hoy, por término medio, en Norteamérica, la instalación de acondicionamiento de un teatro de una capacidad entre 2.000 y 2.500 espectadores cuesta alrededor de 15 dólares por persona y asiento (1).

Una buena instalación de acondicionamiento no se puede realizar hoy en España por menos de 600 a 800 pesetas por espectador, si nos reducimos a la sala propiamente dicha. Si se tienen en cuenta vestíbulos, salones y otros locales secundarios, la cifra anterior debe ser aumentada por lo menos en un 15 por 100.

El costo de las simples instalaciones de ventilación con cortinas de agua oscila entre 150 y 300 pesetas por asiento.

**Entretenimiento.**—Si bien las instalaciones de acondicionamiento son realmente caras para nosotros, si se tiene en cuenta el desarrollo económico de nuestro país, en cambio su entretenimiento es razonable. El costo del entretenimiento se compone de tres partes principales: energía, reparaciones y consumo de agua.

El importe de las reparaciones en pesetas para 3.000 f/h. de capacidad en la instalación es aproximadamente:

	<i>Pesetas.</i>
Reparación de la máquina frigorífica.....	24,00
Refrigerante.....	10,00
Aceite y grasa.....	2,80
Pinturas.....	10,00
Limpieza de filtros.....	30,00
Reparación de los aparatos de control.....	6,00
Limpieza.....	46,00

El consumo de energía por término medio es de 80 Kwh. por asiento y por año, pudiendo oscilar entre los 50 y los 110 Kwh. por asiento.

El consumo de agua es muy desigual, pues varía según la clase de instalación o el tipo de teatro y depende del tipo y clase de refrigerante que se emplee. Puede, sin embargo, cifrarse que el consumo de agua variará desde 80 a 150 m3. por asiento y año.

Los intentos de instalaciones empleando hielo que se han realizado en España no pueden tomarse como base para poder establecer un juicio sobre este tipo de instalaciones. Puede decirse, sin embargo, que el precio del hielo resulta tan elevado que no permite pensar en establecer instalaciones de esta clase. Los resultados de la experiencia americana no permiten asegurar que las instalaciones a base de hielo sean más baratas que los de refrigeración mecánica.

(1) Modern Air Conditioning WH. Carrier and WH Grant (Pitman P. C. 1940).