

Edward Allen

# Cómo funciona un edificio

*Principios elementales*

GG

72.011  
PRESTAMO EN SALA

# Cómo funciona un edificio

UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

7164

UTU

ESCUELA SUPERIOR  
DE LA CONSTRUCCION

Ing. C. CABAYALLO

Edward Allen

Dibujos de David Swoboda y Edward Allen

12011  
Kuec

PRESTAMO EN SALA

# Cómo funciona un edificio

*Principios elementales*

ESCO N° 33  
MAN

UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

2164  
ESUELA SUPERIOR  
DE LA CONSTRUCCION

UTU

Ing. C. CARCAVALLO

GG®

Mi agradecimiento por la ayuda prestada por estas  
personas, sin las cuales no hubiera sido posible la  
realización de este libro

NOEL CARR  
ALBERT G. H. DIETZ  
N. J. HABRAKEN  
FRANK JONES  
DONLYN LYNDON  
DOUGLAS MAHONE  
JAMES RAIMES  
J. N. TARN

y especialmente

MARY M. ALLEN

**Título original**

*How Buildings Work*

*The Natural Order of Architecture*

**Versión castellana** de Bárbara Lataillade

**Revisión bibliográfica** por Xavier Güell i Guix, arqto.

**Diseño de la cubierta** de Toni Cabré/Editorial Gustavo Gili, SA

1ª edición, 1ª tirada, 1982  
1ª edición, 2ª tirada, 1987  
1ª edición, 3ª tirada, 1990  
1ª edición, 4ª tirada, 1993  
1ª edición, 5ª tirada, 1995  
1ª edición, 6ª tirada, 1997  
1ª edición, 7ª tirada, 2000  
1ª edición, 8ª tirada, 2002

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta,  
puede reproducirse, almacenarse o transmitirse de ninguna forma,  
ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, óptico,  
de grabación o de fotocopia, sin la previa autorización escrita por  
parte de la Editorial. La Editorial no se pronuncia, ni expresa ni  
implícitamente, respecto a la exactitud de la información contenida  
en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de  
responsabilidad en caso de error u omisión.

© 1980 by Oxford University Press, Inc.  
y para la edición castellana  
Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, 1982

*Printed in Spain*

ISBN: 84-252-1089-5

Depósito legal: B. 47.053-2002

Impresión: Hurope, sl, Barcelona



|                   |   |
|-------------------|---|
| Prólogo . . . . . | 9 |
|-------------------|---|

## Qué hacen los edificios

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 1. El medio ambiente externo . . . . . | 13 |
| 2. El medio ambiente humano . . . . .  | 25 |
| 3. El concepto de refugio . . . . .    | 33 |

## Cómo se comportan los edificios

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 4. La función del edificio . . . . .                                | 41  |
| 5. Abastecimiento de agua . . . . .                                 | 43  |
| 6. Reciclaje de los desperdicios . . . . .                          | 49  |
| 7. Medidas para la comodidad térmica . . . . .                      | 56  |
| 8. Propiedades térmicas de los componentes de un edificio . . . . . | 60  |
| 9. Control de la radiación de calor . . . . .                       | 76  |
| 10. Control de la temperatura y de la humedad del aire . . . . .    | 85  |
| 11. Control del movimiento del aire . . . . .                       | 101 |
| 12. Evacuación del agua . . . . .                                   | 111 |
| 13. La vista y la iluminación . . . . .                             | 126 |
| 14. Oír y ser oído . . . . .                                        | 135 |
| 15. Energía concentrada . . . . .                                   | 143 |
| 16. Adaptación del edificio a la gente . . . . .                    | 149 |
| 17. Soporte estructural . . . . .                                   | 163 |
| 18. Medidas contra el movimiento en el edificio . . . . .           | 193 |
| 19. Control del fuego . . . . .                                     | 200 |
| 20. Construcción de un edificio . . . . .                           | 213 |
| 21. Mantener un edificio vivo y en crecimiento . . . . .            | 223 |

## El bloque de construcción arquitectónico

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 22. Los componentes y la función del edificio . . . . . | 239 |
| Glosario . . . . .                                      | 245 |
| Indice de conceptos . . . . .                           | 255 |

# Prólogo

Siempre he deseado un libro sencillo, de amplio alcance, que resumiera de manera simple y gráfica lo que hace un edificio y cómo lo hace, tal como un libro de introducción a la fisiología resume la estructura y la función de un cuerpo humano. Semejante libro sería útil para casi todos los que están implicados en los edificios, incluyendo a los arquitectos, los ingenieros, los estudiantes de estas profesiones, los críticos e historiadores de la arquitectura, los propietarios de edificios, los ocupantes de ellos, los arquitectos de salón y los porteros. Ya que nadie parecía dispuesto a escribir este libro, vi que no me quedaba otra alternativa que producir el mío propio. La primera versión, preparada en un par de semanas en 1974 como una ponencia de clase, era un artículo de catorce páginas. Dos años después, como disfruté unas vacaciones de estudio en el M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) estaba dispuesto a intentar una edición aumentada. El presente volumen, que estuvo cuatro años en preparación, deriva de mis propias experiencias como arquitecto, de la búsqueda libresca en Inglaterra y Estados Unidos, y de una vida de acción conjunta con otros arquitectos, constructores, ingenieros científicos del edificio, gente de negocio experta y estudiantes de arquitectura.

Estos cuatro años de trabajo han servido para reforzar en mi mente una teoría que mantenía desde el principio: hay unas reglas naturales para la arquitectura, y unas reglas no limitadas por el tiempo, el lugar o el estilo, más duraderas que las reglas dóricas o jónicas de los antiguos griegos, y más metódicas que el estilo contemporáneo más limpio. Son las reglas de la función física, de las maneras que tienen los edificios de comportarse. Cuando se las entiende como un conjunto tienen una elegancia y una utilidad que si no, no pueden ser apreciadas y explotadas. Espero que este libro ayude a sus lectores a adquirir esta comprensión.

Hay muchas maneras con las cuales un libro como éste podría estar organizado. He empezado por lo que a mí me pareció ser el principio, una comparación de las condiciones del medio ambiente externo de la tierra con las condiciones requeridas por los seres humanos para una

existencia saludable y satisfactoria. A partir de esta comparación recalqué las maneras con que esperamos que los edificios concilien las diferencias entre los dos.

E. A.

South Natick, Mass.  
Junio de 1979

## Qué hacen los edificios





# 1. El medio ambiente externo

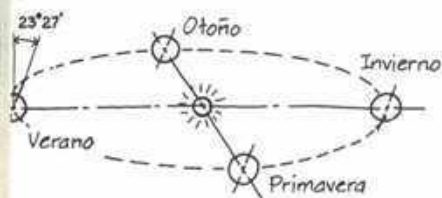
## La tierra y el sol

La tierra es el único, entre los planetas de nuestro sistema solar, que satisface todas las necesidades básicas de la vida. Pero la vida, para los humanos, dista de ser fácil en muchas partes del globo. Un motor atmosférico del tamaño de un planeta, aprovisionado por la radiación del sol y enfriado por la radiación que devuelve al espacio, mueve aire, humedad y energía térmica a través de su superficie en unos recorridos agitados que crean un medio ambiente externo de condiciones variadas y, a menudo, extremas.

El sol es el factor más importante en la vida de la gente y en sus construcciones. El oxígeno que respiramos, los alimentos que comemos y los combustibles que quemamos son creados por la acción de la luz del sol sobre las plantas verdes. El agua que bebemos es purificada en un proceso de destilación atmosférico potenciado por el calor que proviene del sol. La luz de éste calienta nuestros cuerpos y nuestros edificios directamente o a través del aire temperado por él mismo a veces mejorando nuestro bienestar y a veces incomodándonos. La luz del sol ilumina los exteriores, desinfecta las superficies que toca, crea vitamina D en la piel y tiene un efecto tonificante en nuestro ánimo. La luz solar también desintegra los materiales con los cuales construimos y quema nuestra piel. El sol es a la vez dador de vida y destructor.

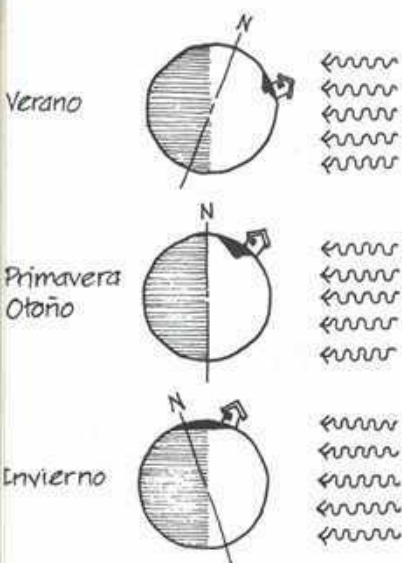
La luz solar contiene una radiación electromagnética de longitudes de onda variables. Menos del uno por ciento de los rayos del sol que alcanzan el nivel del mar son de longitudes de onda demasiado cortas para ser visibles. Estos rayos ultravioleta alcanzan aproximadamente entre 0,3 y 0,36 micrones de longitud de onda. Las longitudes de onda solares visibles, que miden entre 0,36 y 0,76 micrones, contienen aproximadamente la mitad de la energía de la luz solar. La otra mitad de la energía se halla en la parte infrarroja del espectro, en las longitudes de onda indivisibles entre 0,76 y 2 micrones, aproximadamente.





La tierra gira alrededor del sol en una órbita ligeramente elíptica con un radio medio de 149,5 millones de kilómetros, girando además alrededor de su propio eje una vez al día, y completando una órbita cada 365,25 días. La mitad del globo orientada de espaldas al sol, en cualquier momento, está en la obscuridad, y la otra mitad está iluminada. La excentricidad de la órbita de la tierra es de un 3 % aproximadamente, diferencia que provoca una variación de alrededor de un 7 % en la intensidad de la radiación solar sobre la tierra en un período de seis meses. Esta variación no es lo que crea las estaciones de la tierra, ya que la tierra está más cerca del sol en invierno, así que la excentricidad orbital ayuda ligeramente a moderar las estaciones. Las estaciones existen por la inclinación de  $23^{\circ}27'$  que hay entre el eje de rotación de la tierra y una perpendicular al plano de esta órbita.

Aun en la posición en que el Polo Norte está más orientado hacia el sol, los rayos solares, en el hemisferio norte, pasan a través de la atmósfera y alcanzan la superficie de la tierra formando con ésta un ángulo inclinado. Pero entonces la atmósfera absorbe y esparce un mínimo de luz solar antes de que la radiación alcance el suelo, donde es recibida en una concentración máxima por unidad de área. Los rayos del sol dan su máximo calor en esta posición orbital, que se conoce como *solsticio de verano* y ocurre aproximadamente el 21 de junio de cada año. El calor solar total que incide en el hemisferio norte el 21 de junio es incrementado, además, por otro factor importante: el sol se ve más tiempo este día que durante cualquier otro día del año. El sol sale por el nordeste antes de las seis de la mañana y se pone por el noroeste después de las seis de la tarde. Cuánto tiempo antes y después de las seis ocurren la salida y la puesta del sol, depende enteramente de la latitud. En el Ecuador, desde la salida hasta la puesta del sol transcurren siempre doce horas, cualquiera que sea la época del año. Si nos desplazamos hacia el norte, hacia el Trópico de Cáncer, el período diurno del 21 de junio dura sólo un poco más de doce horas, y el sol a mediodía aparece directamente arriba, a una altitud de  $90^{\circ}$  exactamente. (A partir de esto se puede deducir que el Trópico de Cáncer está a una latitud norte de  $23^{\circ}27'$ .) Siguiendo hacia el norte nos encontramos con que el 21 de junio tiene cada vez más horas de luz solar, hasta llegar al Círculo Ártico, donde el sol no se pone en absoluto, sino que se desliza simplemente sobre el horizonte a medianoche, dando 24 horas de luz solar. Simultáneamente, sin embargo, la altitud del sol de mediodía disminuye a medida que uno se desplaza hacia el norte, desde  $90^{\circ}$  en el Trópico de Cáncer hasta  $70^{\circ}$  en la ciudad de Nueva York,  $47^{\circ}$  en el Círculo Ártico y  $23^{\circ}27'$  en el Polo Norte, disminuyendo así el efecto de calor sobre la superficie de la tierra y garantizando que, en general, cuanto más cerca del norte, más frío es el clima.



Se comprende, pues, que el solsticio de verano ocurra durante la estación caliente del año. Sin embargo, por término medio, el tiempo más caluroso del año llega



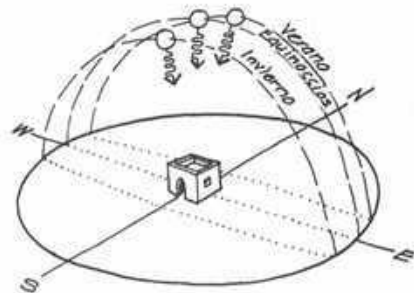
cuatro o seis semanas después del solsticio de verano, a finales de julio o principios de agosto. Este plazo se da porque la tierra y el agua han estado absorbiendo y reteniendo un calor solar considerable desde el mes de junio anterior. Más adelante, ya en el otoño, asimismo, la tierra sigue emitiendo esta energía acumulada, con lo que incrementa el efecto de la producción solar, menor en esta estación.

En la posición orbital opuesta, que ocurre aproximadamente el 21 de diciembre, en el *solsticio de invierno*, el Polo Norte está inclinado fuera del alcance del sol. En el hemisferio norte los rayos solares nos llegan con un ángulo bajo, trazando el sol un recorrido casi paralelo sobre el horizonte, y así su efecto de calor sobre el suelo es correspondientemente débil. Este día es el que tiene el menor número de horas de sol de entre todos los días del año, con el sol saliendo tarde y por el sureste, subiendo hasta un mediodía bajo y poniéndose temprano al suroeste. Encima del Círculo Ártico el sol no sale en absoluto, sino que da sólo una pálida claridad en el cielo al sur, al mediodía. De todos modos, las tierras y los mares siguen emitiendo el calor almacenado durante el tiempo caluroso anterior, por lo que los días más fríos del invierno no llegan hasta finales de enero o principios de febrero.

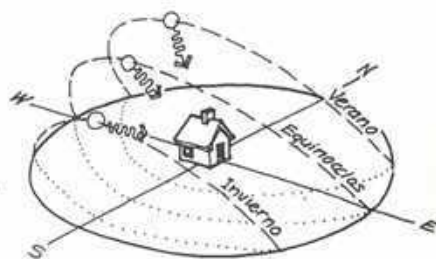
El 21 de marzo y el 21 de septiembre, conocidos como *equinoccio de primavera* y *equinoccio de otoño*, son equidistantes del sol. En ellos, en todos los puntos de la tierra, el sol sale exactamente del este y se pone exactamente al oeste doce horas después, excepto en los polos, donde el sol se desplaza a lo largo del horizonte durante veinticuatro horas.

Es útil guardar en la memoria que las variaciones estacionales respecto a la duración del día y de la altitud máxima diaria del sol son menos destacadas en los trópicos y más exageradas en las regiones polares. En los trópicos, la duración del período diurno es siempre, aproximadamente, de doce horas; excepto en el Ecuador mismo, dicho período es sólo ligeramente más largo en verano y ligeramente más corto en invierno. El sol sale siempre por las cercanías del oriente, un poco más al norte en verano y un poco más al sur en invierno, y se pone en las cercanías del poniente, desplazándose casi directamente por encima de la cabeza a mediodía. El sol intercepta siempre el horizonte, por las mañanas y por las noches, con un ángulo inclinado, dando unas salidas y puestas de sol muy breves.

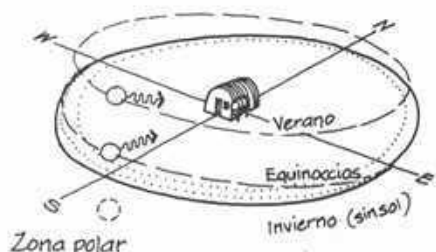
Conforme uno se desplaza hacia el norte en latitud, las variaciones estacionales se incrementan gradualmente. Los períodos diurnos del verano son más largos que en los trópicos y los del invierno más cortos; las altitudes del sol a mediodía son menores, dando una producción solar más baja por área de suelo. Las direcciones de las salidas y las puestas del sol muestran un vaivén de las estaciones más marcado, y los amaneceres y ocasos son más prolongados. En el hemisferio norte el caso límite es el del Polo Norte, donde el día y la noche son cada uno de seis meses de duración: el sol sale el 21 de marzo,



Zona equatorial



Zona templada



Zona polar

sube a un «mediodía» bajo el 21 de junio y se pone el 21 de septiembre. Sobre la base de un año, todos los puntos del globo están expuestos a la luz solar directa exactamente la mitad del tiempo. En los polos, cada mitad constituye un período continuo. En el Ecuador, cada día del año se reparte uniformemente entre luz y oscuridad. En las latitudes intermedias, los períodos diurnos más largos del verano compensan los más cortos del invierno.

En el hemisferio sur, el sol permanece en la mitad norte del cielo y las estaciones están invertidas con respecto a las del hemisferio norte, con períodos diurnos más largos y producciones solares más altas mientras aquéllos son cortos y la luz solar es débil en el hemisferio norte. La progresión de los efectos estacionales desde el Ecuador hasta el Polo Sur es la misma que para el hemisferio norte.

### **Efectos de la radiación solar sobre la tierra**

Cierto número de factores influyen en la cantidad de radiación solar que alcanzará una superficie dada. Como ya hemos visto, hemos de tener en cuenta la duración del día, el ángulo de incidencia de la luz solar sobre el suelo y, por tanto, la anchura de la atmósfera atravesada por la radiación en cada momento del día. La interferencia atmosférica es el factor más difícil de evaluar. La intensidad del sol justo fuera de la atmósfera de la tierra es, aproximadamente, de 130 vatios por pie cuadrado (1400 vatios por metro cuadrado). A una altitud aproximada de quince millas, un estrato de ozono y oxígeno naciente absorbe la mayor parte de la porción ultravioleta de las ondas solares. En los puntos más bajos de la atmósfera, el dióxido de carbono, el vapor de agua, las nubes, el polvo y los contaminantes actúan de varios modos para reflejar, esparcir, absorber y reirradiar diferentes partes del espectro; las longitudes de onda más cortas de la luz solar son las más afectadas y producen la apariencia azul del cielo durante el día. Una parte considerable de la energía de la luz solar es restada por una atmósfera «clara», casi la mitad del promedio universal. La mayor parte de esta energía es entonces reirradiada desde la atmósfera hacia el espacio exterior, pero una cantidad apreciable es reirradiada hacia la tierra como una radiación difusa del cielo, aumentando así ligeramente la energía solar total aprovechable en la superficie de la tierra. Las nubes, que cubren aproximadamente la mitad de la superficie de la tierra en cualquier momento dado, cortan buena parte de la radiación directa del sol, pero todavía dejan pasar una cantidad considerable de forma difusa. Debido a todas estas circunstancias, un pie cuadrado de tierra a una latitud de 45°, en un emplazamiento que tenga un 50 % de incidencia cubierto por las nubes, recibirá aproximadamente 75 kilovatios/hora de radiación solar directa cada año, más aproximadamente otros 20 kilovatios/hora de radiación difusa del cielo, siendo un total de casi 100 kilovatios/hora

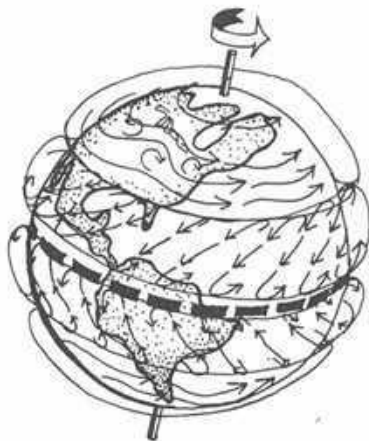


anualmente. Un pequeño calor es proporcionado directamente a la atmósfera por el sol. En cambio, el suelo y sus objetos son calentados por la radiación, aunque pasan algo de su calor al aire. La proporción en que una parcela de suelo se calienta depende en primer lugar de la cantidad de energía solar que llegue a su superficie. En igualdad de condiciones atmosféricas, una parcela de suelo más próxima al Ecuador recibe más producción solar que otra más alejada del mismo, a causa del mayor ángulo de incidencia. La inclinación del suelo también tiene un efecto importante sobre la intensidad solar, por la misma razón. Un segundo factor que afecta a la proporción en que el suelo se calienta es la parte de radiación solar que el suelo refleja; ésta es generalmente del 20 %, absorbiéndose el 80 %. De este 80 %, una parte puede ir a calentar la tierra, y así es almacenada temporalmente; otra será gastada en la evaporación de la humedad de la tierra; otra será irradiada en largas longitudes de onda infrarroja, desde el suelo hacia el cielo otra vez y hacia objetos terrestres más fríos que la parcela de suelo puede «ver»: cimas de árboles, cercas, edificios, etc. El 80 %, restante calentará el aire por encima de la pieza de terreno.

Hasta aquí hemos considerado lo que ocurre durante el día. Por la noche la corriente de radiación está invertida, con el lado oscuro de la tierra soltando energía hacia el espacio por medio de la radiación infrarroja en longitudes de onda que alcanzan de 4 a 80 micrones, considerablemente más largas que las de los rayos infrarrojos del sol. En noches nubladas, húmedas, el vapor de agua en la atmósfera, particularmente absorbente de longitudes de onda infrarrojas, sirve para bloquear buena parte del escape de energía, pero en noches claras, secas, se aprecia un efecto refrescante muy poderoso por la rápida radiación desde la tierra caliente hacia la fría oscuridad del cielo. El rocío se condensa frecuentemente a partir del aire hacia las superficies frías del suelo y hacia las superficies radiadas por el frío de los techos de automóviles y edificios. Puede formarse una capa de aire frío cerca del suelo en una configuración atmosférica estable conocida como inversión. La niebla del suelo puede originarse a partir de la condensación de la humedad en dicha capa fría, o puede haber escarcha en el suelo incluso cuando los termómetros están dando unas temperaturas muy por encima del hielo. Un viento nocturno puede tender a mezclar el aire frío de la tierra con aire más caliente, formando rocío, escarcha y niebla, aunque esto es menos probable. En cuerpos sobre el agua, la gran capacidad de conservación del calor de ésta y su mezcla convectiva generalmente provocarán un enfriamiento nocturno del aire menos pronunciado que sobre la tierra.

## El tiempo

Si las condiciones atmosféricas son iguales, la pérdida de calor de por la noche, por radiación, ocurre

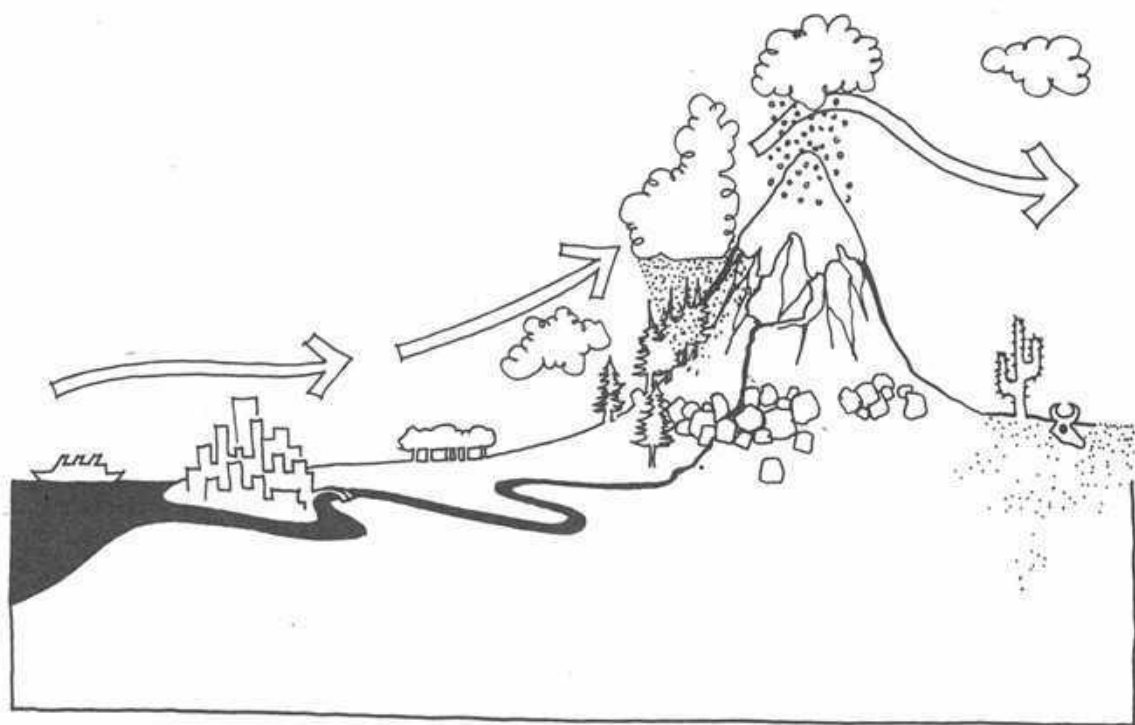


con igual velocidad en todas las partes del mundo. En cambio, la adquisición de calor durante el día, como ya hemos visto, no es igual en todos los sitios. En cualquier día del año, los trópicos y el hemisferio que se halla en su estación caliente reciben mucha más radiación solar que las regiones polares y el hemisferio más frío. A lo largo del año, los trópicos y las latitudes de aproximadamente  $40^\circ$  reciben más calor total de la que pierden por radiación. Las latitudes por encima de los  $40^\circ$ , sobre una base anual, tienen un balance de radiación negativo. Así pues, las condiciones necesarias son creadas por la operación de un motor atmosférico: su fuente de calor son los trópicos. Emite calor en las regiones polares. Su fluido de trabajo es el aire, especialmente la humedad contenida en el aire. El aire es calentado sobre la tierra cálida de los trópicos, se extiende, sube y fluye en dirección al norte y al sur desde el Ecuador, a grandes altitudes, enfriándose en su recorrido, para bajar y fluir luego hacia el Ecuador desde las latitudes nórdicas y sureñas. Mientras tanto, la rotación hacia el este de la tierra desvía estas corrientes en dirección oeste a lo largo de la tierra para formar los vientos alisios. Más hacia los polos, unas células similares pero más débiles de convección del aire son puestas en movimiento, de lo cual resulta un flujo de aire en dirección general este.

El calor del sol evapora continuamente agua del mar y de la tierra en el aire. El aire caliente húmedo así producido sube a la larga, bien a causa de la convección, bien porque el aire es empujado hacia arriba por unos vientos procedentes de la tierra. Como sube, el aire se expande a causa de la disminución de la presión atmosférica; y, como se expande, sufre un enfriamiento adiabático, hasta que se alcanza la temperatura en la cual la humedad empieza a condensarse. La humedad condensada produce un calor latente en el aire, compensando algunos de los efectos enfriadores de la expansión. Pero sigue un tipo de enfriamiento más lento mientras el aire continúa subiendo, ya que la humedad sigue condensándose y formando unas nubes de gotitas de agua y cristales de hielo. Muchas veces están incluidas cantidades considerables de agua; se estima que una simple nube grande tipo cúmulo pesa unas cien mil toneladas ( $10^8$  kg).

El mecanismo exacto por el cual una nube suelta su agua no está muy bien entendido, pero generalmente comprende a la vez el enfriamiento posterior y la presencia en la nube de partículas microscópicas de polvo alrededor de las cuales las pequeñas gotas de la nube se pueden congregarse para formar gotas de lluvia o cristales de hielo. Las precipitaciones tienden a ser más pesadas sobre las cordilleras a causa del rápido enfriamiento de los vientos ascendentes, y son generalmente esparcidas a sotavento de las montañas, donde los vientos descendientes han sido ya secados de su agua excesiva. El agua de lluvia y la nieve derretida se reúnen en la superficie de la tierra en los arroyos y los ríos, y a la larga fluyen hacia los mares, evaporando la humedad en el aire para volver a empezar el ciclo.

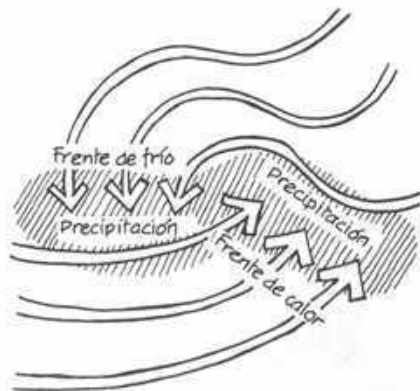




En las latitudes templadas, grandes masas de calor, de aire húmedo, procedentes de climas más tropicales avanzan en dirección al norte para encontrar una masa de aire más frío y seco proveniente de las regiones polares. El frente caliente, caracterizado por una baja presión barométrica, y el frente frío de presión más alta chocan y se arremolinan uno con otro, creando así unos vientos de tipo local y soltando precipitaciones donde el aire caliente es bruscamente enfriado por el contacto con el aire frío. Los modelos meteorológicos de las latitudes templadas son predominantemente el resultado de tales sistemas frontales, y son menos estables y previsibles que el tiempo tropical, el cual está dominado por la circulación general ocasionada por el sol en la atmósfera.

El viento tiene un papel importante en la meteorología de la tierra, ya que distribuye a la vez el agua y el calor de manera más equitativa por todo el globo. La corriente del viento a altas altitudes es generalmente rápida y bastante uniforme. Sin embargo, en la proximidad de la superficie de la tierra el viento está sujeto a interferencias procedentes de colinas, montañas, árboles, edificios y varias corrientes de aire convectivas. La velocidad media del aire se ve progresivamente reducida por estos obstáculos cerca del suelo y así la corriente del viento se vuelve más turbulenta, variando rápidamente en velocidad y dirección.

Grandes cantidades de energía son transformadas desde la luz solar al viento y desde la luz solar a las pre-





cipitaciones, por el motor atmosférico. A pesar de que sólo sea eficaz, aproximadamente, en un 3 % en la transformación de la radiación en movimiento, el motor obra a un nivel que podría ser medido en trillones de caballos fuerza (múltiplos de  $10^{12}$  vatios). Pero este inmenso aporte de energía es difícilmente aprovechable para el uso humano: como el viento, es difuso y difícil de agarrar en las altas altitudes y latitudes polares, donde es más fuerte. En cuanto al agua, sólo un diminuto porcentaje de todas las precipitaciones cae en los valles, donde puede ser embalsada para generar energía; el resto cae en los océanos o en superficies de agua que no son utilizables para instalaciones hidroeléctricas.

Tanto el agua como la tierra son capaces de absorber y almacenar calor, pero el agua, con su calor específico más alto, es considerablemente más eficaz como medio de almacenamiento. Como resultado, grandes extensiones de agua tienden a moderar las temperaturas en su proximidad, si se las compara con temperaturas más interiores de la tierra. Este efecto es particularmente notable donde los vientos dominantes pasan sobre el agua antes de alcanzar la tierra. La costa oeste de Estados Unidos, bajo la influencia de los vientos oeste dominantes que vienen del océano Pacífico, tiene un clima mucho más suave, más fresco en verano y más cálido en invierno, que la costa este, donde los vientos dominantes vienen de la masa de tierra continental. El agua también puede transportar calor a grandes distancias, como es el caso del cálido *Gulf Stream* del Atlántico, que junta calor en los trópicos y lo transporta hacia el norte para templar (y humedecer) el tiempo en el oeste de Europa. Londres, calentado por los vientos provenientes del *Gulf Stream*, pocas veces está por debajo de  $0^{\circ}$  en invierno, mientras que Minneapolis, enclavado en tierras del centro de los Estados Unidos a una latitud algo menor, tiene nevadas considerables y prolongados períodos de duro frío. Así pues, la latitud sola no es una buena indicación de qué clima exactamente se puede esperar en cualquier área del mundo.

En un solar individual, aún pueden entrar en juego más variables climáticas. El movimiento aparente del sol encima de un lugar está rígidamente fijado según la latitud geográfica del mismo, pero el efecto de la radiación del sol variará según la orientación y la inclinación de la pendiente del suelo, la absorción infrarroja de la superficie del suelo, la presencia o ausencia de vegetación que dé sombra y el calor solar reflejado y reirradiado desde los edificios, así como los rasgos geológicos de los alrededores. La temperatura del aire en un lugar se verá también afectada por la altitud de éste con respecto al nivel del mar, la proximidad de cuerpos de agua, la dirección de los vientos dominantes, la presencia de una vegetación que dé sombra, etc. Las fuentes, cascadas de agua y árboles pueden difundir bastante humedad en el aire como para aumentar la humedad local y debilitar la temperatura local del aire. Los tipos de vientos locales serán en gran medida dependientes de obstrucciones locales al paso del

viento, tales como bosques, árboles, edificios y colinas. Un terreno surcado o un pavimento oscuro tendrá temperaturas más altas que otras áreas cercanas soleadas, aumentando el calentamiento radiacional de éstas y causando pequeños remolinos de aire caliente. La topografía puede tener un importante papel en la corriente de aire convectiva local: puede darse que un valle esté más protegido del viento que lo alto de una colina, pero en noches tranquilas y frescas unas ráfagas de aire frío correrán por la zona baja del valle para reunirse en presas, mientras el aire más caliente subirá hacia lo alto de la colina. También las ciudades afectan al tiempo local. La energía gastada para que se muevan los vehículos y para calentar los edificios se disipa gradualmente en forma de calor en el exterior, calentando a menudo el aire de 2°C a 4°C por encima del de la región vecina. Las grandes ciudades crean a menudo corrientes de aire ascendentes convectivas que pueden tener un efecto climático significativo a escala regional.

### Otro fenómeno solar

Aparte de sus efectos termales, los de calentar la tierra y crear los vientos y precipitaciones, el sol origina también importantes efectos no termales. Proporciona la luz visible, provee de energía para la fotosíntesis de las plantas e irradia luz ultravioleta.

El papel de la luz solar en la iluminación de los edificios será comentado más tarde con detalle, pero podemos notar aquí que la luz directa es muchas veces demasiado brillante para ser cómoda para la vista. Es mucho más útil, durante el día, la luz visible esparcida por la atmósfera, la luz uniforme, que la procedente de una área sombreada. Si necesitamos luz durante la noche, o bajo una densa masa de nubes, tenemos que utilizar fuentes de iluminación alternativas.

Sería difícil destacar suficientemente el valor que tiene para la humanidad la reacción fotosintética de las plantas. No podríamos vivir sin ella. El organismo humano no puede crear nutrientes a partir del sol. Las plantas, sin embargo, producen azúcares, almidones y proteínas a partir del agua, del dióxido de carbono, del nitrógeno y los nutrientes del suelo a través del proceso desencadenado por el sol. Durante la fotosíntesis toman dióxido de carbono del aire y devuelven oxígeno como un producto de desperdicio. (Los animales consumen oxígeno en sus procesos metabólicos y devuelven dióxido de carbono, formando así el otro eslabón mayor en la cadena de automantenimiento del medio ambiente.) Al mismo tiempo, la gente y los otros animales comen las plantas que son capaces de digerir o la carne de otros animales que viven esencialmente de las plantas. Los excrementos animales contienen nitrógeno, fósforo, potasio, carbón y otras sustancias que se vuelven aprovechables para las plantas a través del suelo y el agua, y así la producción de alimen-





tos es perpetuada a través de otras cadenas de autoabastecimiento. Incluso las plantas y los animales muertos tienen un papel que cumplir. Sus cadáveres son deshechos, por otros animales y por microorganismos, en componentes químicos básicos que se vuelven una parte más del suelo, útiles para nutrir a las plantas y empezar la vida de nuevo.

La fotosíntesis también origina productos útiles no alimenticios, tales como la madera para la construcción, fibras para la manufactura de textura de papel y plantas decorativas, flores, matas y árboles decorativos, y enredaderas. La fotosíntesis es responsable de nuestro suministro completo de combustibles fósiles —carbón, petróleo y gas—, que fueron formados hace millones de años por los efectos del calor geológico y la presión sobre grandes masas de materia vegetal en descomposición. Aparte de la energía geotermal, la energía nuclear y las mareas, todas nuestras fuentes de energía son solares en su origen; no sólo la luz del sol directa, sino también la energía eólica, la energía del agua, de las plantas y, por supuesto, los combustibles fósiles.

La radiación ultravioleta del sol es importante por el papel que desempeña en la fotosíntesis, pero tiene también otros efectos. Los rayos ultravioleta matan muchos microorganismos perjudiciales, lo cual es importante para purificar la atmósfera y para librar a las superficies soleadas de bacterias portadoras de enfermedades. La vitamina D, esencial para la nutrición humana, es formada por la acción de la luz ultravioleta sobre la piel. Por el lado negativo, los rayos ultravioleta son responsables de quemaduras, fácilmente fatales de la piel humana expuesta demasiado tiempo a la luz solar y de la alta incidencia de cáncer de piel en la gente que está constantemente al sol. Los rayos ultravioleta hacen palidecer los colores en las construcciones, descomponen muchos plásticos y contribuyen a la deterioración de pinturas, tejados, madera y otros materiales orgánicos de construcción. A causa de estos malos efectos, existe la preocupación de preservar la capa de ozono de alta altitud que intercepta la mayor parte de la radiación ultravioleta, antes de que ésta pueda alcanzar la tierra.

## Otros aspectos del medio ambiente externo

La geología de la tierra tiene mucho que ver con las formas de construir que poseemos. Muchos de nuestros materiales de construcción, por supuesto, son minerales en su origen: tierra, piedra, hormigón, ladrillo, yeso, amianto, acero, aluminio, cobre, aparte de otros. En muchos casos, el más sencillo de ellos puede obtenerse directamente del lugar de construcción o de fuentes vecinas. El subsuelo, los niveles bajo la superficie del agua, la superficie del suelo y las rocas de un lugar influyen en los tipos de excavación, de cimentación y del medio ambiente

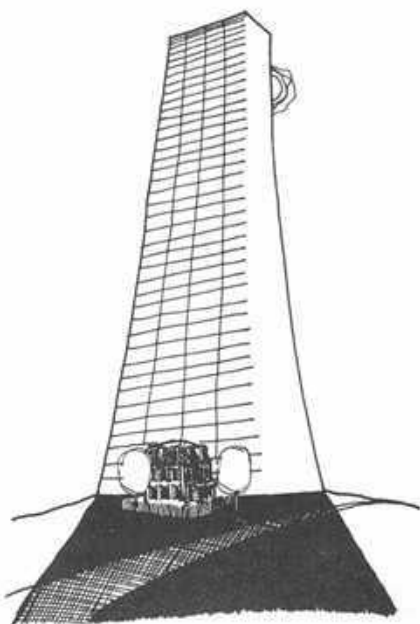


que serán probablemente emprendidos. Los contornos del lugar —sus colinas, valles y desniveles— ayudan a determinar cuánta agua se reparte durante las tormentas, dónde puede ocurrir la erosión del suelo, dónde las carreteras y los senderos se pueden extender sin demasiada inclinación, qué áreas estarán más o menos protegidas del viento, qué áreas estarán expuestas más favorablemente a la luz del sol, dónde varios tipos de plantas crecerán mejor, y dónde y cómo serán construidos los edificios. Estos son factores sumamente complejos, ricos a la vez en implicaciones positivas y negativas para un diseñador.

También son importantes ciertos factores biológicos del lugar. Los microorganismos están universalmente presentes en formas tales como las bacterias y hongos que convierten a las materias animales y vegetales muertas en nutrientes del suelo. Las plantas más altas, así como las hierbas, las malas hierbas, las flores, las matas y los árboles, desempeñan un papel importante para atraer las precipitaciones, prevenir la erosión del suelo, proporcionar sombra, desviar el viento y otras funciones ya mencionadas. Los insectos pueden afectar al diseño de un edificio: los insectos que pican y contaminan la comida tienen que excluirse de los espacios interiores. Hay que oponerse a que los insectos destructores de edificios, como las polillas, ataquen las estructuras. Los reptiles, pájaros y mamíferos nativos deben ser también tenidos en cuenta en el proceso de planificación. Podemos desear que los trinos de los pájaros se infiltren en la sala del desayuno, pero no los pájaros mismos. Los ratones, las ratas, los mapaches, los zorros, el venado, las ardillas, los lagartos y el perro del vecino, para nombrar unos pocos, pueden ser fastidiosos en la casa de uno. Pero una vaca, una oveja o un caballo pueden ser bienvenidos en unas cuerdas, así como un perro, un gato, o el mismo hámster de una casa.

Los edificios vecinos muchas veces influyen en lo que queremos construir. Pueden dar sombras a ciertas áreas del lugar, desviar el viento de modo inesperado, trastornar los diseños naturales de desagüe o hacer que unas áreas del lugar estén faltas de aislamiento visual o acústico. Los edificios o restos de edificios erigidos en el lugar por construcciones anteriores deben ser tenidos en cuenta, con sus correspondientes caminos, áreas de aparcamiento, paseos, jardines, fuentes, sistemas sépticos y servicios subterráneos. Los malos tratos en la utilización de la tierra por los propietarios anteriores o vecinos pueden causar problemas de maleza o erosión del suelo.

Los factores ambientales debidos a la gente incluyen el aire contaminado por el humo, los gases, el polvo o las partículas químicas, el ruido de la circulación, los procesos industriales, una discoteca cercana o una familia alborotadora en el piso de al lado, así como las aguas residuales o sustancias químicas. Desgraciadamente, el diseñador debe contar también comúnmente con el hecho de que el medio ambiente externo incluye a unos individuos desconocidos que quizás estropeen, destruyan o se inmiscuyan en el diseño del edificio, a menudo antes de



que la construcción esté completada y casi siempre en detrimento del edificio y sus ocupantes.

Esto, pues, para mal o para bien, es el medio ambiente externo, del cual podemos seleccionar y modificar algunas partes para la ocupación humana. Comprende un sol dador de calor que sale y se pone, un ciclo de estaciones, un plan meteorológico más o menos previsible, una geología única, una colonia variada de flora y fauna y una historia de uso o mal uso humano, extendiéndose a través del presente hacia el futuro. Nos podemos preguntar: ¿Quién tiene que ocupar y utilizar este medio ambiente? ¿Cuáles son las necesidades de este ser? ¿Y en qué medida son sus necesidades diferentes de lo que este medio ambiente puede ofrecer?

### Lecturas posteriores

David I. Blumenstock, *The Ocean of Air*, Rutgers University Press, New Brunswick, N. J., 1959.

O. G. Sutton, *Understanding Weather*, Penguin Books, Harmondsworth, Ing., 1960.

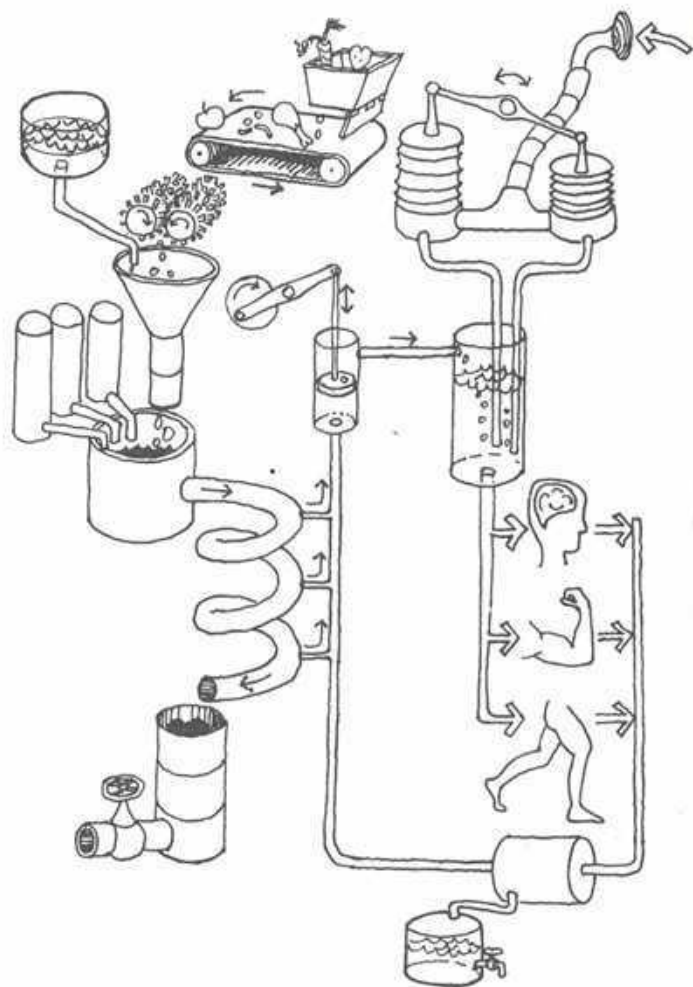
## 2. El medio ambiente humano

### El cuerpo humano

La calidad de un medio ambiente humano sólo se puede medir en términos de sus efectos sobre la gente que lo experimentó. Pero la gente, a la vez física y emocionalmente, no son criaturas fáciles de entender, y las evaluaciones de cualidades pocas veces son sencillas. Hasta una simple pregunta como: «¿Está este sitio suficientemente caliente?», no tiene una respuesta sencilla, en términos cuantitativos, para que la misma persona, bajo las circunstancias variables de las estaciones del año, la cantidad de ropa, la temperatura radiante, la humedad relativa y el movimiento del aire, encuentre el lugar «suficientemente caliente» en un surtido de temperaturas del aire que se extiende sobre veinte grados o más, extensión sorprendente para un animal cuya temperatura interna no puede variar sin peligro más de dos grados en más o en menos. Para entender cómo se evalúa la calidad ambiental, pues, tenemos que empezar por mirar dentro del cuerpo mismo, saber cómo funciona.

El cuerpo humano, en su actitud mecánica más fundamental, es un motor de calor. El combustible para el motor deriva de la comida, bajo la forma de proteínas, carbohidratos y grasas. El proceso digestivo los deshace por medio de varias sustancias químicas, bacterias y enzimas, en sustancias que el cuerpo puede utilizar. Estas útiles sustancias son entonces proyectadas por las venas, para el transporte a través del cuerpo, hacia las células vivas donde serán utilizadas. Los productos de deshecho y las sustancias nocivas son filtradas hacia fuera en el proceso digestivo y acumuladas para la excreción periódica. La orina consiste principalmente en desechos nitrogenosos disueltos en agua. Las heces, aunque principalmente son agua, contienen las fibras indigestas, los minerales y las partículas que no podrían ser utilizadas por el proceso metabólico. Necesitamos un suministro de agua regular para facilitar los procesos químicos en el cuerpo, para desplazar los productos de estos procesos en éste y para ayudarle a enfriarse. También necesitamos aire, porque en el juego crítico de las reacciones químicas que





quemar los combustibles derivados de los alimentos para mantener el motor de calor humano, el oxígeno es un reactivo necesario. Cuando esparcimos aire en nuestros pulmones, absorbemos una porción de su oxígeno en la corriente de la sangre. Mezclamos dióxido de carbono y agua, productos de desecho de la combustión, con el aire de nuestros pulmones, antes de espirarlo. Menos de una quinta parte del oxígeno del aire es reemplazada por dióxido de carbono en cada pulmón, pero un aprovisionamiento continuo de aire exterior tiene que servir al cuerpo para evitar el agotamiento del oxígeno y la narcosis de dióxido de carbono a través de la respiración repetida del mismo aire.

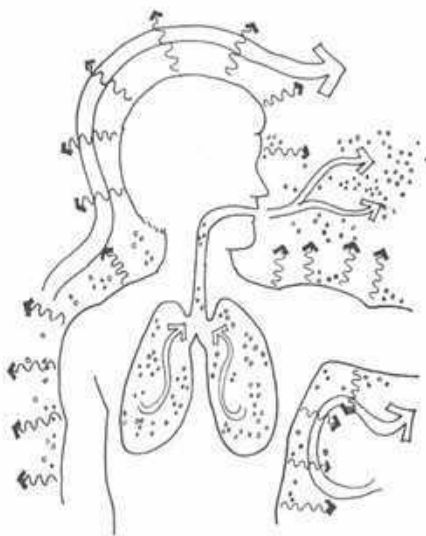
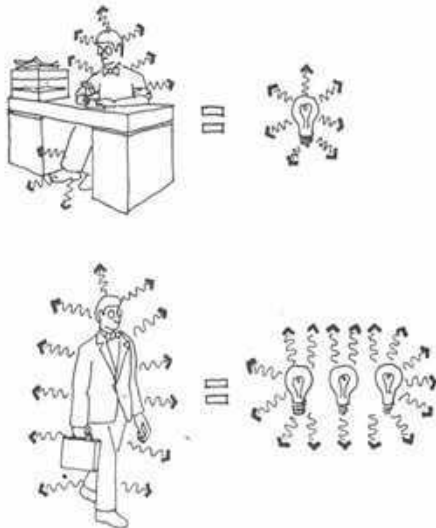
La temperatura de operación normal interna del motor humano está justo por debajo de  $37^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura tiene que mantenerse dentro de estrechas tolerancias para evitar malos funcionamientos metabólicos. Pero nuestros cuerpos son eficaces en sólo un uno por cinco para convertir la energía alimentaria en trabajo mecánico, ya que tienen que emitir cuatro veces el calor que utilizan

para mantener una temperatura interna estable. Un adulto que trabaja en un despacho producirá un exceso de calor con la misma intensidad, aproximadamente, que una bombilla eléctrica de cien vatios. La misma persona andando generará dos veces más calor, y si hay un ejercicio violento, de seis a diez veces más. Estas necesarias intensidades de enfriamiento son obtenidas por una admirable acumulación de mecanismos fisiológicos.

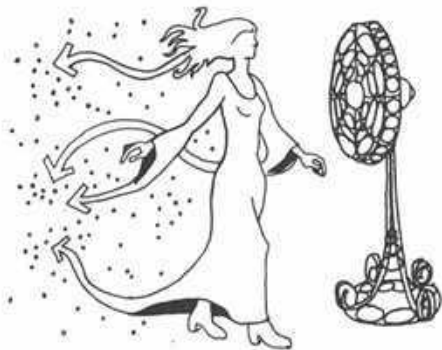
El enfriamiento continuo del cuerpo se cumple por el calentamiento del aire respirado, la vaporización de agua a partir de los pulmones y el tránsito de la respiración, la convección y la radiación del calor a partir de la superficie de la piel, y la difusión de pequeñas cantidades de vapor de agua a través de la piel. La temperatura de superficie de nuestra piel y, por consiguiente, sus intensidades de pérdida de calor, están controladas por la dilatación o la constricción de los pequeños vasos sanguíneos de la piel: Mientras se dilatan los vasos, la corriente de sangre caliente cerca de la superficie del cuerpo aumenta emitiendo calor más rápidamente hacia el exterior. El volumen aumentado de la sangre, que es un buen conductor termal, desplaza también parcialmente unos tejidos grasos, que son malos conductores termales, cerca de la superficie del cuerpo, y la pérdida directa de calor de los tejidos interiores del cuerpo hacia el exterior se ve así aumentada. Este sistema vasomotor puede regular la proporción de pérdida de calor humano bajo un surtido bastante amplio de condiciones.

Cuando la intensidad de enfriamiento por la respiración, la difusión, la radiación y la convección al nivel de la piel no son suficientes para corresponder a la demanda de nuestro cuerpo, sudamos. El agua rezuma a través de los poros de la piel para evaporarse en la atmósfera con el calor latente de la vaporización que se ve proporcionado principalmente al cuerpo. Unas grandes cantidades de calor se pueden perder de este modo, y la transpiración es suficiente en la mayoría de los casos para proporcionar el enfriamiento adicional requerido. Pero este proceso depende también del grado de humedad del aire. Si el aire ambiente es muy seco, la transpiración se evaporará muy rápidamente, y un enfriamiento considerable es posible cuando la temperatura del aire es más alta que la temperatura del cuerpo. Cuando la humedad es alta, la evaporación es lenta y la proporción de transpiración aumentará, ya que el cuerpo procura compensar. Hasta cierto punto, se puede ayudar a la situación aumentando la velocidad de movimiento del aire fuera del cuerpo: el aire movido es más efectivo no sólo para evaporar la transpiración, sino también para aumentar la pérdida de calor convectiva de la piel, siempre que la temperatura del aire sea más baja que la de la piel. Si el cuerpo se halla en una situación en la cual ninguna de estas estrategias basta, la temperatura profunda del cuerpo subirá hasta que la función metabólica sea perjudicada, originando un golpe de calor y la muerte.

En condiciones en que el calor sea empujado fuera del cuerpo demasiado rápidamente, la pérdida de







calor tiende a ser especialmente rápida desde la parte posterior del cuello, la cabeza, la espalda y las extremidades. La ropa y los muebles diseñados para obstruir la corriente de calor de estas áreas son particularmente efectivos para ayudar a la comodidad termal en ciertas condiciones. Siendo el cuerpo capaz, como intermediario del flujo de la sangre, de transportar calor de una a otra de sus partes, los síntomas de pérdida de calor excesiva son a veces difíciles de interpretar. Una ropa caliente para el pie puede no ser de mucha ayuda para un pie frío si un enfriamiento rápido está ocurriendo en otra parte del cuerpo. La gente que vive al aire libre tiene un dicho: «Si tiene el pie frío, póngase el sombrero.» Esta estrategia, extraña en apariencia, funciona en una sorprendente alta proporción de casos, porque la cabeza, con un alto porcentaje de transferencia del calor superficial al volumen interno, es capaz de irradiar y convectir muy grandes cantidades de calor a un ambiente frío, de manera muy semejante al relativamente pequeño radiador de automóvil que puede templar todo su interior. El cuerpo responde rebajando la temperatura de los pies y la cabeza para mantener los órganos internos vitales a una temperatura óptima. Si la pérdida rápida de calor prosigue, se da la «piel de gallina», en la cual los pelos de la piel se levantan para coger aire como capa aisladora cerca de la piel. El instinto lleva generalmente a uno, de modo bastante correcto, a aislar la superficie expuesta del cuerpo cruzando los brazos, encorvando los hombros y apretando las piernas una contra otra, o a hacer ejercicio, a fin de hacer subir el nivel de la producción de calor metabólico para igualar la intensidad a la cual se pierde el calor. Si estas medidas son insuficientes, se empieza a tiritar, forma involuntaria de generar calor por el ejercicio muscular; y, si incluso esto no consigue devolver el equilibrio, la temperatura interna del cuerpo empieza a descender, condición conocida como *hipotermia*. La hipotermia se puede combatir en sus primeros grados por la conducción directa de calor al interior del cuerpo por medio de comida o una bebida caliente, un baño caliente o una sauna. Pero en sus grados últimos la muerte sigue a un estado de coma profundo.

El cuerpo humano no disfruta de bienestar cuando se lo sitúa en un extremo termal. El sudor excesivo es incómodo y molesto, tanto como la piel de gallina o el tiritar. Un calor o un frío excesivos dan como resultado un cansancio aumentado y debilitan la resistencia a la enfermedad. Un ambiente termal humano apropiado, pues, es fundamentalmente aquel en el cual el cuerpo es capaz de exhalar su exceso de calor a la intensidad requerida sin tener que recurrir a sus mecanismos de control térmico más drásticos.

Aparte de la comida, el agua, el aire fresco y las condiciones termales óptimas, el medio ambiente humano tiene otros requisitos. El más vital es una higiene adecuada. El cuerpo humano es un organismo biológico susceptible de atraer bacterias, virus y hongos. La piel, el sistema respiratorio y la vía digestiva son unos ambientes

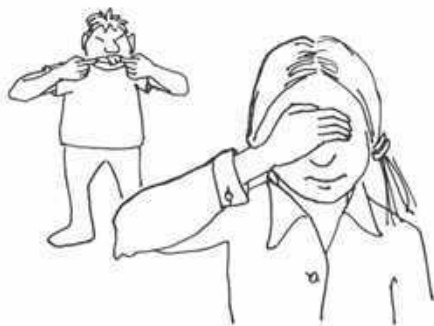


particularmente fértiles para estos microorganismos. Los requisitos básicos de higiene para un medio ambiente humano comprenden un aprovisionamiento en alimentos y agua fresca libres de microorganismos nocivos; la eliminación rápida y el funcionamiento de la excreción de desperdicios alimentarios para liberarnos de organismos causantes de enfermedades; una ventilación adecuada para expulsar las bacterias que flotan en el aire y la humedad excesiva; una luz solar adecuada para secar y esterilizar el ambiente; la exclusión de roedores portadores de enfermedades y de los insectos de los edificios; y facilidades para limpiar los comestibles, la piel, el pelo y la ropa. Una higiene inadecuada cuesta muy cara, en términos humanos: la mala ventilación ayuda al fomento de la tuberculosis y de otras enfermedades respiratorias; la comida y la bebida contaminadas propagan la hepatitis y el tifus; las enfermedades transmitidas por los insectos comprenden el tifus, la fiebre amarilla, la malaria, las enfermedades del sueño, la encefalitis, la peste y varias infecciones por parásitos. Pero éstos son sólo unos pocos ejemplos.

Los ojos y los oídos humanos, los órganos sensoriales más importantes del cuerpo, tienen sus lugares propios en los requisitos ambientales. El ojo puede resultar dañado si mira al sol, aunque sólo sea momentáneamente, o si mira demasiado tiempo un paisaje de nieve soleado o arena iluminada. El hecho de mirar se vuelve difícil o doloroso si el ojo tiene que ver un objeto muy brillante contra un fondo muy oscuro, y viceversa. El hecho de mirar es difícil y menos exacto si hay poca iluminación: el ojo es capaz de ajustarse para ver bastante bien objetos con niveles moderadamente bajos de iluminación, pero el mecanismo de ajuste, que probablemente se ha desarrollado a fin de dar al género humano la facultad de ver durante el período crepuscular, es muy lento, actuando después de algunos minutos.

El oído es algo similar en sus características: puede ser dañado por sonidos excesivamente fuertes, especialmente si suceden durante un período prolongado. Es difícil oír intensidades de sonidos muy bajas o si un fuerte fondo de ruidos oscurece los sonidos que uno desea escuchar. Pero hay una diferencia muy importante entre nuestros ojos y nuestros oídos: cerrando los ojos podemos anular casi todos los estímulos visuales, pero no podemos hacer lo mismo con nuestros oídos tan fácilmente. Podemos encontrar un alivio visual para todos los ambientes excepto uno muy brillante, pero para sustraernos a un ambiente ruidoso molesto sólo nos queda el recurso de irnos a un sitio más tranquilo.

El cuerpo humano necesita espacio para moverse, para trabajar, jugar o, simplemente, mantener fuertes sus músculos, para la movilidad del esqueleto, la función del corazón y de los pulmones mediante el ejercicio. Incluso cuando descansa, el cuerpo necesita moverse a fin de descargar y relajar sucesivamente sus múltiples componentes. En sus movimientos, el débil cuerpo requiere protección ante las lesiones. Necesita disponer de superficies



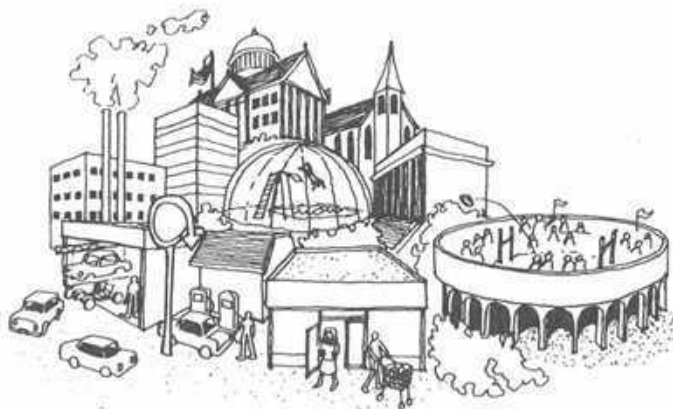


lisas bajo el pie para evitar que éste se dañe o se tuerzan los tobillos. El cuerpo necesita ayuda para subir o bajar entre superficies de niveles diferentes, sin peligro excesivo de caer, y precisa algo para prevenir las caídas accidentales sobre aristas o superficies. Los objetos duros o agudos tienen que mantenerse lejos de los volúmenes de espacio normalmente atravesados por el cuerpo en sus movimientos. El fuego y los objetos muy calientes deben mantenerse lejos de la delicada piel humana. El cuerpo se tiene que mantener a salvo de los objetos que caen y de las explosiones, de los venenos, productos químicos corrosivos, radiaciones nocivas y choques eléctricos, los cuales pueden causarle serias lesiones o la muerte repentina.

### Las necesidades ambientales de la civilización humana

Hasta aquí, hemos considerado el cuerpo humano principalmente como si fuera una máquina que sólo funcionara bien bajo una serie de condiciones. Pero, por supuesto, una persona es mucho más simplemente un mecanismo físico, y gran parte de la naturaleza humana surge a través de las actividades sociales, aquellos contactos con otros mediante los cuales la gente crea, se realiza y disfruta de la vida.

En el nivel individual básico, cada persona necesita un sitio para dormir, facilidades para llevar a cabo los mínimos de la higiene personal, una fuente de agua, fuentes de alimentos y facilidades para preparar éstos y comerlos. Pero mucha gente vive como parte de una familia y en condiciones algo menos «espartanas», en un lugar llamado «casa». La vida de familia requiere espacio para la reproducción y educación de los niños. La preparación de la comida y el acto de comer constituyen procesos más elaborados en la familia, son una fuente de placer al mismo tiempo que de nutrición corporal y un marco para la

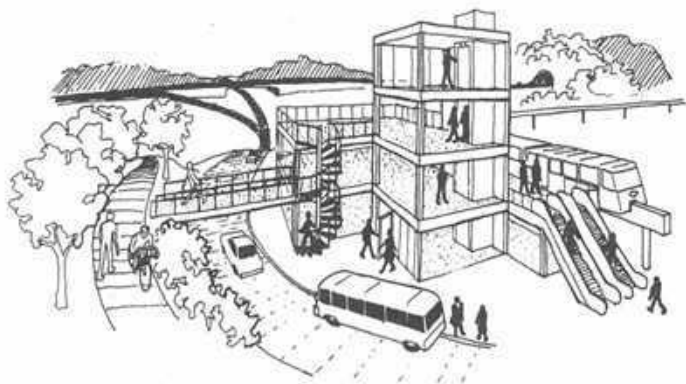




interacción social a varios niveles. La casa se transforma en un sitio reservado para ciertos tipos de tareas llevados a cabo por varios miembros de la familia: entretenimientos, estudios, escribir cartas, limpieza y arreglo de cosas, organización de las finanzas. La casa es también un lugar para jugar y para distraer a los amigos. La casa es el lugar donde usted cuelga su sombrero, así como su traje, sus zapatos, su ropa, sus platos, sus libros y el resto de sus pertenencias. Se supone que es un sitio de confianza, seguro, familiar, lleno de las cosas propias, cerrado y privado a veces, abierto y vuelto hacia el exterior otras veces, según la opción de sus ocupantes.

Fuera de la casa, necesitamos una variedad de otros lugares. Necesitamos unos sitios de trabajo, tiendas, almacenes, mercados, despachos, estudios, granjas, laboratorios... donde los productos de la civilización son diseñados, producidos y distribuidos. Cada cual tiene que proporcionar las necesidades básicas de la vida, más los requisitos especiales de los procesos que ahí tienen lugar. Necesitamos reunir sitios de varios tipos, edificios de culto, lugares para el ejercicio físico, otros para jugar, otros donde distraerse, otros donde se puedan ver cosas interesantes y hermosas, y sitios donde se lleven a cabo las funciones del gobierno y de la educación. Mucha gente necesita acomodarse primero y satisfacer todas sus necesidades a un tiempo.

La sociedad humana implica la movilidad humana. Necesitamos desplazarnos para disfrutar de las varias amenidades de una ciudad o una región. Tiene que ser provisto un sistema de circulación para el movimiento humano; para empezar, puertas en las habitaciones, corredores, escaleras y ascensores que los conectan entre sí, entradas que fusionan el edificio con el exterior, así como senderos, calles, carreteras y mecanismos de larga distancia para el desplazamiento a la vez de personas y mercancías. Esto requiere unos derechos de paso claros, un pavimento, unos vehículos, unas estaciones de traslado... y una información comprensible de cómo llegar a donde uno va.



UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

ESCUELA SUPERIOR  
DE LA CONSTRUCCION

UTU

Ing. C. CARCAVALLO



Los requisitos de un medio ambiente humano de alta calidad son numerosos, y varias veces estrictos. Incluyen requisitos fisiológicos y sociales, así como psicológicos, los cuales son mucho más difíciles de definir. Todos juntos, forman un medio ambiente que no existe en ningún lugar del mundo natural. El medio ambiente externo es demasiado variable, extremo con demasiada frecuencia, demasiado destructivo e inestable, para ser acogedor para la vida humana y la civilización. En el curso de su desarrollo, la humanidad ha tenido que aprender no sólo a buscar áreas protegidas en el paisaje natural, sino a crear áreas protegidas artificialmente, de calidades constantes y cómodas, más que las que la naturaleza es capaz de proporcionar por sí misma.

### **Lecturas posteriores**

B. Givoni, *Man, Climate and Architecture*, Elsevier Publishing Company, Nueva York, 1969, pp. 19 a 95.

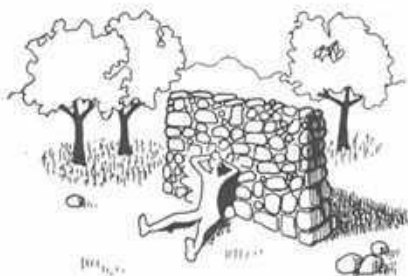
### 3. El concepto de refugio

El refugio, en su concepción más básica, no es una invención humana; es algo que buscamos instintivamente, como lo hacen todos los animales, en un mundo donde pocas veces se armoniza exactamente con nuestras necesidades fisiológicas y sociales. En un día de fuerte verano, almorzamos bajo un árbol o cerca de una cascada sombreada. En días de duro invierno, gravitamos instintivamente hacia el lado de sotavento o hacia cualquier rasgo del paisaje que desvía el viento, especialmente si disponemos de un poco de luz solar caliente. El viajero experimentado al aire libre, cuando escoge un lugar donde colocar su saco de dormir para pasar la noche, en cualquier estación del año, evita los sitios bajos y los valles, que sirven de cauce durante la noche al aire frío y a la humedad, y, como un animal, se acuesta en el terreno más alto, quizás en una pendiente orientada al este, para que le despierte el sol de la mañana.

En una sociedad agraria, el refugio empieza con el empleo juicioso del paisaje natural. La gente escoge construir en sitios altos por sus calidades de refugio: orientación, rasgos topográficos, árboles y vegetación y fuente de agua. En los climas nórdicos, los terrenos altos que se inclinan hacia el sur están reservados para que crezcan las cosechas más esenciales. Los granjeros saben por experiencia propia que las primeras heladas de otoño y las últimas de primavera sólo tienen lugar en los emplazamientos más bajos del campo, y que las plantas situadas en campos orientados al sur reciben la luz solar, donadora de vida, con una intensidad mayor que la de los campos llanos u orientados al norte. Las ciudades rurales están situadas, dentro de lo posible, cerca de los ríos o manantiales de sotavento, generalmente en las laderas con vistas al sur.

Los refugios artificiales empiezan por manipulaciones tan inofensivas como plantar un árbol que dé sombra o una fila de arbustos para atenuar el viento. Una simple pared de piedras que se aguante sola puede, gracias a su perfil vertical y su capacidad térmica, crear una pequeña zona de frescor sombreado en su lado norte en tiempo caluroso, y una zona calentada por el sol, menos

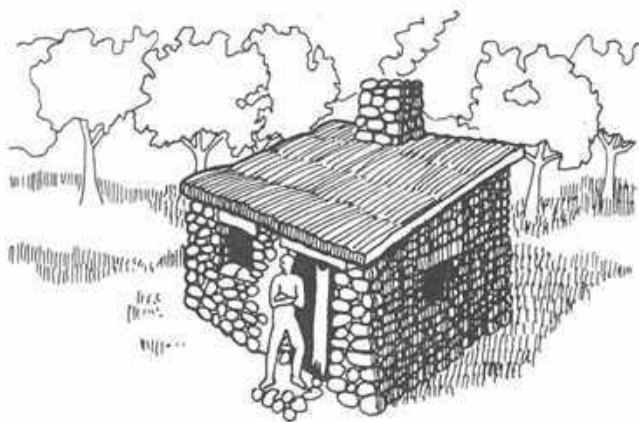
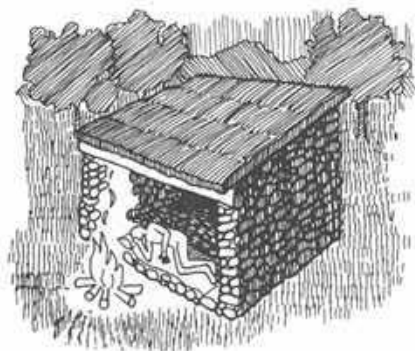




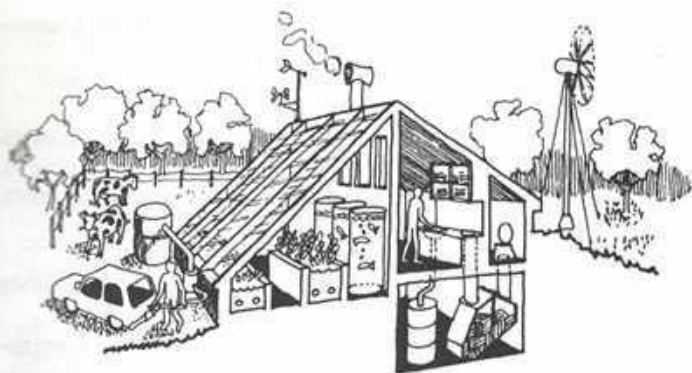
expuesta al viento, al sur, en tiempo frío. La pared retendrá algo del calor solar y lo exhalará gradualmente después de la puesta del sol, prolongando el período de habitabilidad de la zona protegida. Un pavimento de piedras o una plataforma de madera proporcionará una condición más seca al habitante, y un tejado inclinado le guardará de la lluvia y la nieve. Las paredes este y oeste aumentan la capacidad de desviación del viento que tiene el refugio e impiden un poco la entrada del sol de invierno. Por la noche, un fuego a la salida de este sencillo refugio calentará a sus ocupantes con sus radiaciones a la vez directas y reflejadas por las paredes, y una pequeña parte de su calor se acumulará en las piedras para moderar ligeramente la temperatura del espacio protegido incluso después de que se haya apagado el fuego. Se pueden imaginar fácilmente los siguientes pasos del mejoramiento de un refugio tan rudimentario: el uso de una estructura o de pieles para cerrar el lado abierto después de la noche o en días nublados, el cambio del fuego por una chimenea interior, etc. Quizá muchas formas de edificios primitivos han evolucionado de un modo muy parecido, para unirse después en la corriente del desarrollo que lleva por fin a las técnicas de construcción modernas.



Los edificios modernos son mucho más complicados que este ejemplo primitivo, por supuesto. Cada nueva mejora auténtica traída al refugio por nuestros antepasados era primero una novedad, pero poco después se convertía en una práctica normalizada, y luego en un mínimo aceptable cuando las mejoras posteriores la suplantaban. Un refugio que representara el colmo de la comodidad y la practicidad para una generación podía ser considerado por debajo de la norma por una generación posterior. Hemos crecido esperando cada vez más y más de nuestros edificios, hasta el punto de que ahora se espera de los edificios que cumplan unas funciones que no son estrictamente de «refugio», como el suministro de agua, la eliminación de los desperdicios y el aprovisionamiento de energía para su uso en instrumentos mecánicos. De hecho, nuestros edificios se están convirtiendo







UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

ESCUELA DE INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION

UTU

Ing. G. CARCAVALLO

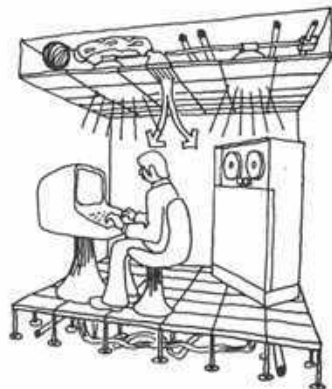
en mecanismos comprensivos de apoyo a la vida. Unas viviendas experimentales se están diseñando ahora para producir alimentos a sus ocupantes y convertir el dióxido de carbono exhalado en oxígeno para respirar.

Muchas de las funciones que esperamos ahora de nuestros edificios correspondieron primero a otros aparatos. La ropa y el refugio son en medida considerable intercambiables en sus funciones, pero con el paso del tiempo la gente tiende a pedir menos a su ropa y proporcionalmente más a su refugio. Algunas funciones esperadas al principio de algunos muebles, como la provisión de depósitos cerrados para varios artículos caseros, son uniformemente asumidas por componentes del edificio tales como camerinos o alacenas. Las pilas de lavabo, las bañeras, los hornos y los fregaderos son menos transportables ahora y es más común que sean parte fija de la casa. Los despachos estaban entonces iluminados por lámparas transportables que se tenían que llenar de aceite periódicamente. Hoy la iluminación de los despachos es usualmente proporcionada por instalaciones que forman parte del edificio, e incluso el edificio conduce la energía eléctrica directamente a las instalaciones.

Nuestro concepto de lo que es un edificio es pues más amplio de lo que se define en el diccionario. Un edificio es, fundamentalmente, lo que esperamos de él. La lista siguiente intenta incluir todas las expectativas funcionales que solemos tener respecto de un edificio en nuestros días, ordenadas de acuerdo con la importancia relativa de cada una respecto al soporte de la vida:

1. Pedimos a un edificio que suministre la mayor parte de las necesidades inmediatas del metabolismo humano:

- A. Aire limpio.
- B. Agua limpia para beber, preparar la comida, el aseo y el lavado de los desechos.
- C. En algún tipo de edificios, facilidades para la preparación y el consumo de comida.
- D. La expulsión y el reciclaje de los desechos, incluidos los excrementos, el agua de lavar, los desperdicios alimentarios y la basura.



2. Le pedimos que cree las condiciones necesarias para la comodidad termal humana:

- A. Control del medio de irradiar temperatura.
- B. Control de la temperatura del aire.
- C. Control de las características de las superficies que están en contacto directo con el cuerpo humano.
- D. Control de la humedad del aire y de la cantidad de vapor de agua.
- E. Control de la circulación del aire.
- F. Control de la entrada de las precipitaciones y otras aguas en el espacio no habitado.

3. Le pedimos que cree las condiciones necesarias para la comodidad sensorial, la eficacia y el aislamiento:

- A. Condiciones óptimas para la vista.
- B. Aislamiento visual.
- C. Condiciones acústicas óptimas.
- D. Aislamiento acústico.

4. Le pedimos que controle la entrada y la salida de criaturas vivas de todo tipo, desde los virus hasta los elefantes, incluyendo seres humanos.

5. De él esperamos que distribuya energía concentrada hasta los puntos convenientes para usar la potencia de diversos instrumentos y aparatos.

6. De él esperamos que proporcione ciertos medios de conexión y de comunicación con el mundo exterior: ventanas, teléfonos, buzones, etc.

7. Le pedimos que facilite cierta comodidad, seguridad y actividad productiva al cuerpo a través de un surtido de superficies útiles: pisos, paredes, escaleras, escalones, bancos, etc.

8. Le pedimos que proporcione una estructura estable al peso de todas las personas, las pertenencias y los artefactos arquitectónicos en el edificio, y que proporcione una resistencia estructural suficiente a las fuerzas físicas de la nieve, el viento y los terremotos.

9. Le pedimos que proteja sus propias estructuras, superficies, sistemas mecánicos interiores y otros artefactos arquitectónicos de la humedad debida a las precipitaciones y otras aguas.

10. De él esperamos que se ajuste a sus propios movimientos normales, sin perjuicio para él mismo o para su contenido.

11. De él esperamos que proporcione una protección razonable a sus ocupantes, contenido y a él mismo contra el fuego.

12. De él esperamos que se construya sin excesivos gastos o dificultades.

13. Le pedimos que pueda ser manejado, mantenido y cambiado de manera útil y económica.

Esta lista empieza con unas demandas que emanan más o menos de las necesidades del hombre rodeado por un medio ambiente externo hostil. Sin embargo, del punto 8 en adelante las demandas son de diferente tipo. Emanan ampliamente de las necesidades creadas por el mismo edificio y se relacionan sólo de manera secundaria

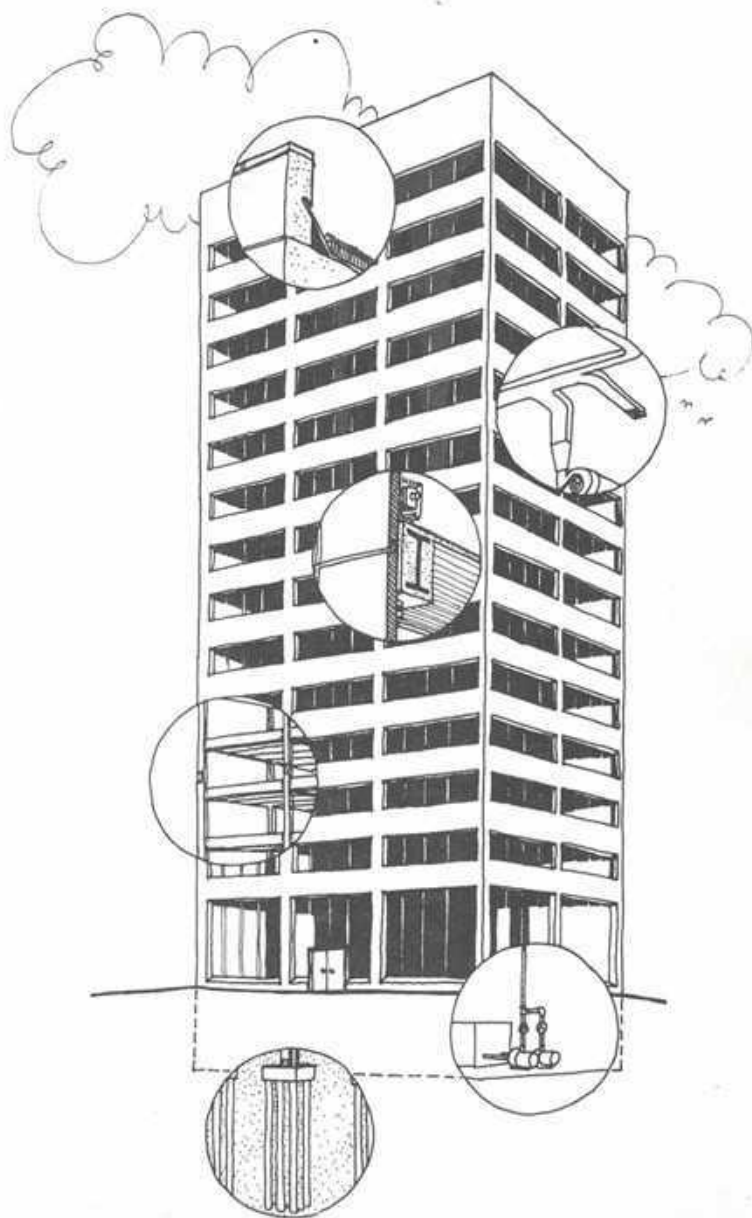
con las necesidades humanas. Una viga secundaria, por ejemplo, no está relacionada principalmente con la solución a ninguna necesidad humana. Es un artefacto secundario que soporta una superficie (un piso o un techo) de importancia básica para los que utilizan el edificio. El movimiento y el fuego son problemas que surgen solamente porque el edificio existe, pero a no ser que el edificio solucione estos problemas por sí mismo, constituyen un peligro para sus ocupantes.

Los siguientes capítulos explican las maneras cómo un edificio responde a estas expectativas funcionales. Se desarrollan en el mismo orden general que esta lista, con varias excepciones: todas las funciones del edificio que tengan que ver con el movimiento del aire se tratan juntas en el capítulo «Control del movimiento del aire»; y el capítulo «Eliminación del agua» comprende el material de todas las funciones de resistencia al agua de un edificio. En varios capítulos se tratan aspectos de la función de control de las entradas y salidas de criaturas vivas, función ésta realmente demasiado compleja para encajar en un solo capítulo. A través del libro se notará que, a pesar de que tengamos unas expectativas funcionales complejas hacia nuestros edificios, y de que tengamos también maneras complejas de responder a estas expectativas, muchas funciones del edificio se pueden resolver gracias a un arquitecto bien informado, incluso en edificios muy grandes, con estructuras arquitectónicas tan sencillas y directas como el sencillo refugio de la naturaleza.



# Cómo se comportan los edificios

UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL IPRE  
ESCUELA  
DE LA CONSTRUCCIÓN  
**UTU** Ing. G. GARCIVALLO



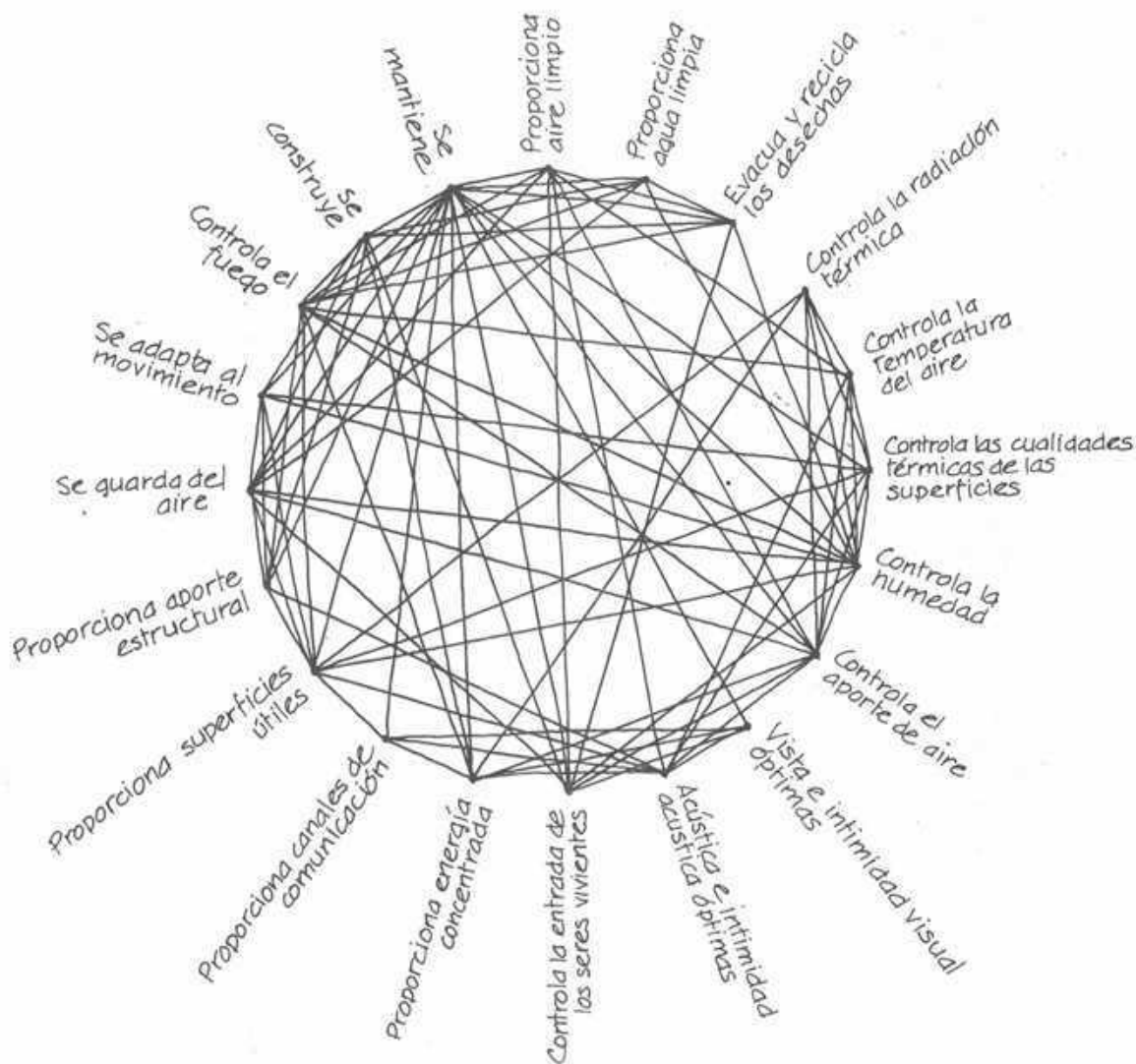
## 4. La función del edificio

UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

ESCUELA  
DE LA EDIFICACIÓN

LEYER Ing. G. GARCÍA

A fin de entender cómo funciona un edificio, podemos analizarlo y estudiar sus diversas funciones generales. Pero pocas funciones del edificio se pueden aislar de las demás. Casi todos los componentes de un edificio tienen más de una función, teniendo algunos de ellos diez o más simultáneamente, y estas funciones son muy interdependientes. Si decidimos construir los tabiques de un edificio escolar de yeso sobre una estructura de acero, en vez de poner ladrillos, afectaremos las propiedades térmicas del edificio, las acústicas, la calidad y cantidad de luz en las clases, la instalación eléctrica y de agua, la utilidad de la superficie de las paredes, el peso muerto que pueda soportar el edificio, la resistencia al fuego, así como qué empresa lo edificará y cómo se mantendrá. Algunas funciones de la escuela se verán mejoradas y otras perjudicadas. El gráfico adjunto muestra cómo las funciones que esperamos de los edificios están entrelazadas. Un arquitecto no puede pretender cambiar la manera como sirve una función sin afectar a otras. Un edificio tiene su propia ecología, delicado equilibrio interno de mecanismos conectados que no funcionan aisladamente sino en un conjunto ricamente interconectado. Así pues, nuestro análisis corre el riesgo de dejar de lado u oscurecer algunas relaciones entre las variadas funciones del edificio y de dar una visión demasiado simplista de cómo funciona un edificio. Procuraremos minimizar estos riesgos en el último capítulo, donde se debatirá la combinación de las funciones elementales en los componentes comunes del edificio, pero en las páginas intermedias tendremos que hacer constantemente preguntas acerca de la relación entre las cosas: ¿Cuáles son *todas* las repercusiones funcionales de un edificio sólido? ¿De un edificio luminoso u oscuro? ¿De un edificio enteramente construido con material poroso? ¿De un edificio en un emplazamiento expuesto al viento? ¿Cuáles son *todas* las posibilidades respecto a calentar, refrescar o alumbrar un edificio? Las preguntas vendrán naturalmente a la mente como consecuencia de unos temas que se presentan una y otra vez bajo varios títulos funcionales, y las respuestas, a medida que se vayan acumulando, empezarán a revelar los tipos funcionales más amplios que supone cada edificio.



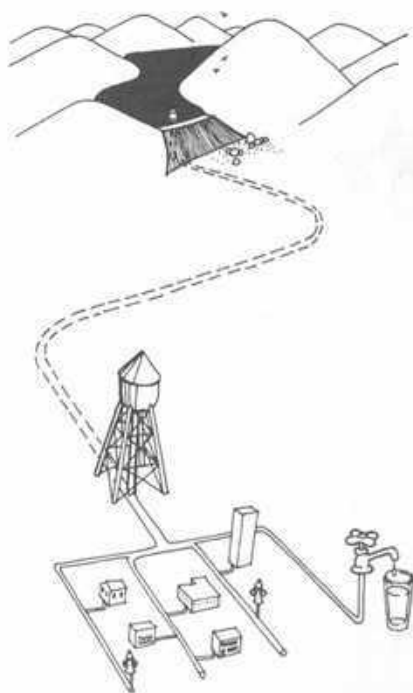


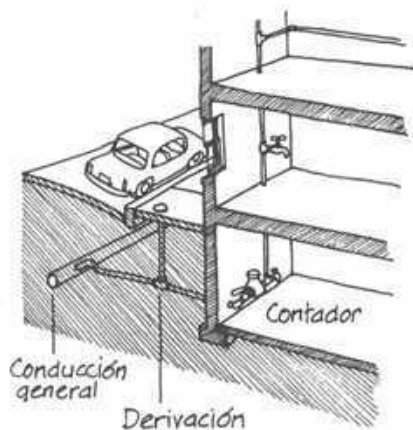
## 5. Abastecimiento de agua

Los edificios y las instalaciones tienen que estar siempre cerca de una fuente adecuada de agua limpia. En las circunstancias primitivas, la gente cogía agua de estanques o corrientes e incluso la bebían en el mismo lugar o la transportaban a pequeñas distancias en recipientes antes de utilizarla. Pero la mayoría de las superficies de agua en las áreas «civilizadas» no son aptas para la bebida a causa de la polución bacteriana o química, así que hay que desarrollar fuentes de agua especiales. La distribución por caños, bajo presión, protege la pureza del agua para su uso y proporciona un servicio conveniente incluso en edificios alejados de toda fuente de agua.

Para obtener el agua lo más pura posible y a gran escala, intentamos represar el proceso de dilatación atmosférica donde sea posible, recolectando y apresando el agua de lluvia cuando cae. Para los sistemas de agua municipales, podemos tomar valles de montaña enteros como áreas de presa y embalsarlos para formar tanques de almacenamiento. Grandes tubos acueductos transportan el agua desde los tanques hasta el municipio con la gravedad que generalmente proporciona la fuerza motriz. Las comunidades privadas de acceso, en montañas escasamente habitadas, se ven forzadas a sacar agua de menor pureza de los ríos o a tomarla, con pozos, de una corriente subterránea. El agua de pozo o de las presas de montaña requiere generalmente poco tratamiento, o ninguno, para hacerla útil para el consumo humano. El agua de río y algunas otras aguas requieren tratamiento para alguno o todos los contaminantes. Los filtros de arena y los recipientes de clarificación son un problema particular. Las precipitaciones químicas se utilizan para contaminantes tales como los compuestos del hierro. Se pueden necesitar filtros especiales para quitar el sulfato de hidrógeno u otros gases disueltos. Finalmente, si se necesita, el gas de cloro se disuelve en el agua, en cantidades controladas, para matar las bacterias y los virus.

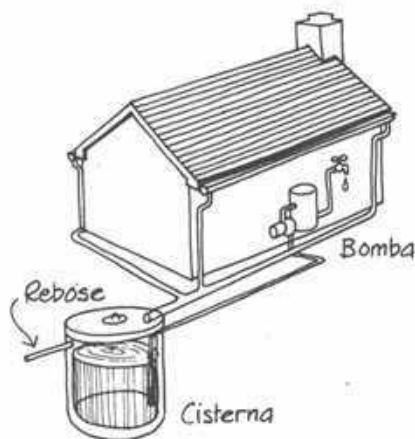
Los sistemas municipales de agua son generalmente presurizados por la elevación del agua en tanques o en torres de agua. Se distribuye el agua por toda la ciudad a través de una red por debajo de las calles. Las





bocas de riego para incendios están conectadas directamente a esta red de aprovisionamiento u, ocasionalmente, a otra subterránea. Los fontaneros o los servicios municipales conectan las cañerías de agua a los edificios municipales. Instalar una válvula de cierre en la cañería de servicio de cada edificio, lo más frecuente en la esquina o en la acera, de manera que la autoridad local pueda cerrar el servicio de agua en casos de emergencia o de impago de los recibos. La cantidad de agua es generalmente contabilizada en el interior de los edificios y se reparten las cargas según la cantidad de agua utilizada, muchas veces con una tarifa que incluirá a la vez los gastos del agua de aprovisionamiento y los de disposición del alcantarillado.

En las áreas rurales y en muchas comunidades pequeñas, cada edificio tiene que desarrollar su propio aprovisionamiento de agua. Unos pocos lugares afortunados poseen fuentes conectables o corrientes de montaña limpias de las que se pueda sacar el agua, pero muchos edificios tienen que coger el agua de lluvia o utilizar un pozo. El sistema de agua de lluvia es todavía la fuente de agua más satisfactoria en muchas áreas del mundo. Aunque un área de recogida especial puede ser construida en una parte no edificada de una finca, generalmente es más económico utilizar el tejado del edificio para recoger agua. Por medio de canalones y bajantes, se lleva el agua a una cisterna para almacenarla, y de dicha cisterna se pueda sacar por bombeo o manualmente. Según el tiempo, el tamaño del área de recogida y el volumen del almacenaje de agua obtenido, este sistema puede proveer o no cantidades de agua suficientes para usar a lo largo de todo el año. La limpieza del agua es un problema continuo, especialmente cuando las hojas y las defecaciones de los pájaros caen en el área de recogida y ayudan al crecimiento de algas y bacterias en la cisterna.



Generalmente, un pozo provee un abastecimiento de agua más seguro, a la vez en calidad y en cantidad, que un sistema de agua de lluvia. Un pozo es un agujero excavado, abierto o perforado en el suelo para alcanzar un estrato poroso, subterráneo y portador de agua. A veces se encuentra el agua pocos pies por debajo de la superficie. Probablemente esta agua se ha filtrado en el suelo en las proximidades inmediatas del pozo, y así es más propensa a la contaminación por sistemas de alcantarillado cercanos, incluso por el propio edificio o por corrales y edificios accesorios, o por depósitos de basura en el vecindario. Los pozos profundos, aunque requieren un equipo caro para ser perforados, generalmente encuentran estratos que son alimentados por aguas de la superficie que vienen de cientos de kilómetros lejos. La acción filtrante del largo paso horizontal a través del estrato da como resultado un agua a menudo totalmente libre de bacterias, aunque puede estar cargada de minerales disueltos. La mayoría de estos minerales no afectan a la potabilidad o la utilidad del agua. Sin embargo, algunas sales de calcio causan la desconchadura y la obstrucción eventual de los caños de agua y forman una espuma insoluble

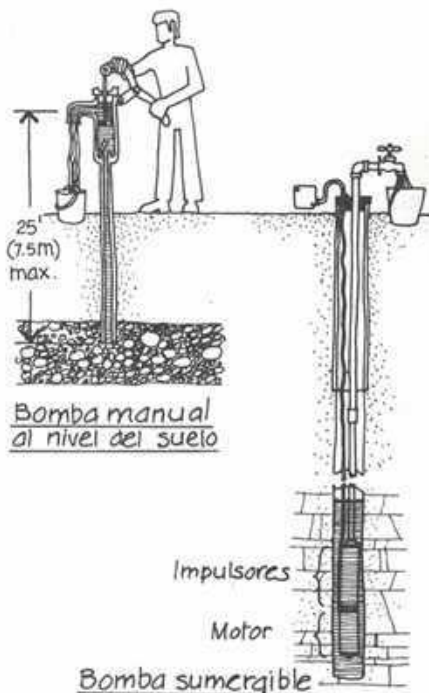




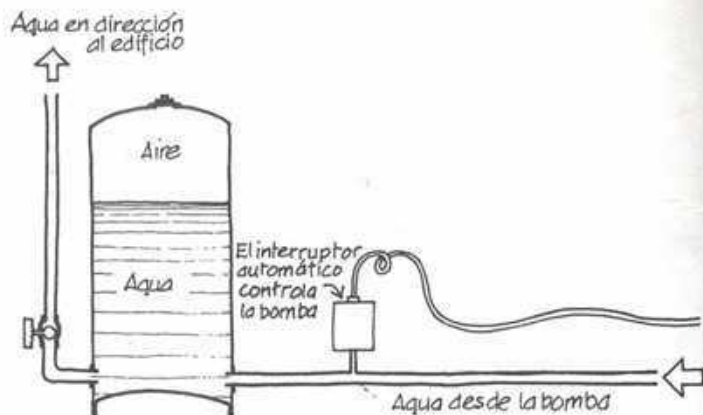
cuando son combinadas con el jabón casero común. Al agua rica en iones de calcio se la conoce como *agua dura*. El agua dura es generalmente de gusto agradable y deposita pequeñas escamas en las cañerías cuando está fría. Sin embargo, si el agua dura se calienta, su actividad química se ve ampliamente aumentada; y, a la vez, el agua más caliente y las cañerías más calientes se incrustarán rápidamente de depósitos internos de roca dura. Entonces se instala sobre la tubería de agua caliente un suavizador de agua, una simple columna de cambio de iones, en los edificios aprovisionados de agua dura, para reemplazar los iones cálcicos inoportunos por iones sódicos solubles. El agua químicamente suavizada no deteriorará las cañerías y sus calidades de limpieza son similares a las del agua de lluvia desprovista de minerales.

Un *pozo artesiano* es un pozo que da salida a un estrato presurizado por un caudal de agua proveniente de una elevación superior. Semejante estrato se encuentra a menudo, pero la presión es pocas veces suficientemente alta para obligar al agua a subir hasta arriba del pozo. Entonces hay que instalar una bomba. Si el nivel del agua dentro del pozo está aproximadamente a siete metros de la superficie, una bomba al nivel del suelo puede crear un vacío suficiente en un caño para permitir a la presión atmosférica hacer subir el agua hasta la superficie. Si el agua está más profunda, se requiere una presión mayor que la atmosférica y hay que hacer bajar una bomba permanentemente al fondo del pozo para forzar el agua a subir por el caño. La bomba de este tipo más común es la eléctrica, que contiene un motor eléctrico hermético capaz de funcionar años, sin mantenimiento, en el fondo del pozo. A menudo los hilos eléctricos se extienden desde la superficie hasta el fondo del pozo, en cientos de metros.

La mayoría de los sistemas individuales de agua proporcionan la presión dentro del edificio por medio de un pequeño tanque de almacenaje dentro del cual el agua es bombeada contra un volumen de aire comprimido en la parte superior del tanque. La bomba se pone en acción automáticamente cuando la presión del aire cae a un nivel mínimo predeterminado, para obligar al agua a entrar en el tanque hasta que se alcance un máximo establecido





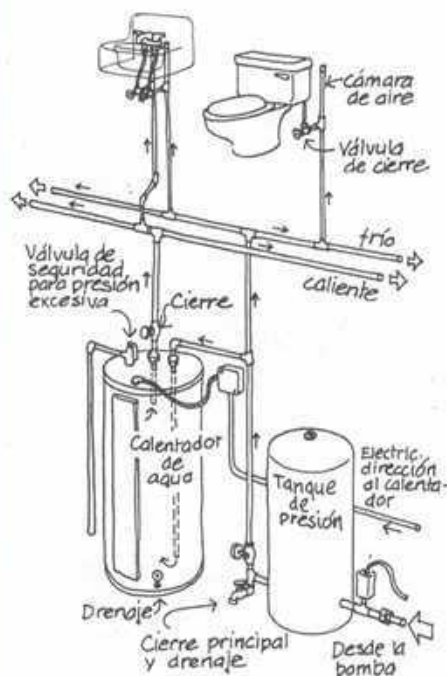


de presión del aire. El agua traída por la presión del aire es siempre aprovechable desde el fondo del tanque, esté funcionando o no la bomba.

Si se requieren la filtración o la cloración, se acoplan unos aparatos apropiados en conjunto con el tanque de presión. Si no se necesita ningún tratamiento, el agua fría se suministra simplemente desde el tanque (o desde la cañería principal de servicio de la calle) a través de una red de caños secundarios hasta los distintos orificios de salida y aparatos del edificio. A menudo se instala una red paralela que trae el agua, calentada en un tanque, más apropiada para lavar. El tamaño de cada caño está determinado por la proporción de agua que tiene que transportar en unas condiciones de demanda razonables. Así encontramos que las cañerías en una red secundaria, en forma de árbol, tienden a volverse cada vez más pequeñas a medida que están más lejos de la fuente de agua, hacia los puntos de utilización. La cañería de suministro está hecha generalmente de cobre o de plásticos duros que ofrecen superficies lisas, de poca fricción y alta resistencia a la formación de escamas interiores. La cañería de acero, chapada de zinc, al principio muy popular y de más bajo coste que la de cobre, es muy propensa a la formación de escamas.

En todos los aparatos se coloca una válvula en cada línea de alimentación, de manera que se pueda cerrar el agua fría o caliente sin interrumpir el flujo en las otras partes del edificio. Se deja un tramo de cañería sin salida y vertical, como *cámara de aire*, para absorber el choque creado por la deceleración casi instantánea, hasta cero, de la velocidad del agua en la cañería, cuando se cierra un grifo. Si no se instala esta cámara, se oye un ruido explosivo, conocido como *martillo de agua*, en cuanto cerramos los grifos, y en las cañerías tiene lugar una alta presión momentánea, con la posibilidad de dañar el sistema.

En algunos grandes sistemas de agua caliente se coloca una cañería de retorno al calentador de agua cerca de cada aparato. El agua sube por la cañería de alimenta-



ción y vuelve, bajando por la cañería de retorno al calentador para ser recalentada, con la fuerza de circulación proporcionada bien por una pequeña bomba, bien por convección. Así pues, el agua caliente es siempre aprovechable en cada grifo en uno o dos segundos, a pesar del enfriamiento que tiene lugar en la cañería. Otra manera de impedir el problema del enfriamiento del tubo es no tener un calentador central, sino instalar pequeños calentadores en o cerca de cada punto de utilización.

El agua fría para beber se suministraba comúnmente, en otra época, por un enfriador central y una tubería de retorno análoga al sistema de agua caliente descrito anteriormente. En la actualidad se ha vuelto más económico y satisfactorio enfriar el agua en pequeños enfriadores en cada punto de uso.

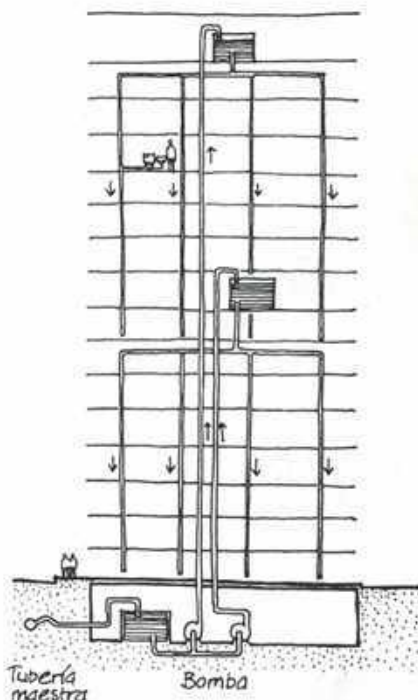
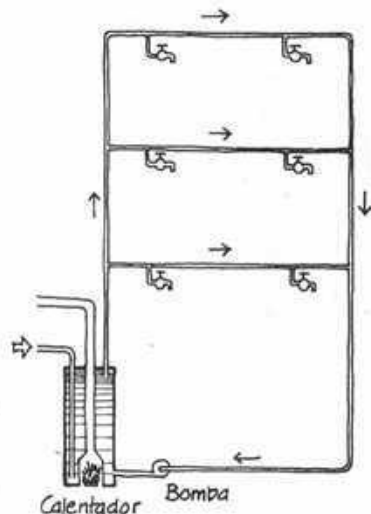
Todos los tubos de alimentación de agua deberían estar aislados térmicamente. En el caso del agua fría o caliente se ahorra energía y se conserva agua si ésta no ha corrido mucho tiempo antes de surgir por el grifo a la temperatura deseada. Y es más conveniente. Las cañerías de agua fría y caliente requieren un aislamiento recubierto por una barrera contra el vapor, para prevenir la condensación en ellas en caso de tiempo húmedo.

En edificios pequeños, la presión del agua del municipio es muchas veces insuficiente para hacer subir el agua hasta las instalaciones de los pisos superiores. En este caso, hay que instalar bombas en el edificio para transportar el agua hasta uno o más tanques a niveles más altos, desde donde es suministrada por la gravedad a los sistemas de cañerías de los pisos inferiores.

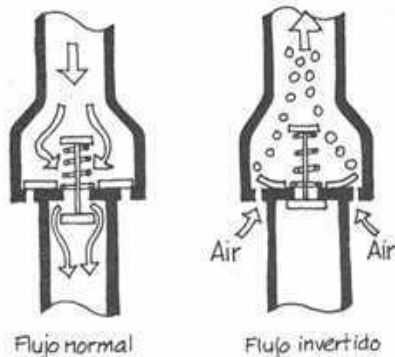
Los lavabos, los fregaderos y las bañeras están diseñados para recoger el agua para el lavado y vaciarse después de la utilización. Por razones de limpieza y de duración, se tienen que hacer con materiales duros y lisos como la porcelana o el acero inoxidable, que pueden resistir frecuentes fregados en un período de muchos años.

Los retretes y los urinarios están diseñados para hacer desaparecer los desechos humanos. Sólo se hacen de porcelana, para asegurarse de que en ellos no se formarán grietas que sirvan de refugio a las bacterias en el momento de limpiarse. Cuando la cañería de alimentación se hace pequeña por economía, como ocurre en las casas particulares, es incapaz de suministrar el caudal de agua rápido y copioso necesario para que funcione el sifón del aparato, de forma que se acumula lentamente en un tanque situado detrás del aparato para cada descarga. En los edificios públicos, la descarga de agua en los retretes es tan frecuente que unos tanques que se llenen lentamente no responden a la demanda, y así hay que instalar cañerías de alimentación más grandes, con válvulas especiales para regular la fuerza y duración de cada descarga de agua.

Muchos aparatos de fontanería están diseñados de tal manera que al nivel del agua recogida por el aparato —el agua de lavar en la pila de un cuarto de baño, por ejemplo— le es imposible alcanzar el nivel de la abertura que lo aprovisiona de agua fresca. Una pila de cuarto de baño tiene un rebosadero que evacua el agua excesiva



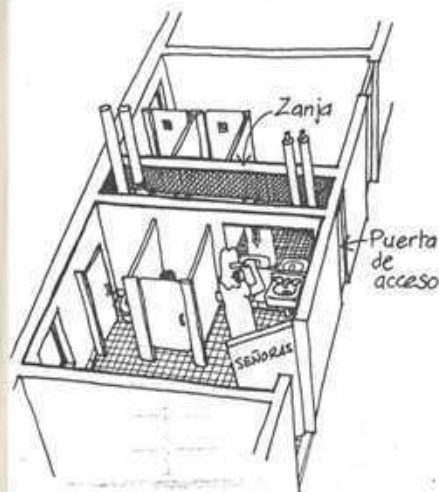




Principio de la válvula  
vacuorreguladora

antes de que pueda alcanzar el extremo del grifo. Un retrete con tanque puede obturarse y llenarse hasta el borde, pero la entrada de agua desde el sistema de suministro del edificio está situada, por seguridad, encima de este nivel en el tanque. Así pues, si la presión del agua en las cañerías de alimentación fallara por alguna razón, no hay riesgo de que penetre agua contaminada en la cañería cuando el agua fresca se retira del aparato. Pero algunos aparatos no pueden diseñarse de esta manera. Un lavabo o un urinario en un edificio público tienen una cañería de alimentación directamente conectadas a su borde. En una piscina se puede dejar el extremo de una manguera conectada a un grifo exterior, o llenar un cubo de agua. Estas *interconexiones* entre caños de aprovisionamiento y agua contaminada, aunque bastante inofensiva mientras corre el agua fresca, provoca un sorprendente número de casos de contaminación de sistemas de agua a través del sifonaje de retorno cuando se cierra y vacía un sistema. Ahora, en muchos sitios se requiere legalmente que en cada aparato donde sea posible la interconexión se instale una *válvula vacuorreguladora* en la cañería de alimentación. Si acaso falla la presión del agua, la válvula vacuorreguladora permite que entre aire en la línea y destruya la acción de sifonaje. La familiar válvula de salida de agua, chapada de cromo, que se ve en cada aparato de lavabo público contiene una válvula vacuorreguladora; otras apropiadas se fabrican para distintos aparatos.

La cañería de alimentación de agua ocupa espacio. En pequeños edificios de estructura de madera, muchas veces hay suficiente espacio en forjados y muros para instalarlas. En edificios con una gran cantidad de aparatos, las paredes ya no pueden contener todas las tuberías, y por ello hay que instalar unas zanjales especiales, verticales y horizontales a la vez, como parte del diseño básico del edificio. A menudo, estas zanjales están construidas con registros de acceso para permitir un cambio ocasional y el mantenimiento de la cañería sin tener que dañar el edificio. En climas fríos, no se pueden hacer zanjales ni paredes que contengan la cañería de agua en el perímetro exterior del edificio, pues, de lo contrario, son susceptibles de ocurrir el congelamiento y el subsiguiente reventón de las cañerías.



## Lecturas posteriores

Richard Day, *The Practical Handbook of Plumbing and Heating*, Arco Publishing Company, Nueva York, 1969, pp. 28 a 128.

William J. McGuinness y Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, John Wiley and sons, Nueva York, 1971, pp. 17 a 39; versión castellana: *Instalaciones en los edificios*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1982<sup>1</sup>.



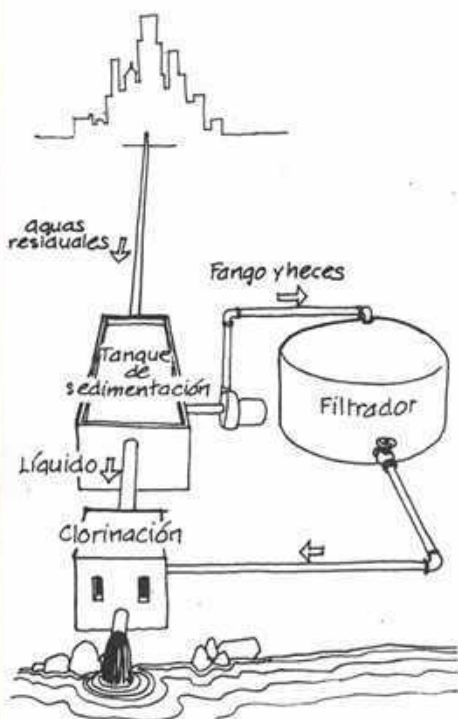
## 6. Reciclaje de los desperdicios

La naturaleza funciona en círculos cerrados. Lo que para un organismo es desecho, es alimento para otro, en una red interminable, intrincadamente entremezclada, que al final no deshecha nada en absoluto, excepto pequeñas cantidades de energía renovable del sol. Un ejército de insectos y microorganismos se alimentan con los excrementos y los cadáveres de los animales superiores, reduciendo estos desechos a nutrientes del suelo que pueden ser utilizados por las plantas. La materia vegetal muerta de todo tipo se ve atacada de forma similar, desechada y utilizada de nuevo. En el suelo, el agua y el aire, los procesos tienen lugar continuamente para asegurar que ninguna de las sustancias preciadas de la naturaleza se quede en un estado improductivo.

En muchas sociedades agrarias, las familias que viven en las granjas son participantes activos en estos ciclos. Con la ayuda del agua, el aire, los gusanos y una multitud de bacterias, los desechos animales y vegetales se convierten en tierra fértil. En la tierra, con la ayuda del sol y la lluvia, las plantas crecen para alimentar a las familias y sus animales y para suministrar combustible para la cocción y la calefacción. Los animales proporcionan a la vez alimento y ropa. Las cenizas del combustible gastado y los excrementos de los animales también vuelven a la tierra, reaprovisionando su contenido en nutrientes. La fertilidad del lugar disminuye poco durante la vida de la familia, si es que lo hace. Incluso algunas ciudades primitivas son capaces de mantener este tipo de relación con la tierra. Los restos de comida y los excrementos humanos se guardan cuidadosamente juntos y se transportan en colectores de estiércol a las afueras de la ciudad, donde los granjeros los utilizan como ayuda para producir comida para la ciudad. Si se emplean métodos de formación de humus adecuados, los desperdicios estarán libres de organismos nocivos mientras llegan a la tierra y no se comunicarán enfermedades a través del ciclo. Al mismo tiempo, se mantienen la salud de la comunidad y la riqueza de su agricultura.

Desgraciadamente, es difícil asegurar que sean siempre empleados los métodos de fabricación adecuados,





y por ello el manejo descuidado del estiércol ha causado epidemias y plagas desastrosas a lo largo de la historia. Y muchas de las ciudades modernas ni siquiera emplean estos métodos, porque no están aprovisionadas a gran escala por las granjas de los alrededores inmediatos, lo cual significa que tendrían que transportar los desechos a distancias considerables para cumplir con el reciclaje agrario. Además, nos hemos vuelto una sociedad que no puede tolerar más de unos momentos la presencia de sus propios excrementos, no por razones de salud, sino por razones puramente estéticas. Como resultado de todos estos factores, hemos roto la cadena del reciclaje. Gastamos directamente la mitad de nuestro consumo en agua en hacer desaparecer con agua la basura y los excrementos de nuestros edificios; luego se añade esta mitad con la que hemos utilizado para el lavado y otros propósitos. De este modo nuestros edificios se han vuelto maravillosamente cómodos y libres de enfermedades y olores, pero surgen otros problemas. El agua que el municipio trae hasta la ciudad con tantos problemas y gastos, reluciente de limpieza y libre de bacterias, está luego completamente contaminada por olores y enfermedades.

No hace tanto tiempo que muchas ciudades descargaban simplemente sus desperdicios, con bacterias y todo, en un río, un lago o un océano cercano. Pero hoy en día muchas ciudades separan la materia sólida de los desperdicios, el lodo, para trasladarla a una planta de tratamiento de desperdicios. El líquido restante es clorinado para matar las bacterias y luego depositado en la vía de agua local. Entonces el lodo es bombeado dentro de un tanque donde se lo deja fermentar anaerobiamente durante varias semanas. Esta fermentación mata la mayoría de las bacterias portadoras de enfermedades del lodo y despiden afuera la mayoría de los minerales que contiene. Después, este lodo «digerido» también es clorinado y bombeado en una vía de agua.

A través de este proceso, los nutrientes de la tierra traídos a la ciudad, como las frutas, las legumbres, las semillas, los productos lácteos y las carnes, y expulsados de la ciudad como desperdicios, son depositados no de vuelta a la tierra, sino en las vías de agua. Al contrario de la tierra, que necesita los nutrientes y es capaz de terminar su reconversión en alimentos, las vías de agua no son capaces de completar el círculo. En lugar de esto, al contener el agua cada vez más nutrientes, provoca el crecimiento acelerado de vegetación acuática y algas. Pronto el agua es ahogada por el crecimiento de las plantas, hasta el extremo de que la luz solar ya no puede penetrar dentro del agua más que unos centímetros. Montones de plantas mueren y se pudren, y el proceso de putrefacción consume la mayor parte del oxígeno disuelto en el agua. Los peces se ahogan en un ambiente pobre en oxígeno y la misma vía de agua empieza a morir. Esta, en pocas décadas, se llenará de plantas muertas y, eventualmente, se transformará en pantano y luego en prado. En este tiempo, por supuesto, nadie recordará que antes la gente nadaba, se paseaba en barco y pescaba. Mientras



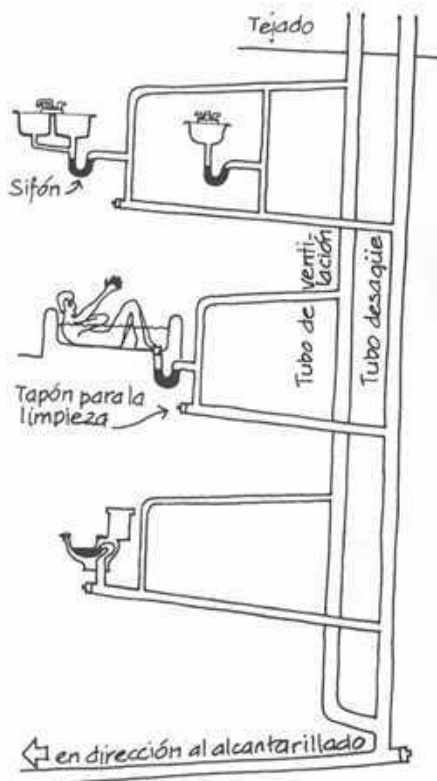
tanto, la tierra productora de alimento se ve gradualmente vaciada de sus nutrientes. La productividad de una finca decaerá y las plantas crecidas de esta forma pueden tener carencia de los nutrientes humanos esenciales. Hay que aplicar y fabricar fertilizantes artificiales para reemplazar los naturales, que a su vez están destruyendo los lagos y los ríos.

Nuestra sociedad también produce desperdicios no residuales que crean problemas diferentes. El papel, los plásticos, el cristal y los metales penetran en nuestros edificios, trayendo información y conteniendo productos de todo tipo. Estas sustancias quedan rápidamente descartadas, así como las cenizas y la carbonilla, el polvo y la suciedad, los aparatos rotos o desgastados, la basura de la cocina, la ropa vieja, los derivados industriales e incluso los desechos radiactivos de los laboratorios y las industrias. Las cantidades de estos desechos sólidos producidos en Estados Unidos alcanzan un promedio de varios cientos de libras por persona y año. Casi todos esos materiales representan bien un eslabón en las cadenas biológicas de reciclaje (tales como restos de comida o papel), bien cantidades limitadas de recursos no renovables (tales como los metales). Entre las sustancias de los desechos, muchas contienen energía útil. Pero la separación y el reciclaje de estos residuos mezclados es una tarea enorme, casi imposible. Muchas ciudades queman simplemente el montón y entierran las cenizas, o entierran los montones sin quemarlos. Los materiales orgánicos enterrados se descomponen, mientras que el cristal, los metales y los plásticos se quedan simplemente en la tierra, desperdiciados.

Un edificio, como parte de su curioso metabolismo mecánico, tiene que deshacerse de los desperdicios y hacerse con materiales frescos, para reemplazarlos. Vale la pena examinar, a la vez, cómo se hace esto corrientemente y luego cómo pueden contribuir los edificios a un sistema más válido de reciclaje de los desperdicios.

Los tubos de desagüe desde los lavabos, los retretes, las bañeras, las duchas y los urinarios se juntan todos a nivel del suelo en un sistema que se vacía por gravedad. A fin de mantener la fluidez de la gravedad, se necesitan grandes caños; todos los caños se inclinan constantemente en un ángulo descendiente; y la presión atmosférica normal del aire debe mantenerse en todas las secciones de la red a cada momento. Más aún, ya que el tubo de desagüe contiene desperdicios sólidos de varios tipos y es propenso a la obstrucción, hay que instalar arquetas en intervalos frecuentes, para permitir su limpieza.

Un aparato como un retrete, un lavabo o una bañera se vacía en el tubo de desagüe a través de un *sifón de depósito*, una pieza de cañería en forma de U que retiene el agua suficiente para impedir que los olores y los gases de descomposición provenientes del tubo de desagüe vuelvan al aparato y al edificio. El tapón de agua en el sifón se puede romper, sin embargo, si el agua usada proveniente del aparato se saca con una ventosa a través del sifón de depósito o si se establece una presión de gas





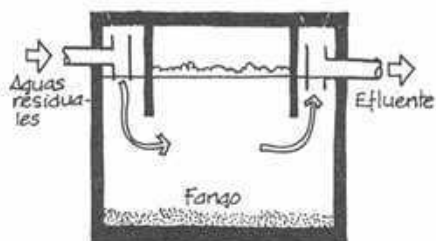


Inodoro

o de aire en la cañería. Por esta razón, se añade una ventosa de cañería al tubo de desagüe, poco más abajo de cada sifón de depósito. La ventosa permite al aire penetrar en el tubo de desagüe a fin de romper cualquier acción potencial de sifonaje, y suelta en la atmósfera todos los gases de descomposición, tales como el metano o el sulfato de hidrógeno. Un sistema de desagüe tan completo en un edificio comprende dos figuraciones en forma de dos árboles, uno que recoge los desechos y los lleva abajo y otro, situado más arriba, que permite que entre el aire en el primero en las extremidades de sus ramales. En cada uno de los árboles, la cañería crece progresivamente cada vez más en sección desde el aparato hasta la salida, a fin de servir al máximo número de aparatos en cada recorrido.

El retrete actual es simplemente un gran sifón de depósito que tiene que vaciarse rápidamente por sifonaje durante el proceso de la descarga; luego se llena otra vez con agua para mantener el tapón contra la entrada de gases de la cloaca. Como cualquier otro sifón de depósito, debe tener un desagüe cerca para prevenir un sifonaje accidental entre las descargas.

Ya hemos esbozado los medios que emplea un municipio para juntar y tratar las aguas residuales a partir de los edificios. Cada edificio rural tiene que tratar y deshacerse de sus propias aguas residuales. Al principio, esto se cumplía a través del uso de un *sumidero*, recipiente subterráneo poroso de tierra o ladrillo que permite a las aguas residuales filtrarse en la tierra que rodea el recipiente. Sin embargo, el sumidero no es satisfactorio, ya que no hace nada para quitar los organismos portadores de bacterias de las aguas residuales, y obstruye a la tierra alrededor con sólidos en un período relativamente corto, después de lo cual volverá probablemente a surgir hacia la superficie del suelo y provocará el retorno de las aguas residuales a los aparatos del edificio. Su sucesor más satisfactorio es la *fosa séptica* no porosa. La configuración de la fosa séptica es tal que contiene las aguas residuales durante cierto número de días, permitiendo su descomposición anaerobia y su separación en un líquido claro y relativamente inofensivo y una pequeña cantidad de materia mineral que se queda en el fondo. El efluente sale fuera de la fosa y penetra en un *campo de filtración*, sistema de cañerías porosas o tanques porosos desde los cuales puede filtrarse en la tierra. El fango del fondo de la fosa se tiene que bombear cada «n» años para ser sacado fuera y secado y desinfectado bajo el sol en un emplazamiento alejado reservado a este propósito especial. Pero si una fosa séptica es demasiado pequeña, o si la tierra en el campo de filtración no es bastante porosa, o si el sistema está instalado demasiado cerca de un pozo, un cuerpo de agua o una pendiente inclinada, incluso un sistema séptico puede funcionar mal y causar la contaminación del agua o de la tierra. Por esto muchos municipios y muchos estados establecen reglas estrictas que exigen un examen del suelo y la utilización de técnicas aprobadas para el diseño y la construcción de los sistemas sépticos.



Fosa séptica

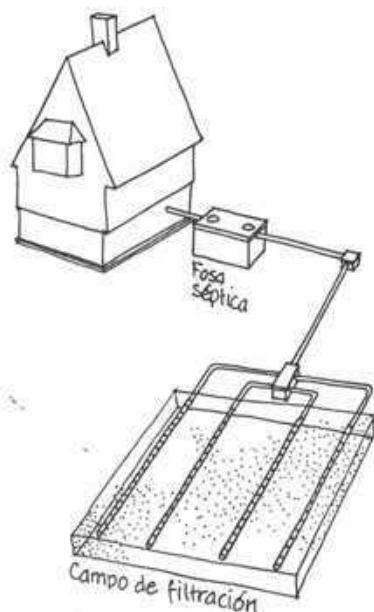
No es infrecuente que un potencial emplazamiento de construcción se revele incapaz de acomodar un sistema séptico y, así, de mantener un edificio.

En un esfuerzo para mejorar los pequeños sistemas de disposición de los residuos, en respuesta a estas reglas estrictas, se introducen cada año nuevos artefactos en el mercado. Algunos se proponen mejorar la digestión de los residuos en el tanque, con agentes tales como la aireación de los residuos para ayudar a una acción más completa de digestión de los organismos aerobios. Otros intentan mejorar el proceso de filtración distribuyendo el efluente más uniformemente a través del campo, o dejando un acceso a las superficies de filtración para su inspección y limpieza.

Por lo común, la basura y los trastos viejos se recogen manualmente dentro de los edificios para ser transportados hasta unos contenedores donde son dejados en espera de la eliminación periódica a cargo de empresas municipales o privadas. Algunos edificios tienen un sistema de incineradores en los cuales se tiran los desechos a través de un vertedero, para ser consumidos por un fuego alimentado por gas o petróleo. Sólo hay que llevarse las cenizas, pero la contaminación del aire provocada por la combustión incompleta en incineradores defectuosos ha provocado el que su utilización fuera estrictamente regulada en muchos sitios. Los pulverizadores de basura maceran y evacuan con agua los restos alimentarios en el alcantarillado, pero la instalación de las cloacas, ya sea municipal o privada, tiene que ser suficientemente amplia para abarcar esta carga adicional de agua y material sólido.

El laborioso transporte manual de desechos sólidos ha sido ampliamente eliminado en algunos edificios gracias a la instalación de sistemas provistos de cañerías de vacío que succionan todos los desechos hasta un emplazamiento central para su incineración o para su compresión en unos fardos que permiten un transporte más fácil. La extensión de tales sistemas a gran escala en una ciudad es fácil de prever, especialmente si se la une a un esquema para la recuperación económica de los materiales de desperdicio.

Algunas ciudades utilizan el calor de combustión de sus basuras como combustible de las instalaciones de fuerza eléctrica o las instalaciones de calefacción central. Otras tienen un sistema para la recuperación automática de los constituyentes aprovechables de las basuras, bien por clasificación automática, bien por pirólisis. En pocas ciudades los inquilinos y los propietarios de los edificios clasifican los varios componentes de sus desperdicios antes de que los recojan, evitando así la necesidad de complicadas plantas de clasificación. Esto, sin embargo, significa que cada casa o cada edificio tiene que separar, en contenedores de basura claramente etiquetados, el papel limpio, el acero, el aluminio, el cristal y los plásticos. El sistema de disposición de los desperdicios sólidos del edificio ya no puede ser un cubo de basura o dos en una esquina, sino que tiene que ser cuidadosamente estudiado y construido para este propósito.



UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

ESCUELA N.º 1  
DE LA COFEC EDUCACION

UTU

Ing. G. CARCAVALLO



Probablemente no tardará mucho antes de que haya sistemas para la separación del agua de lavar usada y los desechos de los excusados. El agua de lavar, después de un mínimo de filtración dentro del edificio, puede servir para propósitos secundarios como el de la limpieza de los excusados o el riego de céspedes y jardines. Gran parte del calor del agua caliente usada se puede recuperar a través de un cambiador de calor para precalentar el agua fría antes de que entre en el calentador, o para contribuir a la comodidad termal del edificio.

Algunos retretes modernos que emplean el principio de descarga convencional están diseñados para utilizar la mitad solamente del agua de los comunes. Excusados con un tapón mecánico, en vez de un tapón de agua, utilizan solamente el 5 % aproximadamente de la cantidad normal, y un excusado que utiliza productos químicos de recirculación es aún más eficaz que esto. Varios tipos no producen residuos en absoluto. Semejante tipo de retrete tiene un pequeño digestor aerobio construido dentro del aparato, y generalmente pierde bastante agua por evaporación, a través de una ventosa de cañería que da al aire exterior, para mantener un nivel de agua constante por dentro. Un segundo tipo incinera el excremento con una llama de gas después de cada uso, dejando solamente un poco de ceniza limpia. Un tercer tipo es una versión muy mejorada del tradicional edificio accesorio, ventilado de tal modo que puede mantenerse libre de olores dentro de la casa y configurado en el interior de tal manera que reduce a la vez el excremento y la basura de cocina a un pequeño volumen de humus libre de bacterias para el jardín en una base continua. Semejante artefacto puede ofrecer una forma, a pequeña escala, de remediar en parte el corte en la cadena de nutrición.

La digestión anaerobia de excrementos produce gas metano en potencia aprovechable como combustible y como producto derivado natural. A partir de los residuos domésticos se forman cantidades tan insignificantes de gas metano, que no vale la pena construir un aparato productor de gas para el uso doméstico, pero para granjeros con ganadería y operadores de grandes plantas de tratamiento de los residuos, las posibilidades son mucho más grandes. Muchas plantas de tratamiento son calentadas, iluminadas y regeneradas en energía por el gas metano proveniente de sus digestores, y algunos granjeros hacen experiencias con sus propios sistemas de producción de metano. Algunas ciudades están incluso capacitadas para extraer cantidades útiles de metano de sus viejos depósitos de basura, perforando pozos para agujerear unos bolsillos de gases de descomposición subterráneos.

Muchas plantas de tratamiento de los residuos están mejorando la eficacia de sus procesos de tratamiento empleando la digestión aerobia, varios tipos de tratamientos químicos y la filtración para producir en algunos casos un efluente aprovechable para beber. En algunas ciudades se bombea el efluente limpio en el suelo para rellenar los estratos portadores de agua agotados. En otras pocas el lodo digerido se seca, se empaqueta y se vende

como fertilizante. Algunas instalaciones municipales esparcen directamente sus residuos tratados sobre los bosques o los cultivos, consiguiendo a la vez la irrigación y la fertilización. Muchas posibilidades de este tipo existen para hacer un uso más responsable y productivo de los desechos que producimos, y muchos más experimentos están en camino. Pero solamente hemos empezado a tratar los problemas del reciclaje de los desperdicios que nosotros, nuestros edificios y nuestras ciudades hemos creado.

## Lecturas posteriores

William J. McGuinness y Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 1971, pp. 40 a 122; versión castellana: *Instalaciones en los edificios*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1982.



## 7. Medidas para la comodidad térmica

El cuerpo humano, a pesar del ingenioso mecanismo que emplea, raramente puede alcanzar el equilibrio termal sin la ayuda externa de la ropa y las construcciones. La ropa y las construcciones son similares en el hecho de que ambas emplean unos artefactos pasivos para aumentar la comodidad del que va vestido o del ocupante. Difieren en dos aspectos importantes: primero, los edificios incluyen un volumen mucho más grande que el contenido por la ropa, a fin de albergar no sólo los cuerpos de los ocupantes, sino todo el espacio ocupado y atravesado en el curso de sus ocupaciones; segundo, los edificios están equipados en realidad para tener una participación *activa*, a la vez que *pasiva*, en el hecho de crear una comodidad térmica a través de la liberación controlada de energía para crear un clima interior más favorable.

A menudo caracterizamos los sistemas de comodidad térmica activos de los edificios como sistemas de «calefacción» o de «refrigeración». Excepto en algunos raros casos, sin embargo, un sistema de calefacción no crea un aporte de calor demasiado claro dentro del cuerpo humano, sino que ajusta simplemente las características del ambiente interior para reducir la intensidad de pérdida de calor del cuerpo, a un nivel que sea confortable. Aunque, por respecto a las conveniencias, seguiremos hablando de sistemas de calefacción y refrigeración en los edificios, habrá que recordar que, en cuestión de exactitud, los sistemas de calefacción y enfriamiento están *a la vez* diseñados para controlar la velocidad con la cual se enfría el cuerpo. Un sistema de calefacción permite al cuerpo enfriarse menos rápidamente en tiempo frío, mientras que un sistema de refrigeración o de «aire acondicionado» ayuda al cuerpo a enfriarse más rápidamente cuando el tiempo es caliente.

El gráfico adjunto muestra los métodos alternativos normalmente utilizables para la regulación voluntaria de la comodidad termal humana. Está dividido horizontalmente en dos grandes secciones, una que contiene los medios para enfriar el cuerpo *más* rápidamente y otra para enfriar el cuerpo *menos* rápidamente. Cada una de las grandes secciones del gráfico está dividida a su vez en

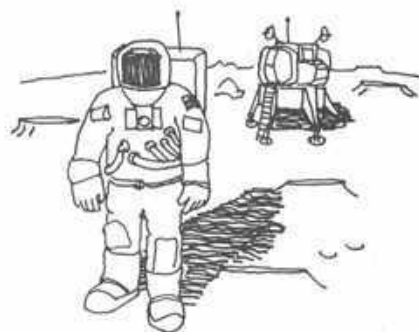


|                                                        |         | Actividad física                                                            | Vestimenta                                                                | Radiación                                                                                                           | Temperatura del aire                                                                                                          | Humedad                                                                            | Movimiento del aire                                                            | Superficie de contacto                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medidas para que el cuerpo se enfríe menos rápidamente | Pasivos | • Estirar el cuerpo para aumentar superficie.                               | • Abrir o quitar unas superficies de ropa.<br>• Empapar la ropa con agua. | • Proteger el cuerpo de objetos calientes.<br>• Exponer el cuerpo a un objeto más frío.                             | • Impedir que sol caliente espacio ocupado.<br>• Emplear masa térmica para calentar aire.<br>• Evaporar agua que enfríe aire. | • Deshumidificar el aire condensando el agua hacia superficies frías del edificio. | • Dejar que el viento o las corrientes de convección se muevan por el espacio. | • Poner el cuerpo contra una superficie fría y densa.<br>• Alejar el cuerpo de las superficies calientes o aislar.                 |
|                                                        | Activos | • Reducir el nivel de actividad muscular.                                   | • Vestimenta enfriada con agua.                                           | • Enfriar mecánicamente las superficies del edificio.                                                               | • Refrigerar mecánicamente el aire.                                                                                           | • Dehumidificación mecánica.                                                       | • Emplear un ventilador o remover el aire.                                     | • Tomarse un baño frío o nadar.<br>• Tomar comida o bebida fría.<br>• Enfriar mecánicamente los suelos y/o los asientos.           |
| Medios para que el cuerpo se enfríe más rápidamente    | Pasivos | • Contraer el cuerpo para minimizar la superficie de área.                  | • Cerrar o añadir más capas de ropa.                                      | • Exponer el cuerpo a un objeto caliente.<br>• Reflejar el calor hacia el cuerpo gracias a una superficie mecánica. | • Permitir el sol en el espacio ocupado.<br>• Utilizar una masa térmica para enviar el calor almacenado en el aire.           | • Dejar evaporar el agua del aire al sol.                                          | • Proteger el cuerpo del viento.                                               | • Poner el cuerpo contra una superficie caliente o aislante.                                                                       |
|                                                        | Activos | • Aumentar nivel de actividad muscular.<br>• Apretarse contra otra persona. | • Manta eléctrica.<br>• Zapatillas eléctricas.                            | • Calentar mecánicamente el edificio.<br>• Hacer un fuego.                                                          | • Calentar el aire.                                                                                                           | • Hervir agua en el aire.                                                          | • Reducir la velocidad del ventilador.                                         | • Baño caliente.<br>• Botella de agua o ladrillo caliente.<br>• Calentar el suelo y/o los asientos.<br>• Comida o bebida caliente. |

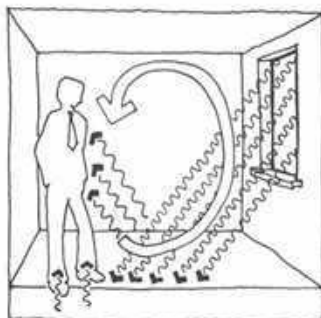
### Medios espontáneos para la regulación de la comodidad térmica

dos subsecciones horizontales, una para los medios pasivos, otra para los medios activos, los cuales requieren una emisión artificial de energía. Las dos primeras columnas indican los papeles de la actividad física y de la ropa. Las columnas restantes enumeran los medios de regular la comodidad térmica que se puede emplear dentro o alrededor de los edificios, más a menudo por los edificios mismos. Estos medios se explicarán de manera más completa en los cuatro capítulos siguientes, pero obsérvese que cinco factores separados: la radiación térmica, la temperatura del aire, la humedad, el movimiento del aire y las propiedades térmicas de las superficies en contacto con el cuerpo, están comprendidos en la creación de la comodidad termal.

Estos cinco factores son fuertemente interdependientes en un edificio. Cuando el sol calienta la superficie del piso, calentará el aire que está encima, irradiará calor hacia el cuerpo humano y conducirá calor por el pie que está en contacto con él. El aire caliente subirá encima del aire ambiental, creando así una circulación convectiva, y la relativa humedad del aire se reducirá a medida que suba su temperatura. Un suceso bien pequeño —el calentamiento del suelo por un rayo de sol— puede afectar todos los factores que se refieren a la comodidad termal. De manera similar, un sistema de calefacción normal de aire caliente, calienta el aire, reduce su humedad relativa,





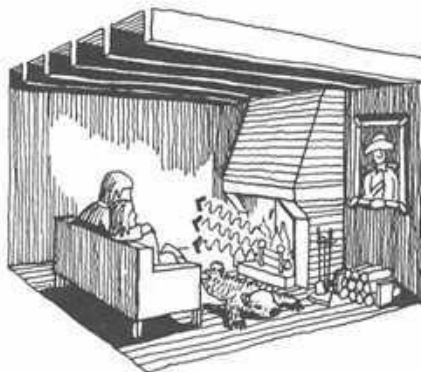


lo sopla por encima de los ocupantes de la habitación y calienta las superficies de la habitación cuando son barridas por el aire caliente. Es imposible variar cualquiera de los factores sin afectar a los demás, por lo menos a pequeña escala.

Aparte de esta interdependencia, hay también una parte de intercambiabilidad en estos medios de regulación de la comodidad térmica. Como se puede ver al utilizar el gráfico, dos tipos de intercambiabilidad son posibles.

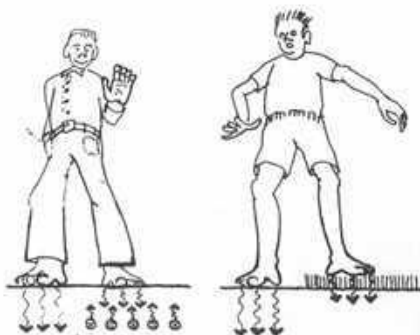
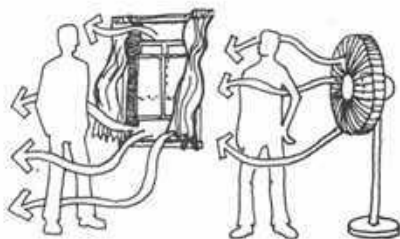
Una es entre las *columnas* del gráfico. Podemos estar bastante cómodos en una habitación donde la temperatura del aire sea relativamente baja, por ejemplo, si hay un fuego crepitando que irradie generosas cantidades de calor desde el emplazamiento del fuego hasta la piel. Las temperaturas del aire en verano, sobre los  $30^{\circ}$  a  $32^{\circ}\text{C}$ , parecerán ideales si la humedad es baja, hay un soplo de aire moderado, sólo se lleva ropa ligera y se está protegido de la luz solar directa. Hay límites a este tipo de intercambiabilidad, pero dentro de una latitud bastante ancha se puede ajustar un parámetro para compensar otro sin provocar incomodidad.

Otro tipo de intercambiabilidad es el que hay entre las *líneas* horizontales del gráfico, entre los medios



pasivos y activos de variar el mismo parámetro de comodidad térmica. Una brisa pasando a través de la habitación puede sustituir a un ventilador eléctrico. Una alfombra gruesa sobre un piso concreto puede eliminar la necesidad de calentar el piso por la circulación de agua caliente. Donde se puedan emplear medios pasivos en vez de activos, se verá reducido el consumo de combustible en el edificio, y también se harán ahorros a largo plazo dependiendo de los costes relativos de instalación y mantenimiento de los artefactos pasivos y activos.

Las personas varían mucho respecto a unos factores térmicos tan importantes como son la clase de metabolismo, la tendencia a la transpiración, la cantidad de grasa aislante por debajo de la piel, la proporción de superficie de piel en el volumen del cuerpo y la cantidad de ropa llevada. La misma persona vestida igual tendrá necesidades térmicas distintas en los distintos momentos del día, como cuando hace unos ejercicios más fuertes, cuando digiere una comida pesada o cuando duerme. Como resultado, cada persona en una habitación es susceptible de tener una opinión ligeramente diferente acerca de cuál estado de las condiciones térmicas es el más cómodo. En general, lo mejor que se puede hacer es buscar aquellas condiciones que satisfagan a la mayoría de la gente y permitan al resto ajustar su ropa para compensarlas. En circunstancias en que los individuos tengan que quedarse en un sitio durante un período prolongado, como en un avión, un teatro, un despacho o una tienda, es posible, con algún gasto, dar a cada persona el control sobre al menos un factor termal gracias a medios como aberturas individuales, pequeñas ventanas que se puedan abrir o pequeños radiadores eléctricos. En otras circunstancias, especialmente en las viviendas, se tiene libertad para ponerse un poco más lejos del fuego o sentarse en una ventana soleada mientras los demás se sientan en la parte sombreada de la habitación. Si el arquitecto del edificio tiene cuidado en suministrar estas oportunidades para el ajuste individual, puede haber muchas de ellas.

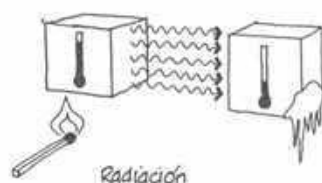


## Lecturas posteriores

Victor Olgyay, *Design with climate*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1973, pp. 14 a 23.

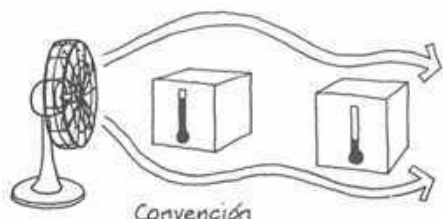


## 8. Propiedades térmicas de los componentes del edificio



Cada material empleado en la construcción de un edificio tiene su propio y único tipo de propiedades físicas en cuanto al aporte de calor. Una parte importante del trabajo de un arquitecto es elegir y combinar los materiales de construcción de manera que den como resultado un edificio cuyo recinto cumpla lo mejor posible su función del control del clima, dejando el menor trabajo a los sistemas, consumidores de energía, de calefacción y refrigeración, y produciendo la máxima comodidad a los ocupantes del edificio.

Haremos una clara distinción entre los tres mecanismos básicos capaces de transportar calor. La *radiación* es un traslado de calor por medio del paso, en línea recta, de ondas electromagnéticas a través del espacio o del aire desde un objeto caliente a otro más frío. La piel es calentada por radiación cuando se está al sol o cerca de un fuego y enfriada por radiación cuando se está cerca de una pared fría o bajo un cielo nocturno claro. La *conducción* es una corriente de calor a través de un material sólido. El calor es conducido hasta o desde la piel cuando se aprieta la piel contra un objeto más frío o más caliente, tal como una patata caliente o un cubito de hielo. La *convección* es un traslado de calor por medio de una corriente móvil de aire o agua. La piel es enfriada o calentada convectivamente por exposición al aire caliente o frío. Un aparato de cocina común emplea los tres mecanismos de traslado de calor: la parrilla caliente la comida principalmente por radiación, el horno sobre todo por convección y los quemadores principalmente por conducción a través del metal de la cacerola.



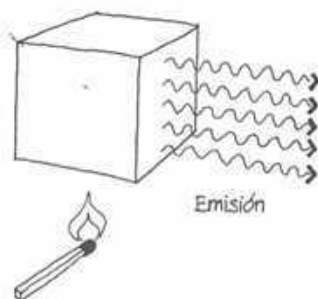
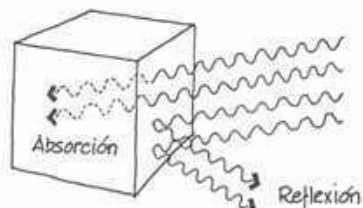
### Radiación

Todos los objetos emiten calor en forma de una radiación electromagnética infrarroja, y todos reciben radiación de los objetos que los rodean. Los rayos infrarrojos son una parte invisible del espectro solar y se comportan exactamente como la luz. Dos objetos cualesquiera

que se puedan «ver» el uno al otro a través de un medio ambiente transparente para la luz, como el aire o el vacío, intercambian energía radiante. Cuando la línea de vista de contacto entre los dos objetos se rompe, como sucede con la inserción de un objeto opaco entre ellos, el intercambio se detiene al instante. La intensidad neta de intercambio entre los objetos es proporcional a la diferencia entre sus temperaturas absolutas elevadas a la potencia cuatro. Así pues, dos objetos de la misma temperatura no tendrán un intercambio de calor neto. Si un objeto está unos grados más caliente que el otro, habrá una corriente de calor relativamente pequeña desde el objeto más caliente hacia el más frío. A medida que aumente la diferencia de temperatura, la corriente de radiación aumentará a una intensidad rápida en proporción.

Las propiedades de radiación de los materiales de construcción, el modo como afectan la radiación térmica que los toca, son de suma importancia para los arquitectos. La *reflexión* es la proporción de radiación entrante que rebotará del material sin cambiar la temperatura de éste. La *absorción* es la proporción que penetrará en el material y hará subir así su temperatura. La suma de la reflexión y la absorción, para un material dado, es siempre igual a uno. La *emisión* es una medida de la facultad del material para irradiar calor hacia otros objetos; en cualquier longitud de onda dada, es numéricamente igual a la absorción.

La variedad de longitudes de onda infrarrojas es bastante grande y encontramos que los edificios deben tratar comúnmente con radiación térmica en dos partes distintas del espectro. La radiación solar, emitida por una fuente a una temperatura de varios millones de grados, es de una longitud de onda relativamente corta. La radiación térmica de la mayoría de las fuentes terrestres —tierra o suelos calentados por el sol, superficies construidas calientes, piel humana— es emitida a una temperatura mucho más baja y, por lo tanto, con longitudes de onda más largas. Los materiales de construcción más corrientes reaccionan de forma diferente a estos dos tipos de longitudes de onda, y varios fenómenos térmicos interesantes suceden a causa de estas diferencias. Según el gráfico adjunto, notamos, por ejemplo, que un edificio pintado de blanco reflejará más o menos el 80 % de la radiación térmica directa del sol, pero sólo, aproximadamente, el 10 % de la radiación térmica proveniente de el césped y el pavimento calentados por el sol que tiene alrededor, casi lo mismo que si estuviera pintado de negro. Si el edificio tiene un exterior metálico brillante, estaría mucho mejor protegido contra la irradiación terrestre del calor solar. También irradiaría menos calor afuera, en invierno, que si estuviera pintado de blanco. Esta baja emisión de los metales pulidos con las longitudes de onda largas es de particular utilidad en la construcción de edificios, porque permite el uso de hojas de metal brillante como aisladores térmicos, a condición de que estén instalados adyacentes a un espacio de aire. Un material sólo puede emitir radiaciones a través de un gas que sea transparente



|                   | Radiación Solar |         | Radiación Terrestre |         |
|-------------------|-----------------|---------|---------------------|---------|
|                   | Absorc. Emisión | Reflex. | Absorc. Emisión     | Reflex. |
| Alumin. brillante | 0.05            | 0.95    | 0.05                | 0.95    |
| Acero galvaniz.   | 0.25            | 0.75    | 0.25                | 0.75    |
| Pintura blanca    | 0.20            | 0.80    | 0.90                | 0.10    |
| Cal fresca        | 0.12            | 0.88    | 0.90                | 0.10    |
| Pintura verde Lt. | 0.40            | 0.60    | 0.90                | 0.10    |
| Pintura verde DK. | 0.70            | 0.30    | 0.90                | 0.10    |
| Pintura negra     | 0.85            | 0.15    | 0.90                | 0.10    |
| Hormigón          | 0.60            | 0.40    | 0.90                | 0.10    |



## Resistencias térmicas

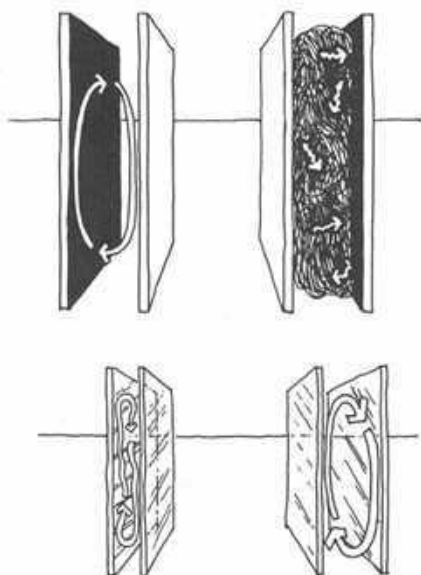
|                                      | $\text{ft}^2\text{hr}^\circ\text{F}$<br>BTU | $\text{m}^2^\circ\text{C}$<br>W |
|--------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 1" (25 mm) aluminio                  | 0.0007                                      | 0.00012                         |
| 1" (25 mm) pino                      | 1.25                                        | 0.23                            |
| 4" (100 mm) ladrillo                 | 0.80                                        | 0.14                            |
| 8" (200 mm) hormigón                 | 0.88                                        | 0.16                            |
| 3½" (90 mm) bloque fibra vidrio 10.9 |                                             | 1.96                            |
| 6" (150 mm) bloque fibra vidrio 18.6 |                                             | 3.38                            |
| 1" (25 mm) espuma poliestireno       | 4.2                                         | 0.76                            |
| 1" (25 mm) espuma poliuretano        | 5.9                                         | 1.06                            |
| Acristalamiento sencillo             | 0.9                                         | 0.16                            |
| Doble acristalamiento                | 1.8                                         | 0.32                            |
| Triple acristalamiento               | 2.8                                         | 0.50                            |
| Pared bien aislada                   | 15.0-19.0                                   | 2.7-3.4                         |

a las longitudes de onda infrarrojas, o a través del vacío. Si está metido y escondido entre otras capas de construcción, sólo puede conducir el calor directamente. Dado que las hojas de metal son excelentes conductores de calor, se deduce que sirven de aislante sólo cuando tienen un espacio de aire por un lado o por otro o, con preferencia, por ambos.

## Conducción

La resistencia de un material a la conducción de calor es una medida de su valor aislante. La velocidad con la cual un edificio gana o pierde calor en cualquier parte de su recinto en unas condiciones estables de temperatura interna y externa, es directamente proporcional a la diferencia, a la temperatura del aire, entre el exterior y el interior, e inversamente proporcional a la *resistencia térmica* total de esta parte de su recinto. Generalmente, intentamos construir paredes, tejados y pisos con la máxima resistencia térmica posible para la comodidad corporal y la conservación de energía. Los materiales sólidos tienen resistencias variables. Los metales tienen una resistencia muy baja (lo que es como decir que son buenos conductores del calor o malos aisladores térmicos), mientras que los materiales de albañilería la tienen moderadamente baja, y la madera tiene una resistencia relativamente alta. El mejor resistente al calor comúnmente aprovechable para su uso en edificios es, sin embargo, el aire, a condición de que se le impida moverse. La cada de aire dentro de la pared de una casa corriente de estructura de madera, si se le impide circular atrapándola en una telaña de fibras de vidrio o minerales poco apretada, tiene una resistencia térmica muy alta. Las fibras, deshilachadas de un material denso, son ellas mismas bastante malas resistentes al calor. Su función es simplemente la de crear tanta resistencia a la circulación del aire que han atrapado, que el aire queda casi inmóvil y actúa como un buen aislante. El mismo aire, si se le deja circular libremente dentro de la pared, forma un tipo de corriente convectiva que transporta totalmente el calor desde la superficie caliente a la fría.

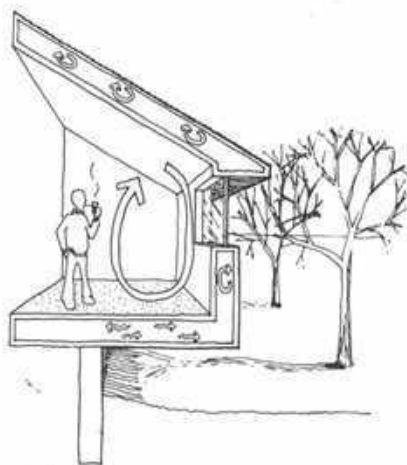
Dado que el vidrio tiene una resistencia notoriamente baja al calor, se han desarrollado sistemas de dobles e incluso triples cristales en que el aire está atrapado en capas finas entre cristales. Las cualidades visuales del cristal no cambian prácticamente, pero la resistencia térmica aumenta ampliamente, aunque no se acerque al nivel de una pared bien aislada. En un esfuerzo para aumentar la resistencia de los cristales dobles, los fabricantes han intentado aumentar progresivamente la espesura de la capa de aire entre las hojas de vidrio. Lo que han descubierto es que la resistencia térmica aumenta cuando se ensancha la capa una pulgada aproximadamente, y luego deja de aumentar cuando se aumenta la dimensión. Lo que ocurre es que, cuando el espacio de aire



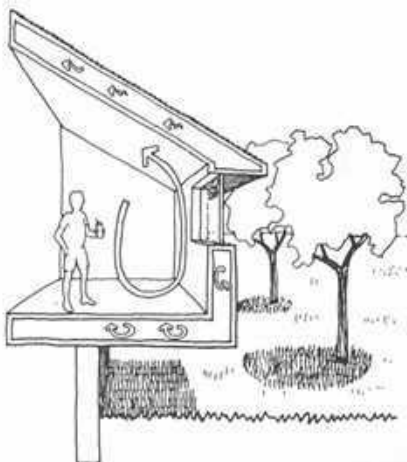
es muy delgado, la fricción entre el aire y la superficie del cristal impide gran parte de la corriente convectiva que transportaría inmediatamente el calor de un vidrio a otro, pero la extrema delgadez de la capa de aire le impide tener una resistencia muy alta. Cuando el espacio de aire es muy ancho, podría en teoría ofrecer mucha resistencia, aparte de que hay suficiente espacio para que el aire circule con relativa facilidad. Una resistencia máxima se puede conseguir, pues, con una capa de aire de espesor intermedio. Se puede aumentar algo la resistencia sustituyendo el aire de entre los vidrios por un gas de capacidad térmica más baja, o introduciendo unas fibras de vidrio poco apretadas en el espacio de aire. Sin embargo, las fibras de vidrio afectan a las cualidades ópticas de la ventana, y no se pueden emplear si se desea tener una buena vista. También reducen la cantidad de luz transmitida, obligando al arquitecto a elegir un compromiso óptimo entre la resistencia térmica y la transmisión de la luz.

La resistencia de un espacio de aire abierto se ve afectada también por las facultades de emisión de las superficies de ambos lados. Gran parte del calor que se desplaza a través de un espacio de aire es irradiada directamente de una superficie a otra, independientemente del traslado convectivo del aire mismo, si las facultades de emisión de las superficies son altas con longitudes de ondas largas, como lo son en la mayoría de los materiales de construcción. Así, una capa de ladrillo, una hoja de metal inoxidable, normalmente de aluminio, dentro o sobre uno u otro lado del espacio de aire, puede eliminar gran parte del traslado radiactivo. En caso de doble acristalamiento, se pueden aplicar unas finas capas de metal sobre las superficies del cristal que miran hacia el espacio de aire, para reducir la facultad de emisión del cristal y de este modo reducir la conductividad del conjunto.

La efectividad aislante de un espacio de aire —o de cualquier material de construcción contenedor de aire— depende también de la posición del conjunto y de la dirección en la cual fluye el calor. En una pared o ventana, como hemos dicho, la corriente de calor es horizontal y apoyada por una circulación convectiva vertical de eficacia moderada. En un tejado, el calor fluye hacia arriba en tiempo frío, y el aire caliente dentro del conjunto del techo sube inmediatamente hacia la superficie superior fría para soltar su calor, proceso relativamente (y desgraciadamente) eficaz. En tiempo cálido, sin embargo, la corriente de aire del tejado se invierte. El aire calentado por la superficie superior más caliente tiende a permanecer estratificado contra esta superficie antes de circular hacia la superficie más fría de abajo, y el traslado de calor a través del tejado es muy flojo. Así, si se instalan semejantes espacios de aire en los conjuntos de las paredes, los suelos y el tejado de un edificio, el traslado de calor convectivo será más rápido en el tejado, menos rápido en el suelo y de rapidez intermedia en las paredes en invierno. Sin embargo, el traslado de calor convectivo es independiente de la dirección. Así, una superficie reflectante eliminará cerca de la mitad de la corriente de



Corriente de calor en invierno



Corriente de calor en verano



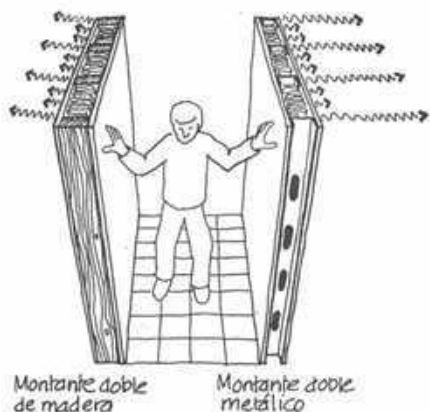
Resistencias térmicas,  $R$ ,  
de las películas de aire  
de superficie

|                                  | $\text{ft}^2 \text{hr}^\circ \text{F}$<br>BTU | $\text{m}^2 \text{C}$<br>W |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| Superf. de pared interior        | 0.68                                          | 0.12                       |
| Superf. externa, viento verano   | 0.25                                          | 0.05                       |
| Superf. externa, viento invierno | 0.17                                          | 0.03                       |

calor a través del tejado y de las paredes, y aproximadamente dos tercios de la corriente descendiente a través de los suelos.

El aire tiene un papel aislante pequeño pero significativo en las superficies exteriores e interiores de los edificios. Cada superficie tiene una fina *película aislante* de aire por fricción entre el aire y la superficie. Cuanto más desigual es la superficie, más gruesa será la película y más alto su valor aislante. Las pieles son un ejemplo de superficie muy desigual que atrapa una capa de aire considerable; sus propiedades aislantes son altamente apreciadas. Sin embargo, las películas de la superficie se ven seriamente afectadas por el movimiento del aire y las películas exteriores son en gran parte destruidas por los vientos altos, lo cual justifica en parte las cualidades de ahorro de combustible de los emplazamientos de construcción protegidos del viento. (La otra parte del ahorro proviene de la reducción de infiltraciones de aire exterior frío a través de rendijas en el edificio.) El traslado de calor convectivo a través de una superficie es aproximadamente proporcional a la raíz cúbica de la velocidad del aire sobre dicha superficie. Las pérdidas de calor previstas en los edificios son siempre calculadas sobre las bases de las máximas velocidades de los vientos dominantes del área.

Las paredes y los tejados de los edificios no suelen tener unas resistencias térmicas uniformes en todas sus superficies, debido a la presencia de elementos de la armadura o de tirantes estructurales que transmiten el calor más rápidamente a través de alguna parte de los montajes. Esto no es un problema demasiado serio en las construcciones de madera, ya que ésta es, por ella misma, un aislante bastante bueno; pero las construcciones de metal y albañilería son muchas veces llenadas con *puentes térmicos* que pueden aumentar mucho la pérdida de calor de un montaje por otros lados bien aislados. En las paredes o los techos existentes, la presencia de unos puentes térmicos siempre se puede detectar gracias a unas *manchas* en las cuales las áreas más frías de la superficie interior juntan una capa de suciedad más gruesa a causa de la mayor carga electroestática que llevan en el aire seco. En climas excepcionalmente fríos, se pueden formar condensación o escarcha en las partes de las superficies interiores enfriadas por los puentes térmicos.



## Capacidad térmica

La *capacidad térmica*, la facultad de almacenar calor, es una importante calidad de los materiales de construcción. En general, la capacidad térmica es aproximadamente proporcional a la masa. Grandes cantidades de materiales densos contendrán grandes cantidades de calor. Los materiales porosos y las pequeñas piezas de material contienen pequeñas cantidades de calor. Se mide la capacidad termal como la cantidad de calor requerida para

### Capacidades térmicas

|              | Por unidad de masa |            | Por unidad de volumen |            |
|--------------|--------------------|------------|-----------------------|------------|
|              | BTU<br>lb°F        | KJ<br>kg°C | BTU<br>ft³°F          | KJ<br>m³°C |
| Agua         | 1.0                | 4.19       | 62                    | 4160       |
| Acero        | 0.12               | 0.50       | 59                    | 3960       |
| Piedra       | 0.21               | 0.88       | 36                    | 2415       |
| Hormigón     | 0.21               | 0.88       | 31                    | 2080       |
| Ladrillo     | 0.20               | 0.84       | 25                    | 1680       |
| Arcilla      | 0.20               | 0.84       | 20                    | 1350       |
| Madera       | 0.45               | 1.89       | 14                    | 940        |
| Lana mineral | 0.20               | 0.84       | 0.4                   | 27         |

hacer subir en un grado la temperatura de una unidad de volumen o de peso de un material. El agua tiene una capacidad térmica más alta que cualquier otro material en las temperaturas normales del aire (excepto algunas sustancias que se derriten y se congelan a temperaturas normales), pero la tierra, el ladrillo, la piedra, el yeso, los metales y el hormigón son también materiales de capacidad térmica alta. El tejido y los materiales de aislamiento térmico tienen una capacidad baja.

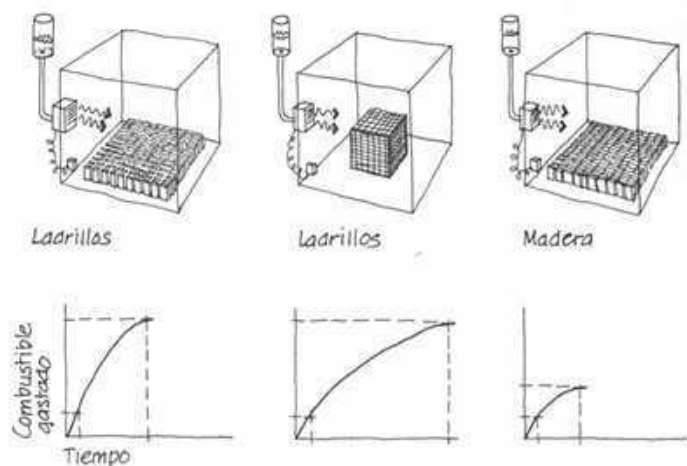
A fin de apreciar el efecto de la capacidad térmica sobre el funcionamiento del edificio, consideremos primero el caso de tres habitaciones de dimensiones idénticas, muy bien aisladas y cada una conectada a su propio sistema de calefacción del aire. En la primera habitación colocamos mil ladrillos, todos de pie y con mucho aire circundante entre cada uno de ellos y los circundantes. En la segunda habitación colocamos mil ladrillos iguales amontonados formando un cubo sólido. En la tercera habitación colocamos mil bloques de madera seca, cada cual del mismo tamaño que un ladrillo de los anteriores, puestos de pie incoherentemente, al igual que los ladrillos de la primera habitación. Dejamos ahora las tres habitaciones abiertas al aire del laboratorio durante varios días para asegurarnos de que el aire y el contenido de cada una estarán equilibrados de acuerdo con una temperatura idéntica. Luego ajustamos los termostatos de las habitaciones a un mismo nivel, 30°C por encima de la temperatura del laboratorio, cerramos las habitaciones y ponemos en marcha los tres sistemas de calefacción. Para cada habitación, un aparato registrador traza un gráfico del consumo total de combustible por tiempo.

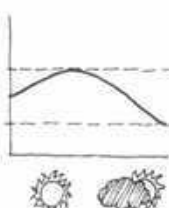
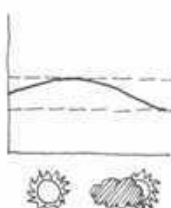
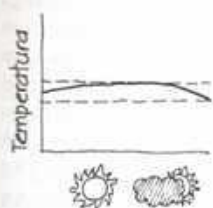
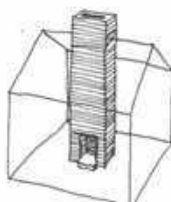
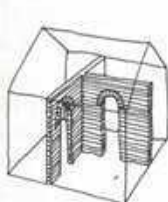
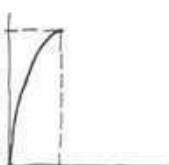
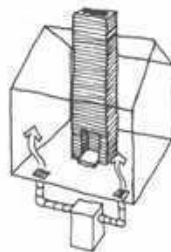
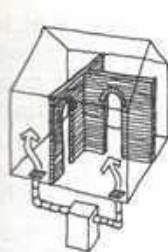
Después de corregir los tres gráficos por las pérdidas de calor incidental de las habitaciones al aire del laboratorio, surge un gráfico sorprendente. Inicialmente, la intensidad de consumo de combustible para calentar las tres habitaciones aproximadamente es la misma, mientras que las temperaturas del aire han subido los cinco primeros grados. Luego, el consumo de combustible en la tercera habitación, la que contiene los bloques de madera, empieza a decaer al mismo tiempo que el termostato pide



cada vez menos calor. El termostato deja de pedir calor por completo después de un tiempo relativamente corto, lo cual significa que el aire y los bloques de madera han alcanzado a la vez la temperatura del termostato. Mientras tanto, la primera habitación, con sus ladrillos despa-ramados, sigue pidiendo calor y consume más combus-tible y más tiempo que la primera habitación antes de estabilizar su temperatura al nivel más alto. Mientras pasa esto, en cambio, la segunda habitación, con sus ladrillos apretados, quema combustible más lentamente que la pri-mera habitación y sigue consumiendo combustible des-pués de que las otras dos hayan alcanzado su equilibrio. Después de mucho tiempo alcanzará también su equili-brio, después de consumir exactamente la misma cantidad de combustible que la habitación que contiene el mismo volumen de ladrillos puestos en desorden. Lo que ocurrió es que los bloques de madera que tienen una capacidad térmica relativamente baja, no requieren mucho calor para calentarse. Los ladrillos, con su capacidad térmica supe-rior, requieren mucho más calor para alcanzar la misma temperatura, y la cantidad es la misma, estén dispuestos desordenadamente o en un volumen compacto. Sin em-bargo, los ladrillos dispuestos en desorden tienen muchas veces más superficies expuestas al aire que los ladrillos en el cubo, y son así capaces de absorber calor desde el aire con relativa rapidez. En el cubo de ladrillos, el calor que penetra desde la superficie tiene que calentar cada capa de ladrillos a su vez, y los ladrillos del mismo centro del cubo no alcanzarán la temperatura de la habitación hasta que todas las capas circundantes hayan sido calen-tadas. Se trata, pues, de un proceso muy lento.

Como aplicación de este experimento, imagínense tres edificios idénticos, bien aislados en un clima frío. El primero tiene unas finas separaciones interiores de ladri-llo. El segundo tiene el mismo volumen de ladrillos, pero todo concentrado en una chimenea maciza, sin usar, que se sitúa sola en medio del edificio. El tercero tiene unas





separaciones de madera y no contiene ningún ladrillo. Si se ponen en marcha tres calderas en los tres edificios, el tercer edificio se calentará muy rápidamente, el primero muy lentamente y el segundo alcanzará la temperatura del aire deseada después de un período intermedio, pero seguirá mucho tiempo para obtener la introducción adicional de calor para calentar su masa de mampostería. Si se introduce el calor en los tres edificios en intervalos esporádicos pero idénticos como, por ejemplo, por aportes de luz solar en las ventanas cada vez que se aclara el cielo, el edificio con divisiones de madera experimentará grandes fluctuaciones en la temperatura del aire, mientras que los otros tenderán a amortiguar considerablemente las fluctuaciones.

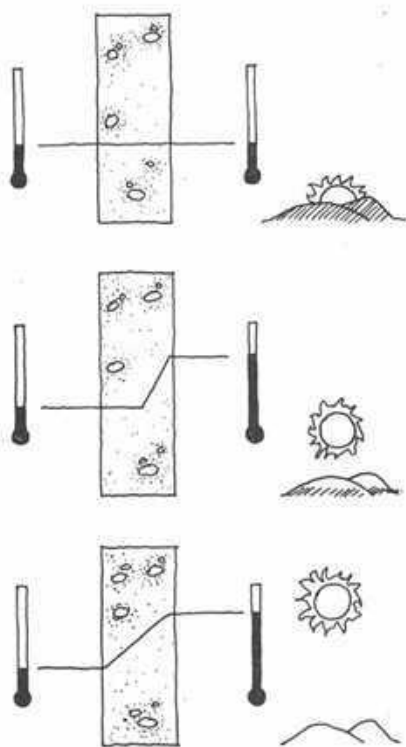
Cuando se construye un fuego dentro de una chimenea maciza, una parte del calor súbito e intenso de



las llamas se irradiará y convectará directamente al interior del edificio, pero una gran parte calentará la albañilería del hogar y la chimenea. Este calor emanará poco a poco cuando el fuego esté bajo o después de su extinción, una parte hacia arriba de la chimenea y al exterior y una parte a través de las paredes de la chimenea y del hogar y de la abertura del hogar, hacia el interior del edificio. Por estos medios, el hogar, en sí mismo, sirve para igualar y prolongar el aporte de calor proveniente del fuego. Algunas estufas que queman combustible están construidas macizamente de piedra o cerámica, por razones parecidas. Se pueden utilizar similarmente unas masas de albañilería o de agua para acumular el calor de los colectores solares y utilizarlo durante la noche o en días nublados, o para acumular el proveniente de los elementos con resistencia eléctrica durante las horas de poco consumo, cuando el precio de la electricidad es más bajo, y utilizarlo para calentar la casa durante el resto del día.

Cuando se construye una pared exterior sobre una gruesa capa de un material de alta capacidad, tal como el adobe, la piedra, el ladrillo o el hormigón, y se le mantiene a una diferencia de temperatura estable entre el exterior y el interior, la pared se calentará sólo lentamente por el calor que penetra por el lado más caliente, mientras que será absorbido a su vez por cada capa interna de la pared. Eventualmente, se alcanzará una situación estable en la cual el lado más frío de la pared estará a una temperatura cercana a la del aire del lado frío, el lado más caliente se acercará a la temperatura del aire del lado más caliente y existirá una línea recta de temperatura de declive a través del espesor de la pared. Hasta que se logre este estado definitivo, la pared transmitirá calor de un lado a otro a una velocidad menor de la que se prevería por parte de la resistencia térmica de la pared únicamente. Una vez que se ha conseguido el estado definitivo, en cambio, la transmisión del calor sucede a la velocidad prevista. Dado que los materiales de capacidad térmica alta están caracterizados por resistencias térmicas bajas, esta velocidad será relativamente rápida en comparación con la de una pared bien aislada.

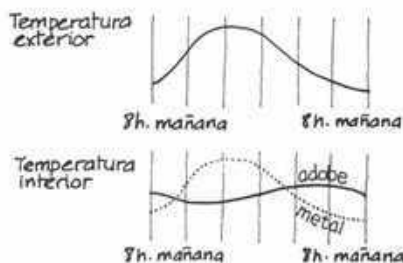
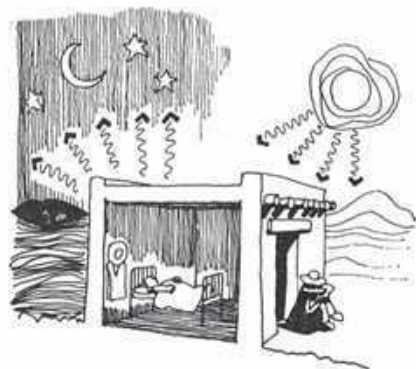
Cuando la temperatura del aire fluctúa por un lado de la pared, ésta actuará para amortiguar e impedir las fluctuaciones de la temperatura del aire al otro lado. Un ejemplo muy útil es la arquitectura pesada de barro o piedra que se encuentra corrientemente en los climas desérticos cálidos del mundo. Durante el día, el aire exterior es caliente y el calor penetra lentamente a través de la pared o el tejado hacia el interior de la construcción. Sin embargo, antes de que mucho calor pueda penetrar por la gruesa construcción, para alcanzar el interior, se pone el sol. El enfriamiento radiacional del suelo da como resultado un considerable enfriamiento del aire exterior, hasta temperaturas más bajas que las del exterior caliente del edificio, y comienza el enfriamiento convectivo de las superficies exteriores del edificio. El enfriamiento radiacional directo de las superficies exteriores, particularmente del tejado, también tiene lugar. Gran parte del ca-



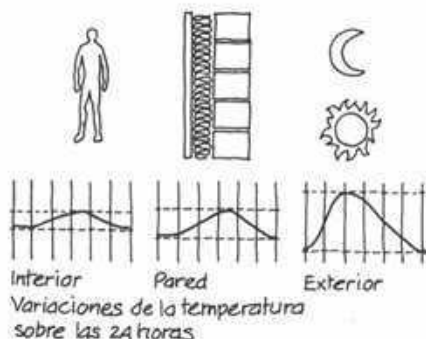
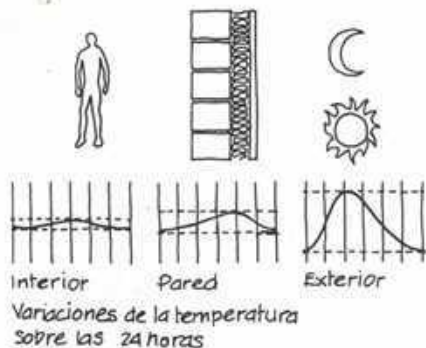
lor almacenado dentro de las paredes y el tejado tiende más bien a fluir lentamente, de vuelta a las superficies exteriores frías, antes de proseguir su migración hacia el interior. El efecto neto es que el interior del edificio es más frío durante el día que sus alrededores y más caliente durante la noche, lo cual es precisamente el modelo que necesitan sus ocupantes para permanecer cómodos. Se ha llegado al espesor óptimo de las paredes (térmicamente hablando) y de los tejados gracias a un proceso de siglos de intentos y errores. En muchas áreas geográficas, el efecto de la masa térmica se intensifica por el blanqueo de las superficies exteriores. El blanqueo refleja mucha radiación solar infrarroja, pero es un emisor bastante eficaz de largas ondas infrarrojas provenientes de las superficies de los edificios calentados hacia el cielo de la noche. La ventilación del edificio es habitualmente minimizada durante el calor del día o el frío de la noche, al cerrar las pequeñas ventanas.

Los edificios utilitarios contemporáneos, en muchas áreas del desierto caliente, están contruidos con tejados de baja capacidad de hojas de metal ondulado o de cemento plástico. Estos edificios ofrecen una comparación notable con los del ejemplo anterior. Los tejados ligeros se calientan casi instantáneamente con el sol. Gran parte de este calor es conducido y reirradiado en el interior del edificio, haciendo subir rápidamente su temperatura a niveles insoportables. Por la noche, estos edificios pierden rápidamente su calor y enfrían el espacio interior y sus ocupantes a la vez por convección y radiación. Donde ha habido una elección de material tan equivocada, se pueden mejorar sus efectos térmicos con la agregación de una gruesa capa de material aislante y/o de alta capacidad debajo del tejado, preferentemente con una gruesa cámara de aire justo debajo del tejado para permitir el escape del calor solar hacia el exterior.

Los materiales de alta resistencia térmica pueden ser combinados a menudo con materiales de alta capacidad térmica para ayudar a conseguir el tipo deseado de comportamiento térmico en el recinto del edificio. Los edificios pesados de climas calientes, para funcionar más efectivamente, se pueden construir con la adición de una capa de aislante fuera del recinto de mampostería. El aislante reduce la amplitud de las fluctuaciones de las temperaturas a que está expuesta la mampostería, y el medio ambiente interior se hace de este modo extremadamente estable. La misma cantidad de aislamiento, instalada en el interior de la mampostería del recinto, es considerablemente menos efectiva. En esta configuración, la masa de la estructura está todavía expuesta plenamente a la aportación de calor solar y a los vaivenes de la temperatura del aire exterior, mientras que el aislamiento en su interior se ve virtualmente gastado por los pequeños vaivenes de la temperatura de las superficies interiores, solamente de la mampostería. El aislamiento exterior ofrece la ventaja, además, de proteger el edificio, particularmente la estructura del tejado, de las extremas tensiones de las contracciones y dilataciones térmicas. Incluso en







climas templados, la adición de capacidad termal dentro del recinto bien instalado y aislado ayudará a nivelar las fluctuaciones invernales en la temperatura del aire, causadas por la aportación de calor solar a través de las ventanas, las pérdidas de calor a través de las mismas, los fuegos de chimenea, la cocina y las cocciones, y los apagones de las instalaciones de calefacción. En verano, la capacidad ayudará a moderar las altas temperaturas diurnas. Por otro lado, los edificios situados en climas cálidos, húmedos, donde las temperaturas nocturnas siguen altas, son más satisfactorias con una capacidad térmica lo más pequeña posible. Al contrario, tendrían que ser diseñados para expulsar por reflejo el calor solar y reaccionar lo más rápidamente posible a las brisas enfriadoras y los pequeños movimientos descendientes en la temperatura del aire. Una típica casa indígena en semejante clima está levantada encima del suelo por postes de madera para coger el viento, tiene un tejado que es una ligera cubierta de paja y unas paredes que son unas pantallas abiertas de madera o de cañas. En climas más fríos, los edificios que sólo son ocupados ocasionalmente durante el invierno tienen que ser bajos en capacidad térmica, pero altos en resistencia, de manera que se calienten rápidamente cuando están ocupados y se enfríen de prisa después de la salida de sus ocupantes, sin gastar ningún calor acumulado para un interior vacío. Así, al diseñar un chalet para un uso de fin de semana en una estación de esquí, podemos escoger una estructura de construcción bien aislada con unos paneles de madera interiores.

La alta resistencia térmica es un atributo deseable en los recintos de los edificios bajo casi todas las condiciones climatológicas, especialmente en los tejados, que son propensos a la vez al fuerte aumento de calor solar y a la fuerte pérdida de calor en invierno. La alta capacidad térmica es también deseable en los sitios donde las variaciones diarias y cíclicas de temperatura necesitan ser suavizadas. Los efectos combinados, sobre el medio ambiente térmico interior, de la capacidad térmica, la resistencia térmica, las aportaciones y las pérdidas de calor radiante a través de las ventanas, las ganancias y las pérdidas por la ventilación y los aumentos por el calor soltado dentro del edificio, son a menudo extremadamente complicados, especialmente cuando varios de estos factores varían independientemente en el tiempo. Pero, incluso en ausencia de un análisis matemático detallado, un arquitecto informado debe ser capaz de hacer una selección preliminar de materiales y diseñar de acuerdo a decisiones que sean térmicamente correctas, al menos en sentido cualitativo.

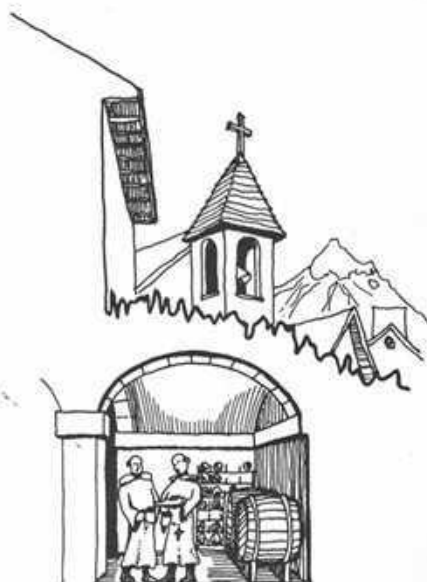
A causa de la alta capacidad térmica del suelo, las superficies del edificio que están en contacto con la tierra más abajo de la profunda penetración de la helada, tales como las paredes de los sótanos o las paredes contra las cuales se amontona la tierra, permanecen a una temperatura bastante constante, normalmente entre 13 y 15°C a lo largo del año. En tiempo cálido, estas superficies permanecen frescas, y en tiempo frío no están ex-

puestas a las extremas temperaturas del aire. A causa de esto, las partes enterradas de los edificios son, por lo general, más fáciles y baratas de enfriar en verano y de calentar en invierno. Para darnos cuenta de estas importantes ventajas, sin embargo, las superficies subterráneas de los edificios tienen que ser aisladas con unos niveles de resistencia térmica cercanos a los considerados óptimos para las partes del recinto del edificio que están debajo del suelo, y, cuando es posible, habrá que minimizar la penetración de helada en el suelo adyacente al edificio con la instalación de una gruesa cubierta de suelo o enterrando unas hojas horizontales de espuma plástica aislante.

## Vapor de agua

Los efectos de varios materiales de construcción sobre el vapor de agua, y del vapor de agua sobre los materiales de construcción, son de suma importancia en el comportamiento térmico de los edificios. El vapor de agua es un gas incoloro e inodoro. Está universalmente presente en el aire, pero en cantidades extremadamente variables. Cuanto más caliente es el aire, más vapor de agua puede contener, pero rara vez el aire contiene tanto vapor como podría contener a una temperatura dada. El modo más conveniente de definir el contenido de vapor de agua en el aire es por la *humedad relativa*, un esquema de porcentajes que representa la cantidad de vapor que el aire contiene realmente dividida por la cantidad máxima que podría contener en potencia a la temperatura dada. Una humedad relativa (H.R.) del 60 % indica que el aire contiene seis décimas del vapor de agua que podría tener a la temperatura dada. Esta H.R. se puede aumentar fácilmente, en un espacio cerrado, hirviendo agua para soltar vapor, lavando o bañándose, trayendo muchas plantas verdes o simplemente respirando. Si es aumentada hasta el 100 %, como ocurre a veces en las duchas de un gimnasio o entre las paredes de una piscina, el aire no puede contener más vapor de agua y una parte empezará a condensarse en niebla.

Otra manera de aumentar la H.R. es simplemente reducir la temperatura de la habitación sin dejar escapar nada de aire. Mientras decae la temperatura, la masa de vapor de agua en el aire sigue igual, pero la capacidad del aire para contenerla disminuye, lo cual significa que la H.R. aumenta. (Recuérdese que esto es lo que ocurre en el aire exterior cuando sube sobre una montaña, enfriándose por dilatación.) Si la temperatura decae lo suficientemente, se alcanza una temperatura conocida como *punto de rocío*, en el cual el aire llega justo al 100 % de H.R. Si el enfriamiento sigue por debajo del punto de rocío, el vapor de agua empieza a transformarse en líquido, como gotitas de niebla. A una temperatura dada, sólo se condensará bastante vapor para mantener el 100 % de H.R., con el resto manteniéndose en el aire en forma de



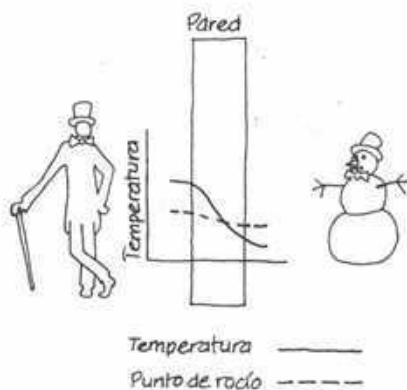
UNIVERSIDAD DEL TRABAJO DEL URUGUAY

UNION  
DE CONSTRUCCION

LIBROS

Ing. C. CARAYALLA





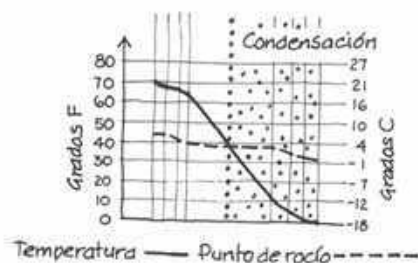
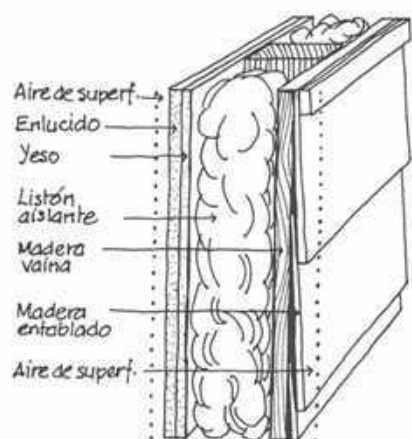
gas, a no ser que la temperatura se reduzca aún más, pues en este caso se condensará todavía más. El punto de rocío no es, por supuesto, una simple temperatura fijada; cada masa de aire tiene su propio punto de rocío, la temperatura exacta del cual es determinada por la proporción absoluta de vapor de agua que el aire contiene. Cuanto más seco es el aire, más bajo es su punto de rocío, y cuanto más húmedo es el aire, más alto es su punto de rocío.

El aire en los edificios es frecuentemente enfriado por debajo de su punto de rocío. Vemos este fenómeno en tiempo de verano húmedo, cuando el aire es enfriado y la humedad condensada aparece como un «sudor» sobre una tubería de agua fría, un tanque de agua fría detrás de un retrete o una pared fría de sótano. La condensación que gotea de las cañerías y los tanques provoca manchas de agua, moho y desmoronamientos en los edificios. En tiempo frío, la mayor evidencia de que el aire es enfriado por debajo de su punto de rocío la dan los cristales fríos de las ventanas, que se cubren de niebla y a veces de escarcha a causa de la condensación del vapor de agua interior. Aunque siempre sean pintorescas la niebla y la escarcha en las ventanas, luego dejan un líquido sobre la estructura de la ventana, lo cual ayuda a la formación de moho o a la pudrición.

Mucho más serio es el modo invisible como el vapor de agua se condensa en los edificios. Puede suceder cuando una instalación aislada, así como una pared, está situada entre un aire caliente, relativamente húmedo, por un lado, y un aire frío, relativamente seco, por otro. Dos situaciones semejantes ocurren en un edificio calentado en invierno, colmado de vapor de agua proveniente de la respiración, del lavar y el cocinar; y en un edificio frío, deshumidificado en un clima caliente húmedo.

El vapor de agua en el aire ejerce una presión de gas parcial conocida como *presión de vapor*. Cuanta más humedad contiene el aire, más alta es la presión. Esta presión lleva al vapor de agua a dilatarse en áreas de presión más bajas, buscando así crear un equilibrio. En una situación donde el aire húmedo está de un lado de una pared y el aire seco del otro, el vapor de agua (gas invisible) emigra a través de la pared desde el lado húmedo hasta el lado seco, conducido por una diferencia en la presión del vapor entre los dos lados. Si hay escapes de aire en la pared, las corrientes de aire también pueden transportar vapor de agua. Los materiales de construcción más corrientes solamente ofrecen una resistencia entre escasa y moderada al paso del vapor de agua, y unas cantidades considerables de vapor de agua son bombeadas a través de la pared con unas pérdidas solamente entre escasas y moderadas en presión de vapor desde el lado húmedo al lado seco. Estas pérdidas se ven reflejadas por un decrecimiento progresivo hasta llegar a la temperatura del punto de rocío desde el lado húmedo al lado seco.

Simultáneamente, en cambio, la temperatura de la pared cae gradualmente desde la superficie más caliente hasta la más fría. La superficie caliente de la pared, pro-

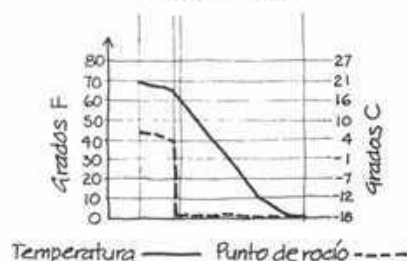
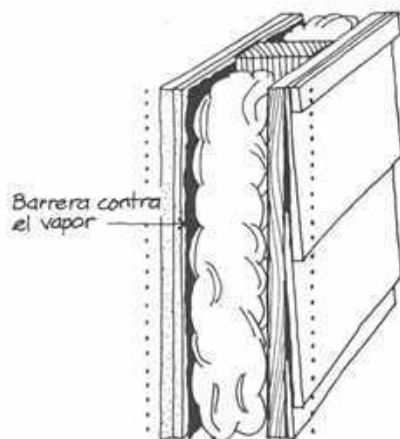


tegida por una película de aire aislante, es ligeramente menos caliente que el aire de ese lado. A través de las diversas capas de la construcción, la temperatura cae según velocidades diferentes, dependiendo éstas de las diferencias térmicas de los materiales, hasta llegar al lado frío, donde la superficie, todavía preservada por una película de aire, es justo un poco menos fría que el aire.

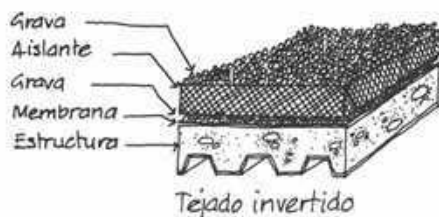
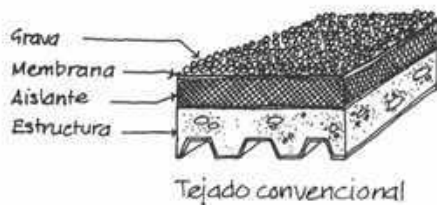
Los problemas surgen dentro de la pared donde sea que la temperatura de la pared, en un emplazamiento dado, llega por debajo del punto de rocío, provocando la condensación del vapor y humidificando la construcción interior de la pared. Donde sea que la humedad se condense a partir del aire, se crea un ligero decrecimiento local en la presión de vapor en el aire, y el vapor emigra en dirección al área de condensación desde las áreas circundantes de presión de vapor más alta. Por estos medios, el vapor de agua sigue desplazándose inexorablemente hacia la zona de condensación, y la condensación sigue sucediendo, a no ser que, bien la diferencia en el vapor de presión entre los dos lados, bien la diferencia en la temperatura, disminuya lo suficiente para detener la condensación. El resultado es frecuentemente una pared completamente empapada, con los materiales aislantes saturados y doblegándose bajo el peso del agua que absorbieron, o congelados dentro del hielo de la pared. En estas condiciones, los materiales aislantes son en la práctica completamente inefectivos y las demandas de combustible de calefacción del edificio aumentan en consecuencia. El desmoronamiento o la corrosión de la estructura de la pared es un frecuente efecto secundario de la condensación del vapor, que se ha vuelto mucho más serio por el hecho de que la deterioración es muchas veces disimulada a la vista hasta que se ha extendido lo suficiente para crear problemas estructurales.

Donde el vapor de agua en desplazamiento se topa con una capa impermeable, como una mano de pintura bien aplicada, la presión de vapor puede formar unas «ampollas» que despegan literalmente la pintura de la pared. La pintura exterior desconchada de las casas se ve más a menudo en el exterior de las cocinas y los cuartos de baño, donde las presiones de vapor son más altas.

En cualquiera de las situaciones de este problema, el mejor remedio es colocar una *barrera contra el vapor*, una hoja de plástico continua, hermética al vapor o de metal, lo más cerca posible del lado caliente de la construcción, pero en cualquier caso entre la principal capa aislante y el lado caliente. Un panel de ventana, ya de por sí bastante hermético al vapor, puede usualmente tener su temperatura elevada por encima del punto de rocío con la instalación, como aislante, de un segundo cristal con un espacio de aire entre los dos. En las paredes, los techados y las puertas, una barrera contra el vapor, cuidadosamente hermetizada en sus juntas y sus aberturas, tendría que ser instalada justo dentro de la última capa de construcción del lado más caliente. Para un edificio artificialmente refrigerado en un clima tropical, el lado más caliente es el exterior. Para edificios en climas







fríos, la barrera contra el vapor tendría que situarse justo por debajo del yeso o del artesonado dentro del edificio. En edificios más viejos con problemas de vapor, a menudo no es posible instalar una barrera apropiada contra el vapor. Lo mejor que se puede hacer es obturar los escapes de aire en las paredes, aplicar una buena capa de pintura en la superficie del lado más caliente e instalar frecuentes aberturas de ventilación en el lado frío para ayudar a la eliminación de la humedad del interior de la construcción.

La membrana de los techos siempre ha presentado un problema particular con respecto al vapor de agua en los climas fríos, ya que la membrana, de por sí, hermetiza el vapor. Se instala, naturalmente, en la parte de arriba de la construcción del techo, en el lado frío, para proteger a la construcción de la lluvia y la nieve. Así, si no se instala una barrera contra el vapor adicional en el lado interior caliente del techo, la membrana de éste será propensa a la formación de gotas provenientes de la presión de vapor interna, y los materiales aislantes y estructurales de la cubierta del techo estarán expuestos a la condensación. Si se instala una barrera adicional en el lado caliente, cualquier humedad residual proveniente de las lluvias, o de algún trabajo concreto durante la construcción, es atrapada entre las dos capas, y también puede causar problemas. Hasta hace poco, no había ningún remedio adecuado para este problema, pero, con la introducción de los materiales aislantes de espuma rígida resistente al agua, se ha hecho posible la construcción de techos invertidos. La membrana del techo reposa directamente sobre la cubierta estructural. Las tablas aislantes reposan entonces sobre la membrana, protegidas bien por una capa de asfalto, bien por una capa de grava. El resultado es un techo en el cual la membrana está cerca del lado caliente, puesta a salvo de las diferencias de presión de vapor alta, mantenida a una temperatura muy por encima del punto de rocío y, como beneficio secundario, protegida de los extremos de la temperatura exterior y de la luz solar que ataca y a la larga destruye la membrana de los techos.

### Percepción térmica

Falta tratar otra característica importante de los materiales de construcción: ¿Qué experimentan los varios materiales cuando están en contacto con el cuerpo humano? Esto carece de consecuencias en los techos, los techos y las paredes exteriores, pero sí es un factor importante a la hora de seleccionar los materiales para los suelos, paredes interiores, mesas, sillas, bancos y camas. Muchos de nosotros discernimos instintiva y correctamente que ciertos materiales usados de cierto modo se sentirán a veces calientes y a veces fríos. Buscando un banco en un parque un día de mucho frío, ¿vamos a elegir el de granito o el de madera?; al salir de un baño

caliente, ¿preferimos estar sobre un suelo de baldosas o sobre una espesa alfombra de baño?; el tirador de la puerta de una sauna a 50°C, ¿tiene que ser de acero o de madera roja?; la sala de juegos de un niño, ¿tiene que tener un piso de hormigón o de madera? Las respuestas son evidentes, aunque los arquitectos, en situaciones similares, muchas veces cometen errores.

Los materiales calientes al tacto —madera, alfombrado, tapicería, ropa de cama, algunos plásticos— son los de baja capacidad térmica y alta resistencia térmica. Por conducción, el cuerpo calienta rápidamente la superficie de una capa fina del material hasta una temperatura cercana a la del cuerpo, y el material se nota caliente al tacto. Los materiales que se sienten fríos contra el cuerpo tienen características de alta capacidad térmica y baja resistencia térmica. Cuando tocamos una superficie, a la temperatura ambiental, de acero, hormigón, piedra o ladrillo, el calor es sacado rápidamente del cuerpo por un largo tiempo para una superficie relativamente grande de materia más fría, y sentimos frío. Un excelente ejemplo de esto lo hallamos en la diferencia entre una habitación a 22°C y una bañera con el agua a la misma temperatura: la habitación nos da una sensación de agradable calor, mientras que el baño nos da una desagradable sensación de frío. El aire es mal conductor del calor y tiene una capacidad térmica baja, mientras que el agua es exactamente lo opuesto. El cuerpo suelta calor cómodamente en un aire a la temperatura de 22°C, pero pierde calor con excesiva rapidez en el agua a los mismos grados. De modo similar, una pared de yeso a 22°C da una sensación de frío, mientras que una silla tapizada parece casi caliente a la misma temperatura. Un suelo alfombrado a 22°C será agradable para un pie descalzo, pero un suelo de hormigón necesitará ser calentado a una temperatura más alta desde su interior gracias a unos hilos de resistencia eléctrica o unas cañerías de agua caliente, o desde el exterior gracias a su exposición al sol, para conseguir el mismo grado de comodidad.

## Lecturas posteriores

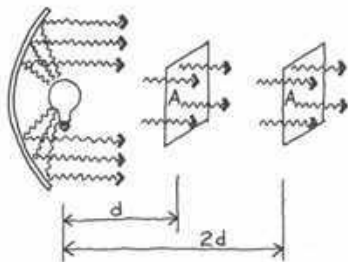
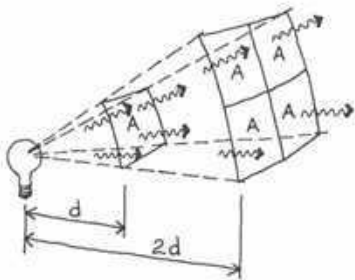
B. Givoni, *Man, Climate, and Architecture*, Elsevier Publishing Company, Nueva York, 1969, pp. 96 a 155.



## 9. Control de la radiación de calor

Una de las exigencias esenciales, en la labor de proporcionar comodidad térmica, es el control de la corriente de radiación térmica hacia y desde el cuerpo humano. A veces, un edificio tiene que proteger el cuerpo del influjo excesivo de calor radiante proveniente del sol o de objetos calentados por el mismo. Otras veces, se necesita protección para impedir una radiación de calor excesiva desde el cuerpo hacia un medio ambiente externo frío. También tienen lugar continuamente unos intercambios de radiación entre el cuerpo y las superficies interiores circundantes del edificio, lo cual requiere que las temperaturas de estas superficies sean suficientemente reguladas para asegurar la comodidad. En muchas situaciones es apropiada la manipulación activa de la radiación, siendo el mayor mecanismo en una combinación que sirve para conseguir la comodidad térmica de los habitantes de un edificio.

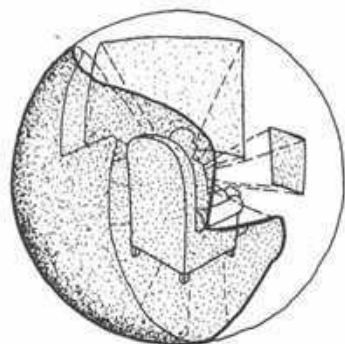
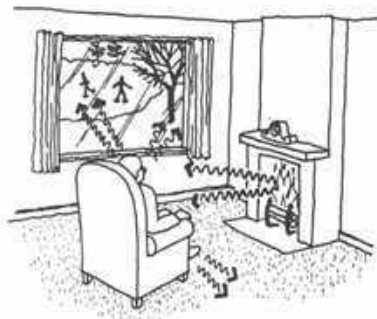
Ya hemos notado, en la página 61, que la radiación térmica se compone de energía electromagnética que abarca la variedad infrarroja de longitudes de onda y se comporta de modo muy parecido al de la luz visible. Un punto de partida, como el filamento incandescente de una bombilla eléctrica, irradia calor hacia un objeto cercano a una velocidad que es también inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el filamento y el objeto. (El sol funciona de acuerdo con esta ley del cuadrado invertido, cuando calienta la tierra.) Así pues, es posible recibir un influjo muy alto de infrarrojos colocando una mano cerca de la bombilla; mientras que, si se aparta la mano hasta un punto situado más lejos, el efecto de calor apenas se nota. En cambio, si se coloca la misma bombilla enfrente de un reflector parabólico, la mayor parte de los rayos divergentes del filamento se pueden concentrar en un rayo paralelo de intensidad radiante moderada. Dentro de este rayo, la intensidad de la corriente radiante es constante, sin que importe la distancia, excepto en cuanto a la energía absorbida por las partículas de polvo en el aire y por el aire mismo, y en cuanto a pérdidas provocadas por la concentración incorrecta del rayo. Una superficie de extensión infinita también irradia hacia



el punto de un objeto a una intensidad independiente de la distancia. Un pájaro que vuela a 150 metros por encima del medio del Sahara, recibe una radiación tan intensa, desde la arena caliente, como un viajero a pie.

Solemos estar rodeados de objetos de temperaturas diferentes en sus superficies. Suponga que está usted sentado en un sillón de respaldo muy alto y tapizado, enfrente de un fuego caliente, a su derecha, y una ventana que enmarca un paisaje de un lago helado, a su izquierda. El sillón sirve de barrera a la radiación, así que una cantidad insignificante de ésta se da o se recibe a través de las superficies traseras de su cuerpo. Las llamas y las brasas incandescentes del fuego son objetos de temperaturas altas, más grandes que si fueran puntos de partida pero más pequeños que unas superficies infinitas, y que irradian el calor bastante rápidamente hacia usted. La ventana es un objeto frío, de tamaño moderado, hacia el cual su cuerpo irradia calor. Encima hay un techo bastante grande en su extensión y algo más frío que su cuerpo, lo cual da como resultado otro escape de calor neto de su cuerpo. El suelo y las paredes ejercen unos efectos enfriadores similares. En esta situación, no es inmediatamente aparente si su cuerpo, después de todo, gana o pierde calor radiante. A fin de valorar la corriente neta total radiante, tenemos que medir la temperatura de cada superficie (el fuego, la ventana, el techo, las paredes y el suelo) y el ángulo sólido esférico subtendido por cada superficie con respecto a su cuerpo. La temperatura radiante (T.R.M.) a la cual está usted expuesto es un promedio de las temperaturas de cada una de las superficies circundantes, medida según el ángulo subesférico de cada una de ellas y la emisividad térmica de cada una. En nuestro ejemplo, quizás el 40 % de su cuerpo está protegido por el sillón, mientras que su cuerpo «ve» el fuego intensamente caliente como un 3 % de su campo esférico de visión térmica. La superficie grande y fría de la ventana puede constituir un 15 %, y el techo, las paredes y el suelo el resto. El fuego es la única fuente de corriente de calor radiante neto hacia su cuerpo en este ejemplo. Ya que subtiende un ángulo de sólo un 3 % con respecto a su cuerpo, tiene que estar muy caliente para superar el efecto enfriante de las superficies más frías, que ocupan el 57 % del campo de «visión» térmico de su cuerpo.

La T.R.M. no es en sí una medida suficiente de la comodidad térmica que podemos esperar en respuesta a las condiciones de radiación de un medio ambiente. La experiencia de asarse de un lado por una fogata y helarse del otro por la radiación del cielo nocturno frío es familiar a todos. La T.R.M. puede ser apropiada para la comodidad en este caso, pero la distribución de las superficies calentadas alrededor del cuerpo no lo es. Se requiere cierto equilibrio en las temperaturas de las superficies a las cuales está expuesto el cuerpo, para impedir que haya aportaciones o pérdidas demasiado rápidas provenientes de cualquier área del cuerpo. También se requiere un equilibrio en las aportaciones y pérdidas efectuadas a través de la corriente de calor, y las efectuadas por convección,







conducción y evaporación. Se puede estar incómodo, en tiempo frío, en un edificio con paredes sin aislar o con ventanas muy grandes, sin mirar la temperatura a la cual está calentado el aire y a pesar de un fuego caliente en la chimenea, a causa de la corriente radiante excesiva que va del cuerpo hacia las grandes superficies frías del edificio. Del mismo modo, el aire refrigerado de un acondicionador de aire no basta para producir comodidad en tiempo cálido si el cuerpo está expuesto a la luz solar directa que venga a través de una ventana o del cielo. Si la T.R.M. interior es alta en invierno, las temperaturas del aire pueden estar un poco más bajas, bloqueando así las pérdidas de calor a través del envoltorio del edificio y ahorrando combustible de calefacción. En verano, un edificio de alta capacidad térmica es susceptible de tener temperaturas frías en sus superficies interiores, lo cual permite estar cómodo con temperaturas del aire más altas.

Si deseamos aumentar la temperatura radiante media en un emplazamiento interior dado, podemos seguir cualquiera o la totalidad de estas estrategias:

1. Dejar que penetre el sol en el emplazamiento. El sol es un aparato de calefacción inconstante, pero agradable y económico. Lo utilizamos casi instintivamente, como lo hace un perro o un gato que dormita, feliz, en los rayos de sol en invierno.

2. Dejar el sistema de calefacción del edificio que caliente más las superficies interiores del edificio, instalando un mejor aislamiento térmico en las paredes y los techos y varias capas de cristal y/o de cortinas aislantes o contraventanas en las ventanas. El buen aislamiento de un edificio paga bien en comodidad radiante, como lo hace en todos los demás aspectos.

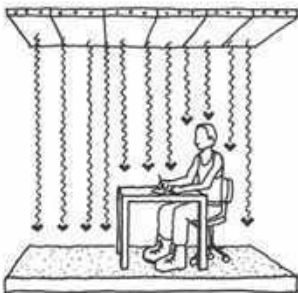
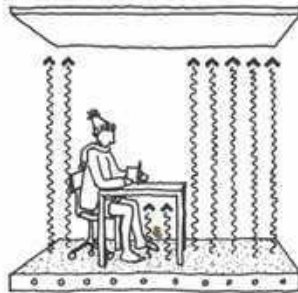
3. Instalar superficies altamente reflectoras de tal manera que reflejen el calor de un cuerpo de vuelta a este mismo. (Es así como funciona una manta reflectora de emergencia.) Las superficies reflectoras son raramente utilizadas en edificios para hacer rebotar el calor de vuelta al cuerpo, pero puede que lo sean a medida que los combustibles se vuelvan más escasos, especialmente si se las puede incorporar en el mobiliario.

4. Calentar superficies muy grandes, tales como los suelos o los techos, hasta temperaturas algunos grados por encima de la temperatura de la piel del cuerpo.

5. Calentar superficies pequeñas, tales como filamentos eléctricos, baldosas de cerámica calentadas por gas, calderas de metal o chimeneas, hasta temperaturas cientos de grados por encima de la temperatura de la piel del cuerpo.

Trataremos estas dos últimas estrategias con más detalle.

Las combinaciones para calentar los suelos o los techos son bastante corrientes; generalmente utilizan hilos de resistencia o bien la circulación de aire caliente a través de serpentines de cañerías, para calentar superficies de hormigón o de yeso. (No se procede generalmen-



te al calentamiento de las paredes, porque solemos introducir clavos o tornillos dentro de las paredes para colgar cuadros y estanterías.) Los sistemas de suelo son atractivos porque calientan el pie por conducción y porque hacen subir corrientes de convección que calientan bastante uniformemente el aire en la habitación. Pero existen varias limitaciones: las mesas y los despachos, por ejemplo, proyectan sombras infrarrojas que anulan la capacidad del suelo para calentar las manos y los brazos. Estos sistemas son incapaces de proporcionar todo el calor requerido para mantener una temperatura del aire confortable en un clima frío sin funcionar a temperaturas de superficie que resulten incómodas para el pie. Su eficacia se ve grandemente reducida por alfombras y moquetas. No son capaces, a causa de la capacidad térmica considerable de las losas del suelo, de reaccionar rápidamente a pequeños o súbitos cambios en la demanda de calor en el interior del edificio. Y, si alguna cosa no funciona en los hilos eléctricos o las cañerías de calefacción, la reparación puede ser muy complicada y carísima.

Los sistemas de techo tienen pocos de estos problemas. Pueden funcionar a altas temperaturas, ya que la gente pocas veces está en contacto con los techos. El acceso a un techo de yeso para las reparaciones es mucho más fácil que el levantamiento de un suelo de hormigón, y algunos sistemas de calefacción por techo están hechos de compuestos de metal que se encajan entre sí, lo cual permite un mantenimiento fácil. Los sistemas por techo pueden usualmente reaccionar con bastante rapidez a las demandas de calor, gracias a su masa relativamente baja. La convección descendiente desde un tejado caliente es poca, sin embargo, para permitir un rendimiento total más abajo, y queda un estrato de aire frío al nivel del suelo, defecto que empeora con las sombras infrarrojas que proyectan las mesas y los despachos sobre los pies y las piernas de la gente.

Las fuentes de calor infrarrojas, pequeñas y de alta temperatura, con reflectores de concentración, son altamente efectivas si se instalan de manera que no proyecten sombras. Son especialmente útiles donde no se pueden mantener temperaturas del aire altas, como en grandes edificios industriales o incluso al aire libre, donde pueden producir calor instantáneamente cuando se necesita y dirigirlo precisamente adonde se necesite. Los fuegos abiertos y las calderas son fuentes de calor radiante menos eficaces a causa de su radiación omnidireccional, al cuadrado invertido, y a causa de la cantidad relativamente grande de combustible que convierten en aire caliente más que en energía radiante. A causa de su semejanza térmica con la radiación solar, el calor infrarrojo, venga de fuentes de altas o de bajas temperaturas, es muy agradable a la piel desnuda. Las piscinas, las duchas y los cuartos de baño son emplazamientos particularmente apropiados para estos sistemas.

Nuestros medios de hacer bajar la temperatura radiante media de un emplazamiento interior son más restringidos que nuestros medios de hacerla subir. Por ejem-



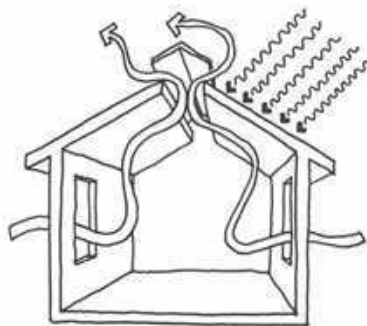


plo, no podemos enfriar nuestros cuerpos exponiéndolos a una pequeña superficie de temperatura muy baja. Mientras que podemos calentar fácilmente un filamento eléctrico o una llama de gas a una temperatura de mil grados o más por encima de la temperatura del cuerpo, sólo hay unos pocos cientos de grados con los cuales trabajar entre la temperatura del cuerpo y el cero absoluto, y los aparatos para producir temperatura muy baja son caros de construcción y de funcionamiento. Más aún, una superficie muy fría se helará rápidamente con la humedad condensada del aire, perdiendo así la mayor parte de su efectividad a causa de las propiedades aislantes del hielo. Incluso una superficie moderadamente fría se volverá húmeda y desagradable en un tiempo veraniego cálido, lo cual es la razón por la cual no podemos refrigerar activamente los suelos y los techos excepto en algunos casos en que podemos mantener la humedad a un nivel suficientemente bajo para eliminar la condensación. En vez de esto, lo que hacemos es resguardar los tejados, las paredes y las ventanas del sol de verano, recubrírlos en el exterior de unas capas altamente reflectivas y prácticas a la vez, aislarlas bien y proporcionar la capacidad térmica suficiente en las superficies interiores del edificio para asegurar el mantenimiento de temperaturas frías a lo largo del día. En algunos casos, también podemos abrir un edificio al cielo de la noche, dejando que nuestros cuerpos y las superficies calientes del edificio irradien calor al espacio.

Para llevar a cabo muchas de estas estrategias de manipulación de las temperaturas radiantes medias hacia abajo o hacia arriba, tenemos que operar a través del medio del recinto del edificio y tener en cuenta sus interacciones con las fuerzas térmicas de fuera. Entre ellas, las más importantes son la afluencia de radiación solar y terrestre y el escape de radiación en ciertos momentos en que el sol está escondido.

El tejado de un edificio es una barrera mayor contra la radiación solar veraniega excesiva, especialmente en las latitudes tropicales, donde el sol pasa justo por encima de la cabeza. La superficie del tejado en sí es de suma importancia. Una superficie altamente reflectiva en rayos solares infrarrojos se calentará muy poco al sol, mientras que una superficie de tejado absorbente de rayos infrarrojos puede alcanzar temperaturas extremadamente altas. La transmisión del calor solar desde el techo al interior del edificio, donde producirá temperaturas altas máximas, se puede reducir con el uso de la resistencia térmica, la capacidad térmica y/o la ventilación de espacios dentro de la estructura del tejado. Bajo los tejados inclinados, la corriente convectiva del aire caliente puede proporcionar la fuerza de ventilación que expulsará el calor, si el tejado está diseñado así.

En las latitudes tropicales, las paredes norte y sur reciben relativamente poca radiación solar, pero las paredes este y oeste necesitan la protección del mismo tipo general que para los tejados descrita en el párrafo anterior. En muchos sitios nortños la pared sur también

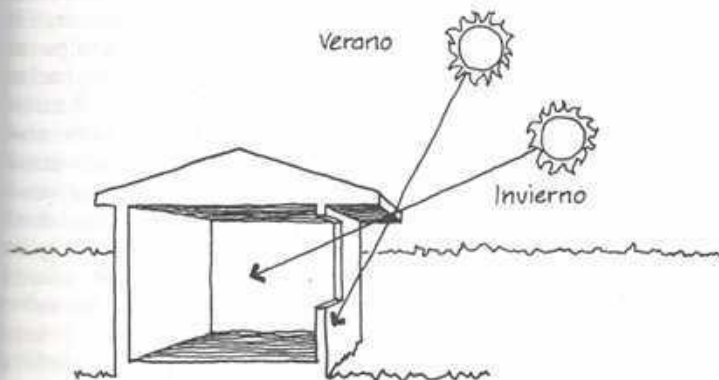
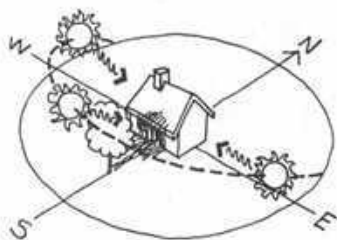
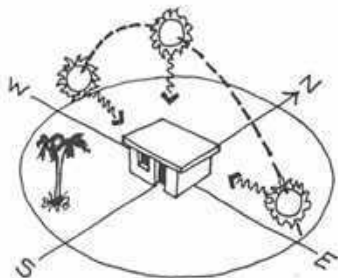


necesita protección contra el sol del verano. Para edificios bajos, la sombra de los árboles y las enredaderas caedizas son un método preferido de control del sol, especialmente porque pierden sus hojas y permiten a gran parte de la luz solar penetrar durante los meses de frío. Un tejado sobresaliente o unos artefactos horizontales que den sombra a cada piso pueden bloquear el sol alto de verano en las paredes frente al sur, pero dejan pasar el sol más bajo de invierno.

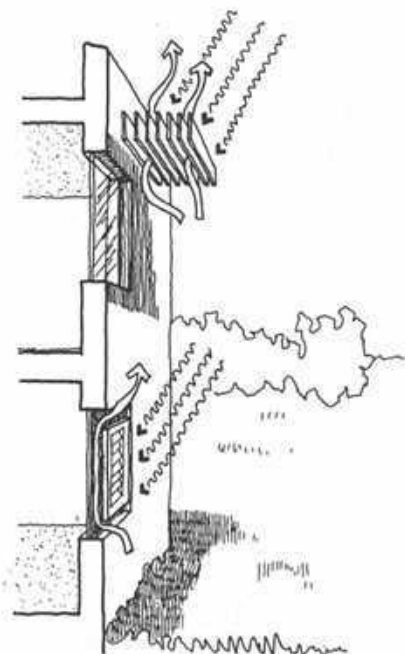
En tiempo frío, por supuesto, semejante radiación solar que pueda ser absorbida por los tejados y las paredes es un añadido bien acogido al contenido en calor del edificio. Algunos arquitectos han llegado al punto de no aislar los lados sur de los edificios. Esto es una tentativa equivocada, ya que el tiempo nublado y las pocas horas del día hacen que sean relativamente pocas las horas de sol en invierno, con el resultado de que durante aproximadamente tres cuartos del invierno, en un típico clima norteno, una superficie frente al sur pierde más calor de la que gana. Una estrategia más productiva es aislar bien estas superficies y utilizar grandes ventanas para atrapar el calor solar, cerrándolas con contraventanas aislantes o cortinas gruesas o pantallas (preferentemente unas reflectoras de longitud de onda infrarrojas) para cuando el sol no esté, para retrasar las pérdidas. Las superficies de paredes bien aisladas no ganarán un calor apreciable cuando no haya sol, pero se reducirán o se eliminarán sus pérdidas de calor gracias al calentamiento solar de sus capas exteriores.

Las mismas superficies exteriores altamente reflectoras útiles para reducir la aportación de calor solar en verano también pueden ayudar a reducir las pérdidas de calor del edificio en invierno. Sin embargo, los metales pulidos son el único material de construcción corriente emisor ineficaz de los rayos infrarrojos. La pintura blanca, excelente como barrera contra la radiación solar, es de poca utilidad contra las emisiones de calor del edificio en tiempo frío.

En tiempo cálido, la penetración de luz solar a través de las ventanas puede producir un efecto de calefacción indeseable en el interior del edificio, calentando las superficies interiores que a su vez calientan el aire







de la habitación e irradia calor a sus ocupantes. Donde sea posible, es mejor interceptar la luz solar, en el exterior del cristal, con árboles, enredaderas, tejados sobresalientes o toldos. De este modo, el calor absorbido por el artefacto sombreador es reirradiado y convectado ampliamente hacia el medio ambiente exterior antes que hacia el interior. Los artefactos sombreadores exteriores son difíciles de ajustar desde el interior del edificio; sin embargo, están sujetos a la fuerza destructiva de la naturaleza. Por otra parte, algunos arquitectos no quieren aceptar la presencia de artefactos sombreadores exteriores en sus edificios. Por estas razones, en vez de ellos, se utilizan a menudo unos artefactos sombreadores interiores tales como los toldos que se enrollan, las persianas o las cortinas. El efecto de estos artefactos interiores es el de absorber la radiación solar y convertirla en calor convectivo en el aire interior, mientras que cumplen la función de impedir a la radiación solar que tope directamente con los ocupantes y el mobiliario dentro del edificio. Los artefactos sombreadores interiores son pues relativamente ineficaces para reducir el calentamiento solar del aire dentro de un edificio, pero son eficaces para proteger a los individuos de la alta aportación de calor radiante proveniente del sol y para reducir la luminosidad visual proveniente de la luz solar directa.

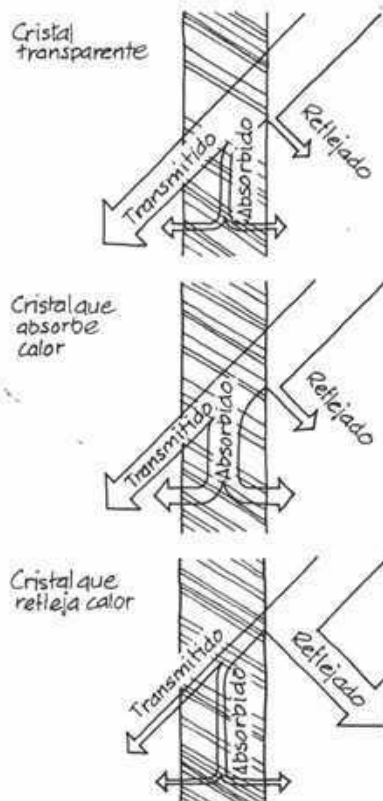
Una ventana de cristal corriente deja pasar más del 80 % de la radiación solar infrarroja, pero absorbe la mayor parte de los rayos infrarrojos de más longitud de onda provenientes de las superficies interiores calentadas por el sol. En tiempo frío, el cristal perderá la mayor parte de este calor absorbido por convección hacia el aire exterior. Sin embargo, el cristal sirve para impedir el paso del aire caliente del interior calentado por el sol hacia el exterior otra vez, y es principalmente por esta razón que los invernaderos, los coches aparcados y las placas de los colectores solares se calientan tan dramáticamente en tiempo soleado.

Los *cristales absorbentes y reflectantes de calor* son utilizados con frecuencia en los edificios para reducir los gastos del acondicionador de aire en verano. Los cristales absorbentes de calor, usualmente de color gris o marrón, no son tan efectivos como se podría suponer según las indicaciones de absorción solar publicadas. Un cristal que absorbe el 60 % de calor solar, por ejemplo, no transmite solamente el otro 40 % hacia el interior. El 60 % que es absorbido tiene que ir finalmente a alguna parte, y apenas la mitad será irradiado y convectado hacia el interior del edificio, y la mitad hacia el exterior, lo cual da una reducción neta total de la aportación de calor solar de sólo el 30 % aproximadamente. Tal reducción puede ser perfectamente suficiente, por supuesto, para muchas aplicaciones. De mucha mayor eficiencia son los cristales reflectores de calor, que hacen rebotar la mayor parte del calor solar sin absorberlo. Pero una gran pared de cristal reflectante puede reflejar la luz solar lo suficiente para sobrecalentar los edificios adyacentes y las áreas exteriores y causar severos problemas de brillo

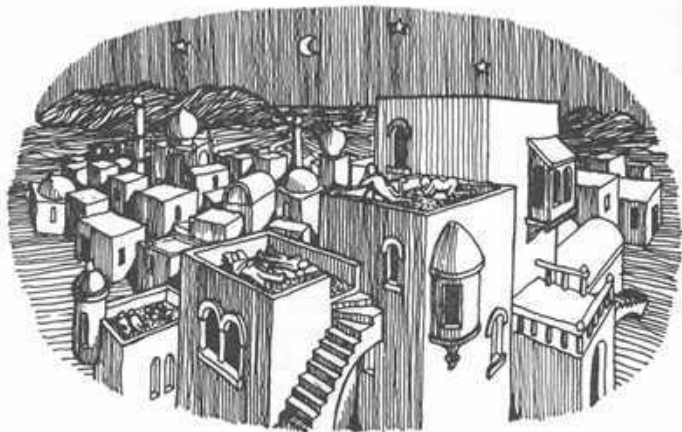
visual en las calles cercanas y los espacios abiertos. Un arquitecto que emplee este cristal tiene que ejercer mucha moderación y mucho juicio.

Si a la orientación de las ventanas se le presta el cuidado suficiente, se pueden evitar muchos gastos de materiales, equipo y energía en combustible para tratar los problemas del paso de la radiación infrarroja a través de las ventanas. En emplazamientos temperados del hemisferio norte, las ventanas situadas cara al norte pierden calor irradiado en todas las estaciones del año, especialmente en invierno. Las ventanas situadas al este ganan calor muy rápidamente en verano, porque el sol brilla dentro de ellas con un ángulo muy directo, pero esta aportación sólo tiene lugar por las mañanas, cuando se agradece siempre después de una noche fría. Las ventanas al sur reciben calor solar durante gran parte del día en verano, pero a baja intensidad, ya que el sol alto siempre pega a las ventanas en un ángulo muy agudo. En invierno, el sol llega en un ángulo bajo a través de las ventanas del sur durante casi todo el día, aportando un calor que es generalmente beneficioso para los ocupantes del edificio. Las ventanas al oeste reciben el calor rápidamente en las tardes de verano, cuando el edificio ya está caliente, y tienden generalmente a sobrecalentar las habitaciones a donde dan. Este efecto es particularmente poco afortunado en las habitaciones de dormir al oeste, que alcanzan su sobrecalentamiento máximo en las horas de dormir en verano. Es más grave aún si las paredes al oeste de la casa están mal aisladas, dejando así que se calienten las superficies interiores de las paredes y se vuelvan emisoras de calor radiante. Unos árboles que den sombra o unos toldos largos sobre las ventanas pueden ser de considerable ayuda para corregir los problemas de exposición al oeste. En las latitudes tropicales, por supuesto, no se puede considerar ninguna ventana al este u al oeste sin el uso de artefactos sombreadores exteriores.

El escape radiacional desde un edificio llega a su máximo en las noches secas, claras, y es especialmente rápido desde las superficies de los tejados que «ven» grandes porciones del cielo nocturno. Los materiales para el tejado se enfriarán frecuentemente por radiación nocturna hasta temperaturas terriblemente por debajo de las del aire circundante. En áreas donde las humedades nocturnas del aire son generalmente bajas y los cielos claros en tiempo cálido, el agua se puede enfriar por contacto con el tejado durante la noche; luego se puede almacenar en un tanque aislado para utilizarla en refrigerar el edificio durante el día. Las superficies de los edificios se pueden enfriar directamente por el agua si la humedad es suficientemente baja, o se puede utilizar el agua para absorber el calor de las serpentinas de un sistema de aire acondicionado mecánico. Una utilidad más directa del enfriamiento radiante de la noche es la construcción de tejados de alta capacidad térmica en climas calientes y secos. Sin embargo, la aplicación más directa de todas es, simplemente, dormir al aire libre durante la noche en tiempo caliente, como se hace en las azoteas de muchas áreas







del mundo, con lo cual se vence el efecto de calentamiento del aire con la irradiación del calor directamente del cuerpo a la oscuridad infinita del espacio.

A causa de la opacidad del cristal y de muchos plásticos de radiación térmica de onda larga, ni las ventanas cerradas ni tampoco los colectores solares cubiertos de cristal o de plástico son muy eficaces para irradiar calor hacia el cielo nocturno. Las ventanas abiertas son más efectivas que las cerradas, pero una gran proporción de lo que «ve» una ventana se compone generalmente de árboles, hierba, tierra y edificios circundantes calientes, y no de cierto frío. La placa negra de un colector solar «ve» principalmente cielo, pero se le tiene que dejar sin cubierta de cristal para que funcione eficazmente. Quizás el más eficaz de todos los aparatos sencillos de refrigeración radiante sea el agua estancada sobre un tejado plano. El agua no «ve» virtualmente nada más que el cielo, y el efecto de refrigeración radiacional se ve intensificado por el enfriamiento adicional de la evaporación de la superficie del agua estancada.

### Lecturas posteriores

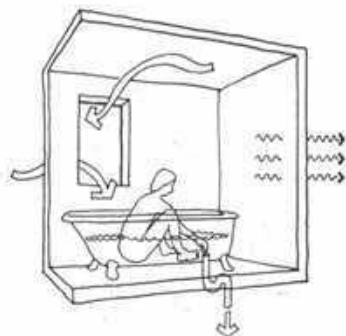
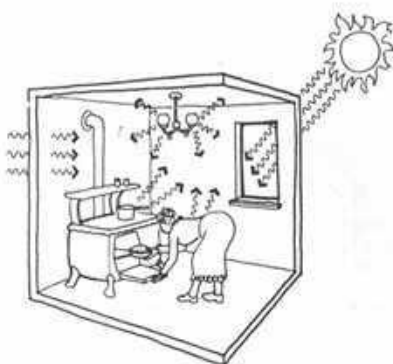
J. F. van Straaten, *Thermal Performance of Buildings*, Elsevier Publishing Company, Nueva York, 1967.

## 10. Control de la temperatura y de la humedad del aire

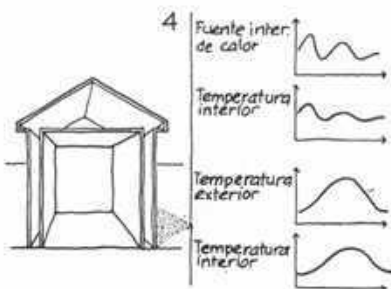
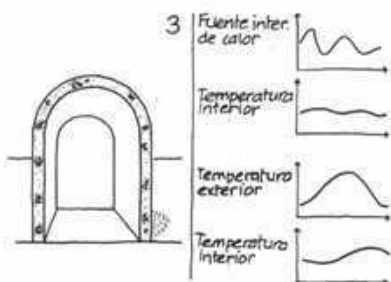
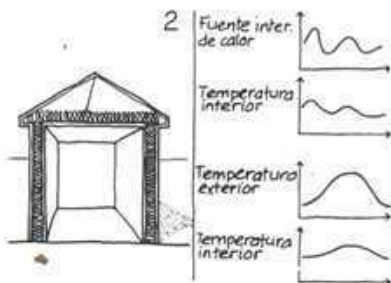
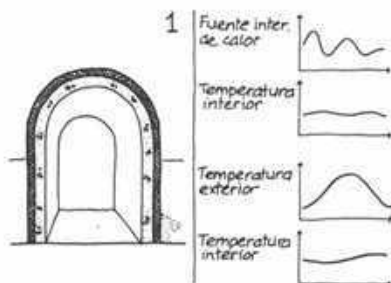
Las funciones de la temperatura y de la humedad del aire respecto a la comodidad térmica humana son fáciles de comprender. En el aire frío, el cuerpo pierde calor demasiado rápidamente para sentirse cómodo, y en el aire caliente con excesiva lentitud. Buscamos un medio ideal. Si el aire es demasiado húmedo, la evaporación de la piel es lenta e incómoda. Si el aire es demasiado seco, la piel y las superficies respiratorias se secan rápidamente y la electricidad estática se vuelve nociva. Así pues, esperamos de nuestros edificios que estos dos parámetros, junto con la radiación térmica y el movimiento del aire, estén regulados dentro de límites bastante estrechos.

El recinto de un edificio, de modo bastante independiente de cualquier sistema de calefacción o de refrigeración mecánicos, desempeña un importante papel al modificar la temperatura y la humedad del aire interior. En un edificio bien diseñado, la humedad se reduce con la exclusión a la vez de la humedad de la tierra y de las precipitaciones. Aparte de esto, la humedad depende de la admisibilidad de aire exterior con una humedad diferente de la existente en el aire interior, la humedad atmosférica generada por los ocupantes del edificio y las bajadas y subidas de temperatura del aire dentro del recinto del edificio. Una temperatura del aire ascendente da automáticamente como resultado una mayor humedad. A veces el vapor de agua será extraído del aire por una superficie fría del edificio que lo condensa, como una ventana, una tubería de agua, una pared de sótano o un suelo de hormigón.

Las temperaturas del aire en un edificio sin calefacción ni refrigeración se ven afectadas por cierto número de factores. El calor penetra en el edificio a través del calor metabólico de sus ocupantes (en cantidades considerables en los auditoriums o aulas de clase con multitudes numerosas), del calor producido por sus actividades (cocinar, bañarse, maquinaria en funcionamiento, aparatos de iluminación en funcionamiento; todas estas fuentes potencialmente grandes), de la radiación solar directa, de la reirradiación terrestre del calor solar, de la conducción hacia el interior del calor proveniente del aire







exterior y de la entrada de aire más caliente del exterior a través de las ventanas, las puertas y los servicios de ventilación. El calor sale de los edificios mediante la emisión o el derrame de aire caliente hacia el exterior, la conducción hacia fuera del calor, al aire libre, de la radiación de calor hacia los alrededores externos y de la descarga de agua calentada utilizada en el alcantarillado.

Los efectos de estas fuentes y corrientes de aire sobre la temperatura del aire interior del edificio son altamente dependientes de las características térmicas del recinto del edificio. Considérense los efectos de sólo dos parámetros de un recinto. A partir de estos dos parámetros podemos construir cuatro combinaciones extremas de características térmicas:

1. Alta resistencia, alta capacidad.  
(Un edificio pesado de hormigón envuelto en el aislamiento.)
2. Alta resistencia, baja capacidad.  
(Un edificio de madera bien aislado.)
3. Baja resistencia, alta capacidad.  
(Un edificio de hormigón sin aislar.)
4. Baja resistencia, baja capacidad.  
(Un edificio de madera sin aislar.)

Un edificio basado en la combinación 1 se calentará lentamente en respuesta a sus fuentes de calor internas y alcanzará un equilibrio de las temperaturas que fluctuará bastante lenta y tardíamente cuando cambien estas fuentes. Se verá relativamente poco afectado por las condiciones exteriores. Un edificio construido según la combinación 2 se verá también relativamente poco afectado por las condiciones exteriores, pero se calentará rápidamente y tendrá fluctuaciones bastante rápidas. La temperatura del aire en un edificio cuyas características térmicas se emparejen con la combinación 3 se verá ampliamente afectado por las condiciones exteriores, pero sus respuestas serán lentas y algo atenuadas. El edificio de madera no aislado, que corresponde a la combinación 4, tiene solamente una pequeña ventaja, respecto a la temperatura del aire, sobre un espacio al aire libre protegido del viento. La temperatura de su aire interior se ajustará a un nivel que se acercará rápidamente a la temperatura exterior en cualquier momento dado. Estos son casos muy simplificados, naturalmente. Los arquitectos controlan muchos más parámetros de la temperatura del aire interior, aunque estos dos, la resistencia y la capacidad térmica, están por encima del más potente.

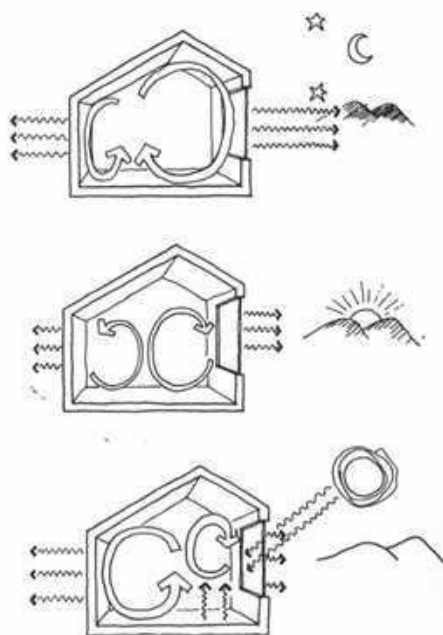
Vale la pena examinar lo que ocurre en las temperaturas del aire interior a lo largo de un día de invierno frío, pero soleado, en un edificio hipotético de madera relativamente bien aislado, con una gran ventana al sur de doble acristalamiento. A medianoche, la temperatura exterior es más baja que la interior y las superficies interiores, particularmente el cristal, son, por consiguiente, más frías que el aire interior. A medida que el aire se acerca a estas superficies, se enfría y se vuelve más denso. Cae a lo

largo de las cuatro paredes, perdiendo cada vez más calor, para reunirse en un estrato frío contra el suelo. El aire más caliente asciende en el centro de la habitación para reemplazarlo, pero es a su vez enfriado por el techo y las paredes y baja hacia el perímetro en dirección al suelo. El aire cerca del techo está más caliente que el aire cerca del suelo; si la habitación fuese más pequeña, esta estratificación sería aún más pronunciada. Hacia la madrugada, el calor almacenado en el aire de la habitación y en los materiales interiores del recinto del edificio es ampliamente afectado y la temperatura interior se acerca lentamente a la exterior.

Mientras se pone el sol, la temperatura del aire exterior sube ligeramente y las superficies exteriores este y oeste del edificio son ligeramente calentadas por la radiación solar directa. La mayor parte de este calor nuevo es convectado desde las superficies hacia el aire exterior todavía frío, junto con el aumento de la temperatura del aire exterior, ayuda a disminuir la velocidad con la cual el calor interior es conducido afuera a través de las paredes y el tejado. Esta situación predominará a lo largo del día, con unas pérdidas continuas pero moderadas desde el interior hacia el aire libre.

Mientras tanto, la luz solar penetra a través de la ventana tocando y calentando partes de las paredes interiores y el suelo. Estas superficies calientes temperan el aire adyacente, que asciende para ser reemplazado por aire más frío, que entonces también es calentado. Se forma un nuevo tipo de convección, con una corriente ascendente sobre las superficies calentadas por el sol y una corriente descendente donde el calor se pierde a través de las paredes, especialmente en los lados más fríos en que no toca el sol, y abajo del cristal ya más caliente, pero todavía frío. La temperatura del aire interior sube, llegando a su punto más alto al principio de la tarde, después de lo cual el sol, que decae, las temperaturas exteriores, que bajan, y la radiación nocturna del cielo se combinan para dar lugar a un enfriamiento neto del interior que es más rápido al principio de la noche y aumenta más lentamente a medianoche.

Hay varias maneras con que se podría mejorar considerablemente la función térmica del recinto de este edificio. El recinto podría estar mejor aislado, naturalmente, para cortar su porcentaje de pérdida de calor, con la utilización bien de materiales aislantes permanentes o bien de alfombras, tapicerías y cortinas. Las pérdidas de calor serán aún más disminuidas minimizando la proporción del edificio en áreas de superficie expuesta del volumen cercado. Esto se podría cumplir remodelando las proporciones del edificio hasta que se parezca más a un cubo o, mejor aún, a una esfera, pero un remodelaje serio podría forzar una reducción de compensación en las áreas de vidrio que podrían recoger el calor solar. También se podría cumplir intercalando estrechamente el edificio entre otros edificios en cualesquiera o todas sus superficies. Se podría correr una gruesa cortina sobre la ventana, o cerrar las contraventanas, cuando el sol no está en el

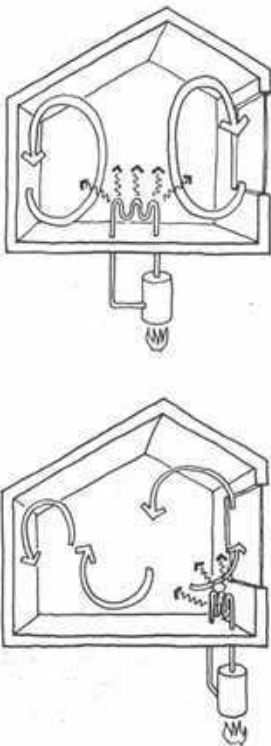




cielo, para frenar la conducción de calor hacia fuera a través del cristal. Se podría aprovechar para ensanchar aún más la ventana, para ganar aún más calor solar, pero este ensanchamiento podría tener como resultado un importante sobrecalentamiento del espacio a mediodía, a no ser que la capacidad térmica del interior del edificio sea incrementada para absorber parte de esta aportación de calor del mediodía y contenerla hasta la noche. Por estos medios, los días en que brilla el sol, podría realizarse un ciclo diurno de temperatura considerablemente distinto. En los días nublados se ganará un poco de calor por la ventana a partir de la luz difusa que penetra a través de las nubes, pero el efecto de calor será más débil. Por consiguiente, el edificio permanecerá bastante frío a lo largo del ciclo de veinticuatro horas.

Cuando se añade un aparato de calefacción a este sencillo edificio, se aprega una corriente caliente, generalmente de fuerza considerable, al tipo de circulación convectiva. Si el aparato (digamos unos serpentines llenados con agua caliente en circulación) se coloca en el centro de la habitación, donde existe ya una débil corriente, acelerará el tipo de circulación existente, mientras que aumentará gradualmente la temperatura del aire, especialmente cerca del techo. Unas corrientes descenderán desde la ventana y las superficies de pared cruzarán el suelo antes de ser calentadas por los tubos. Un emplazamiento mejor para el aparato de calefacción sería debajo de la ventana, para oponerse a las fuertes corrientes descendentes e impedirles alcanzar el suelo. Con estos medios también se frena un poco la rápida subida del aire caliente y se establece un tipo más agradable de circulación, lo cual evita las acumulaciones excesivas de aire caliente en la zona no ocupada cerca del techo o de aire frío en la zona alrededor de los pies y tobillos de los ocupantes.

La capacidad de producción de calor del aparato tiene mucho que ver con el nivel de comodidad alcanzable en la habitación. Si sabemos que la habitación pierde 1260 kilocalorías por hora hacia el aire libre a una temperatura interior dada y bajo ciertas condiciones atmosféricas, sabemos que tenemos que añadir 1260 kilocalorías por hora al aire interior para reemplazar esta pérdida. Si hacemos esto con un aparato de calefacción que sólo pueda producir calor a la intensidad de 2520 kilocalorías por hora, vamos a querer que el aparato funcione sólo la mitad del tiempo para conseguir la producción necesaria, empleando a veces un modelo del tipo diez minutos encendido, diez minutos apagado, etc. Durante los diez minutos en que está encendido el aparato, la temperatura media de la habitación subirá desde un punto ligeramente por debajo del óptimo a un punto algo por encima del mismo, y se detendrán efectivamente las corrientes de frío. Durante los diez minutos en que el aparato esté apagado, la temperatura bajará hasta un punto ligeramente por debajo del óptimo antes de que se ponga en marcha otra vez. Esto, en sí, puede tener muy pocas consecuencias para la comodidad del habitante; en cambio, la pér-

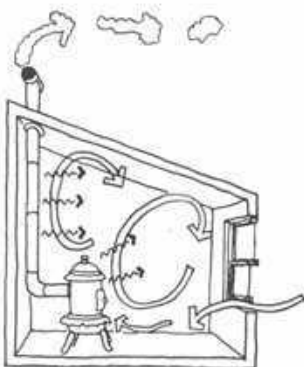
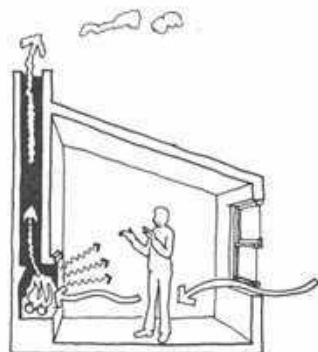


dida de la acción de circulación del aparato durante el momento en que esté apagado será de muy serias consecuencias: el aire más caliente de la habitación se desplazará hasta el techo y el aire frío más denso fluirá hasta el suelo, helando así los pies, los tobillos y a los niños que estén jugando en él. Es preferible tener un aparato de calefacción funcionando continuamente y cuya producción se pueda ajustar a 1260 kilocalorías por hora, de manera que su acción de movimiento y de mezcla pueda impedir continuamente las corrientes frías y las distribuciones de temperatura desiguales.

## Combustibles de calefacción

Actualmente se emplea una gran variedad de aparatos y de sistemas de calefacción. El más primitivo y satisfactorio psicológicamente es el fuego de madera o carbón, pero su efecto de calentamiento es principalmente radiante, y la mayoría de su calor, junto con unas cantidades considerables de aire introducido en la habitación, se pierde por lo alto de la chimenea. La caldera cerrada, de metal o de cerámica, es considerablemente más eficaz a la vez respecto a la radiación y la convección, y unas calderas modernas controladas termostáticamente son de una eficacia realmente muy alta. Las pérdidas de calor a través de la chimenea son relativamente bajas en las calderas, pero, como en los fuegos, se pierde un calor importante a través del aire de la habitación que la usa, a no ser que por una cañería se conduzca aire del exterior, para la combustión, a la base del fuego. Si la habitación no tiene un suministro separado de aire de combustión y tampoco suficiente apertura en ventanas y puertas, un fuego o una caldera son susceptibles de ocasionar humo, y es muy posible que se produzca una grave falta de oxígeno en el aire de la habitación.

Los calentadores de resistencia eléctrica son muchas veces una alternativa favorable a los aparatos de combustión. Son discretos, baratos de comprar y de instalar, fáciles de controlar, pueden producir, en varios modelos, cualquier mezcla de calor irradiada y convectada y no producen pérdidas de aire en los alrededores. Transforman la electricidad en calor con absoluta eficacia. Su inconveniente principal es el coste de la electricidad como combustible. En términos monetarios, en muchas áreas del mundo, la electricidad es varias veces más cara que cualquier otro combustible válido. En términos de utilización de los recursos, donde se produce la electricidad a partir de los combustibles fósiles o de la energía nuclear, para cada unidad de calor suelta en una habitación a través de la resistencia eléctrica, se deshechan dos o tres unidades en los ríos y en la atmósfera por pérdidas en la producción y transmisión eléctrica, lo que hace que el calor eléctrico sea al final la mitad de eficaz, en términos de consumo de combustible, que la combustión directa de combustible en aparatos de calefacción dentro del edificio.



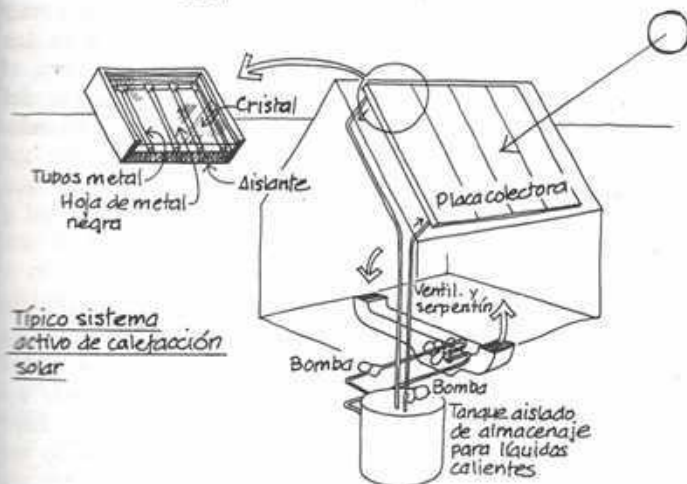
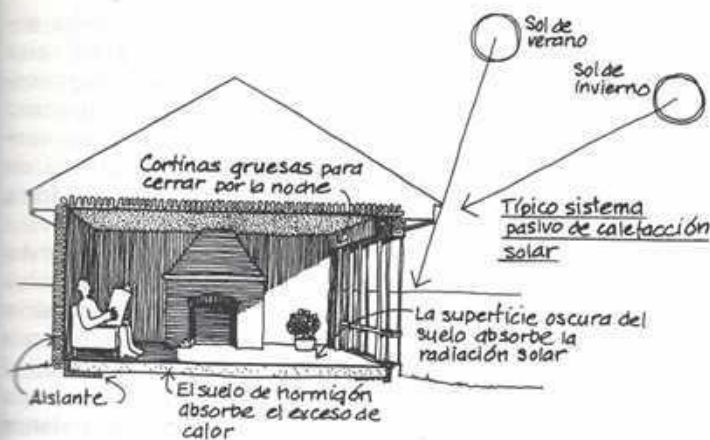


El primer combustible preferido en los sistemas de calefacción central fue el carbón, ya que se puede bombear directamente de los camiones de reparto hasta los tanques de combustible de los edificios y desde los tanques directamente al quemador. El gas es el combustible más limpio y fácil de todos, ya que por lo general es llevado directamente por una tubería hasta el quemador, bajo presión, en conductos subterráneos. Al principio, la mayor parte del gas se producía localmente, destilando carbón, y se distribuía a través de una red de tubería local. Hoy en día el gas natural es mucho más corriente que el artificial producido localmente, y a menudo es conducido por cañerías miles de kilómetros directamente del pozo principal al consumidor.

La energía solar es una fuente de calor atractiva porque está libre de coste, no es contaminante y, al contrario de todos los combustibles —excepto la madera y el viento—, es renovable. Sus inconvenientes son varios: llega sobre el emplazamiento del edificio a una intensidad muy baja; sólo es aprovechable durante una parte del tiempo en la estación en que hay que calentarse, a causa de las pocas horas diurnas y las frecuentes nubes; y, para la mayoría de los edificios existentes y una amplia proporción de emplazamientos potenciales de edificios, su aprovechabilidad se ve seriamente limitada por los edificios circundantes, los árboles y los rasgos geográficos, y por una orientación poco favorable del edificio o del emplazamiento con respecto al sol.

A causa de la intensidad solar relativamente baja, grandes áreas de la superficie del edificio se tienen que dedicar a su recogida en un sistema de energía solar. Unos colectores concentrantes, que deben moverse para seguir los movimientos diurnos del sol, son generalmente demasiado incómodos y caros para emplearlos en edificios. En vez de esto, empleamos ya grandes áreas de ventanas para captar la luz solar y unos paneles *colectores planos*. Mientras ni las ventanas ni los colectores planos son capaces de producir con la alta eficacia y las altas producciones de temperatura de los colectores concentrantes, ambos son capaces de reunir cantidades útiles de calor a temperaturas adecuadas para el propósito de la calefacción, la comodidad de los edificios.

Si se emplean las ventanas como base de un sistema de calefacción solar en el hemisferio norte, tienen que ser orientadas unos pocos grados al sur, para captar el máximo de luz solar en invierno. Para evitar la calefacción invernal excesiva durante los períodos soleados y para almacenar calor para las noches y los períodos sin sol, la capacidad de almacenamiento solar se tiene que crear dentro del recinto del edificio, empleando grandes volúmenes de albañilería, de hormigón o de agua, o volúmenes más pequeños de sales químicas. El sistema funcionará mejor si los materiales de almacenamiento están directamente expuestos a la luz solar que penetra por las ventanas. Las pérdidas de calor nocturnas a través del cristal se tienen que reducir con el empleo de contraventanas aislantes, cortinas gruesas o un acristalamiento especial



de la ventana altamente reflectivo de las longitudes de ondas infrarrojas. Un tejado sobresaliente apropiadamente diseñado o unos toldos exteriores sirven para bloquear el alto sol de verano antes de que entre y caliente el edificio, al mismo tiempo que dejan pasar los rayos del sol bajo de invierno. Los sistemas de calefacción solar basados en las ventanas no suelen tener partes móviles, y así son clasificados como sistemas *pasivos*.

Los sistemas solares de calefacción *activos* generalmente bombean aire o líquido a través de los colectores planos para transportar el calor absorbido. Luego el calor es almacenado en líquido, rocas o sales en un contenedor aislado dentro del edificio, del cual se puede sacar tanto como sea necesario por el sistema de distribución de calor del edificio. Por lo general, los colectores son instalados formando un ángulo calculado, aproximadamente perpendiculares a los rayos solares de medio invierno. La construcción del colector suele ser bastante sencilla: una o dos placas de cristal o plástico captan la luz solar y atrapan su calor, una superficie de metal de color oscuro absorbe el calor, el aire o el líquido atraviesa unos pasajes interiores para llevarse el calor y un fondo aislado impide el desgaste del mismo.



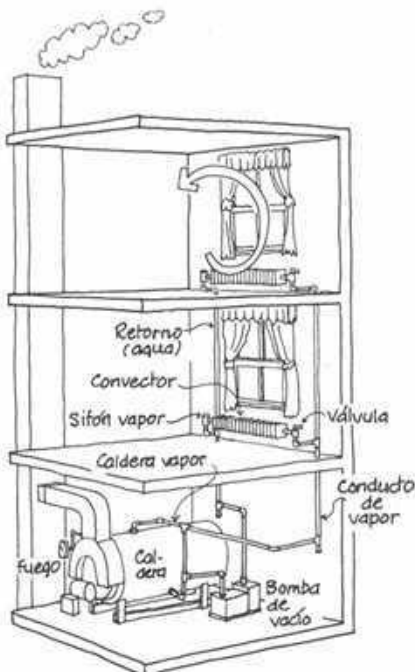
Es virtualmente imposible diseñar un sistema solar, activo o pasivo, que pueda proporcionar todo el calor requerido por un edificio bajo todas las condiciones atmosféricas. Una serie de días nublados en medio del invierno afectará al calor útil de hasta el más grande de los contenedores de almacenamiento. Se necesita un sistema de calefacción suplementario que emplee combustible fósil, madera o electricidad.

La energía eólica, aunque es más abundante durante los meses fríos del año y a menudo es aprovechable por la noche, no es capaz de ofrecer una alternativa a la calefacción solar o de combustible fósil en la mayoría de los edificios. Aparte de su naturaleza esporádica, el viento es sencillamente una fuente de energía demasiado difusa y demasiado difícil de capturar. Hasta una vivienda pequeña, bien aislada, requeriría un molino de viento muy grande, difícil de mantener y sujeto a los daños de las tempestades, para producir la energía suficiente para el calor de invierno en un clima templado. Y el coste del molino sería de la misma magnitud que el de la vivienda.

## Distribución del calor

La distribución del calor desde una fuente central hasta los distintos espacios de un edificio se puede realizar mediante varios dispositivos. El vapor fue antes popular y permanece en uso en muchos edificios hoy en día. Está producido por una caldera, se hace circular bajo presión a través de tubos aislados y es condensado en «radiadores» de hierro colado (en realidad, su efecto es ampliamente convectivo), donde el calor latente de la vaporización del vapor se suelta en el aire de la habitación. El vapor condensado es bombeado hacia la caldera a través de una red de cañerías de retorno. Los sistemas de calefacción a vapor son razonablemente eficaces, pero difíciles de controlar tan precisamente como se podría desear, a causa de la rapidez con que el vapor condensado emite calor. La distribución por agua caliente, llamada comúnmente calefacción *hidrónica*, es mucho más fácil de controlar. Incluye la circulación de cantidades de agua mucho mayores que en un sistema de vapor porque sólo se transmite al aire el calor sensible del agua, no el copioso calor latente de la vaporización. Pero, regulando a la vez la temperatura del agua y su velocidad de circulación, se puede conseguir una emisión de calor hacia el aire muy uniforme y controlada, dando como resultado un alto grado de comodidad para los ocupantes. Los sistemas de agua caliente también son silenciosos cuando están instalados y ajustados apropiadamente.

Los sistemas de aire caliente para la distribución del calor no son tan silenciosos como los de agua caliente, en especial si se utilizan altas velocidades del aire; y, a no ser que estén constantemente mantenidas, pueden transportar tanto polvo como aire a través de un edificio. Su sistema de conductos es voluminoso y difícil de alber-



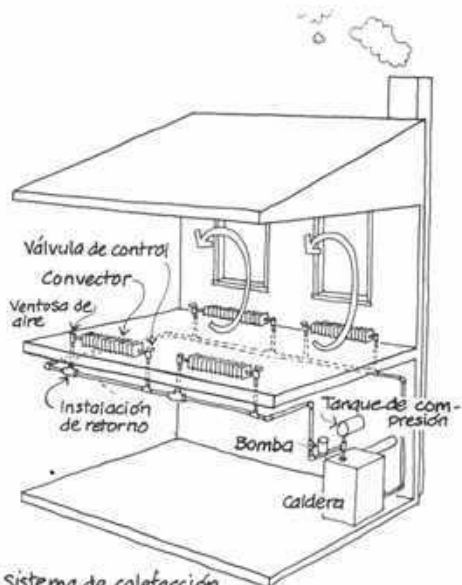
Sistema de calefacción al vapor

gar, en comparación con la cañería. Pero los sistemas de aire caliente tienen grandes ventajas: el control de las condiciones de comodidad puede ser al menos tan bueno como en los sistemas de agua caliente, a través del control simultáneo de la temperatura del aire y del volumen del aire, y especialmente a través de la importante facultad que tiene la corriente de aire en movimiento para remover y redistribuir el aire en una habitación. Esto es particularmente importante en pequeños espacios donde la estratificación excesiva podría ser un problema. Los sistemas de aire tienen además la capacidad de incorporar la humidificación, la ventilación y las funciones de refrigeración, utilizando la misma red de conductos. Cualquier proporción de aire exterior fresco que se desee se puede añadir a la caldera, y en un sistema de agua caliente se puede cerrar el quemador y activar los serpentines enfriadores para la circulación de aire frío.

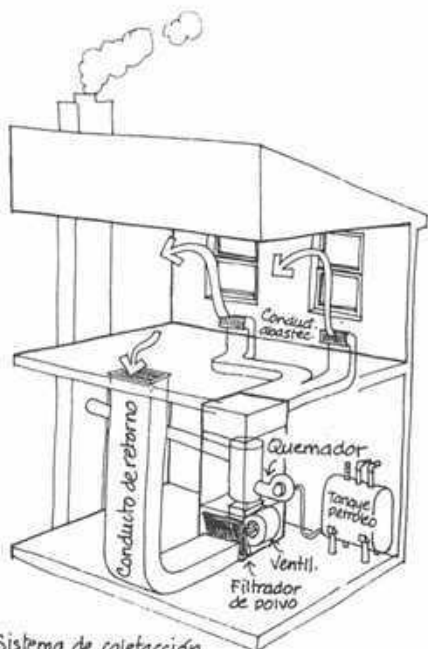
El sistema de aire caliente central empieza simplemente como una gran caldera en medio del sótano, con unas rejillas en los suelos superiores para permitir al calor proveniente de la caldera el conectar hacia niveles superiores del edificio. Las temperaturas, poco uniformes, y las corrientes de aire de este sistema fueron mejorados por la agregación de una red de conductos de suplencia y retorno por los cuales el aire de convección se podía dirigir a los sitios donde más se le necesitaba. Sin embargo, con la agregación posterior de un ventilador para conducir el aire, se reducen los conductos a un tamaño más manejable, se pueden instalar ventiladores en la caldera para limpiar el aire cuando circula y se hace posible una mejor mezcla del aire de la habitación. Con el ventilador haciendo parte del sistema, el aire frío puede circular tanto como el caliente, aunque requiere aislamiento y una barrera contra el vapor de los conductos, si hay que impedir la condensación.

## Sistemas de refrigeración

Se utilizan dos sistemas básicos para la producción de aire frío en edificios. Uno es el *ciclo de compresión*, en el cual un fluido gaseoso en funcionamiento, más comúnmente  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ , primero se comprime y luego se licúa de manera que suelta calor. El calor emitido es absorbido por agua y bombeado fuera del edificio, o es absorbido por un ventilador de aire y evacuado hacia fuera. El agua calentada se puede depositar en los alcantarillados. Más comúnmente se le empuja sobre un enrejado contra la corriente de aire producida por un ventilador hasta una *torre de refrigeración* situada al exterior para que suelte el calor por evaporación y convección; luego es puesta de nuevo en circulación para enfriar el fluido refrigerado en funcionamiento a través de una válvula de expansión hasta unos serpentines de tubería donde, cambiándose en gas, extrae su calor latente de vaporización del agua o del aire circundante. Vuelve entonces al compresor para empezar

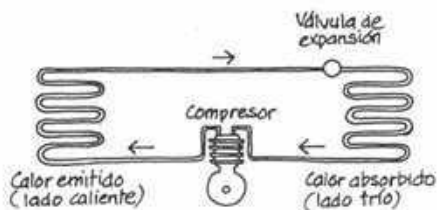


Sistema de calefacción por agua caliente



Sistema de calefacción por aire caliente



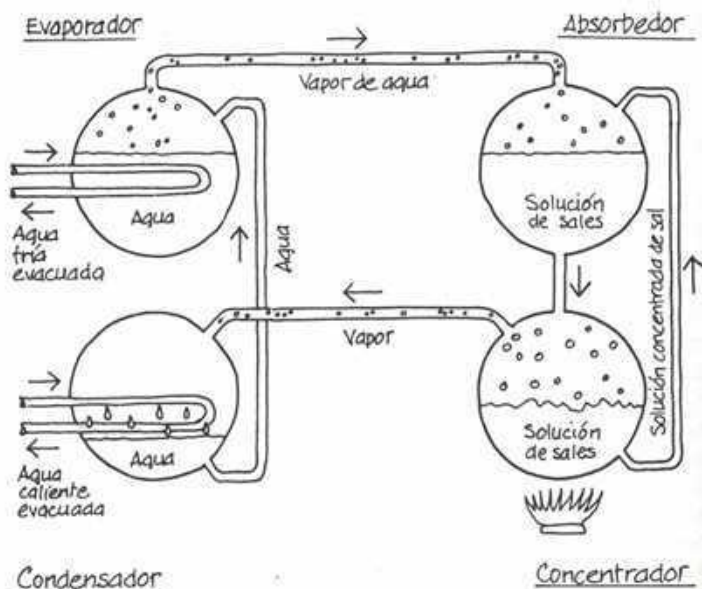


Ciclo de compresión

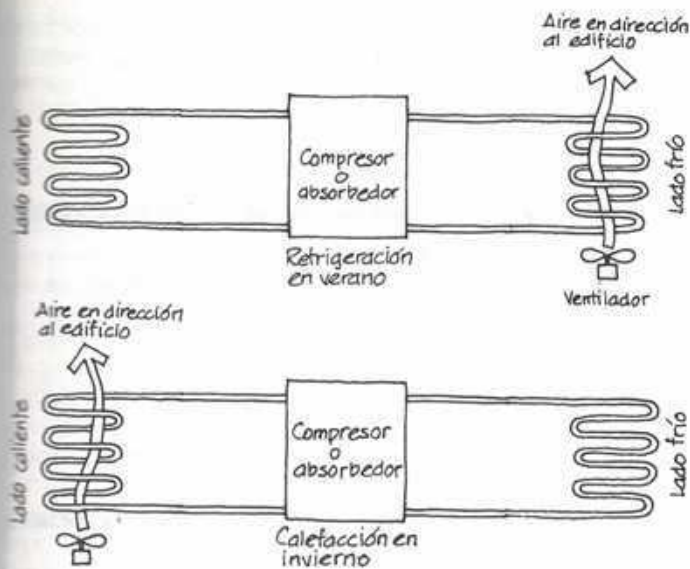
de nuevo el ciclo. El agua o el aire enfriado por los serpentines de expansión es distribuido a través de todo el edificio, donde absorbe el calor de los habitantes, de la maquinaria, de las luces y de las superficies del mismo antes de ser dirigido de nuevo a otro ciclo de refrigeración.

Como alternativa al ciclo de compresión, se puede utilizar un *ciclo de absorción*. Una solución concentrada de una sustancia química hidróscópica, usualmente sal de bromuro de litio, absorbe el agua, evaporándola en un recipiente. El agua en el recipiente de evaporación se enfría rápidamente como resultado de la evaporación y se puede coger mediante un cambiador de calor como fuente de agua fría. La solución de sales diluida se debe sacar continuamente del recipiente de absorción y volver a concentrar hirviéndola antes de que vuelva a renovar el ciclo. El vapor hervido se condensa con agua fría o aire frío y vuelve entonces al recipiente de evaporación.

Nótese que estos dos sistemas tienen un lado «caliente» y un lado «frío». Para enfriar, tomamos el lado frío del sistema. Pero es igualmente posible coger el lado caliente como fuente de calor en tiempo frío, y esto se hace a menudo. En esta aplicación, este sistema se conoce como *bomba de calor*. Una cantidad relativamente pequeña de energía se utiliza para «bombear» una cantidad relativamente grande de calor desde una sustancia más fría (generalmente agua o aire exterior) hasta una sustancia más caliente, el aire de dentro del edificio. Una bomba de calor es particularmente eficaz y económica porque utiliza fuentes de calor de baja temperatura, tales como una masa de agua de un motor de combustión interna o



Ciclo de absorción

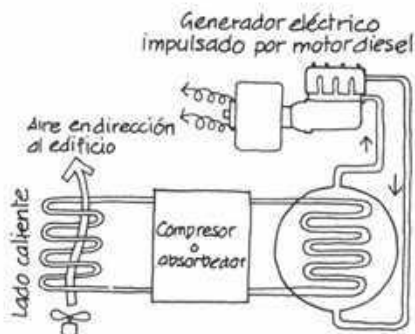
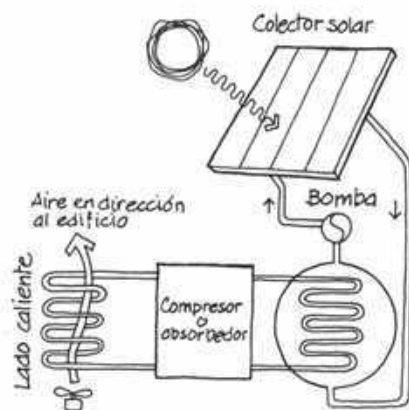


### Principio de la bomba de calor

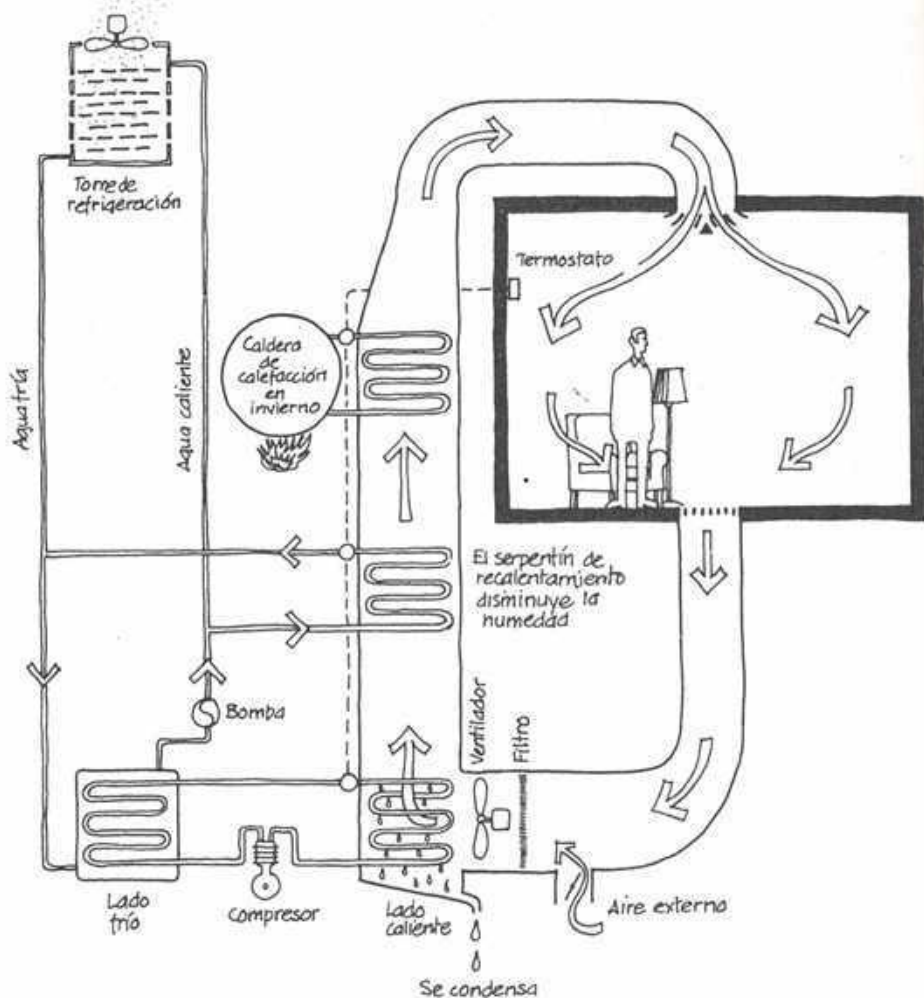
agua caliente de un panel solar para producir agua o aire de temperatura más alta para el calentamiento del aire. Se puede encontrar a menudo en un llamado *sistema de energía total*, que concentra el calor desechado por un sistema generador de electricidad para calentar los mismos edificios servidos por los generadores.

Cuando se enfría el aire húmedo de verano, alcanza una temperatura por debajo de su punto de rocío. Esto trae dos problemas: Hay que expulsar la humedad condensada de los serpentines de enfriamiento y el aire enfriado tiene una humedad relativa del 100 %, incómodamente alta. El agua condensada es apartada, a medida que gotea de los serpentines, por un recipiente de metal y una tubería de drenaje. La humedad del aire se reduce simplemente enfriándolo hasta una temperatura más baja que la deseada y recalentándolo hasta la temperatura que se desea, lo cual disminuye su i. medad relativa. Se puede proporcionar el calor requerido con una caldera encendida por fuego, pero es mucho más eficaz, en cuestión de energía, extraer el calor del lado caliente del mismo aparato que hace la refrigeración.

En un sistema sencillo de refrigeración del aire, se distribuye el aire frío por una red de conductos desde una unidad central hasta las varias habitaciones de un edificio, con un control de la temperatura realizado solamente en la unidad central. Semejante sistema se emplea usualmente en las residencias unifamiliares y otros edificios pequeños. Para edificios más grandes, en cambio, éste no puede tener en cuenta las distintas orientaciones y las aportaciones de calor solar en las diferentes áreas del edificio, y hacen falta sistemas más elaborados para permitir el control individual de las temperaturas en cada habitación o zona del edificio.







Esquema de un sistema sencillo de aire acondicionado

Un sistema semejante distribuye un aire fresco filtrado a una temperatura algo más fría que la deseada en general, pero lo sopla en cada habitación a través de serpentines de agua caliente termostáticamente controlada para traer el aire a la temperatura precisa. En verano esto incluye el enfriamiento del aire en la unidad central. En verano, el aire tiene que ser calentado. En cada habitación, el aire se mezcla en un armario de metal con el aire de la habitación, filtrado a fin de quitar la suciedad y pasado sobre una instalación de serpentines de agua.

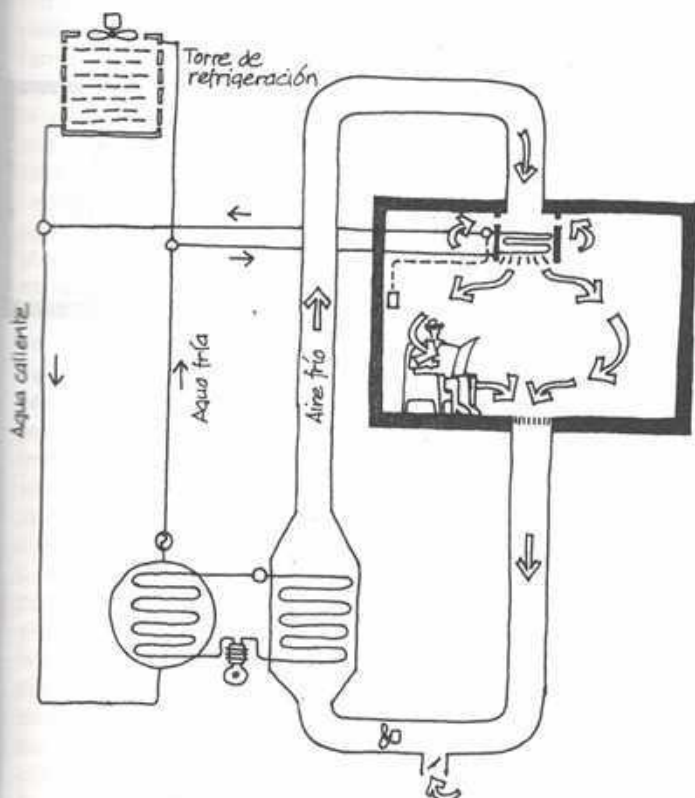
Un sistema alternativo permite el control individual de la temperatura en cada habitación del edificio, haciendo circular solamente agua enfriada o calentada desde la unidad central hasta las habitaciones. En cada habitación, un ventilador en una pared exterior hace circular el aire de la habitación más un porcentaje de aire fresco proveniente del exterior a través de un filtro y un

serpentín de agua. Cuando se haga circular agua fría en el serpentín, se formará condensación en el serpentín y goteará. Se instalan un recipiente de metal y una tubería de drenaje para quitar el agua así producida.

Otro sistema, aún, utiliza un sistema doble de red de conductos para distribuir a la vez el aire caliente y el frío. En cada habitación, un termostato controla las proporciones en las cuales el aire sale de los dos conductos, y la mezcla tiene lugar en un armario de metal antes de que se suelte el aire en la habitación.

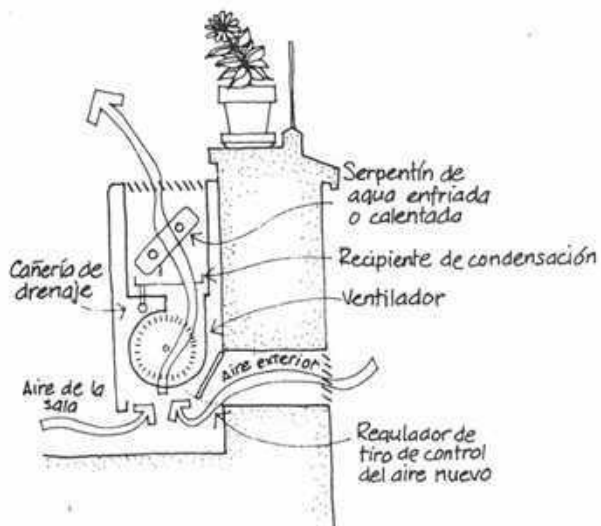
Unidades de condicionadores de aire, pequeños y eléctricos, montados en las ventanas o dentro o contra las paredes exteriores, se emplean mucho para enfriar habitaciones y edificios ya existentes, e incluso edificios nuevos. Son fáciles de escoger, instalar, utilizar y reemplazar. Sin embargo, no tienen la misma eficacia que una gran unidad central, particularmente si ésta es potenciada por otro combustible que la electricidad. Y son generalmente ruidosos y provocan corrientes desagradables en la habitación a causa de su alta velocidad de distribución del aire.

En climas secos y cálidos basta a menudo un *enfriador evaporativo*, sencillo y barato, para mantener unas condiciones de comodidad en un edificio. El aire

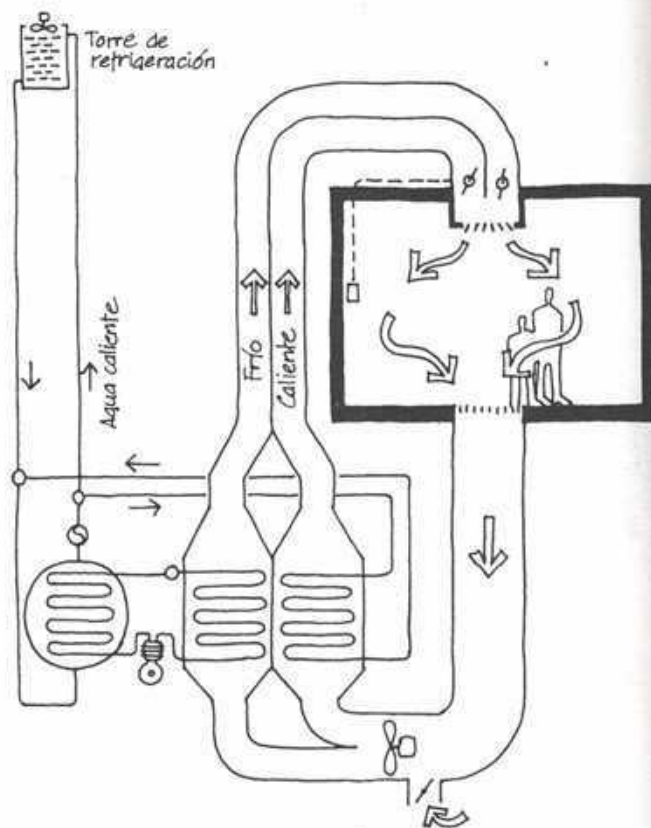


Esquema de un sistema de conducto sencillo





Esquema de una unidad de ventilación



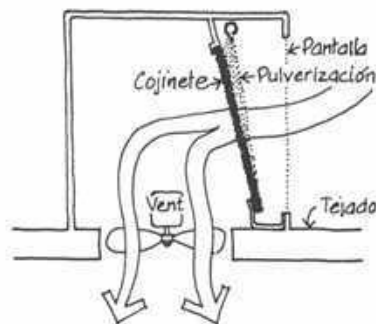
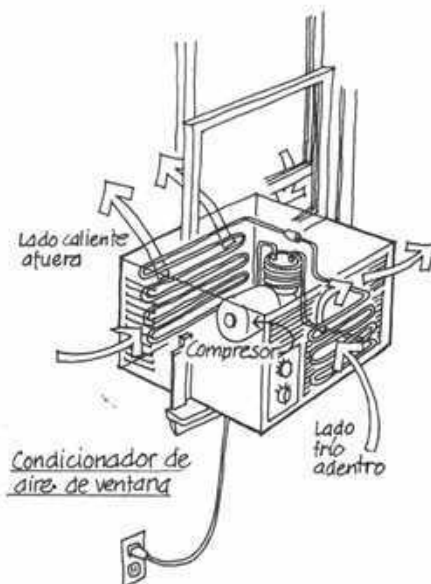
Esquema de un sistema de conducto doble

circula a través de un cojinete húmedo desde el cual absorbe la humedad bajo la forma de vapor de agua. El aire es refrigerado por el calor latente de la vaporización que proporciona el agua. En climas húmedos, el aire es capaz de absorber poca agua adicional y los enfriadores evaporativos no son efectivos.

También se puede emplear el enfriador evaporativo para enfriar las superficies del tejado y así reducir o impedir que el calor solar las atraviese hasta las habitaciones de abajo. Son más efectivas unas pulverizaciones de agua sobre el tejado para reducir su temperatura, pero una simple masa de agua estancada es igualmente efectiva.

## Control de la humedad

A menudo se necesita algún control activo de la humedad del aire junto con el calentamiento o la refrigeración del aire. En invierno el aire calentado se vuelve extremadamente seco, hasta el punto que los componentes de madera del edificio y el mobiliario se encogen y quebrantan excesivamente, las hojas de las plantas se marchitan, la electricidad estática provoca descargas desagradables y las membranas mucosas de la nariz, la garganta y los pulmones se deshidratan y vuelven más propensas a la infección. Estas condiciones se pueden aliviar introduciendo una humedad adicional en el aire, y los niveles de la temperatura del aire se pueden reducir ligeramente sin afectar la comodidad termal a causa de la intensidad reducida de la pérdida de calor evaporativo de la piel. Así pues, una humedad más alta puede llevar a una reducción de los gastos en combustible para la calefacción. Si se emplea un sistema de calefacción por aire caliente, se puede añadir humedad al aire cuando éste pasa por la caldera por medio de unos cojinetes o unas placas absorbentes que son automáticamente aprovisionadas por agua en una base continua. Con otros sistemas de calefacción, se pueden colocar contenedores de agua en los convectores, o se pueden instalar unidades de humidificación de aire en las habitaciones, que hierven agua en el aire. Sin embargo, la humedad interna aumentada puede conducir a serios problemas de condensación en el edificio, a no ser que éste esté provisto de un aislamiento adecuado y una barrera contra el vapor hermético. Así pues, hay que tomar precauciones especiales en la humidificación de viejos edificios. En verano, la humedad del aire es a menudo tan alta como para reducir la evaporación de la piel a niveles incómodamente bajos, y en ocasiones para provocar varios tipos de crecimiento de mohos y hongos en los edificios. Cuando se enfría el aire con un aparato de refrigeración, se aumenta su humedad, muchas veces hasta tal punto que el agua se condensa en los serpentines de refrigeración y gotea. Esto es el principio sobre el cual trabaja un deshumidificador eléctrico. El mismo fenómeno sucede, como ya hemos visto, en un sistema de aire acondicionado, donde hay que quitar cons-



Refrigerador evaporativo



tanamente la humedad de los serpentines de refrigeración y donde el aire está inicialmente enfriado a una temperatura algo por debajo de la de distribución deseada, y luego ligeramente calentado a fin de disminuir su humedad relativa.

La humedad del aire puede desempeñar un importante papel en la habitabilidad de espacios al aire libre. Una fuente salpicante o un rociador de césped pueden enfriar el aire exterior de modo perceptible al vaporizar agua en el aire. Por otra lado, en áreas en que los mosquitos son un problema, un césped o un patio caliente, seco y soleado, proporciona un entorno que no atrae a los mosquitos, mientras que un césped regado o un jardín húmedo atraerá a enjambres.

### **Lecturas posteriores**

William J. McGuinness y Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 1971, pp. 211 a 367; versión castellana: *Instalaciones en los edificios*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1982<sup>r</sup>.

## 11. Control del movimiento del aire

El aire limpio, rico en oxígeno para respirar, es la necesidad ambiental más urgente para la vida humana. El movimiento continuo del aire es igualmente una necesidad primaria para la comodidad térmica, para evacuar por convección el calor excesivo del cuerpo y para evaporar la transpiración. En un entorno exterior rural, aunque de hecho el aire contenga polucionantes naturales como son los olores, las bacterias, los pólenes, los gérmenes, los mohos y el polvo, todos, excepto las personas más alérgicas, encontramos que hay unas condiciones óptimas para respirar. El movimiento del aire exterior varía mucho. En un día de verano en que no haya o haya muy poco viento, se experimentará una sensación bochornosa, sofocante y de claustrofobia. Una ligera brisa tendrá un efecto agradable, tonificante, refrescante. Al aumentar la velocidad del aire, las pérdidas de calor convectivo y evaporativo por la piel se pueden volver excesivas, particularmente en temperaturas del aire exterior más bajas. A velocidades del viento muy altas, el enfriamiento del cuerpo es extremo, la respiración se puede volver dificultosa, los objetos sólidos pueden ser cogidos y transportados por el viento y son probables daños estructurales a los árboles y edificios.

En las ciudades, la polución proveniente de la actividad humana llena el aire de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, sulfuros de oxígeno, hollín, cenizas, polvo y olores. La mayor parte de estas sustancias son provocadas por la combustión en los vehículos y los sistemas de calefacción, mientras que algunos son emitidos por los procesos industriales. En los espacios confinados de los edificios, el aire pierde parte de su oxígeno y gana dióxido de carbono por la respiración repetida de los pulmones humanos. Se acumulan las bacterias y los virus. Los olores se amontonan, provenientes del sudor, del humo, de las funciones de los lavabos, de la cocina y de los procesos industriales. El contenido en vapor del aire aumenta con la respiración, el sudor, los baños, la cocina, la limpieza, el secado... y por los quemadores de gas no ventilados. El polvo y las partículas de suciedad flotan en suspensión en el aire. La temperatura





del aire interno puede subir por encima de los niveles de la comodidad por la aportación en calor solar, el alumbramiento eléctrico, el calor corporal o el calor incidental emitido por los procesos industriales, la cocina o el lavabo. El movimiento del aire está restringido por las paredes, los suelos y techos, y se puede volver incómodamente lento. Así pues, los edificios necesitan sistemas de ventilación para asegurar una velocidad óptima del movimiento del aire en el interior y para diluir y reemplazar el aire contaminado con un aire nuevo de temperatura, sequedad y limpieza aceptables.

Al mismo tiempo, el aire de los edificios contiene muchas veces olores que encontramos agradables, como el aroma del pan cuando se cuece, el perfume de unas flores o el estímulo evocativo del incienso en una catedral, y una ventilación demasiado rápida podría estropear la experiencia. Pero en edificios particularmente propensos a la humedad o al excesivo calentamiento natural, o en habitaciones que albergan funciones causantes de calor y olores, tales como las cocinas de los restaurantes, los vestuarios de los gimnasios, los bares, los laboratorios químicos, los graneros de almacenamiento, los auditoriums o las fundiciones, se necesitan altas velocidades de reemplazamiento del aire. Velocidades más lentas son usualmente suficientes para la mayoría de las residencias, las oficinas apenas ocupadas, los almacenes y las instalaciones manufactureras medianas. Sin embargo, a parte de la proporción volumétrica de la ventilación, la velocidad interior del aire se tiene que mantener a niveles compatibles con la comodidad termal, y no tiene que ser tan alta como para hacer volar las partículas en la habitación.

## Ventilación natural

Cualquier sistema de ventilación en un edificio, del más sencillo al más complejo, incluye cuatro componentes básicos:

1. Una fuente de aire de temperatura, humedad y limpieza aceptables.
2. Una fuerza para mover el aire dentro del espacio habitado del edificio.
3. Un medio de control del volumen, la velocidad y la dirección de la corriente de aire.
4. Un medio de reciclaje o de exclusión del aire contaminado.



El sistema más sencillo, casi inadvertido, de ventilación en los edificios es el que utiliza el aire exterior como fuente, el viento como fuerza motriz, y las grietas y las rendijas como orificios que dejan escapar el aire interior viciado de vuelta al exterior. En edificios bien contruidos herméticamente, esta infiltración es lenta, pero en edificios con ventanas y puertas desajustadas se puede volver excesiva en unas condiciones exteriores

ventosas, provocando corrientes en las habitaciones y gastando energía en tiempo frío a causa del escape de aire calentado hacia fuera. En general, la infiltración se puede reducir con la colocación de burletes en las puertas y ventanas y el taponamiento de las grietas en la construcción. Incluso cuando se emplean estas medidas es inevitable algún escape de aire, pero éste constituye un sistema útil de regeneración del aire a un nivel mínimo para un edificio sencillo.

La mayoría de los esquemas para la ventilación mínima de los edificios utilizan las ventanas para controlar el volumen, la velocidad y la dirección de la corriente de aire. Por esta razón, muchos tipos de ventanas son diseñados para poder ser ajustados a cualquier grado de apertura deseado. En muchas zonas hay que incorporar un mosquitero en las ventanas a fin de alejar chinches, pájaros y pequeños animales sin que aquéllos dejen de admitir el aire y la luz. Donde la seguridad es un problema potencial, como en los bancos, las cárceles, los hospitales psiquiátricos y los edificios en áreas de alta delincuencia, unas barras de hierro o unas gruesas pantallas de metal se pueden ajustar también a las aperturas. Varios tipos de funcionamiento de ventanas tienen sus ventajas particulares: una ventana *de doble hoja* se abre totalmente y sus hojas oscilantes pueden funcionar para variar el paso de las corrientes en la habitación. Una *ventana de guillotina* sólo se puede abrir sobre la mitad de su área total, pero esta mitad puede ser arriba, a la mitad, abajo o sobre una parte de cada una. Una ventana *basculante* dejará pasar aire sin que entre la lluvia, función que los otros tipos de ventana sólo pueden cumplir si están protegidas por un ancho sobradillo o un toldo separado.

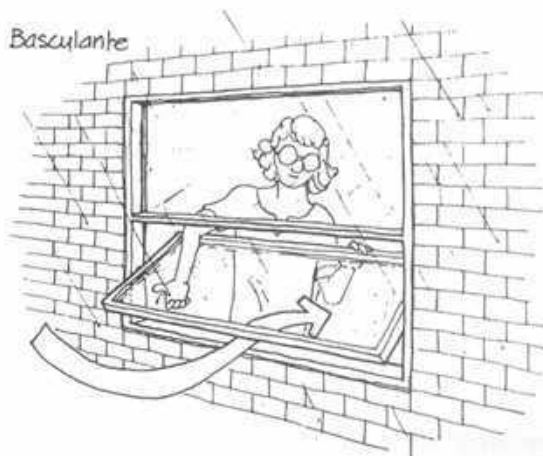
Se puede emplear una de las dos o ambas fuerzas motrices para la ventilación natural: una es el viento, la otra es la convección. La corriente de aire en un edificio se produce por el desplazamiento de aire desde un área



De doble hoja

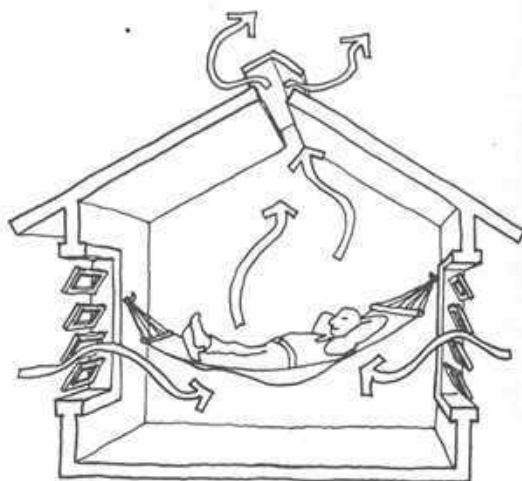
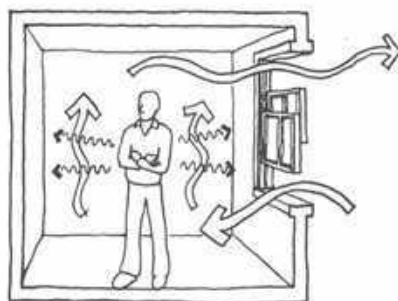


De guillotina

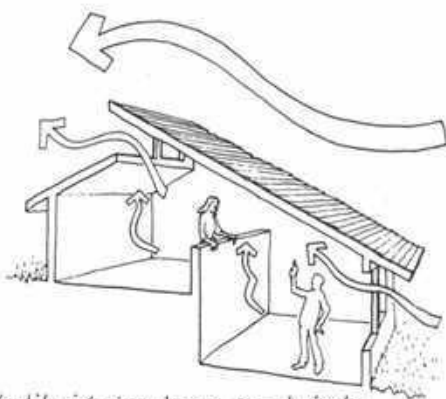
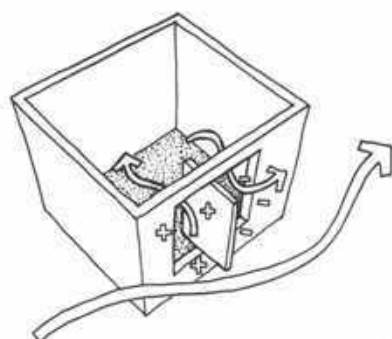


Basculante





Ventilación convectiva



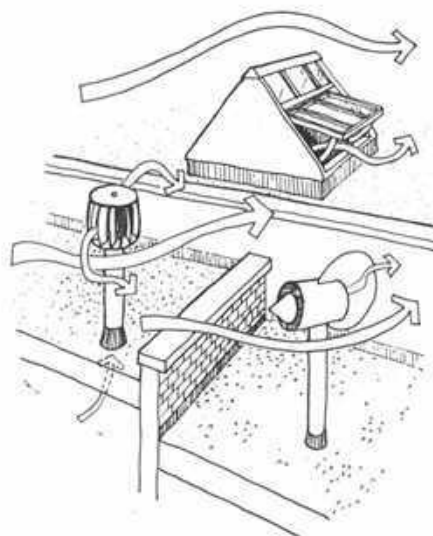
Ventilación impulsada por el viento

de alta presión hasta una de presión más baja. En la ventilación convectiva, las diferencias de presión están creadas por la diferencia de densidad entre el aire caliente y el más frío. En una ventilación que funcione con el viento, el aire corre desde un área de alta presión por un lado del edificio hasta un área de presión más baja por el otro. Para la ventilación eólica es más eficaz tener ventanas al menos en dos paredes de la habitación, preferentemente en paredes opuestas. Donde hay sólo una pared lindante con el exterior, una ventana de doble hoja, o una ventana con una hoja vertical adyacente sobresaliente, puede ayudar a crear una presión diferencial que provocará una corriente de aire interior. El edificio tendría que estar situado y configurado de modo que intercepte lo mejor posible los vientos que dominan en las estaciones en las cuales se necesita la ventilación. Para la ventilación convectiva, la intensidad de la ventilación es proporcional a la raíz cuadrada de la distancia vertical entre las aberturas y de la diferencia de temperatura entre el aire entrante y el saliente. Las aberturas han de ser relativamente anchas, ya que las fuerzas convectivas no suelen

ser tan fuertes como las eólicas, y habrá que eliminar los estorbos a la corriente de aire, tales como los mosquiteros, cuando sea posible. A menudo es deseable hacer un diseño para el viento y la convección al mismo tiempo, colocando algunas aberturas abajo, del lado del viento, y algunas arriba, del lado sotavento, para permitir el trabajo conjunto de ambas fuerzas.

Usualmente se emplean aberturas para la ventilación natural, *ventiladores de techo*, *monitores de techo* y claraboyas, especialmente útiles. Algunos tipos de ventiladores de techo están diseñados para que el viento los haga girar, lo cual activa una corriente de aire centrífuga que viene de más abajo de la habitación. Otros cuentan con la corriente convectiva o con la creación de un área de baja presión de una corriente dinámica de viento que se llenará con aire del interior. Junto con cualquiera de estos aparatos, sin embargo, se necesitan controladores para reducir o cerrar las aberturas según se requiera. No hay que contar con una puerta para la ventilación esencial del edificio, a no ser que esté provista de un mecanismo fiable que la mantenga abierta al ángulo deseado. Una fuerte corriente es incapaz de controlar la cantidad de aire que fluye por ella.

Los aparatos de combustible, como las calderas, los hornos y las chimeneas, requieren oxígeno para la combustión. A menudo este oxígeno se saca de la habitación donde está colocado el artefacto. Si no tiene tubo ni chimenea, los productos de la combustión reemplazarán el oxígeno consumido del aire de la habitación. Un horno de gas funciona de este modo, consumiendo oxígeno y soltando dióxido de carbono y vapor de agua en el aire de la cocina. Los aparatos consumidores de mayores cantidades de combustible, especialmente combustibles como el gas natural, muchos de los cuales producen gases tóxicos como resultado de la combustión, tienen que estar provistos de una chimenea. La *chimenea*, tubo de ventilación vertical, conductor de convección, cuya fuerza es el calor de los productos de la combustión, hace escapar estos productos al aire libre. Así pues, la habitación que proporciona el oxígeno al fuego se deja a una presión de aire reducida con respecto al exterior, diferencia que obliga al aire libre a pasar por cualquier grieta o abertura aprovechable y penetrar en la habitación. El resultado es una corriente continua y a menudo sorprendentemente grande de aire exterior en la habitación. En tiempo cálido, esta corriente puede ser bienvenida, pero en tiempo frío es generalmente suficiente para contrarrestar una parte considerable del efecto de calentamiento del aparato consumidor de combustible en la habitación. Si se tapan las entradas de aire en la habitación, el fuego se volverá lento y humeante, y la chimenea no podrá trabajar apropiadamente, lo cual llevará a un agotamiento del oxígeno y una acumulación de humo en la habitación misma, situación a la vez incómoda y peligrosa. La solución es instalar un conducto o una reja que permita, al aire libre suficiente para la combustión, venir directamente del exterior al fuego sin pasar por la habitación.

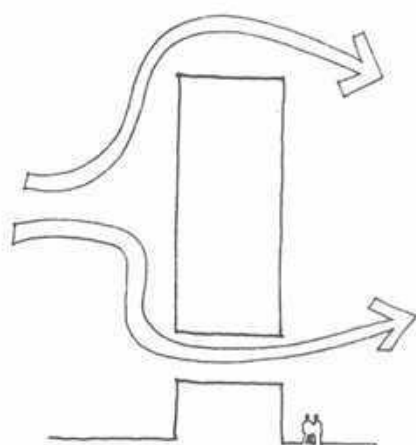
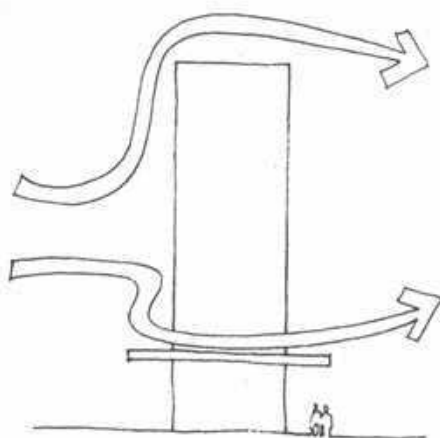
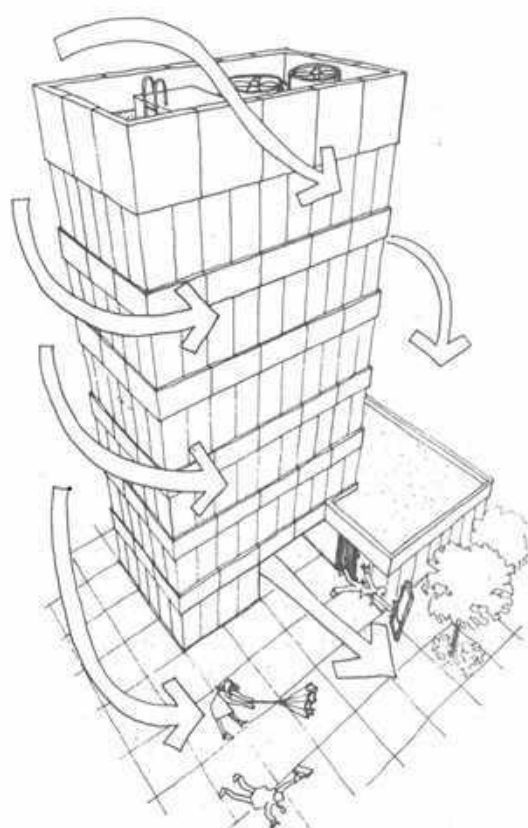






Fuera de un edificio, una preocupación del arquitecto respecto al movimiento natural del aire suele ser la de reducir la velocidad del viento. En las calles, aceras, patios, plazas, jardines, áreas de juegos o parques, a menudo hay que reducir el viento si se quiere que el área sea habitable incluso en tiempo cálido. En invierno, en climas norteros, las nevadas presentarán muchas veces un problema cuando sople el viento alrededor y dentro de los edificios. En invierno, las pérdidas de calor en los edificios aumentan muchísimo con el viento, en parte a través del aumento de infiltración de aire y en parte por la mayor eficacia del traslado de calor entre la superficie interna del edificio y el aire exterior en rápido movimiento. Cuando, por cualquiera de estas razones, hay que reducir la velocidad del aire alrededor de los edificios, el artefacto protector más eficaz es una barrera larga y alta, erigida perpendicularmente a la dirección del viento y contra el viento respecto al edificio o al área exterior que hay que proteger. Una barrera sólida como una pared formará una pequeña área de calma relativa, pero convendría más una barrera algo porosa. Los *cinturones de protección* de árboles son especialmente efectivos, ya que dejan pasar el aire a una velocidad justo suficientemente baja para llenar el área de baja presión y desviar la plena fuerza del viento sobre una distancia considerable. Una *empalizada para la nieve* forma un área de baja velocidad del aire en la cual los copos llevados por el viento pueden formar montones más bien que obstruir las carreteras o los edificios.

Los edificios altos dan lugar a problemas de viento particularmente serios. Las velocidades naturales del viento aumentan grandemente en las alturas encima del suelo, exponiendo los pisos superiores de un edificio alto a grandes fuerzas que pueden quebrar el revestimiento del edificio y requieren una cuidadosa consideración en la fortificación del edificio contra las cargas estructurales laterales. A nivel del suelo, se crean corrientes de viento excepcionalmente fuertes a causa del rápido escape del aire desde el lado del edificio expuesto al viento y de alta presión hasta las áreas de baja presión detrás. Si hay un espacio abierto debajo de un edificio alto, al nivel del suelo, la corriente de aire por la abertura será tan rápida que resultará dificultoso andar por ella cuando los vientos estén entre moderados y fuertes; y las puertas, en esta abertura, ni siquiera podrán abrirse, o bien se abrirán con fuerza destructiva cuando no estén bloqueadas. Los problemas de viento a nivel del suelo pueden ser ampliamente evitados con la instalación de aberturas muy grandes a través de todo el edificio a un piso o dos encima del suelo, o con la utilización de unas superficies horizontales sobresalientes a este mismo nivel a fin de dirigir las corrientes de viento más fuertes alrededor del edificio antes de que puedan alcanzar el suelo. Los edificios vecinos crean, por supuesto, anomalías locales en la corriente de viento, las cuales hacen aconsejable experimentar con grandes túneles de viento antes de la construcción de cualquier edificio alto, a fin de determinar el peso estructural total que pueda tapar con la superficie



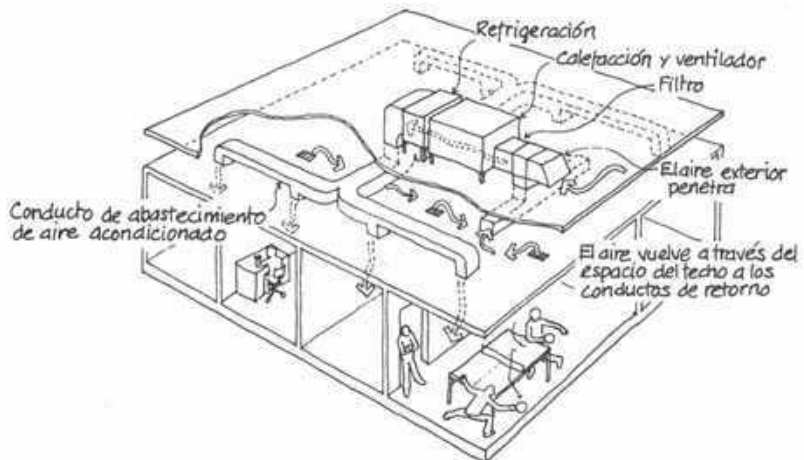


y la estructura del edificio, y los problemas potenciales del viento a nivel del suelo que podría molestar a los peatones y conductores.

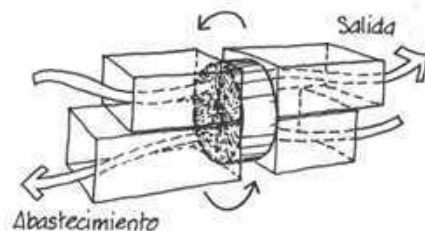
## Ventilación mecánica

El empleo de ventiladores fijos para la ventilación de las habitaciones es usual en los casos en que se requiere una corriente de aire segura y positiva. En las cocinas y los baños de las residencias, unos simples ventiladores depositan el aire interior, directamente o a través de un corto trayecto por un conducto, hasta el exterior. Este aire tiene que ser reemplazado por otro que penetre desde el exterior en varias partes de la casa. Cuando se está calentando o refrigerando, esto significa una considerable pérdida de energía, y así estos ventiladores tendrían que ser utilizados lo menos posible.

En sistemas de ventilación más elaborados, unos ventiladores están conectados a sistemas de conductos para permitir una mejor distribución del aire en todo el edificio. Un sistema de conductos empuja afuera el aire viciado, mientras que otro distribuye aire limpio. Estos sistemas se suelen acoplar a los de calefacción y de refrigeración de tal modo que el aire limpio esté distribuido a la temperatura apropiada para la comodidad térmica. Excepto en edificios donde existen altos riesgos de contaminación química, bacterial o radiactiva, estos sistemas filtran y vuelven a distribuir la mayor parte del aire interior que cogieron, agregando una fracción predeterminada de aire exterior en una base continua y llevando afuera una fracción similar. La recuperación de energía del aire sacado afuera se puede lograr por medio de una *rueda regenerativa*, aparato rotativo hecho de malla de metal que utiliza su gran capacidad termal para trasladar el calor absorbido de un conducto al otro, o por medio de un cambiador de calor con un área de superficie muy grande.



Una combinación alternativa para la ventilación de los edificios emplea una o más unidades de ventiladores en la pared exterior de cada habitación para hacer circular el aire de la misma y reemplazar una fracción de éste con aire del exterior. Una ventana o un acondicionador de aire colocado a través de la pared funciona de este modo, como lo hacen los sistemas de calefacción o de refrigeración que utilizan serpentines de agua fría o caliente para temperar el aire en las unidades de ventilación en las habitaciones.



Rueda regeneradora

La filtración del aire se lleva usualmente a cabo mediante artefactos de ventilación del edificio con un cojinetes de fibra delgado y poroso a través del cual sopla el aire, dejando atrapadas en las fibras las partículas de suciedad. Se puede conseguir una filtración de la suciedad mucho mejor haciendo pasar el aire entre unas placas de metal cargadas eléctricamente que dan como resultado la precipitación de la mayor parte de las partículas. Los olores pueden ser ampliamente absorbidos por una filtración activada por carbón de leña. También se usa el «fregado» del aire con chorros de agua para quitar la suciedad del aire en algunos grandes sistemas de ventilación. Se pueden eliminar muchas bacterias con el uso de lámparas de luz ultravioleta para irradiar el aire. Estas lámparas no necesitan estar en el sistema de conductos, pero son a menudo colocadas en habitaciones, particularmente cocinas de instituciones, habitaciones de enfermos y viviendas sobrecargadas de gente, donde constituyen un freno eficaz a las enfermedades transportadas por el aire. A causa de la propensión de los ojos y la piel a los daños causados por la luz ultravioleta, las lámparas de esta luz tendrían que estar montadas en lo alto de la habitación y resguardadas de la vista.

La naturaleza renueva de muchos modos el aire exterior. La luz solar mata bacterias en el aire. Las plantas verdes eliminan el dióxido de carbono y crean oxígeno. La lluvia limpia el aire y la gravedad quita los contaminantes particulares más pesados. El viento mezcla y transporta el aire, diluyendo y distribuyendo los contaminantes. Los microscópicos pelos en la superficie de las hojas de las plantas recogen y guardan la suciedad que lleva el aire. Pero hay un límite en la eficacia de estos procesos, especialmente cuando las condiciones climáticas no son ideales. Es importante que no pidamos demasiado a la atmósfera, como si fuera un transformador de contaminantes del aire. El consumo de combustibles se tiene que reducir mediante la conservación de la energía y el máximo uso posible de fuentes no polucionantes, como son las energías hidroeléctrica y solar. Los aparatos de combustión deben ser contruidos y mantenidos de modo que quemen el combustible limpiamente y a fondo. Los combustibles que no se queman limpiamente deben pasar por otro proceso a fin de eliminar los contaminantes, o bien hay que instalar filtros en las chimeneas para atrapar los contaminantes después de la combustión. Las salidas industriales de aire tendrían que ser filtradas a causa de las sustancias químicas, y las de las cocinas a causa de la grasa, de ma-



nera que sólo los gases fácilmente biodegradables alcanzasen la atmósfera. Las aberturas de salida y de entrada dentro de cualquier conjunto de edificios necesitan estar dispuestas de manera que colaboren con los vientos dominantes y no se alimenten la una a la otra. Las calles de las ciudades deben ser suficientemente anchas y abiertas para poder ser limpiadas continuamente por el viento. Es de la máxima importancia, también, que mantengamos y aumentemos nuestro inventario de céspedes, jardines, bosques, prados, campos cultivados y vías de agua limpias, en los cuales residen las plantas verdes productoras fundamentales de nuestro oxígeno atmosférico. El aire y la luz solar son las únicas sustancias necesarias que penetran en nuestros edificios libres de carga, pero ni siquiera éstos están *totalmente* libres de ella; son obtenidos al coste de la vigilancia humana para asegurarse de que serán siempre aprovechables.

### Lecturas posteriores

Victor Olgyay, *Design with Climate*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1973, pp. 94 a 112.

William J. McGuinnes y Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 1971, pp. 368, y 369 versión castellana: *Instalaciones en los edificios*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona 1982<sup>1</sup>.

## 12. Evacuación del agua

En los edificios, a fin de impedir la entrada de sólo una gota o dos de agua, se toman precauciones complicadas y caras. Es una tentación creer que se podría ahorrar buena cantidad de dinero en la construcción diseñando edificios con un nivel ligeramente más bajo de impermeabilidad. Pero, a medida que uno experimenta cada vez más las consecuencias de la penetración del agua en edificios defectuosos, desaparece esta certeza. El agua tiene unas propiedades térmicas únicas: enfría la piel, destruye la facultad aislante de la ropa y las construcciones y aumenta el contenido en humedad del aire en los edificios hasta niveles insalubres. El agua es el disolvente universal; disuelve o al menos mancha numerosos materiales empleados en los interiores de los edificios y ayuda a la corrosión de otros. Aún más importante: el agua es una necesidad universal para todas las formas de la vida, incluyendo las bacterias, el moho, otros hongos, plantas e insectos. Un edificio con goteras no sólo es incómodo y malsano, sino que está destinado a una muerte temprana a causa de la corrosión, la pudrición y los ataques de insectos.

Para que el agua penetre en el recinto de un edificio, son necesarias tres condiciones:

1. El agua debe estar presente en la superficie del recinto.
2. Tiene que haber una abertura en el edificio por la cual pueda penetrar.
3. Tiene que haber una fuerza que provoque el paso del agua por la abertura.

Estas condiciones son tan sencillas que parecen evidentes, aunque constituyen una base suficiente para la exclusión sistemática del agua de un edificio. A no ser que estas tres condiciones sean cumplidas, el agua no puede entrar. Con la eliminación positiva de cualquiera de estas tres condiciones, en cualquier emplazamiento dado del recinto del edificio, se puede asegurar una condición de impermeabilidad.



El agua está presente dentro y alrededor del edificio de muchas maneras. La lluvia y la nieve topan directamente con la superficie de un edificio y se reúnen en el suelo alrededor de él, poniendo en contacto el agua corriente en la superficie y el agua de debajo de la superficie con las cimentaciones. El agua puede ser traída dentro de un edificio por la gente o los vehículos. Dentro del edificio, la humedad atmosférica se puede condensar sobre las superficies frías y gotear en el suelo. La cañería, los aparatos de fontanería, la cocina, el lavabo, el baño y los procesos industriales pueden causar fugas o derrames de agua. Los materiales de construcción que se instalan húmedos, como el hormigón, los ladrillos, las tejas y el yeso, sueltan grandes cantidades de vapor de agua cuando se secan, causando frecuentemente una congestión de las fibras de madera y una copiosa condensación que corre en las ventanas y las cañerías de agua fría.

Los edificios están ampliamente provistos de aberturas a través de las cuales el agua puede pasar. Algunas, como las juntas de dilatación, las juntas entre las piezas de los materiales revestidos y las rendijas alrededor de los cercos de las puertas y las ventanas, son intencionales. Otras aberturas no son intencionadas, pero sí inevitables: grietas debidas al encogimiento en el hormigón, defectos en la manufactura, defectos en los materiales, agujeros para cañerías e hilos eléctricos, y grietas y agujeros creados por la deterioración de los materiales del edificio a través del tiempo.

El agua puede ser llevada a penetrar en un edificio por cualesquiera fuerzas. La gravedad es una fuerza que empuja el agua constantemente hacia abajo y causa presiones hidroestáticas allí donde el agua se puede acumular con algo de profundidad. Las diferencias en la presión del aire provocadas por la acción del viento pueden conducir el agua en cualquier dirección, inclusive hacia arriba. La acción capilar puede empujar el agua en cualquier dirección a través de unos materiales porosos o unas rendijas estrechas. Hasta la energía cinética de una gota de lluvia cayendo basta para ejercer una presión significativa cuando la gota pega a la superficie, o para llevar la gota o su salpicadura profundamente dentro de una abertura.

El problema de impedir la penetración de agua es agravado en muchos casos por la congelación del agua en invierno. El hielo en sí es incapaz de penetrar en el recinto, pero puede obturar un pasaje de drenaje normal y provocar un estancamiento de agua en los tejados o el suelo, y la dilatación que sucede durante la transformación del agua en hielo es un factor corriente en varios tipos de deterioración de los edificios.

Examinemos un edificio, empezando por arriba y desplazándonos hacia abajo, para ver qué tipos de estrategias se emplean para impedir la penetración del agua. La estrategia más segura es la de alejar el agua de la superficie del recinto, y veremos este método empleado en muchas partes del edificio, pero algunos componentes, como los tejados, no pueden ser protegidos del agua y

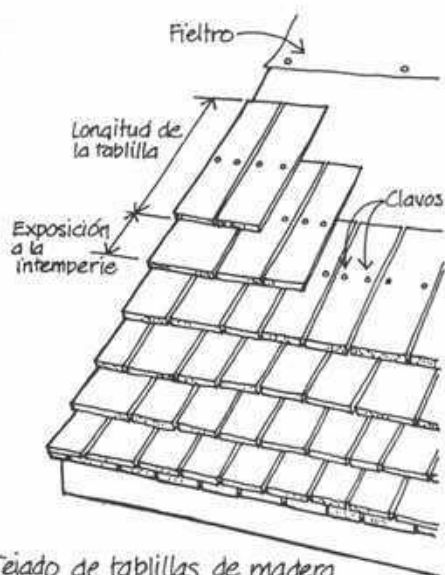
muchos sólo lo pueden ser en parte. La eliminación de abertura por las cuales puede pasar el agua es la alternativa más difícil y menos segura ofrecida a los arquitectos, y sólo se emplea en último recurso. La neutralización de las fuerzas que puedan provocar el movimiento del agua a través de las aberturas se puede cumplir con relativa facilidad, y veremos su utilización en modos muy diversos y en partes muy diferentes del edificio.

## Tejados

Un tejado sin desnivel o que hace una pendiente de menos de un 25 %, se desprenderá del agua lentamente y ofrecerá el máximo de oportunidades a la penetración del agua. Estos tejados son comúnmente cubiertos por una *membrana* de una sola pieza, impenetrable, usualmente hecha de capas de fieltro mineral colocadas sobre alquitrán o asfalto, pero a veces hecha de hojas de metal soldadas entre sí, tiras de fieltro embetunadas o de caucho sintético estrechamente cimentadas entre sí, un componente de caucho sintético aplicado de forma líquida o, en edificios primitivos y en climas relativamente secos, una gruesa capa de arcilla. Aquellas membranas de una sola pieza en los tejados, además de ser el modo más sencillo y de más garantía para mantener el agua fuera, constituyen en realidad el procedimiento para tejados menos fiables que se pueda emplear. Son altamente propensos a la perforación, proveniente especialmente de las caídas de materiales o herramientas durante la construcción. Están expuestos a las tensiones térmicas extremas del sol de verano, del frío invernal, de las diferencias de temperaturas diurnas y nocturnas y de las diferencias de temperatura del aire entre el exterior y el interior, y a veces se quebrantan a causa del movimiento térmico. Son incapaces de dejar pasar el vapor de agua, lo cual conduce a veces a la formación de burbujas y la ruptura de la membrana. Un pequeño agujero en el tejado causado por cualquiera de estos mecanismos es susceptible de dejar pasar cantidades prodigiosas de agua, porque el agua cae poco a poco desde un tejado plano, dando a la gravedad y las fuerzas capilares las máximas oportunidades de hacer su trabajo. Sin embargo, muchas veces no hay otra alternativa que la membrana de tejado, y si se tiene cuidado durante la construcción, si las juntas de expansión térmica están instaladas a intervalos apropiados y se toman medidas para evitar problemas de presión de vapor, dicha membrana de tejado puede prestar un largo y satisfactorio servicio.

Un tejado que tenga una inclinación con un ángulo importante es más fácil de impermeabilizar que uno plano. Cuanto más pronunciada sea la inclinación, más rápidamente se irá el agua, menor será la tendencia del viento a conducir el agua arriba del declive y más fácil será mantener el agua fuera. Casi cualquier material se desprenderá de su agua si es suficientemente inclinado,





Tejado de tablillas de madera

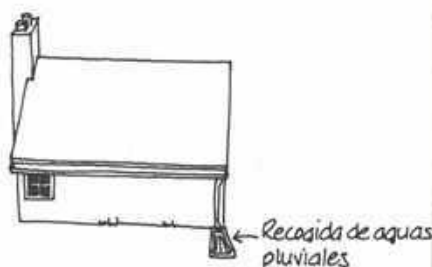
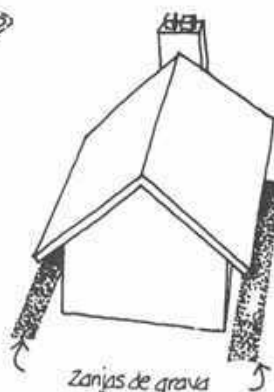
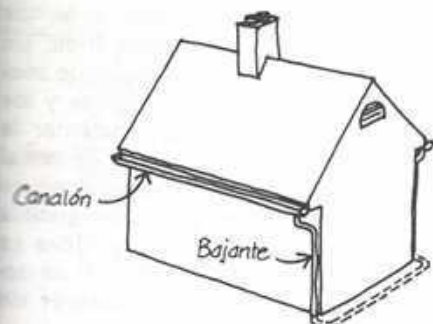
como se puede comprobar poniendo una prenda o una esponja plana bajo un grifo de agua con varias inclinaciones. Cualquiera que sea el material que empleemos en los tejados empinados, se suele instalar en pequeñas unidades conocidas como tablillas.

En distintas partes del mundo se emplean tablillas de diversos materiales: pizarra, piedra caliza, madera, amianto, fieltro embetunado, barro cocido, hoja de metal. Cada tablilla es una pequeña unidad fácilmente manejada e instalada por el techador y fácilmente reemplazable más tarde si es defectuosa, y libre de ajustarse a los extremos de temperatura o de humedad en la estructura del tejado. Cada tablilla deja pasar el agua encima de tres de sus cuatro lados bajo la fuerza de la gravedad y el viento, pero las tablillas reposan de modo que las siguientes tablillas de más abajo cogen y escurren el agua rápidamente a su vez, y así hasta el borde inferior del tejado. La debilidad de una tablilla de tejado es su propensión a llevar el agua arriba o a través de la vertiente en caso de viento muy fuerte. Esto se impide con una estrategia doble, instalando una hoja de material por debajo de las tablillas, generalmente una ligera hoja de fieltro embetunado para bloquear el paso del aire a través del plano del tejado, e inclinando éste suficientemente de modo que entre en juego un componente de gravedad más importante contra el flujo de agua dirigido hacia arriba. Con la experiencia se han determinado inclinaciones de tejado mínimas, de seguridad, para tablillas de diversos materiales, bajo varias condiciones de viento, y las goteras son poco probables, incluso en caso de fuerte tormenta, si se observan estos mínimos. En emplazamientos venteados —orillas del mar y cumbres de montaña—, a menudo es prudente emplear inclinaciones aún más pronunciadas o utilizar una exposición más pequeña de las tablillas a la intemperie.



La fuerza adhesiva del agua se utiliza como el mayor mecanismo de resistencia al agua en un techo de paja. Si se colocase horizontalmente una gruesa capa de bálago, de hojas o de cañas bajo el agua que cae, se saturaría rápidamente y empezaría a tener goteras. Pero si la misma capa es inclinada a un ángulo suficiente, las gotas de agua se adhieren a las fibras y corren hacia abajo a lo largo de ellas hasta el canalón, exactamente como el agua podría vertirse desde un vaso de precipitado hasta un tubo de pruebas en el laboratorio haciéndola pasar por una vara de cristal. Un techo de paja absorbe una cantidad considerable de agua y requiere un secado entre las tormentas para reducir la pudrición. Por consiguiente, la paja no reposa nunca sobre una superficie sólida de tejado, sino que es atada sobre unos postes o listones de madera horizontales y espaciados sobre un ático bien ventilado. El ligero espesor de la capa de haces apretadamente atadas basta para disipar la energía del viento, que en otro caso podría dirigir la lluvia hacia dentro, sin el uso de una hoja de material por debajo.

En edificios de uno o dos pisos, unos anchos tejadillos pueden aportar una considerable protección contra la lluvia para las ventanas y las puertas. En estructuras



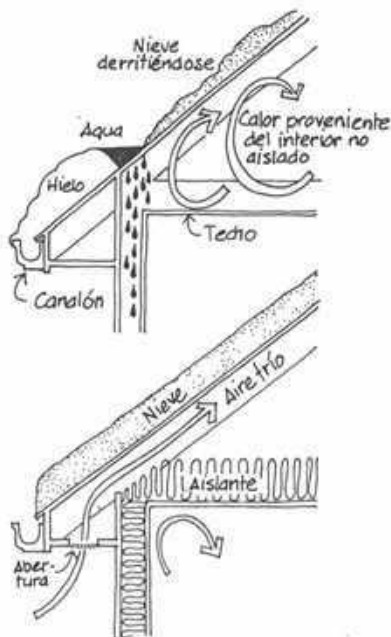
más altas, las paredes de todo el edificio, excepto el piso de arriba, se verán directamente atacadas por la lluvia, haciendo superfluos los tejadillos, a no ser que sean completados por unos artefactos protectores similares para las paredes y los pisos más bajos.

Los bordes de los tejados son particularmente problemáticos. El agua puede deslizarse debajo del material del tejado o penetrar por la parte alta de los parapetos. En los tejados inclinados y en algunos planos, el problema es mayor porque el agua recogida por ellos se vacía por los bordes del tejado hacia fuera. En muchos casos, los tejados inclinados son simplemente colocados encima de las paredes y proyectados encima, de modo que el agua del tejado gotee fuera de la estructura de las paredes, recurso sencillo y eficaz. Sin embargo, el goteo del vaciado del agua ejerce un efecto erosivo considerable en la tierra que se encuentra debajo, lo cual conduce muchas veces a una seria penetración del agua dentro de los solares, un lavado de la tierra alrededor y debajo de las cimentaciones y salpicaduras de tierra en las paredes del edificio. Como mínimo, habría que instalar una zanja llena de grava por debajo del canalón, para impedir la erosión y proporcionar un drenaje. Un sistema alternativo incluye la recogida del agua en canales colectores. Las canales están ligeramente inclinadas para vaciarse en cañerías verticales, llamadas *bajantes* o *guías*, que a su vez se descargan en unos bloques de derrame, en una red municipal de alcantarillado o en pozos secos (hoyos llenados de grava) para que el agua sea absorbida por el suelo. Estos sistemas tienden a obturarse con hojas, suciedad, agujas de pino y otros escombros, y son incómodos de limpiar. El problema se puede aliviar algo con la instalación de toscas pantallas sobre los canalones.



Troncos para la nieve en un tejado de granero alpino

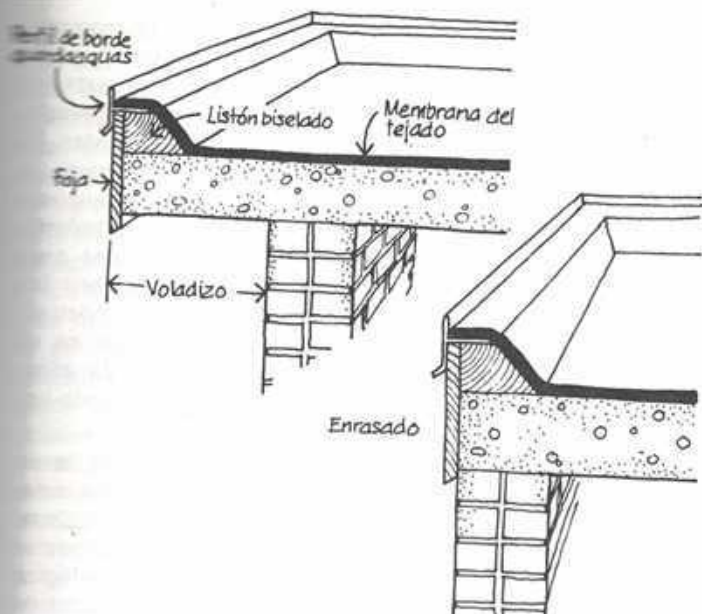




La nieve provoca problemas particulares en los bordes de los tejados inclinados en los climas fríos. Un problema es provocado por su tendencia a resbalar, lo cual desgarran los canalones y pone en peligro a la gente y los objetos que se encuentran debajo. Es mejor mantener la nieve sobre el tejado con unas pequeñas cercas de metal o madera instaladas con este propósito. No sólo se reduce así el peligro, sino que también se ahorrará combustible de calefacción reteniéndola donde está, pues la nieve es un aislante térmico bastante bueno. La estructura de soporte del tejado tiene que ser diseñada para contener sin daños un considerable espesor de nieve.

Un segundo problema es provocado por el derretimiento de la nieve en los tejados inclinados, especialmente donde el aislamiento térmico del edificio es inadecuado. El paso del calor desde el interior caliente del edificio derrite gradualmente la nieve desde abajo. El agua-nieve corre hacia abajo del tejado hasta llegar al sobradillo y al canalón. Estos están mucho más fríos que el tejado que cubre los espacios interiores, y en muchos casos por debajo del nivel de congelamiento del agua. El agua se convierte en hielo, obstruyendo el bajante y el canalón y acumulándose sobre el sobresaliente, y así se forma un charco encima de esta *pared de retención de hielo*. Desgraciadamente, los tejados de tablillas no son bastante resistentes para soportar el agua. Ésta penetra alrededor y debajo de las tablillas y muchas veces se nota primero porque descolorea las superficies de pared interiores y gotea desde la ventana justo por debajo del tejado. Los remedios contra las presas de hielo son un mejor aislamiento del ático y unas aberturas de ventilación bajo los canalones y en la cumbrera del tejado, para evacuar rápidamente cualquier calor que pase a través del aislamiento. Si, por alguna razón, estas medidas son imposibles de tomar, se pueden reemplazar las últimas filas de tablillas de la parte más baja del tejado por una membrana impermeable, o se pueden instalar cables eléctricos de derretimiento en los canalones.

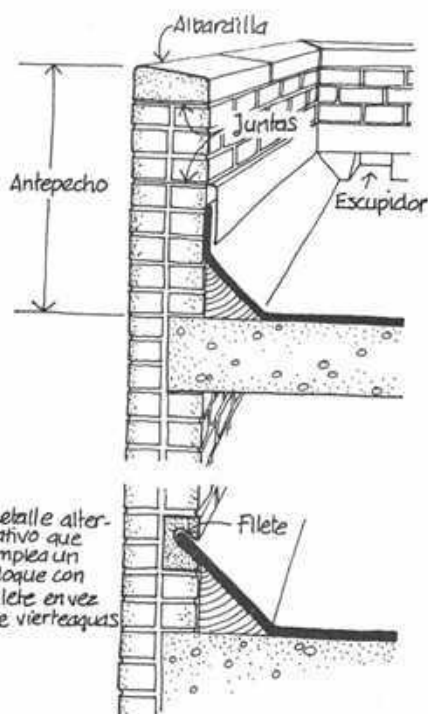
Los bordes de los tejados planos pueden o no sobresalir de las paredes, o pueden unirse a una *pared de parapeto*. En cualquier caso, es importante que el borde de la membrana del tejado sea elevada al menos unos pocos centímetros (10 o más) a fin de impedir que el agua se derrame sobre ella y baje dentro o en dirección a la estructura que se encuentra debajo. Se forma el recodo de la membrana con un *listón inclinado* para no tener que hacer un pliegue de 90°, propenso a las roturas. El lado vertical está entonces protegido por un sistema de hojas de metal yuxtapuestas *guarda-aguas* o está arrojado en un *filete*. Se puede evacuar el agua por unos desagüaderos en el tejado interior, espaciados periódicamente en toda la extensión del tejado, o por *escupidores* y bajantes dispuestos alrededor de las paredes exteriores.



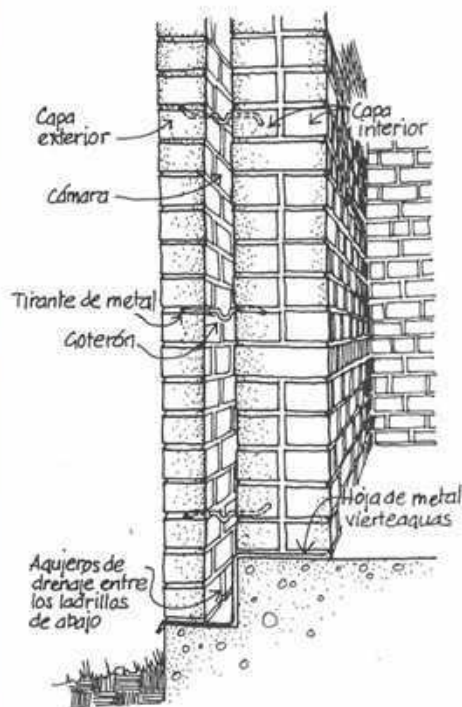
## Muros

Los muros, por ser verticales, no están sujetos a las presiones del aire provocadas por gravedad. Más aún, la gravedad trabaja a favor de los muros derramando el agua lejos de ellos mucho antes de que tenga tiempo de penetrar. Pero las fuerzas del viento sobre los muros suelen ser mucho mayores que sobre los tejados, al golpear las gotas de lluvia duramente contra la superficie del muro, desplazando el agua de lado y a veces hacia arriba en las superficies, y bombeando el agua incluso a través de las aberturas más pequeñas, donde la presión del aire es más baja en el interior que fuera. A menudo construimos muros con materiales más porosos que los de los tejados, e invariablemente acribillamos nuestros muros de rendijas o juntas entre los diversos materiales y de agujeros a fin de instalar ventanas y puertas, de manera que frecuentemente se encuentran problemas de penetración.

Todos los materiales de albañilería, especialmente las variedades menos densas de ladrillo y piedra, absorben y transmiten el agua en alguna medida. Las juntas de argamasa, especialmente las que se han deteriorado con los años, abren unos pasajes particularmente fáciles al agua. Ésta se adhiere a las paredes por los poros de los materiales, y si, como en muchos casos, la fuerza adhesiva entre las moléculas de agua y el material de la pared es mayor que la fuerza cohesiva entre las moléculas mismas, el agua será introducida por acción capilar. Un fuerte viento puede incrementar la rapidez de absorción. Una posible solución a este problema sería aplicar una capa impermeable, como un grueso revestimiento de pintura







o un caucho artificial, en la cara exterior de la mampostería. Este revestimiento rechazaría el agua con bastante eficacia, pero también pararía la salida hacia el exterior del vapor de agua, llevando así a la ruptura del revestimiento y la desconchadura y las goteras subsiguientes. El revestimiento también sería susceptible de rasgarse a causa del movimiento térmico en la pared que se encuentra debajo. Una solución mejor es aplicar un revestimiento donde el agua no se adhiera fácilmente, como una cera o un silicón. Este revestimiento tendría que recubrir las paredes en los poros de los materiales, pero no obstruir los pasajes de los poros mismos. La acción capilar se ve entonces impedida por la incapacidad del agua de adherirse al material, pero el vapor de agua sigue pudiendo ser «respirado» a través de la pared.

Una solución más fiable, y más barata, es la de suponer que un poco de agua penetrará en la capa exterior de la mampostería, pero instalar una brecha continua, justo por debajo de la capa exterior, a fin de romper el paso capilar hacia el interior del edificio. Esto es la lógica de la *pared sonda* de mampostería, con la capa exterior de piedra o ladrillo mantenida a 50 o 60 mm de las capas interiores por medio de unos tirantes de metal rígidos. La eficacia de la cavidad depende de si ha sido mantenida alejara de gotas de argamasa durante la construcción, de si se han instalado *goterones* en los tirantes de metal, de modo que el agua no pueda correr encima de ellos, y de si se han instalado *agujeros de goteo* a intervalos frecuentes para vaciar el agua del fondo de la cavidad. Alrededor de los marcos de las ventanas y las puertas se tiene que llevar a cabo un cuidadoso trabajo de guarda-aguas con hojas de metal o de plástico, para evitar pasos capilares por la cavidad. Una ventaja incidental de la pared sonda es la de transmitir el calor mucho más lentamente que una pared sólida, y en muchos casos se puede instalar en la cavidad un aislamiento térmico de espuma de plástico para aumentar este efecto.

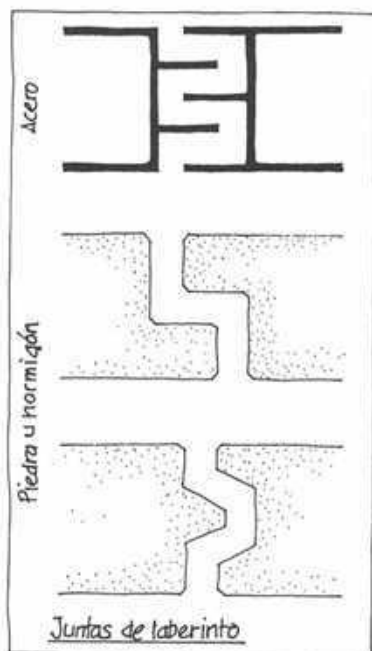
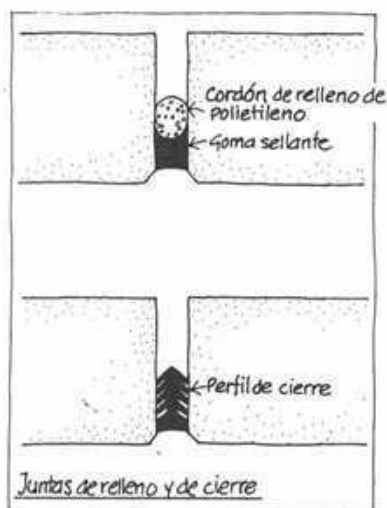
La penetración del agua en el ladrillo, la piedra o el hormigón, si es seguida de temperaturas del aire por debajo de cero, puede llevar al desmoronamiento, a la formación de escamas que se desprenden de la superficie a causa de la dilatación del agua cuando se hiela dentro del material. El desmoronamiento era una de las máximas fuerzas de destrucción de las paredes y pavimentos de hormigón hasta que se descubrió que éste, producido deliberadamente de forma que contenga unas microscópicas burbujas de aire, proporciona el espacio de expansión al agua en proceso de congelación, y así elimina virtualmente el desmoronamiento. Por supuesto, también se puede eliminar el desmoronamiento manteniendo el agua lejos de la pared con unos tejadillos u otros artefactos de protección, o empleando revestimientos rechazadores para impedir la penetración del agua dentro de la pared.

Mientras que las paredes de mampostería, como hemos visto, necesitan ser tratadas como porosas, muchas veces revestimos las paredes con materiales relativamente no porosos tales como entablados de madera pintada,

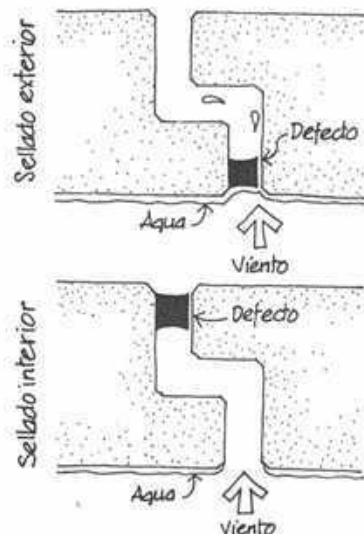
planchas precortadas de hormigón denso u hojas de metal o de vidrio. Con estos materiales, el problema no es el de parar una lenta filtración completa, sino el de impedir la penetración de agua en las juntas entre las piezas. Un entablado o unas tablillas horizontales de madera, superpuestas horizontalmente, si están forradas con una barra contra el paso del aire, como un fieltro embetunado, son suficientes para volver la pared hermética, excepto bajo condiciones excepcionalmente severas de agua traída por el viento. Sin embargo, cuando se emplean hojas o planchas más grandes como material de pared, el problema es más difícil. Estos grandes paneles no pueden estar ajustados estrechamente entre sí a causa de sus relativamente importantes movimientos térmicos y de las inevitables incorrecciones que suceden en su manufactura e instalación. Hay que instalar intencionalmente unos respiraderos de 6 mm a 12 mm por todos los lados de cada panel, y estos respiraderos tienen que ser de alguna manera resistentes al paso del agua. La solución fácil, pero no la más fiable, es rellenar cada respiradero con *sello* hermético al aire y al agua, un caucho sintético líquido inyectado contra un pedazo de tapón de espuma de plástico y endurecido una vez dentro como un tapón elástico de una sola pieza, adherido estrechamente a ambos lados del respiradero. Alternativamente, se puede introducir una *junta estanca* en el respiradero. En teoría, el sello o el aro se dilatan y se contraen en seguida con cualquier movimiento del panel, manteniendo al mismo tiempo su hermetismo contra el viento y el agua. En la práctica, hasta la mejor de las juntas selladas o de aro de empaque se deteriorará después de unos años, particularmente si está expuesta a la intemperie, y finalmente se quebrará o perderá su agarre en los paneles. Las juntas selladas de forma menos precisa que la de rigor fallarán mucho antes, a menudo tendrán goteras desde el momento en que se instalan.

Se hacen juntas más fiables entre los paneles de pared reduciendo o eliminando la dependencia de la junta de un material sellador para ser resistente al agua. Esto significa bien que el agua debe mantenerse alejada de la junta, bien que las fuerzas que pueden actuar para desplazar el agua a través de la junta tienen que ser neutralizadas. Es casi imposible alejar completamente el agua de unas juntas verticales en los muros aunque se pueda dar a las juntas horizontales una gran medida de protección mediante el traslado de los componentes. Así pues, tenemos que volver nuestra atención principalmente hacia la neutralización de las fuerzas que puedan hacer desplazarse al agua.

Las tres fuerzas primarias que obran para desplazar el agua a través de las juntas del agua son el ímpetu de las gotas de lluvia que topan con ellas, la acción capilar y las diferencias de presión del aire. El ímpetu de las gotas de lluvia se puede disipar eficazmente por medio de un simple *laberinto*, que consiste en obstáculos dispuestos de tal modo que una gota puede ser proyectada por la junta sin pegar contra una superficie que manda de



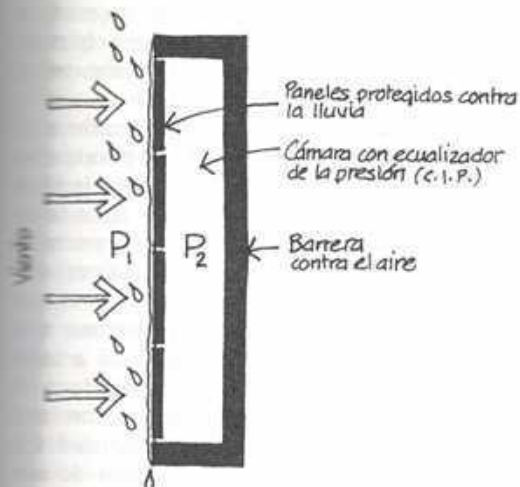




vuelta el agua hacia fuera. Nótese que los obstáculos en un laberinto no se tocan entre sí. Están suficientemente espaciados para que una gota no pueda formar puente entre ellos, lo cual impide una entrada capilar tanto como una entrada cinética. Es importante que las juntas de laberinto se vacíen libremente, para deshacerse del agua que normalmente recogen en el ejercicio de su función. Las esquinas y las intersecciones de los paneles se tienen que diseñar con especial cuidado y esmero, para que las juntas verticales se vacíen sin inundar las horizontales.

Las diferencias de presión del aire son creadas donde el viento pega en la superficie de una construcción. La cara exterior venteadada de un edificio está siempre a una presión del aire más alta que la de las habitaciones interiores que se encuentran justo atrás. Bajo esta condición, el agua presente en una junta de una pared, hasta una junta de laberinto, puede ser transportada dentro del edificio por la fuerza del aire en movimiento. A fin de parar este movimiento del aire por la junta, podemos aplicar un sello en los bordes exteriores de aquélla, pero cualquier imperfección en el sello permitiría que una corriente de aire en movimiento transportase agua en el edificio. Si en vez de esto aplicamos el sello a los bordes interiores de la junta, aquél se verá expuesto al aire, pero no al agua, que está excluida por el laberinto. Incluso si el sello se revela defectuoso, como, por ejemplo, si no se adhiere perfectamente a un lado de la junta, sólo pueden pasar pequeños volúmenes de aire, insuficientes para transportar agua a través del laberinto. Más aún, en este caso la junta sellada está protegida contra los efectos deteriorantes de la luz solar y el agua, y es asequible desde el interior del edificio para su inspección y mantenimiento. Se obtiene así una junta hermética al agua con un mínimo de medios.

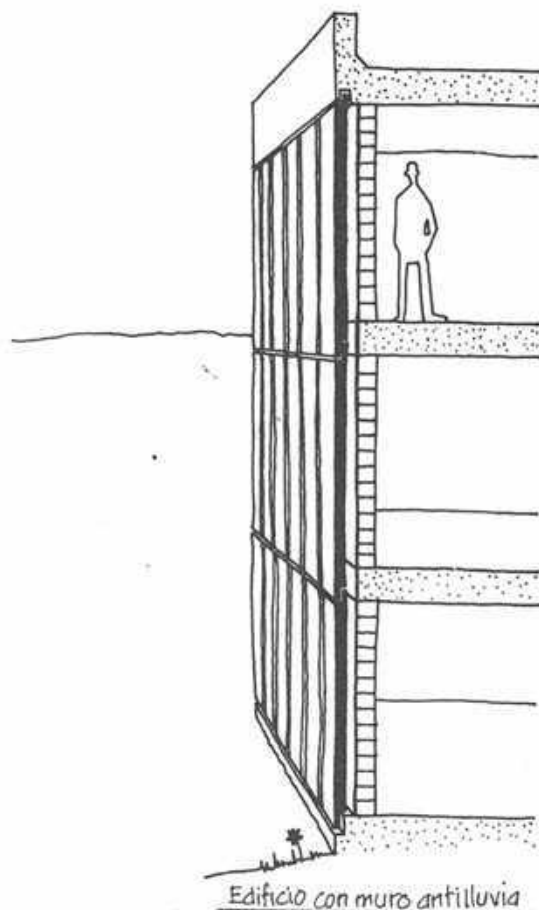
Sin el uso de un sellado, se puede conseguir el mismo efecto instalando un espacio de aire continuo y delgado detrás de una fachada de paneles exteriores no sellados, con juntas de laberinto. La pared, detrás del espacio de aire, tiene que ser más o menos hermética al aire, debe estar sellada a los paneles de alrededor de los bordes de la fachada y tiene que ser suficientemente fuerte, estructuralmente, para resistir las esperadas presiones del viento sobre el edificio. En este caso, cantidades muy pequeñas de aire pasan detrás y delante a través de las juntas que sirven para mantener la presión eólica en el espacio de aire al mismo nivel exactamente que la presión del viento exterior en cualquier instante, eliminando así efectivamente cualquier movimiento de agua provocado por el aire dentro de las juntas. En este sistema, los paneles forman una *pantalla contra la lluvia* para desviar las gotas de lluvia. La pared de atrás forma una *barrera contra el aire*. El espacio entre los dos es una *cámara de igualación de presión* que impide la formación de diferencias de presión de aire entre el interior y el exterior de las juntas en la pantalla contra la lluvia. La pared de atrás se puede hacer, muy sencillamente, de bloques de hormigón recubiertos con una masilla hermética



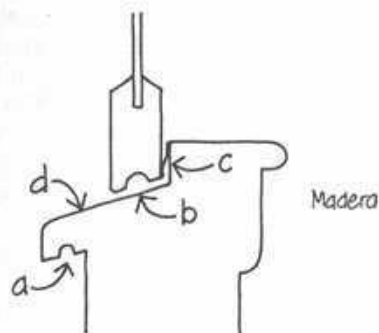
### Principio del panel antilluvia

Presión del viento  $P_L = P_2$ , presión en c. l. p.

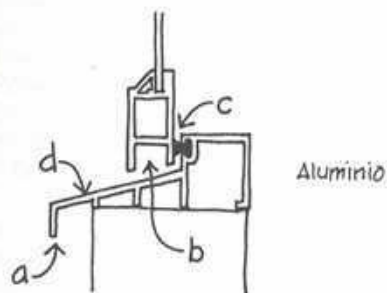
Así el viento no puede obligar al agua a penetrar por las juntas del panel antilluvia



Edificio con muro antilluvia



Lado exterior



### Perfiles de antepechos de ventana

- a goterón
- b Interruptor capilar
- c burlete
- d vierteaguas



al aire, por ejemplo, o de una estructura ligera de madera o acero forrada con paneles cubiertos por una barrera contra el aire de carbón embetunado, cimentados entre sí en las juntas.

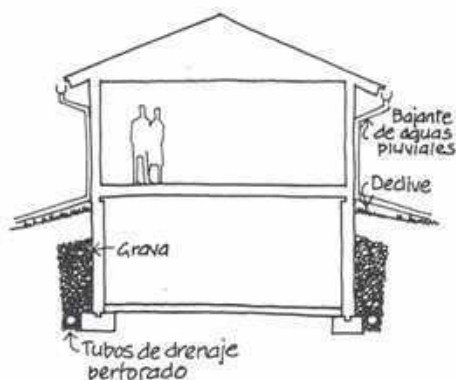
La mayoría de los problemas de hermetización al agua en las aberturas de las ventanas y las puertas se pueden minimizar con la instalación de unos tejadillos protectores desde la pared, a fin de mandar el agua lejos de la abertura. Tales tejadillos pueden también permitir dejar abiertas las ventanas y puertas, cuando llueve, sin que penetre el agua.

El antepecho de una puerta o una ventana tendría que estar provisto de una superficie inclinada o vierteaguas a fin de desviar el agua lejos de la puerta o la ventana, y tendría que sobresalir de la pared con una *interrupción capilar* o goterón a fin de impedir que las gotas adheridas se introduzcan dentro de la pared. Los interruptores capilares también se pueden incorporar a los huecos de las puertas o las ventanas de guillotina, donde, en combinación con los burletes herméticos interiores que paran el flujo de aire, forman una eficaz barrera contra la penetración del agua.

Las salpicaduras de fango provenientes de la línea de goteo de un tejado sólo plantean un problema estético en el caso de paredes de hormigón o mampostería, pero los microorganismos contenidos en la tierra pueden ser causa de serios problemas de pudrición en las paredes de madera. Una sabia precaución consiste en no dejar nunca la madera más cerca de 15 cm del suelo. Un espacio de 20 a 30 cm es aún mejor. La humedad proveniente de la tierra puede subir por los cimientos del muro de mampostería o de hormigón por acción capilar, y causar humedad y pudrición en las habitaciones de la planta baja. Un guarda-aguas en la pared justo por encima de la línea del suelo, arregla este problema.

## Suelos y sótanos

La estrategia para mantener el agua fuera de un edificio por el medio de conservarla fuera de las superficies del mismo no es nunca tan importante como en el caso de las partes de un edificio que llegan al suelo. Un edificio constantemente expuesto a contener o tener agua en movimiento tiene que contar con unos métodos caros e inherentemente dudosos para impedir la penetración del agua, mientras que un edificio situado en un emplazamiento con buen drenaje sólo necesita un mínimo de precauciones para mantenerse seco. Es imprescindible un sistema adecuado de drenaje de tejado para alejar el agua a una distancia de seguridad del edificio antes de descargarla. La inclinación del suelo tendrá que ser tal que la superficie de agua en movimiento sea dirigida fuera del edificio y esparcida alrededor de él, no contra él. Si la tierra alrededor del sótano no es muy porosa, como la grava o la arena, se puede colocar una cañería perforada en

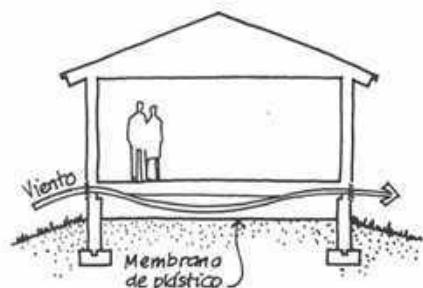


una zanja llenada con grava fuera de las cimentaciones, justo por debajo del nivel del suelo del sótano, a fin de transportar y evacuar el agua de debajo de la superficie, ya que, si no se hace así, se podría acumular y hacer subir la presión contra las cimentaciones. Si no hubiera cañería, esta presión provocaría la penetración del agua en las rendijas y los poros de las cimentaciones y finalmente en el sótano. Si las condiciones del agua subterránea son serias, como cuando el suelo del sótano se encuentra por debajo del nivel del agua, entonces esta presión puede ejercer unos pesos estructurales enormes sobre las paredes y el suelo del sótano, lo cual tiende a hundirlos hacia dentro. En estos casos, el sistema de drenaje con la tubería perforada tendría que ser todo lo externo y amplio necesario para mantener el nivel del agua por debajo del nivel del suelo, o habría que reforzar estructuralmente los suelos y las paredes para resistir la presión hidrostática esperada.

Cuando la capa de agua está baja y el drenaje es bueno, un simple revestimiento de asfalto sobre el exterior de la pared del sótano basta para mantener fuera la humedad. En condiciones más graves, hay que instalar una membrana ininterrumpida alrededor del sótano entero, y se tiene que conservar sin ningún desperfecto mientras se vuelve a llenar la excavación. Se puede emplear una membrana de revestimiento de fieltro y asfalto similar a la que se emplea en un tejado plano, u hojas de caucho sintético cuidadosamente cementado en las juntas, o se puede colocar una capa ininterrumpida de arcilla contra las paredes. Cuando se utilicen las membranas de fieltro o caucho, habrá que prestar especial atención a las juntas entre el suelo y las paredes, y a las juntas de dilatación en la estructura, a fin de evitar goteras reales o potenciales.

Si no se construye ningún sótano, hay que construir a su vez un espacio estrecho o una *base con inclinación* de hormigón. El nivel de la tierra en un espacio estrecho tendrá que ser suficientemente alto para no recoger agua que pueda razonar desde fuera, y habría que instalar una hoja de membrana de plástico para impedir que la humedad proveniente de la tierra se acumule en el espacio estrecho. Un sistema de aberturas de ventilación de buen tamaño mantienen el movimiento del aire a través del espacio estrecho a fin de alejar toda humedad que se haya podido acumular allí. En el caso de una losa con declive de hormigón, una fina capa de drenaje hecha de piedras de tamaños uniformes, de roca allanada debajo de la losa, impedirá que se acumule el agua, y una membrana de una sola pieza entre la roca y la losa bloqueará el movimiento ascendente de vapor de agua proveniente de la tierra.

Cuando la tierra húmeda se hiela, se dilata ligeramente. La dilatación no es seria, pero a veces basta para quebrar los pavimentos, las losas o los cimientos cuando la tierra se hiela por debajo de ellos. Daños mucho más graves son posibles cuando la humedad de la tierra se desplaza hacia la superficie a causa de una diferencia de presión de vapor entre el aire contenido en los poros de







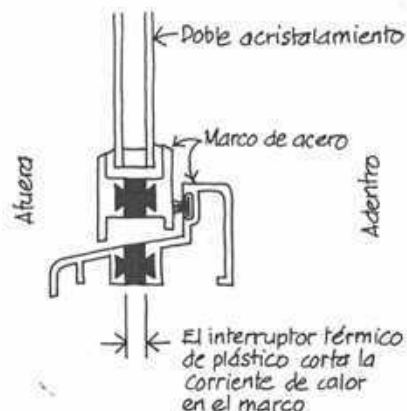
la tierra y el aire libre por encima de la superficie del suelo. En general, una vez más allá de las capas superficiales del suelo, cuanto más se excava, más alta es la temperatura de la tierra, a causa del flujo de calor ascendente proveniente del corazón de la tierra. Así pues, la humedad del vapor en movimiento ascendente durante temperaturas por debajo de cero centígrados encontrará un suelo cada vez más frío, hasta que se llegue a un nivel en el cual la temperatura del suelo es igual al punto de congelación del agua. Se forman cristales de hielo y crecen verticalmente, empujando contra el suelo con una fuerza enorme a medida que crecen. Un movimiento del suelo de 5 cm hacia arriba es bastante corriente en estas circunstancias, y los pavimentos y las cimentaciones pueden verse seriamente estropeados. Este fenómeno se conoce como *levantamiento de helada*. En una cimentación, esto se impide simplemente colocando el fondo de la cimentación más abajo del nivel en el cual el suelo hiela en invierno. Con los pavimentos, una buena capa de piedras de tamaños uniformes debajo de la losa bastará en general para llevarse la humedad y permitir cualquier dilatación de congelamiento. En climas subárticos, esto no siempre es suficiente, pero se han experimentado éxitos con pavimentos situados sobre una espuma de goma de aislamiento térmico que mantiene la temperatura del suelo subyacente por debajo de la congelación.

Las áreas planas de todo tipo, en el exterior —autopistas, pistas de tenis, tejado a nivel cero, campos de atletismo, aceras, patios interiores—, nunca se pueden hacer perfectamente planas. A causa de las limitaciones inherentes a las herramientas, los aparatos de medición y los materiales, siempre aparecerán sitios altos y otros bajos en la superficie, hasta en las condiciones más controladas. Esto da como resultado la acumulación de charcos durante las precipitaciones, lo cual conduce a la deterioración prematura del material de pavimento debajo de las áreas encharcadas. Por esta razón, pocas veces intentamos construir una superficie al exterior perfectamente plana; en vez de esto, introducimos un declive intencional en la superficie, suficiente para vaciar los sitios de nivel más bajo, lo cual sucede naturalmente. Una inclinación de aproximadamente un 2 % de pendiente es generalmente suficiente para dejar libre de agua estancada una superficie razonablemente bien hecha. Los tejados «planos» suelen tener un declive en dirección a los desagües del mismo con, aproximadamente, dicha inclinación. Sin embargo, si se realiza un tejado con nivel cero habrá que emplear materiales para tejado más duraderos y caros a fin de resistir los efectos deletéreos del agua estancada que se pueden esperar. Las superficies simétricas, como en el caso de las autopistas y los campos de atletismo, no suelen estar inclinadas en una sola dirección, pero sí están suavemente redondeadas o *coronadas* en su centro, y tienen caídas iguales a cada lado.

## Fuentes de agua interiores

El agua no deseada puede provenir, dentro de un edificio, de gotas en el sistema de la fontanería o la calefacción, de escapes en los lavabos y las bañeras, y de la condensación en superficies frías. En las cañerías se pueden impedir las goteras con una instalación cuidadosa. Las instalaciones de fontanería que tienden a desarrollar goteras, tales como desagüeros de tejados interiores o de duchas, están provistas de unas membranas de hoja de plástico que recogen el agua descarriada y la dirigen por las cañerías de desagüe. Cuando se esperan salpicaduras, hay que instalar superficies impermeables y, si es necesario, desagüeros en el suelo, para alejar el agua de la estructura del edificio. El goteo de condensación proveniente de los tanques de agua y las cañerías de agua fría es una causa frecuente de deterioro de edificios en los climas húmedos. En los tanques de retrete que goteen se pueden adaptar un recipiente para recoger la condensación. Alternativamente, se puede instalar una cañería que llene el tanque del retrete con una mezcla de agua fría y caliente, lo cual mantendrá su temperatura por encima del punto de rocío.

La condensación que corre en el interior de los marcos de ventana da como resultado un marco podrido u oxidado. Un doble acristalamiento conserva una temperatura en su superficie interior poco alta, capaz de evitar la condensación en muchas circunstancias. A veces los marcos exteriores de aluminio de las ventanas y las puertas acumulan la condensación en tiempo frío. Cuando estos marcos tienen espacios internos huecos, puede haber condensación por dentro y darse el consiguiente perjuicio, a no ser que esté continuamente vaciado hacia el exterior gracias a unos agujeros de drenaje, salvo que el espacio hueco esté completamente llenado por un sello o por masilla a fin de impedir que el aire húmedo ocupe el espacio. Generalmente se puede evitar la condensación sobre la superficie interior de los marcos de aluminio con la instalación de un *interruptor térmico* en la sección del marco para permitir que la superficie interior se mantenga a una temperatura por encima del punto del rocío.



Perfil de un marco de ventana con interruptor térmico

## Lecturas posteriores

J. K. Latta, *Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate*, National Research Council Canada, n.º NRCC 13487, Ottawa, 1973, pp. 66 a 87.



## 13. La vista y la iluminación

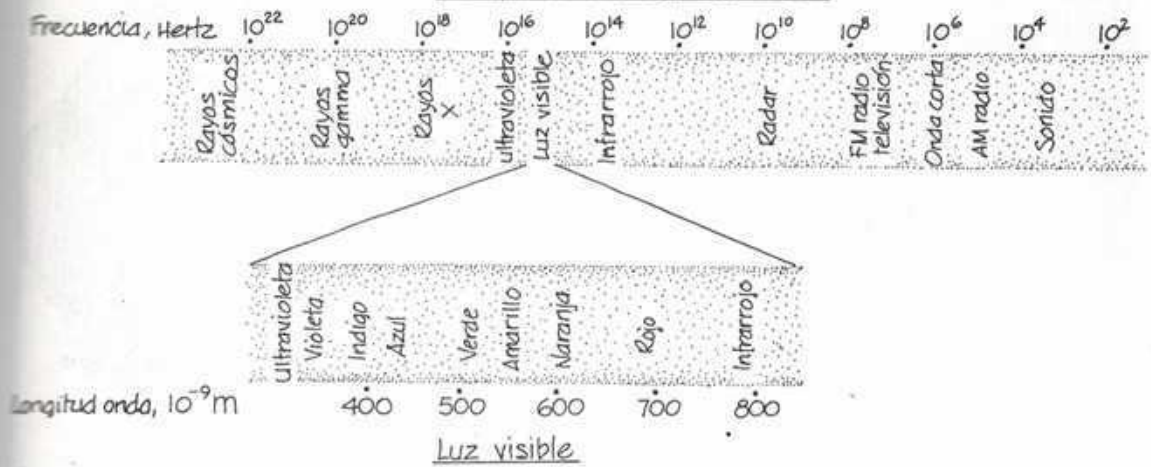
La mayor parte de nuestra información con respecto al mundo la adquirimos por medio de nuestros ojos. Los ojos son unos órganos capaces de captar una parte del espectro de radiación electromagnética que llamamos «luz». Percibimos las longitudes de onda visibles más largas, como el color rojo, y las longitudes de onda cada vez más cortas, como el naranja, amarillo, verde, azul y violeta. La luz «incolora» que percibimos como blanca consiste en realidad en una mezcla equilibrada de todas las longitudes de onda, mientras que el negro es la ausencia de luz.

### La luz y el ver

La luz útil proviene ya del sol, ya de una fuente artificial. Dado que los ojos evolucionaron con el propósito de ver bajo la luz solar, perciben ésta como de un color normal. Muchas fuentes artificiales generan una luz de un color perceptiblemente distinto al de la luz solar. Las fuentes *incandescentes*, tales como un fuego, una vela o una lámpara de aceite, o bien un filamento incandescente en una bombilla, emiten una luz deficiente en lo que toca a las longitudes de onda más cortas, y que es, por consiguiente, más rojiza que la luz solar. La luz *fluorescente* es creada por un tubo hermético llenado de vapor de mercurio. Una descarga eléctrica entre las extremidades del tubo excita el vapor de mercurio para que descargue energía en un revestimiento de fósforo situado en la superficie interior del tubo, provocando la iluminación del fósforo. El color de la luz emitida por un tubo fluorescente depende de la composición química del fósforo. Más comúnmente, la luz es un foco deficiente en longitudes de onda más largas, más «cálidas», y parece azulada, pero las lámparas fluorescentes son también válidas con un fósforo que emita una luz más «cálida».

La mayoría de las veces, el papel de estas fuentes primarias de luz es el de irradiar ésta en los objetos del entorno. Cada objeto absorbe una parte de la luz que cae sobre él y refleja el resto en el entorno. Nuestros ojos

## El espectro electromagnético



recogen una pequeña parte de esta luz reflejada, la organizan por medio de los cristalininos y la convierten en nuestra retina en impulsos nerviosos que nuestro cerebro transforma en imágenes visuales. El color de los objetos es debido a la manera selectiva como absorben los objetos. Un objeto que absorba más las ondas cortas que las largas reflejará una luz más rica en ondas largas: tendrá un color más cálido. Nuestros ojos perciben los objetos como áreas formadas de varios colores.

A un nivel muy bajo de luminosidad del objeto, el ojo sólo puede ver unas formas alargadas, sencillas, y no puede distinguir los colores entre sí. A un nivel ligeramente más alto, puede ver unas formas algo más pequeñas, pero todavía no puede distinguir los colores. Con un poco más de luz, los colores empiezan a discernirse, pero todavía son muy vagos y grisáceos. Podemos leer grandes letras impresas sobre un papel blanco, pero no fácilmente. A medida que la intensidad de brillo de los objetos aumenta, podemos leer letras impresas más finas, con más rapidez y mayor exactitud. Los colores aparecen progresivamente más luminosos y distinguimos cada vez más unas series de tonos más matizados. Sin embargo, cuando la intensidad es muy alta la eficacia visual sólo aumenta marginalmente. Nuestros ojos se deslumbran cada vez más con los objetos intensamente brillantes. Empezamos a sentir molestias y miramos de soslayo en un intento de disminuir la cantidad de luz que penetra en nuestros ojos. Sólo podemos mirar la luz brillante durante cortos períodos antes de que los ojos se cierran a causa del cansancio visual. Si estamos obligados a mirar objetos de luminosidad hiriente, nuestras retinas pueden ser dañadas.

Nuestros ojos se adaptan automáticamente a los cambios de intensidad de la luz. Los párpados, las pestañas y las cejas constituyen un sistema externo de adaptación. Las pupilas cambian de tamaño con bastante rapidez en respuesta a las condiciones de variación de la luz,







Iluminación media  
sobre una persona  
de 0,01 bujías-pie  
(0,001 lux)



100 bujías-pie  
(10,7 lux)



1 bujía - pie  
(0,107 lux)



10 000 bujías-pie  
(1070 lux)

regulando así la cantidad de luz recogida por los ojos. Sin embargo, el mayor mecanismo de adaptación es mucho más lento y sucede a nivel de la retina. El ojo se adapta rápidamente a pequeños cambios de luminosidad con el cambio en las pupilas, pero necesita un tiempo de adaptación que se mide en minutos para grandes cambios. En la naturaleza, donde los cambios de iluminación son graduales, esto causa pocos problemas. En cambio, al pasar de la luz solar brillante a un teatro o a un sótano oscuro, experimentamos una condición de «ceguera nocturna» durante algunos minutos.

Los ojos sólo se pueden adaptar a un nivel muy particular de luminosidad. Si se sitúan uno al lado del otro un objeto muy luminoso y un objeto oscuro, se verá el objeto brillante extremadamente luminoso, mientras que será difícil discernir el objeto oscuro, el cual será visto, a lo mejor, como una silueta. Pero el mismo objeto oscuro, colocado contra un fondo aún más oscuro, en ausencia del objeto muy luminoso, aparecerá casi luminoso y será visto con todo detalle, porque el ojo se habrá adaptado a su nivel de luminosidad. Cuando intentamos ver a una persona o un objeto cerca de un objeto brillante, tal como el sol, una bombilla o una parte del cielo diurno, nuestros ojos se adaptan a la luminosidad del objeto brillante en cuanto pueden, y vemos el resto del campo visual como una mancha gris. Vemos mejor cuando el objeto que deseamos ver, llamado *tarea visual* por los diseñadores de la iluminación, es la cosa más luminosa de nuestro campo de visión y todo lo demás es menos luminoso, aunque todavía en el mismo tipo general de luminosidad.



### Iluminación natural de día

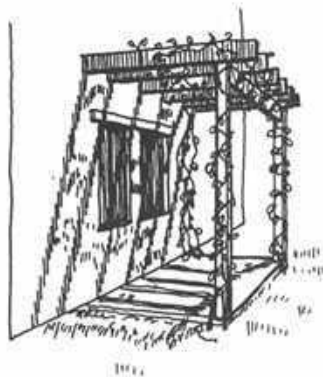
Hasta hace relativamente poco en la historia, la gente se iba a dormir cuando el sol se ponía. Los fuegos, las velas y las lámparas de aceite eran unas fuentes de luz muy débiles y demasiado caras para mucha gente. En estas condiciones, el papel de la luz natural en el edificio llegó a ser bastante bien entendido de un modo intuitivo. Las orientaciones y configuraciones de los edificios y los acabados interiores estaban muchas veces elegidos con el fin de asegurar niveles suficientes de iluminación diurna en los espacios interiores. También se desarrollaban los edificios con unos artefactos arquitectónicos tales como tejadillos, frontones, cordones, ángulos, nichos y varias molduras a fin de crear unos tipos, agradables y cambiantes, de zonas de protección de la luz y de sombras en sus fachadas a medida que el sol cruzaba el cielo, arte que ha quedado muy olvidado en la actualidad.

Estamos obligados a adoptar una actitud ambivalente con respecto al sol en la iluminación diurna de los edificios. El sol es, por supuesto, la fuente de luz natural de día, y un rayo de sol penetrando por una ventana, particularmente en invierno, ejerce una influencia muy alegre, dando brillo a los colores del interior y aportando un bienestar a la vez psicológico y físico. No obstante, no podemos mirar directamente al sol mismo, y las tareas visuales más delicadas, como leer o coser, son casi imposibles de llevar a cabo en la intensa luminosidad de la luz solar directa. Hasta el cielo, con su brillo proveniente de la luz esparcida del sol, es a menudo suficientemente brillante para perturbar el ojo. En tiempo cálido, con más razón aún, no podemos tolerar el calor de la luz solar directa en los edificios. El efecto decolorante del sol puede ser un problema en cualquier época del año. Y, finalmente, nos tenemos que enfrentar al hecho de que muchas veces el sol está parcial o enteramente oscurecido por



Roma, Santa Susana 1597-1603  
Carlo Maderno, arquitecto

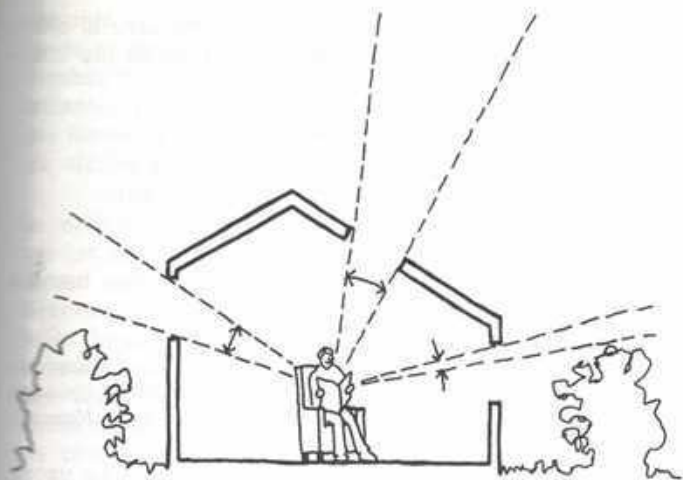




las nubes. Por estas razones, confiamos ampliamente en la luz solar difusa, o en la luz solar indirecta, reflejada para iluminar los interiores de los edificios. La superficie reflectante absorbe la mayor parte del calor y esparce la luz visible con una intensidad mucho más baja que la de la luz directa. Un amplio vocabulario de artefactos sombreadores y reflectantes se ha desarrollado a lo largo de milenios. Árboles, enredaderas, tejadillos, toldos, contraventanas de todo tipo, colgadizos, persianas, pantallas, y cortinas están entre los más corrientes. Los artefactos sombreadores elevados bloquean o filtran la luz solar directa, dejando que sólo la luz reflejada del cielo y el suelo pueda entrar por las ventanas. Los colgadizos y las persianas son capaces por ellos mismos de convertir la luz solar directa en una luz reflejada más suave. Las superficies exteriores y los marcos de ventanas blanqueados ayudan a recoger más la luz reflejada por las ventanas. Las ventanas y los tragaluces orientados al norte, en las latitudes norteadas, reciben poca o ninguna luz solar y sirven para recoger una luz indirecta sin aportación significativa de calor.

Quando el sol no penetra directamente en una habitación, la cantidad de luz natural aprovechable en un punto dado de la misma está determinada por varios factores. El más importante es la proporción de área total de cielo que pueda ser «vista» directamente por este punto a través de las ventanas y los tragaluces, y la luminosidad relativa de estas partes del cielo que son «vistas». El cielo en el horizonte tiene aproximadamente una luminosidad de sólo un tercio en comparación con la del cielo directamente en la vertical. Por esta razón, cuanto más cerca esté la ventana del cielo raso, más luz recogerá, suponiendo, naturalmente, que no haya árboles u otros edificios que la oculten. Los tragaluces, que recogen la luz del cielo brillante en la vertical, son fuentes de iluminación particularmente eficaces. En algunas situaciones, importantes cantidades de luz son reflejadas en las ventanas por el suelo o por superficies de edificios cercanos, y alcanzarán un punto particular ya directamente, ya después de haber sido otra vez reflejadas por las superficies interiores de la habitación.

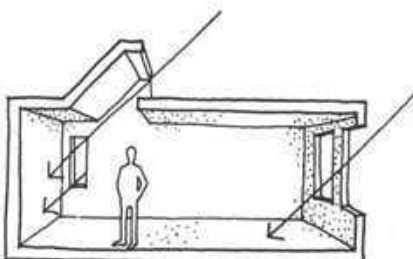
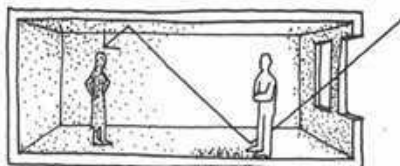
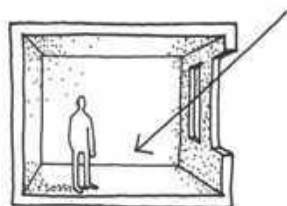
Los resultados finales en la forma y la superficie de la habitación desempeñan un importante papel en la iluminación durante el día. En general, un gran tamaño, poca profundidad y altas superficies de reflejo ayudan a hacer las habitaciones más brillantes. Las habitaciones bajas, las estrechas con la ventana en su lado estrecho y aquellas con superficies de color oscuro son más difíciles de alumbrar con luz natural de día. Cuanto más lejos se ponga una de las ventanas, hacia el fondo de la habitación, más pequeño se hace el segmento de cielo «visto» directamente y más grande es la cantidad de reflejos sucesivos necesarios para llevar la luz hasta la tarea visual. Las superficies altamente reflectantes absorben menos luz a cada reflejo, lo cual ayuda a llegar más en el interior de la habitación. Los techos altos reducen el número de reflejos necesarios para transportar la luz a una distancia dada



hacia el interior. Unas ventanas en un segundo lado de la habitación, o monitores interiores, tragaluces o claraboyas, son buenos, ya que dan una iluminación diurna más equilibrada por toda la habitación.

Si las ventanas o los tragaluces están dentro del campo de visión normal de la gente en la habitación, son susceptibles de molestar con su brillantez, en comparación con la de otras cosas que quieran ver los ocupantes. Una ventana próxima a una pizarra en una escuela, por ejemplo, es susceptible de ser muchas veces más brillante que la pizarra y emitir una luminosidad que haga la pizarra inutilizable. En general, habría que colocar las ventanas lejos de los puntos de concentración de las habitaciones. Si unas ventanas o unas claraboyas dan sobre grandes áreas de cielo, puede ser que haya que colocar colgadizos o cortinas a fin de reducir su brillo aparente; los marcos de ventanas de color claro, especialmente si están abocardados, ayudan a reducir los contrastes desagradables entre unas vistas al exterior brillantes y un interior más oscuro.

La iluminación por luz diurna es un concepto interesante por muchas razones. Proporciona una agradable transición entre el interior y el exterior. Es de color «natural». Varía de una manera interesante con el tiempo y el momento del día y el año. Instalar ventanas y superficies apropiadas para un buen esquema de iluminación natural suele costar sólo un poco más que instalarlas al azar, y el coste de la energía de la luz diurna es siempre nulo. Existen algunos gastos de mantenimiento para conservar limpios el cristal y las superficies interiores del edificio. El principal inconveniente de la luz natural es su inconstancia, especialmente su total inaprovechabilidad entre la puesta y la salida del sol. La luz eléctrica artificial es instantánea y constantemente aprovechable, es fácilmente manipulada por el arquitecto y puede ser controlada por los ocupantes del edificio. Esto sugiere fuertemente que la luz natural y la luz artificial son buenos







socios cuando ésta se utiliza principalmente para el alumbramiento nocturno y sólo como suplemento de día cuando la luz natural sola es insuficiente.

## Iluminación artificial

El flujo luminoso total producido por tres fuentes usuales de luz artificial es como sigue:

|                                                 |              |
|-------------------------------------------------|--------------|
| Vela de cera                                    | 13 lúmenes   |
| Bombilla incandescente de 100 vatios            | 1200 lúmenes |
| Tubo fluorescente de alta potencia de 80 vatios | 4500 lúmenes |

La bombilla de 100 vatios produce casi cien veces más luz que una vela con un coste de energía bajo. Su eficacia es de 12 lúmenes por vatio. El tubo fluorescente es casi cinco veces más eficaz, lo cual significa que no sólo puede producir el mismo nivel de iluminación con un gasto de energía mucho más bajo, sino que también produce en la habitación mucho menos desgaste de calor por lumen producido que una bombilla incandescente, característica de considerable importancia en un edificio que se deba mantener fresco en tiempo caluroso.

Pero la eficacia no es el único criterio en el momento de escoger. Los tubos incandescentes proyectan una luz cálida algo similar a la del fuego o la vela. La piel parece cálida y rosada bajo la iluminación incandescente, la comida parece apetitosa, y una habitación toma una luminosidad agradable, especialmente si sus paredes son de materiales de color cálido, tales como la madera natural o el ladrillo rojizo. La reflexión del filamento incandescente centellea de forma atrayente en la cristalería, la porcelana, la plata o los cromos de un automóvil. Por contraste, la gente y la comida parecen un poco enfermizos bajo la luz azulada de la iluminación fluorescente, y el poco brillo de la fuente fluorescente no crea centellos intensos. Las luces incandescentes son también sencillas y baratas de instalar y mantener. Así pues, la iluminación incandescente predomina siempre en las casas, los mejores restaurantes, las iglesias y muchos establecimientos de venta donde el color cálido y el centelleo realzan la apariencia de la mercancía. Pero la iluminación fluorescente es claramente superior económicamente en aplicaciones comerciales, industriales e institucionales, y así, con la introducción de tubos fluorescentes con mayor variedad de espectros de colores y formas, la elección entre los dos sistemas ya no es dudosa.

Los tubos fluorescentes son sin duda la fuente de luz artificial más eficaz. Algunas lámparas que utilizan descargas de alto voltaje a través de vapores metálicos son capaces de rendimientos de lumen por vatio mucho más altos, pero proyectan una luz extremadamente deficiente en grandes porciones de las longitudes de onda visibles, y dan un color fuerte y muchas veces desagradable a todo lo que iluminan. Por esta razón, su uso está



reducido a ciertas aplicaciones exteriores e industriales donde el color es de poca importancia. Dos ejemplos corrientes son las lámparas de vapor de sodium, amarillo brillante, y las lámparas azuladas de vapor de mercurio que iluminan miles de calles con un gasto mínimo de energía eléctrica.

Dónde colocar las fuentes artificiales de luz en un edificio es una cuestión de gran importancia. A veces un aparato mal situado mostrará a una persona o un objeto «con mala luz», como cuando una luz que viene directamente de arriba o de abajo proyecta sombras infernales hasta en las caras más agradables. A veces, una lámpara mal colocada puede poner un objeto en la sombra, como en el caso de una persona que escribe con la mano derecha, intentando hacerlo con una luz procedente de una lámpara situada al lado derecho del escritorio. A veces una fuente de luz se inmiscuirá en el campo de visión y provocará un fulgor molesto o peligroso. Los artefactos protectores o difusores en la fuente de luz pueden hacer mucho para contrarrestar este fulgor, pero es generalmente preferible situar la fuente fuera del campo de visión normal de las personas que utilicen un área determinada.

Un objetivo importante del diseño de la iluminación es conseguir un brillo (llamado más convenientemente *luminosidad*) apropiado a la tarea visual. La luminosidad apropiada puede ser muy tenue si la tarea visual es un plato de comida en la mesa del comedor, muy brillante si se trata de un apéndice sobre una mesa de operación, o entre ambas para la mayoría de las otras tareas visuales. A fin de conseguir la luminosidad deseada, hay que proporcionar una densidad apropiada de flujo luminoso en la superficie, medido en lúmenes por metro cuadrado. El flujo luminoso se consigue seleccionado y arreglando las fuentes de luz del tipo requerido y la cantidad de producción luminosa de acuerdo con las superficies de la habitación que sean de la reflectancia adecuada. Como con la luz natural del día, las superficies de la habitación de color claro, altamente reflectantes, ayudan a dar más iluminación por la misma cantidad de energía. Los colores de las superficies juegan también un importante papel para impedir el resplandor: un trozo de papel blanco sobre un despacho negro provocará cansancio visual, mientras que un papel blanco sobre un fondo gris claro puede ser mirado con comodidad durante largo tiempo. Otra consideración esencial en la prevención del resplandor es la de evitar los contrastes fuertes entre los niveles de flujo luminoso hacia el objeto y el entorno. Muchas veces es una buena idea tener una pequeña lámpara proyectando una luz brillante sobre una tarea visual determinada, pero, a no ser que el resto de la habitación esté iluminada a un nivel de brillo intermedio, puede ser que de ello resulte cansancio visual.

La correlación entre las mayores cantidades de iluminación y las mayores eficacias visuales ha llevado a algunos diseñadores a instalar sistemas de extremo brillo y prodigioso consumo eléctrico en oficinas y fábricas. Esta





correlación ha sido establecida en pruebas de laboratorio. Sin embargo, la experiencia en vivo ha demostrado que, una vez que se ha establecido un nivel mínimo de iluminación en una habitación, la satisfacción y la acción humanas están basadas en factores cualitativos más que en la cantidad absoluta de iluminación proporcionada.

Cualquiera que diseñe un sistema de iluminación para un edificio deberá empezar por plantearse cuál es el propósito de este sistema: si es crear cierto ambiente, realzar el aspecto del edificio por fuera o por dentro, favorecer los rostros humanos, llamar la atención sobre un objeto o una persona, hacer la lectura o el trabajo más fácil, o alguna combinación de estos factores. ¿Cómo entrará la gente en el edificio, se desplazará una vez dentro y lo dejará, de día y de noche, y cómo puede el diseño de la iluminación ayudar a sus ojos y sus emociones a adaptarse a estas transiciones? Cuando una persona se encuentra por un tiempo en un espacio interior del edificio, ¿cómo puede la luz contribuir mejor a la comodidad y al placer de la misma? Una vez estén planteadas estas cuestiones, se pueden analizar las opciones del diseño: ¿Qué papel puede desempeñar la luz natural de día, y dónde será preferible la luz artificial? ¿Qué espectros del color de las luces artificiales serán más efectivos? ¿Cómo tendrán que cambiar la iluminación del edificio y sus funciones entre el día y la noche? La luz de un área determinada del edificio, ¿tendrá que ser desparramada uniformemente en todo el área, o ampliamente concentrada en unos emplazamientos específicos? ¿Qué tipos de ventanas y de artefactos crearán los tipos de iluminación adecuados, y dónde tienen que estar situados? Estas decisiones son críticas, porque es a través de la iluminación como el ojo percibe un edificio por dentro y por fuera, y es a través del entorno luminoso de los edificios como el ojo humano es capaz de funcionar y apreciar las experiencias estéticas únicas de la vista.

### **Lecturas posteriores**

R. G. Hopkinson y J. D. Kay, *The lighting of buildings*, Faber and Faber, Londres, 1972.

## 14. Oír y ser oído

Disfrutamos enormemente con el sonido de una pieza de música favorita, el sonido de la voz de un amigo, el sonido de los pájaros en una mañana de verano y las palabras habladas por los jugadores en un juego, sacamos gran satisfacción al crear música con la voz o con instrumentos, al hablar a un amigo, al comunicar un mensaje importante a una audiencia interesada. En estas circunstancias, queremos oír y ser oídos. Pero también, en otras circunstancias, ansiamos las opciones igualmente importantes de *no oír* y *no ser oído*, las opciones de la paz y la intimidad. En general, deseamos no tener que escuchar el ruido continuo de un tráfico intenso o la música que conviene al gusto de un vecino pero no al nuestro, especialmente si interfieren en nuestro sueño, nuestra capacidad de concentración o la posibilidad de oír y ser oídos en nuestro entorno inmediato. Deseamos que nuestros secretos no sean oídos por cualquiera, sino por un confidente escogido, y podemos incluso querer hacer ruidos desagradables —como aprender a tocar el violín o cortar maderas con una sierra eléctrica— sin sentirnos molestos o molestar a los demás.

A veces quedamos frustrados en nuestros intentos de oír y ser oídos por la debilidad del sonido que estamos emitiendo o intentando oír, o si está interferido por un ruido no deseado o su propio eco. A menudo nuestra intimidad acústica se ve violada por entornos ruidosos o cuando sabemos que nuestro mínimo susurro será audible para un vecino. Cualquier edificio, haya o no sido diseñado con la idea de sus condiciones acústicas, tiene numerosos efectos importantes en la propagación del sonido. Si se los conoce a fondo, estos efectos pueden ser explotados y manipulados por un arquitecto a fin de crear unas condiciones acústicas que sean apropiadas a las diversas funciones humanas albergadas en un edificio.

### El sonido

El sonido es una sensación en el oído obtenida por medio de ondas de presiones del aire variables que



Huesos: martillo, yunque y estribo



emanan de una fuente de vibraciones. Dentro del oído, las ondas de sonido chocan con el tímpano del mismo (membrana timpánica), originando vibraciones que son transmitidas mecánicamente por diminutas palancas de hueso hasta un mecanismo interior extraordinariamente sensible (caracol), donde son transformadas en impulsos nerviosos para su interpretación por el cerebro. Los oídos de un joven oyente son capaces de detectar frecuencias de vibraciones que se sitúan entre 20 y 20 000 ciclos por segundo (Hz) aproximadamente, pero con el paso de los años los oídos se vuelven menos sensibles a las altas frecuencias. De 12 000 a 16 000 ciclos por segundo son los límites máximos típicos de captación de sonidos por un oído de mediana edad.

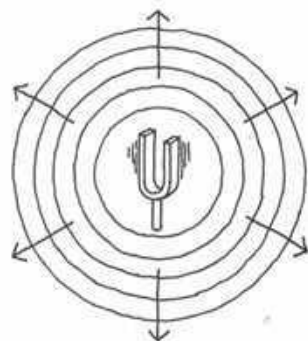
Con respecto a la presión de las ondas de sonido, el oído corriente puede soportar los sonidos más fuertes de la naturaleza y al mismo tiempo es capaz de detectar otros cuyas presiones son muchos millones de veces más pequeñas. A fin de reducir esta amplia variedad de niveles de presión del sonido a una escala de medición manejable, se emplea una escala logarítmica de decibelios (db). En una escala de decibelios, un aumento de 6 de ellos representa una duplicación de la presión del sonido. El diagrama adjunto da una idea más clara de cómo el oído humano se ve afectado por sonidos de distintas presiones.

Los sonidos del discurso humano son producidos por las vibraciones de las cuerdas vocales, modificadas por las acciones de la garganta, la nariz y la boca. Los distintos sonidos van desde una duración de 1/50 de segundo hasta 1/3 de segundo. La frecuencia fundamental reside mayormente entre los 100 y los 600 ciclos por segundo, pero la mayoría de los sonidos consonantes, en particular, son de una frecuencia mucho más alta y deben ser oídos claramente para su mayor inteligibilidad. Entre el susurro más tímido y el disparo más fuerte hay una amplia variedad de niveles de presión del sonido, pero el hablador corriente cubre una extensión de no más de 30 db aproximadamente. Como es de esperar, un discurso en voz fuerte es, en general, más inteligible que uno en voz más suave. Los sonidos musicales suelen ser de más larga duración que los de la voz y cubren extensiones a la vez de frecuencia y de presión del sonido mucho más amplias, especialmente en el caso de la música instrumental. Algunos órganos de grandes tubos son capaces de producir tonos cercanos al límite más bajo del espectro acústico. Las frecuencias muy altas son rutinarias en los tonos altos de todos los instrumentos musicales. Los pasajes más suaves de la música sinfónica son apenas audibles, mientras que los más fuertes alcanzan el umbral de la molestia.

El ruido es un sonido no deseado. Puede ser una voz humana o música, o sonidos de las fuerzas naturales, como el viento y la lluvia, o sonidos mecánicos de motores, engranajes, ventiladores, ruedas en la calzada, frenos chirriantes, equipos eléctricos zumbando o cañerías con explosiones. Las fuentes potenciales de ruido en la sociedad contemporánea son tan diversas en sus características

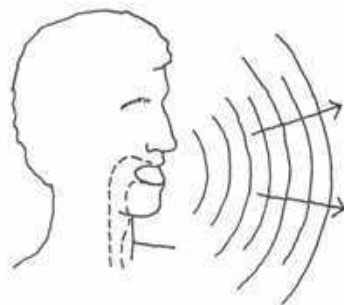
| Vatios<br>cm <sup>2</sup> | Decibellos |                                    |
|---------------------------|------------|------------------------------------|
| 10 <sup>-2</sup>          | 140        | Avión a reacción a corta distancia |
| 10 <sup>-3</sup>          | 130        | Comienzo del dolor                 |
| 10 <sup>-4</sup>          | 120        | Tren elevado cercano               |
| 10 <sup>-5</sup>          | 110        | Orquesta sinfónica                 |
| 10 <sup>-6</sup>          | 100        | Sierra eléctrica                   |
| 10 <sup>-7</sup>          | 90         | Calle con tráfico                  |
| 10 <sup>-8</sup>          | 80         | Grito a corta distancia            |
| 10 <sup>-9</sup>          | 70         | Interior de un automóvil           |
| 10 <sup>-10</sup>         | 60         | Conversación de frente a frente    |
| 10 <sup>-11</sup>         | 50         | Oficina corriente                  |
| 10 <sup>-12</sup>         | 40         | Sala de estar tranquila            |
| 10 <sup>-13</sup>         | 30         | Dormitorio tranquilo               |
| 10 <sup>-14</sup>         | 20         | Ruido ambiente rural               |
| 10 <sup>-15</sup>         | 10         | Hojas crujientes                   |
| 10 <sup>-16</sup>         | 0          | Límite de escucha                  |

de sonido, que es imposible ofrecer una generalización acerca de sus propiedades; cada problema de ruido tiene que ser analizado individualmente a fin de determinar su fuente, su amplitud característica de frecuencia y la presión de su sonido antes de que se puedan tomar medidas para rectificarlo.

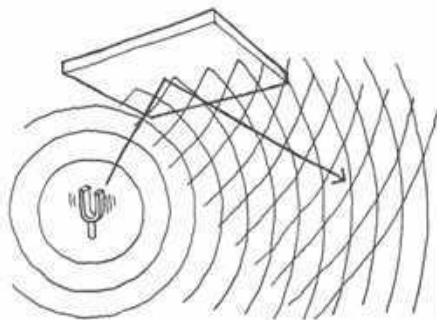


En teoría, las ondas del sonido se irradian esféricamente a partir de un punto de partida. Si la fuente fuese suspendida en un volumen de aire ideal, la presión del sonido disminuiría al cuadrado de la distancia desde la fuente. En la práctica, las ondas del sonido tienen su origen en fuentes, tales como la voz humana, que irradia más fuertemente en unas direcciones que en otras, e invariablemente las ondas actúan de distintas maneras por el suelo o las superficies del edificio, lo cual da como resultado la formación de campos de sonido que no se pueden describir con expresiones matemáticas sencillas.

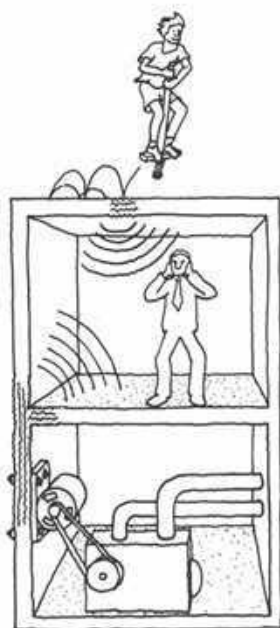
Las longitudes de onda para frecuencias audibles varían en más de 15 m para grados muy bajos a menos de pocos milímetros para los muy altos. Cuando un sonido choca contra una superficie grande, en comparación con su longitud de onda, una parte de la energía del mismo será reflejada, de forma muy parecida a como la luz reflejada por un espejo, y una parte será absorbida. (Cuando el sonido da contra un objeto más pequeño o de dimensión similar a la longitud de onda del sonido, sucede la difracción, que esparce las ondas, más bien que reflejarlas.) Cuanto más dura y rígida es una superficie, más grande es la proporción que reflejará. Los materiales blandos, porosos, absorben gran proporción de la energía del sonido incidente, disipándola en unas inmensurablemente pequeñas corrientes de calor creadas por la fricción entre las moléculas en movimiento y las paredes de los poros. La absorción óptima se consigue por una frecuencia determinada de poros situados a una distancia de un cuarto de longitud de onda de una superficie rígida, dura, donde la velocidad de las moléculas del aire en las ondas de sonido a la vez absorbidas y reflejadas está a su máximo. Así pues, se necesita un mayor espesor de materiales porosos para absorber las frecuencias más bajas. Una fina cubierta de pared sólo absorberá las frecuencias cercanas o superiores al máximo de amplitud audible. El tapizado grueso, poroso, absorberá más parte del sonido situado entre las frecuencias medianas y las altas. Las frecuencias musicales más bajas no pueden ser absorbidas eficazmente por un espesor normal de material poroso. Una ventana abierta al aire libre absorbe todo sonido que dé contra ella, y es el caso límite de absorción total. Una pared lisa, densa, pintada, de hormigón o plástico, absorbe menos de un 5 % del sonido incidente, y así está bastante cerca de ser el reflector perfecto.



El sonido puede producir respuestas resonantes en construcciones huecas, cuyas frecuencias naturales igualan las del sonido. El aire dentro de la concavidad actúa como un resorte, oscilando a una frecuencia característica. Puesto que un cuerpo resonante absorbe energía de las ondas que lo excitan, los aparatos resonantes ofre-







cen un medio de absorber la energía del sonido. En la práctica, los *resonadores* son más fáciles de construir para las frecuencias más bajas, lo cual hace de ellos un complemento útil a los absorbedores porosos para el tratamiento de habitaciones en las cuales la amplitud total de las frecuencias necesita ser controlada. En salas de concierto modernas se construyen generalmente los resonadores como concavidades disimuladas en las paredes, y ni siquiera son vistas ni apreciadas por el público de los conciertos.

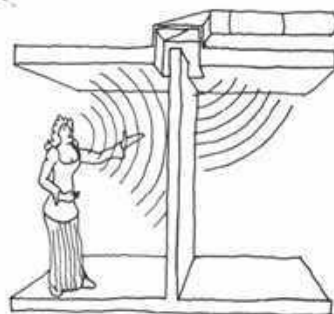
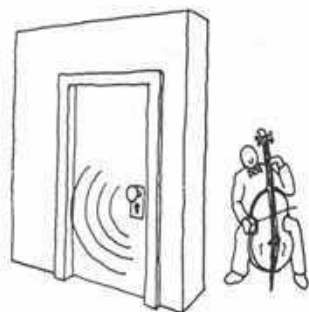
El sonido es capaz de desplazarse en otro medio que el aire y puede ser transmitido a través del acero, la madera, el hormigón, la albañilería o casi cualquier otro material rígido de construcción. El sonido de una pisada es transmitido inmediatamente, a través de una losa de hormigón, al aire de la habitación de debajo. Un caño de metal puede transportar un ruido de cañería hasta fuera del edificio. Un viga puede transportar las vibraciones de una máquina de escribir a una habitación adyacente, o el zumbido de un motor eléctrico a través de un edificio.

Un edificio produce ruidos propios, tales como los ruidos del impacto de la lluvia o aguanieve en las superficies del edificio, el silbido del viento que se infiltra, los portazos, el crujido de los viejos suelos de madera bajo el pie, los ruidos mecánicos de los sistemas de calefacción, de los sistemas de fontanería, la maquinaria del ascensor, los moledores de basura y otras máquinas diversas, y los ocasionales crujidos, chirridos y gemidos de una estructura empujada y sacudida por el viento, el calor y la humedad. Podemos reducir los ruidos mecánicos eligiendo aparatos silenciosos, mediante su instalación lo más lejos posible de las áreas habitadas del edificio, por su montaje con accesorios elásticos a fin de eliminar los ruidos transportados por la estructura y por su colocación en unos recintos aislados acústicamente, a fin de cortar la transmisión de su ruido por vía del aire. Generalmente, podemos reducir los ruidos del viento poniendo mejores burletes en las puertas y ventanas, lo cual da como beneficio adjunto una transmisión menor de los ruidos del exterior al interior y menos gastos de calefacción y refrigeración. Los ruidos de la lluvia y aguanieve, si molestan, se pueden reducir con la construcción de tejado y de una ventana más gruesa. Los ruidos estructurales producidos por el desacoplamiento de unos u otros componentes del edificio durante el momento esporádico en que se sueltan a causa de la creación de tensiones, son en gran medida inevitable y difíciles de remediar. A veces, si la fuente del roce se puede localizar con precisión, se puede clavar o empernar apretadamente un componente del edificio, o se pueden soplar partículas de grafito en la junta movetiza, como lubricante.

En un edificio, el ruido entre habitaciones se conduce de muchas maneras. El sonido penetra donde sea que exista una abertura, incluso muy pequeña, tal como una cerradura, la ranura arriba de una puerta o la rendija entre el tabique y el cielo raso. Las ventanas y puertas abiertas o mal ajustadas transmiten el sonido en seguida. Los con-

ductos de sistemas de calefacción, refrigeración o ventilación, muchas veces ofrecen al aire un pasaje de una habitación a otra que, a no ser que esté forrado con un material absorbente del sonido, transmitirá inmediatamente las conversaciones y demás sonidos. Si queremos intimidad, tendremos que rellenar las rendijas alrededor de las ventanas y puertas y cerrar todas las demás rendijas con sellos herméticos al aire. Los tabiques tienen que ir del suelo al techo para un mejor aislamiento acústico, y tendrían que estar contruidos bien con materiales macizos, como los de albañilería, bien con armaduras elásticas, a fin de absorber y disipar el sonido incidente y no vibrar en respuesta al ruido y luego transmitirlo al otro lado. Podemos reducir los ruidos de impacto a través de los suelos amortiguando las pisadas con un alfombrado acolchado, con montajes elásticos en el suelo o en el cielo raso.

Las placas «acústicas» son excelentes absorbentes del sonido incidente dentro de una habitación y ayudarán a reducir los niveles de sonido absorbiendo parte de la energía del sonido producida en una habitación; pero, a causa de su extrema porosidad y baja densidad, no sirven para reducir el paso del ruido de una habitación a otra por un techo o una pared. Esto también vale para las cortinas y alfombras, excepto por la acción amortiguadora de impactos de las alfombras en su lucha contra la producción de ruido. Un tabique aislante contra el ruido tiene que ser hermético al aire y preferentemente macizo y blando. Una hoja de plomo suspendida, sellada en sus bordes, haría un tabique bastante bueno para reducir los sonidos. La hoja de plomo es de considerable utilidad como componente interno de paredes aislantes contra el sonido para estudios de grabación y funciones especializadas similares.

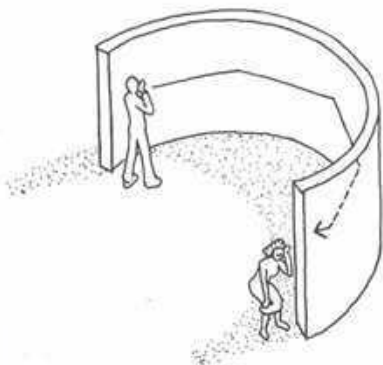


## Creación de buenas condiciones de escucha

Los efectos de una habitación sobre el sonido producido dentro de la misma dependen principalmente de la forma, el tamaño y las proporciones de aquélla y de las cantidades de sonido de diversas frecuencias absorbidas, reflejadas y difractadas por sus superficies y objetos contenidos. En pequeñas habitaciones con paredes paralelas, las *ondas continuas* son a menudo evidentes: ciertas frecuencias de voz y de música están exageradas al rebotar repetidamente hacia atrás y delante entre las paredes opuestas. Una habitación con paredes paralelas se puede mejorar acústicamente si se eliminan las ondas continuas inclinando u oblicuando ligeramente dos de las paredes y si las dimensiones del espacio no caen en ninguna proporción geométrica sencilla tal como 1:2 o 2:3.

Las habitaciones con superficies cóncavas suelen concentrar las reflexiones del sonido de modo que éste se ve grandemente reforzado en el centro de las superficies y es menos fuerte en las otras partes. Una «galería de susurros» es una habitación en la cual dos participantes se pueden poner en dos puntos de concentración rela-





cionados, de superficies curvadas, y oír el susurro del otro con sobrecogedora sonoridad y nitidez. Las superficies convexas esparcen ampliamente el sonido reflejado, lo cual ayuda a reforzar los niveles del sonido en todas las partes de una habitación. Las habitaciones de formas irregulares, quebradas, esparcen y reflejan el sonido de manera irregular, distribuyéndolo más o menos uniformemente a través de la habitación en general.

El *reforzamiento* del sonido, la amplificación de éste por el hecho de que se le oye a partir de diversas reflexiones tanto como directamente desde la fuente, es una función muy importante de las propiedades reflectantes de una habitación. Las salas de reuniones, de clase, los auditoriums, tienen a veces su techo totalmente recubierto con materiales absorbentes del sonido, por obra de gente bien intencionada pero mal informada. El efecto es el de anular el potencial de *reforzamiento* del sonido ofrecido por las reflexiones del techo, lo cual da como resultado niveles de sonido inadecuados hacia la parte de atrás de la sala. El paso siguiente habitual, la instalación de un sistema de reforzamiento del sonido electrónico, a menudo será innecesario si una gran área en el centro del techo se ha dejado sin cubrir, como una superficie reflectante. Por otro lado, en algunas grandes salas de concierto, un sonido reflejado puede correr un trayecto tan largo que llega a los oídos del oyente bastante más tarde que el sonido directo proveniente del escenario y se oye como un eco distinto, lo cual hace el sonido más confuso, no más reforzado. Se tienen que eliminar estas reflexiones de largo trayecto mediante la mejora de la geometría de la habitación o el uso selectivo de las superficies absorbentes, a fin de permitir el reforzamiento del sonido en trayectos cortos y absorber mientras tanto el sonido que se desplazaría sobre distancias excesivas.

El período durante el cual un sonido rebotará en la habitación antes de caer a un nivel inaudible se conoce como *tiempo de reverberación* de la habitación. En general, el tiempo de reverberación aumenta con el volumen de la habitación, a causa de los trayectos más largos que cada sonido tiene que hacer entre sus reflexiones sucesivas y disminuye cuando añadimos materiales absorbentes del sonido que interceptan y tragan las ondas. La reverberación es algo importante en las salas de lectura, los teatros, las iglesias y las salas de concierto, porque sostiene y mezcla los sonidos, efecto que los hace mucho más suaves y ricos que los mismos sonidos propagados al aire libre. Conseguir un tiempo de reverberación adecuado para una sala determinada es de suma importancia. Para la voz hablada, es mejor un corto tiempo de reverberación, de manera que los sonidos consonantes cortos permanezcan nítidos. Pero cierta cantidad de reverberación ayuda a enriquecer una voz de locutor y da a éste alguna sensación de lo bien que llega su voz a la audiencia. Para la música, tiempos de reverberación más largos prolongan y mezclan los sonidos de los instrumentos o las voces de modo que los compositores, los músicos y los oyentes esperan que suceda. La música sonará apagada y quebradiza

en una sala que tenga un tiempo de reverberación demasiado corto, pero perderá claridad y nitidez si el tiempo de reverberación es demasiado largo. Una sala con un diseño óptimo da brillo y color a la música, sin destruir su clara articulación. Las iglesias donde la predicación es lo importante necesitan tiempos de reverberación relativamente cortos, mientras que aquéllas con un servicio más ceremonial, particularmente donde es importante la música, necesitan unos más largos. Se sabe que la práctica de cantar la liturgia nace de la necesidad de una comunicación clara en las iglesias de los primeros días, con tiempos de reverberación enormemente largos. Con seguridad, la música litúrgica, desde el medievo a la actualidad, dependió de unos interiores de iglesias grandes, con eco, para el logro de gran parte de su impacto emocional.

Para diseñar una sala que tenga buenas condiciones de escucha, tenemos que desarrollar, pues, una forma de sala que atribuya y refuerce el sonido uniformemente para todos los oyentes. Hemos de conseguir un tiempo de reverberación apropiado a los propósitos de la sala. También tenemos que reducir los niveles de ruido al mínimo, para evitar interferencias con la función, empleando una construcción gruesa, hermética al aire en las paredes, los tejados y los suelos, a fin de mantener alejado el ruido externo, e instalando sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración muy silenciosos.

## Control del ruido

Cuando el ruido es un problema y queremos construir habitaciones tranquilas, para dormir o estudiar, empezamos por concebir el edificio de manera que las habitaciones silenciosas estén lo más alejadas posible de las fuentes de ruido —calles con tráfico, salas públicas, cocinas, talleres o espacios que alberguen una maquinaria en funcionamiento— y así estén protegidas de la mayor parte del estruendo por las habitaciones intermedias. Si el ruido llega a través de un campo abierto, una fábrica, un aeropuerto o una autopista, aumentar la distancia ayuda a reducir su intensidad. Plantar árboles, arbustos o hierba para absorber o bloquear el sonido no suele dar resultados. Estos elementos del paisaje son de densidad tan baja, que tienen poco efecto sobre las ondas del sonido. Las cercas de madera son igualmente ineficaces. Una gruesa pared de hormigón o de albañilería puede ser más eficaz, pero tiene que ser suficientemente alta y ancha para cerrar el paso a todas las líneas de vista entre la habitación que se quiere tranquila y el ruido, y tiene que estar cerca, bien de la habitación, bien de la fuente del ruido. De otro modo, el sonido sería difractado alrededor de los bordes de la barrera. Las paredes, el suelo, y el techo de la habitación tendrían que ser gruesos y herméticos al aire, por supuesto, lo cual incluye un acristalamiento múltiple de las ventanas si el problema del ruido es serio. Las fuentes internas del ruido, como el equipo de ventilación, las pisadas o los crujidos de papeles, se pueden acallar en la fuente



misma por un alfombrado, muebles blandos, tapizados u otros materiales absorbentes de sonido que bloqueen su reflexión.

A veces, cuando el ruido es particularmente persistente y desconcertante, no se puede tratar eficazmente el edificio contra este ruido, o puede ser que no haya dinero para pagar el tratamiento que lo reduciría. Y a veces se ha hecho una habitación tan silenciosa, que incluso un susurro es perturbante, y el sonido de la respiración, los latidos del corazón y los movimientos del cuerpo son molestos. En cualquiera de estos casos, la introducción de *disimuladores de ruido* a bajo nivel puede ayudar a oscurecer los sonidos no deseados. Los mejores disimuladores de ruidos son los naturales, que gustan a casi todo el mundo: el murmullo del agua contra una orilla, el sople del viento por los árboles, el crujido de un fuego, el martilleo de la lluvia en el tejado, la salpicadura de un arroyo o una fuente. Ninguno de estos reposados sonidos tiene las cualidades desconcentradoras inherentes a la música o a la voz. Pero, si no son aprovechables, un sistema de ventilación ligeramente ruidoso puede ser igualmente eficaz. Cualquier disimulador de ruido tiene que ser fuerte en las frecuencias que predominen en el ruido que hay que disimular.

### Creación de la intimidad

Cuando un edificio tiene que crear una intimidad acústica, impidiendo que se oigan demasiado las conversaciones, la mayor parte de las mismas estrategias entran en juego: la construcción tiene que ser hermética al aire y gruesa. Los niveles del sonido dentro de la habitación pueden verse algo reducidos por el uso de materiales absorbentes de sonido. Y disimular el ruido puede ser de un valor inestimable. Una barra de bar atestada de gente codo a codo, con gente charlando, es de hecho un entorno muy íntimo para una conversación privada. Simplemente, hay tanto ruido producido en la amplitud de frecuencia de la voz humana, que sólo el interlocutor más cercano, más atento, puede entender las palabras de uno. Éste es el motivo de que los espías y los diplomáticos, en la ficción o la realidad, pongan la radio antes de mantener discusiones en una habitación de la cual se sospecha que está «preparada».

Oír y ser oído, no oír y no ser oído, son factores importantes que debemos tener en cuenta en el diseño de los edificios. En la mayoría de las circunstancias, los materiales de construcción corrientes son suficientes para este propósito. Pero tienen que ser correcta y cuidadosamente empleados.

### Lecturas posteriores

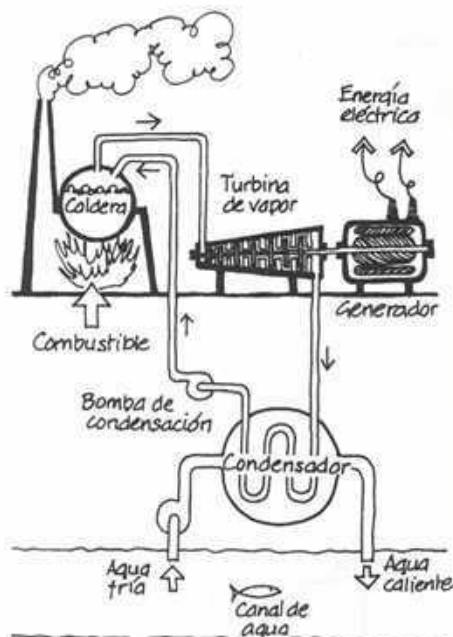
Anita Lawrence, *Architectural acoustics*, Elsevier Publisher Company, Amsterdam-Londres-Nueva York, 1970.

## 15. Energía concentrada

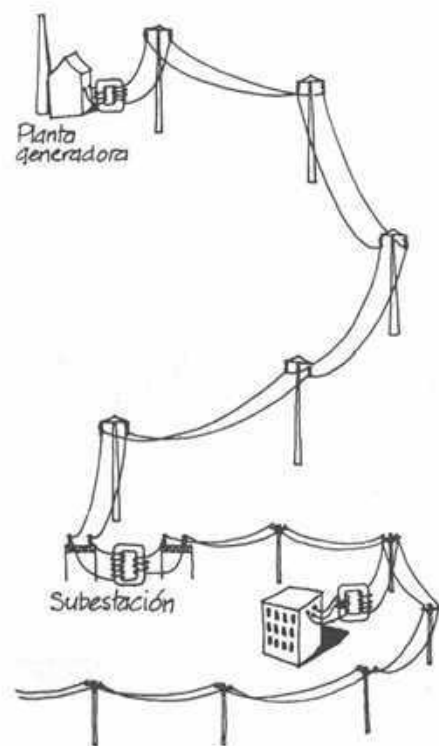
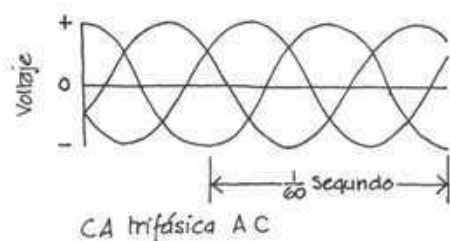
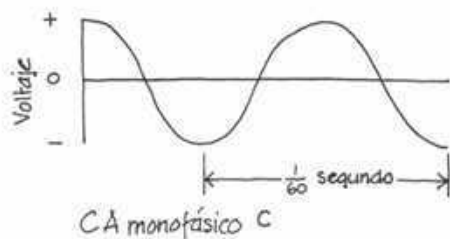
Hasta hace un siglo, en América sólo se utilizaban dos tipos de energía en los edificios corrientes para el cumplimiento del trabajo útil. Uno era el fuego, el otro era la fuerza del músculo humano. Hoy en día, la electricidad es aprovechada en casi todas las salas como forma de energía limpia, fiable, excepcionalmente conveniente para el alumbramiento, la calefacción, la energía de las herramientas y las comunicaciones electrónicas.

Generalmente, la electricidad no es producida en el mismo emplazamiento del edificio. Las unidades de producción pequeñas, potenciadas por motores de combustión interna, por agua o viento, son por lo general costosas de compra y de mantenimiento, de capacidad limitada cuando se las compara con lo que hemos llegado a esperar de nuestros sistemas eléctricos, y menos eficaces y fiables que las instalaciones centrales de producción. También pueden producir ruido y mal olor, ser incapaces de producir una corriente alterna continua, y les puede ser difícil proporcionar electricidad cuando el nivel del agua o la velocidad del viento son bajos, o cuando la maquinaria se para. La producción de electricidad, en el mismo sitio de su uso, por células fotoeléctricas expuestas a la luz solar es, en la actualidad, impracticable porque las células son ineficaces y prohibitivamente caras. A medida que suben los precios del petróleo, las demandas humanas se vuelven más razonables; y, a medida que avancen las técnicas de la producción y el almacenamiento de la energía, puede cambiar este repartimiento. Pero, por el momento, semejantes sistemas de producción privados suelen ser unidades paliativas para mantener la electricidad en edificios críticos durante los cortes de alimentación, o unos generadores instalados en grandes complejos de edificios como parte de sistemas de energía total.

Las grandes instalaciones de producción central están potenciadas ya por turbinas de agua alimentadas por tanques o, más corrientemente, turbinas de vapor. El vapor es producido por el carbón, petróleo, gas o combustible nuclear. Las mejores instalaciones de vapor tienen una eficacia del 40 %, lo cual es considerablemente más que lo que se puede conseguir en pequeños generadores







*in situ*, pero hay que recordar que esto significa todavía que una vez y media este mismo calor se pierde por las chimeneas de la instalación de energía y por los conductos de agua empleados para enfriar los condensadores, mientras está puesto en las líneas de transmisión como energía útil potencial. Más pérdidas tienen lugar en la transmisión de la electricidad al usuario, lo cual da como resultado una eficacia total, para el sistema de producción y distribución de electricidad, de un tercio aproximadamente. Por suerte, los aparatos eléctricos, en los edificios, convierten la electricidad en energía útil con una eficacia bastante alta; pero esto no cambia el hecho de que los aparatos productores de calor que pueden quemar combustibles dentro de un edificio; generalmente con una eficacia de dos tercios aproximadamente, son en todo caso más ahorrativos en combustible y de funcionamiento menos costoso que sus equivalentes eléctricos, excepto en algunas áreas provistas de abundante energía hidroeléctrica.

Virtualmente, toda la electricidad está producida como *corriente alterna* (C.A.). La frecuencia de la alternancia es de 60 ciclos por segundo (Hz) en Estados Unidos, pero es más baja en algunos países. La principal ventaja de la electricidad C.A. sobre la *corriente continua* (C.C.) es que su voltaje es fácil y eficazmente cambiado mediante *transformadores*. Los generadores sueltan una corriente de varios miles de voltios. Luego este voltaje es incrementado por transformadores en las instalaciones generadoras antes de pasar por las principales líneas de transmisión, a fin de reducir el amperaje al mínimo. Cuando se han bajado los amperajes, se pueden transmitir cantidades de electricidad a través de pequeños hilos eléctricos con pérdidas de transmisión mínimas.

La mayor parte de la corriente alterna es utilizada como electricidad de *fase única*, lo cual significa que el voltaje varía como una sola onda sinusoidal, alcanzando el cero dos veces en cada ciclo. Para muchos propósitos, esta forma es enteramente aceptable, pero los motores eléctricos, particularmente los más potentes, son relativamente grandes, voluminosos e ineficaces cuando están diseñados para funcionar sobre las pulsaciones intermitentes de una electricidad de fase única. Por esta razón, en las áreas industriales se distribuye la C.A. de tres fases, utilizando tres instalaciones de bobinas generadoras a fin de sobreponer tres ondas sinusoidales desfasadas de  $120^\circ$ , lo cual da una corriente de energía más continua y permite la utilización de motores más pequeños y eficaces.

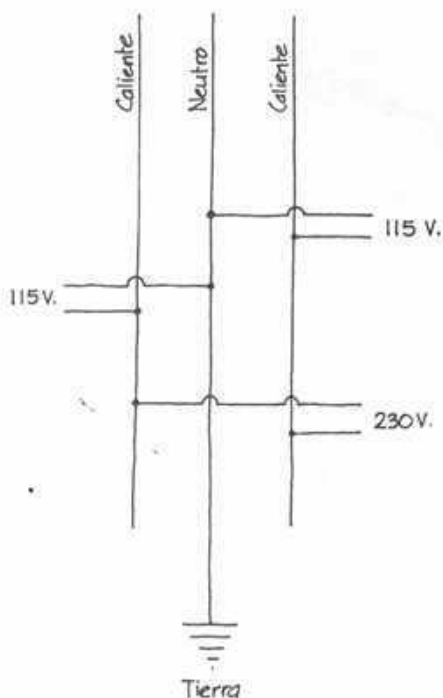
Antes de pasar a las líneas locales de transmisión para su distribución en los edificios, la energía eléctrica es reducida en su voltaje en subestaciones transformadoras locales. Esto da como resultado pérdidas en la transmisión algo mayores en las líneas locales que en las líneas principales, pero las líneas locales no se pueden aislar o proteger con tanto grosor como las líneas principales. Sin embargo, este voltaje es aún demasiado alto para los usos del consumidor, así que cada edificio, o cada conjunto de edificios, está provisto de un pequeño trans-

formador a fin de reducir el voltaje todavía más antes de que penetre en él. En pequeños edificios se pone un servicio, generalmente, de 230 o 240 voltios. Los grandes edificios o los complejos compran a menudo electricidad a un voltaje de línea local para una distribución interna más eficaz, reduciendo su voltaje con transformadores interiores necesarios antes de la utilización.

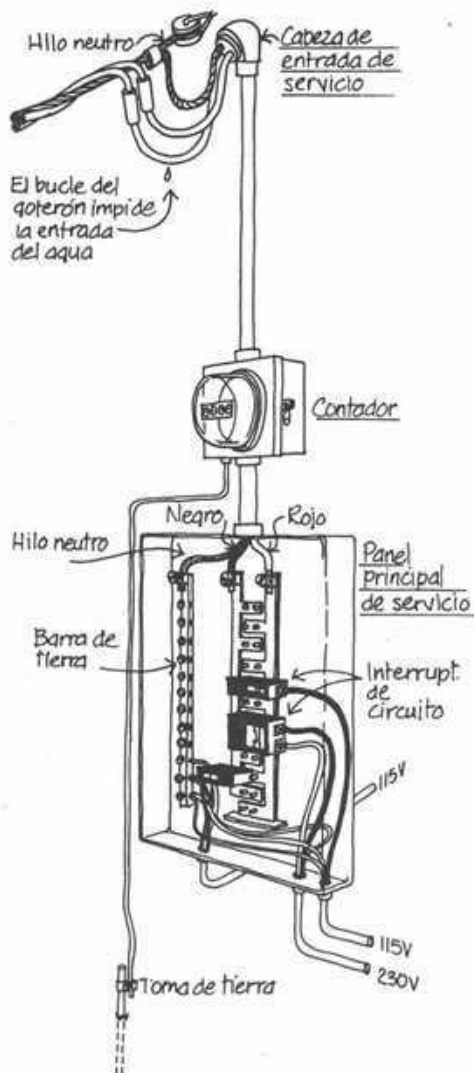
El cobre y el aluminio son, ambos, excelentes conductores y corrientemente utilizados como material para los hilos eléctricos. El cobre es mejor conductor que el aluminio, pero el hilo de aluminio es un poco más barato, incluso teniendo en cuenta que hay que utilizar hilos ligeramente más grandes que con el cobre. Un inconveniente del aluminio es que su óxido, al contrario del cobre, es un aislante eléctrico, y esto ha provocado problemas de sobrecalentamiento e incendios en algunos edificios donde los hilos de aluminio estaban incorrectamente conectados a los aparatos, lo cual permitía a la corrosión interferir con la corriente.

El sistema eléctrico en un pequeño edificio es un concepto bastante sencillo. Pasan tres hilos por encima o por debajo, provenientes del transformador del edificio. Uno es un *hilo neutro*, lo cual significa que no hay potencial eléctrico entre éste y el suelo. Se puede estar en un suelo mojado y tocar el hilo neutro sin peligro de electrocución. Para asegurarse de que sea así, se conecta firmemente el hilo eléctrico a una vara larga de acero cubierto de cobre, clavada en el suelo en el punto en que el hilo entra en el edificio. El segundo y el tercer hilo son «calientes», energizados de manera que tienen un potencial de 230 voltios entre los dos, pero 115 voltios cada uno y el hilo neutro. Los hilos calientes pasan a través de un contador eléctrico antes de penetrar en el edificio, contador que lleva un pequeño motor que rueda a una velocidad proporcional a aquella con que se pasa la corriente por los hilos. El motor hace avanzar unas agujas en unos indicadores gracias a unos engranajes, contando en kilovatios-hora la cantidad de energía consumida.

Dentro del edificio, los tres hilos penetran en un *panel de servicio* principal. El hilo neutro está conectado a la caja de acero que contiene el panel, y a una barra de cobre o aluminio por la cual todos los circuitos del edificio estarán conectados a la tierra. Los hilos calientes, con un código de color negro y rojo en sus vainas aislantes, están cada uno conectados a una barra de cobre o aluminio acoplada con conectadores a través de los cuales se pueden fijar los *interruptores de circuito*. Estas dos barras, cuidadosamente aisladas de la caja del panel en contacto con la tierra, y cada una de la otra, tienen una configuración tal que un solo interruptor de circuito servirá para conectar un solo hilo a una u otra de las barras mientras un doble interruptor de circuito, ocupando dos conectores adyacentes, conectará un hilo a una barra y uno al otro. Por este medio, un solo interruptor de circuito permite la conexión de un circuito único de 115 voltios que consiste en un hilo caliente con aislante negro conectado al interruptor, y un hilo neutro con aislante







blanco conectado a la toma de tierra metálica. Según dónde esté situado el interruptor en la caja, se puede conectar el hilo caliente para un circuito de 115 voltios a uno de los hilos rojo o negro que vienen del contador, no importa cual. Un doble interruptor se conecta a los dos hilos rojo y negro, y se utiliza para los circuitos de 230 voltios. Los interruptores se instalan fácilmente cuando hay que conectar los diversos circuitos en un edificio. Cada interruptor sirve como botón de conexión o desconexión apropiado para el mantenimiento del funcionamiento en un circuito, además de cumplir la importante función de seguridad de cerrar automáticamente el paso de la corriente si por alguna razón empieza a fluir más corriente de la que puede transportar el hilo sin sobrecalentarse y provocar un incendio. Se daría esta condición por un exceso de aparatos enchufados al mismo tiempo o por un *corto circuito* provocado ya por un hilo en mal estado, ya por un aparato averiado.

En cualquier circuito suele haber tres hilos en servicio, sea de 115 o de 230 voltios; un hilo cubierto de aislante negro, uno con aislante blanco y un hilo sin aislar conectado a la toma de tierra en el panel. Hay que proteger estos hilos de todo daño a su paso por la estructura del edificio. En una construcción residencial de madera, esto se suele hacer por medio de una robusta vaina protectora de plástico que contiene los tres hilos. En tipos grandes de construcción, los hilos están introducidos en tubos de acero o plástico llamados *conductos*. Un conducto ofrece una mejor protección a los hilos que una vaina de plástico, y en un edificio cuyos hilos eléctricos estén dentro de conductos se pueden instalar nuevos hilos empujándolos a través de los existentes, lo cual es imposible con los cables envainados en plástico.

En cada aparato —un receptáculo, un generador de luz o un enchufe—, hay que fijar cuidadosamente una caja de metal o plástico a la estructura del edificio, para que soporte el aparato y proteja sus conexiones. El cable o el conducto se empalman estrechamente a la caja donde entran los hilos, impidiendo así que éstos sean arrancados en caso de problemas con el cable o el conducto. El hilo de la barra neutra está conectado a la caja y a la estructura del aparato para tener la seguridad de que no podrá provocar nunca descargas si el aparato se vuelve defectuoso. Los hilos negro y blanco están desenvainados del aislante en sus extremidades, y luego conectados al aparato gracias a tornillos o grapas. Después de que se pruebe el circuito para asegurarse de su buen y seguro funcionamiento, se atornilla apretadamente el aparato a la caja y se fija una tapadera de metal o plástico para que no haya contacto con los dedos, para mantener las conexiones eléctricas fuera del polvo y de la suciedad y dar una apariencia pulcra.

Hay que seleccionar el tamaño de los hilos empleados en un sistema eléctrico de acuerdo con la cantidad máxima de corriente que habrá que transportar y la longitud de hilo necesaria, a fin de evitar un calentamiento excesivo del hilo y una pérdida excesiva de energía. Se

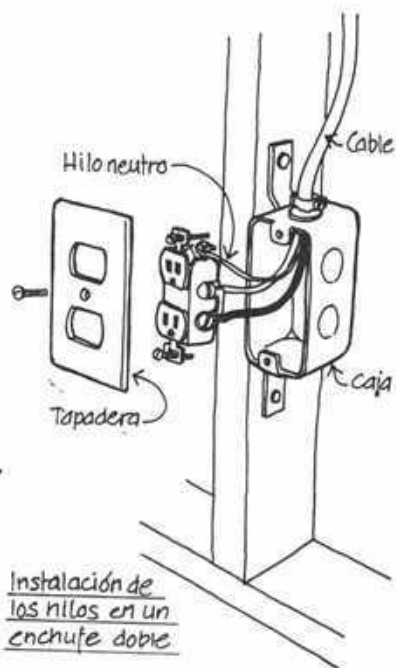
emplean hilos bastante finos para los circuitos de suministro de luz a 115 voltios, mientras que se usan hilos del ancho de un dedo para la entrada de un suministro residencial.

Un artefacto de seguridad llamado *interruptor con toma de tierra* (I.T.T.) es necesario como complemento de un interruptor de circuitos en aquellos que sirven áreas donde existe una alta probabilidad de descargas eléctricas accidentales, como son las piscinas y los receptáculos exteriores. Si un I.T.T. nota cualquier escape de corriente de un circuito, por pequeño que sea, desconecta completa e instantáneamente el circuito.

Los sistemas eléctricos en grandes edificios son, en sus extremos, muy parecidos a los sistemas a pequeña escala ya descritos en este capítulo. Un edificio grande tiene muchos paneles de servicio para sus diversas zonas y plantas. Cuando hay que transportar grandes cantidades de corriente a voltajes corrientes, en vez de hilos eléctricos se emplean grandes *barras colectoras* rectangulares de metal, cada una envuelta en un tubo de metal protector. Se conectan entonces unos paneles locales a estas barras, con hilos metidos en conductos ramificándose fuera de los paneles hasta los aparatos locales. Cuando son frecuentes los cambios de hilos, como en algunos edificios de oficinas, y para mayores facilidades, para las computadoras, hay que introducir los hilos a través de tubos rectangulares especiales, por debajo del suelo, provistos de frecuentes cajas de registro a las cuales los aparatos puedan fácilmente ser conectados; o se puede instalar una superficie de suelo alzada bajo la cual los conductos pueden dejarse en desorden. Los arquitectos de cualquier edificio más grande que una vivienda unifamiliar tienen que prever espacios verticales y horizontales para los conductos, las barras rectangulares, los paneles y los hilos de comunicación, y accesos para los electricistas con puentes, escotillas o paneles móviles.

Muchos códigos eléctricos especifican una distancia horizontal máxima autorizada entre los receptáculos de una habitación. Esto es para asegurar que una lámpara o un aparato provisto de un hilo de longitud corriente se pueda colocar en cualquier parte del perímetro de una habitación sin necesidad de un alargador. También se especifican un mínimo de receptáculos por habitación y un máximo de receptáculos por circuito, a fin de evitar la sobrecarga de los hilos a causa de aportaciones de corriente excesivas.

La instalación de hilos de bajo voltaje, generalmente a 12 o 14 voltios, se emplea frecuentemente para los circuitos de timbres de puerta, circuitos de termostato, y a través de *relais* para la conexión de circuitos de luz, especialmente donde se requieren conexiones complejas o paneles de control remoto. La ventaja de la instalación de hilos de bajo voltaje está en que no puede dar fuertes descargas o provocar incendios, así que se puede colocar en el edificio sin el uso de cable o de conducto. Ya que los amperajes requeridos también son bajos, el hilo en sí es pequeño y barato. La corriente se produce por medio





de un pequeño transformador conectado a un circuito de 115 voltios. La mayor parte de las instalaciones de teléfono y comunicaciones es también de bajo voltaje, con la corriente proporcionada por la compañía de comunicaciones.

A menudo se introducen en los edificios, canalizadas, otras formas de energía aparte de la electricidad. El gas es la más corriente de ellas y suele ser directamente conducido por tubería desde el pozo central al edificio. Algunos pequeños usuarios en remotos lugares utilizan un gas licuado entregado en tanques que son conectados a la tubería de gas del edificio. Para cualquier tipo de gas, el sistema de tubería es extremadamente sencillo. Incluye un *regulador* para hacer bajar la alta presión en la cañería maestra o el tanque, un contador para medir el consumo y tubos de tamaño adecuado para servir los diversos aparatos.

En ciertas áreas urbanas se puede utilizar el vapor a alta presión proveniente de cañerías subterráneas, y se emplea en muchos edificios grandes para la calefacción y la absorción del frío, evitándose así la necesidad de instalar chimeneas y calderas individuales. En una época se utilizaba también el vapor para potenciar los ascensores, los ventiladores, las bombas en los edificios, pero hoy ha sido reemplazado por la electricidad para la mayoría de esas funciones. El vapor suele ser expulsado de la central local de producción de electricidad, un poco recalentado y distribuido a través de cañerías y contadores a los consumidores, lo cual aumenta la eficacia total del uso de combustible en la instalación productora.

El aire comprimido por tubería se ve frecuentemente en talleres y fábricas, donde se utiliza para potenciar herramientas portátiles, para aparatos empalmadores y pulverizadores de pintura. Las herramientas que funcionan con aire tienden a ser más baratas, ligeras y robustas que sus equivalentes eléctricos. Generalmente, el aire se suministra con un compresor que funciona eléctricamente en el local mismo. Las tuberías de vacío son corrientes en los edificios de laboratorios científicos. En algunas localidades urbanas, las líneas de vacío, las líneas de aire comprimido o las cañerías de agua a alta presión utilizadas para herramientas, estaban primero situadas bajo las calles como sistemas utilitarios. Hoy en día, la electricidad, el gas y el vapor son las únicas energías que siguen siendo de uso corriente.

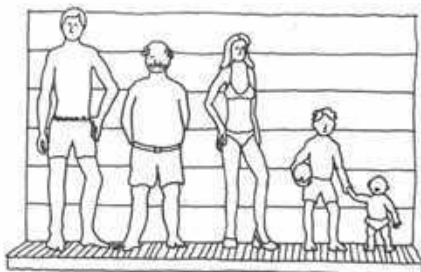
### Lecturas posteriores

William J. McGuinness y Benjamin Stein, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 1971, pp. 457 a 673; versión castellana: *Instalaciones en los edificios*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, 1982<sup>1</sup>.

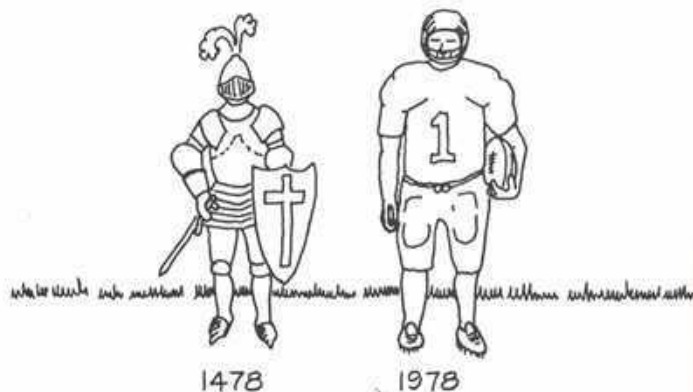
## 16. Adaptación del edificio a la gente

Las personas son la medida verdadera de todos los componentes de un edificio. Los edificios están contruidos para la gente, para ser habitados por ella. En cada extremidad del proceso arquitectónico, la construcción y la habitación, las dimensiones y los movimientos del cuerpo humano son los máximos determinantes de las formas y tamaños de las cosas. Esto plantea un problema inmediato: la gente varía mucho en tamaño, forma y movilidad. Por lo general, los hombres son más grandes que las mujeres, y los niños pasan por todos los tamaños. El promedio humano de hoy es considerablemente más grande que el de hace un siglo, y crecemos de modo medible con cada generación. Por supuesto, no existe una figura humana «media». La altura del hombre «medio» varía en una longitud de unos 30 cm, y los hombres excepcionalmente altos o bajos quedan fuera de esta gama. Lo mismo vale para las mujeres. Las constituciones de los cuerpos, en ambos sexos, varían en la estructura del esqueleto, la musculatura y la distribución de la grasa. Los niños son mucho más pequeños y menos coordinados físicamente que los adultos, pero más activos. Los adolescentes son casi tan grandes como los adultos, más activos y quizá mejor coordinados. Los adultos se vuelven progresivamente menos ágiles después de la edad mediana, hasta que en sus últimos años muchos se ven disminuidos en su movilidad. Personas de cualquier edad, si tienen que ir con muletas o están confinadas en una silla de ruedas, o se ven disminuidas físicamente de cualquier otro modo, son susceptibles de tener dimensiones físicas muy distintas que las de la gente completamente móvil. Dada esta variada clientela, ¿cuál de ellos servirá de medida para nuestros edificios?

La respuesta más fácil es: nos acostumbramos a diseñar cada edificio para los individuos exactos que lo habitarán. Pero esto no siempre es posible, porque muchas veces hemos de diseñar para habitantes desconocidos. Incluso cuando conocemos íntimamente a los ocupantes de un edificio, es muy posible que algún día se muden a otra parte y un nuevo grupo de personas de tamaños y formas desconocidos se instalen en esta casa. Los niños







son un problema especial porque ellos crecen. En una escuela podemos enfrentarnos en alguna medida a este problema con una repartición de diferentes aulas y lavabos para cada grupo de edad, comprometiendo así un poco la comodidad de los profesores adultos; pero, en una vivienda, un niño muchas veces crece en una misma habitación durante muchos años. Una habitación hecha específicamente a la escala infantil se volverá estrecha a medida que el niño se haga mayor.

No hay respuesta totalmente satisfactoria a este dilema. Lo mejor que podemos hacer en muchos casos es dar a los componentes de los edificios unas medidas que se acomoden a la preponderancia de la población adulta, dejando unas pocas personas de tamaño o forma excepcional junto con los niños más pequeños, en la expectativa de tener que hacer continuas acomodaciones en el edificio. Buena parte del esfuerzo puede ser facilitado por la instalación de un amueblamiento apropiadamente ajustado, como se ve de manera especial en el caso de los niños. En residencias, bibliotecas, salas y otros edificios donde los habitantes son libres de colocarse ellos mismos en cualquier emplazamiento, proporcionar espacios de diversas escalas y diversos niveles de pared puede dar importantes oportunidades de encontrar el entorno apropiado a personas de dimensiones físicas y psíquicas diversas.



### Dimensiones del edificio

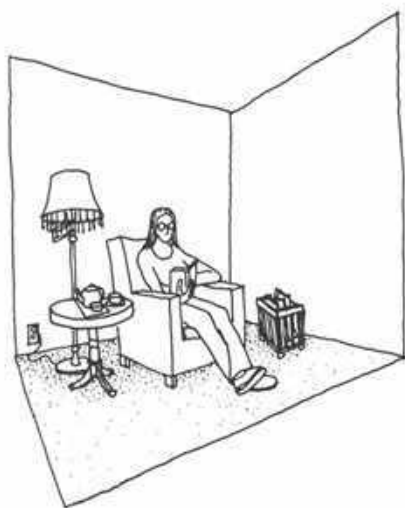
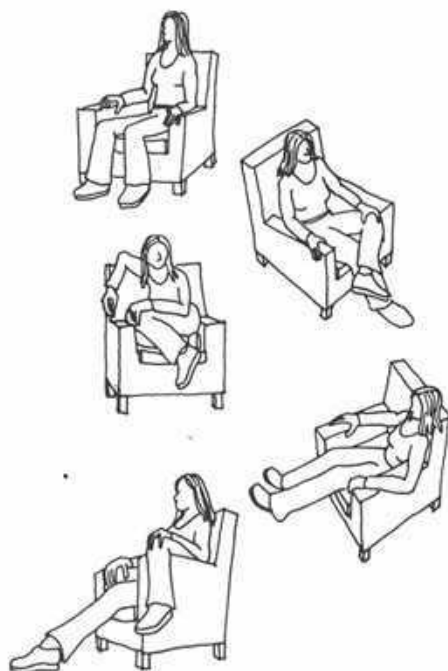
Las dimensiones de un edificio están determinadas, en última instancia, por las dimensiones de la figura humana. Al nivel más básico, una mujer sentada en un cómodo sillón establece ciertas medidas importantes. El interior del sillón tiene que ser suficientemente grande en todos los sentidos para poder soportar su cuerpo de modo confortable en cualquiera de las posturas sentadas normales: pies en el suelo, piernas cruzadas, piernas plegadas bajo el cuerpo, posición sentada recta, posición sentada diagonalmente con apoyo en una esquina del sillón.

incluso posición sentada con una pierna colgando sobre un brazo del sillón. La distancia entre el cojín y el suelo, el ángulo del cojín, el ángulo del respaldo y la altura y el ángulo de los brazos están todos basados en el tamaño y la configuración del cuerpo humano medio, representado aquí por una mujer. A partir de estas dimensiones, más el espesor de estructura requerido para soportar el peso de su cuerpo y el espesor del acolchado preciso para distribuir cómodamente su peso, se forman las dimensiones exteriores del sillón. Alrededor del sillón, en un radio de fácil alcance para los brazos de la mujer, hay otras piezas del amueblamiento: una lámpara suficientemente alta para proyectar luz por encima de su hombro y sobre su libro; un porta-revistas lo suficiente grande para contener material de lectura corriente, el cual a su vez es de un tamaño ajustado cómodamente a su mano y sus ojos; una mesa de lado que ponga una taza de té a su fácil alcance.

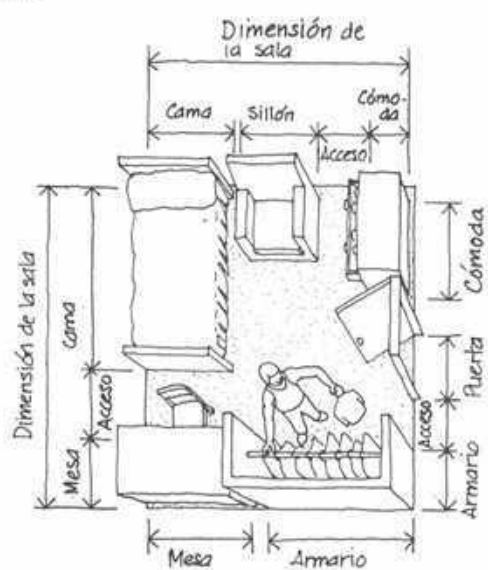
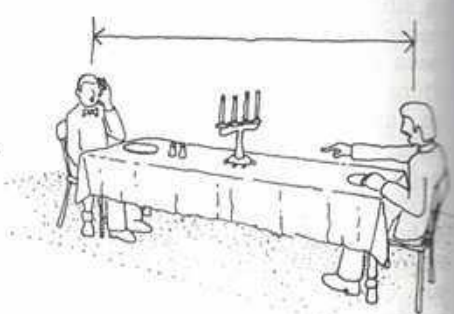
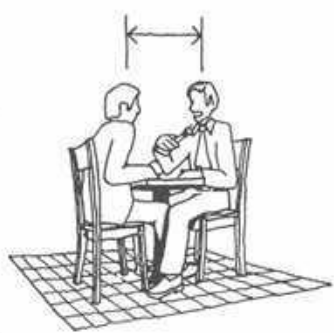
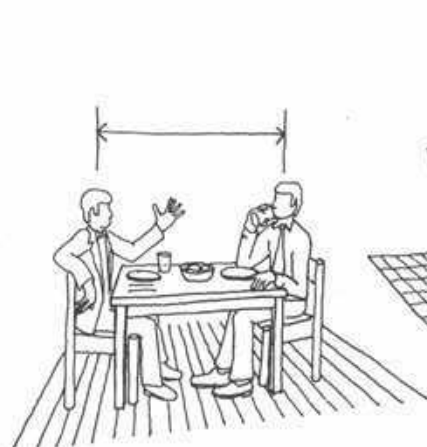
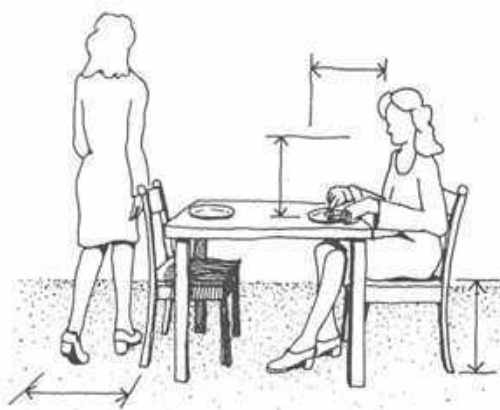
La mujer se levanta y anda hasta la mesa del comedor. Cuando se desplaza, su cuerpo barre un volumen de espacio que tiene que estar libre de obstrucciones. Debe haber espacio, para poder moverse, detrás de la silla, espacio para empujar la silla y espacio para pasar entre su silla y la adjunta. La silla tiene que soportarla cómodamente a una altura apropiada para que pueda comer, y la mesa debe presentar los cubiertos y los alimentos a una altura adecuada para las manos y la boca. Los platos y las tazas son de un tamaño tal que contendrá las cantidades de diversos alimentos que se supone que su estómago puede abarcar. La dimensión de los utensilios es la ajustada a sus manos y su boca. Las dimensiones de la hoja de la mesa están calculadas para albergar un número determinado de convidados, justo con su cubierto, sus codos y sus rodillas. También está calculada para mantener una cómoda distancia entre las personas sentadas una enfrente de otra. Hasta cuando dos personas están sentadas, o de pie, sin ninguna mesa entre ellas, guardan una distancia que permite el contacto visual y oral suficientemente cercano sin invasión del territorio espacial personal. Una mesa de comedor o un salón pueden ser demasiado pequeños para ser cómodos, al apretar a la gente en una proximidad intolerable. También pueden ser demasiado grandes y hacer las comunicaciones difíciles.

Las habitaciones adquieren sus dimensiones sobre la base de estas consideraciones: las dimensiones y las formas de los cuerpos humanos, las dimensiones y las formas de las piezas de amueblamiento necesarias, las dimensiones y las formas de los volúmenes por los cuales pasan los cuerpos humanos al desplazarse, y las distancias deseadas entre la gente. Hasta el aparato de televisión tiene su distancia adecuada con respecto al espectador.

En una cocina, un cuarto de baño o una fábrica, las maquinarias adquieren un *status* al menos igual al de las personas en lo que a las necesidades espaciales se refiere. Las máquinas son instaladas según un orden adecuado. Cada cual tiene sus propias dimensiones, las ocupadas por sus partes funcionales y las ocupadas por los movimientos de su operador y sus mantenedores. El







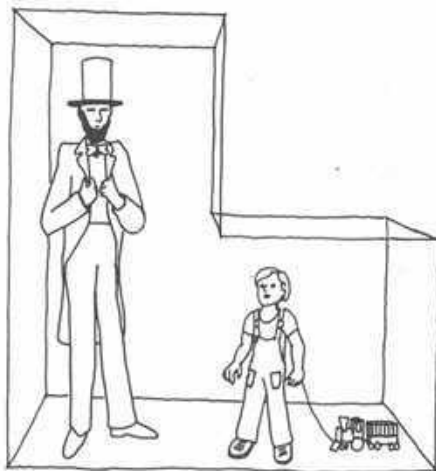
local debe proporcionar ampliamente todos estos volúmenes y suministrar otros para los conductos, mangueras, hilos, tubos que llegan y salen de la maquinaria.

Algunos tipos de mecanismo muy sencillos son universales en los edificios, y también piden espacio para su funcionamiento. Los cajones deslizantes y las puertas, cuando se abren, son dos buenos ejemplos donde a la vez el operador y el mecanismo deben tener espacio suficiente para moverse con libertad.

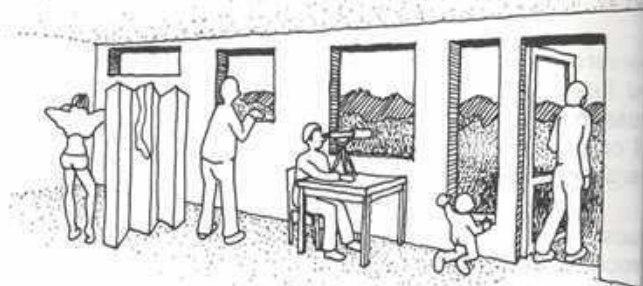
En general, cuanto más grande es un edificio, más cuesta su construcción. En consecuencia, casi siempre procuramos hacer las habitaciones lo más pequeñas posible pero compatibles con la comodidad. Relegando actividades humanas y piezas del mobiliario específicas a emplazamientos específicos, muchas veces podemos crear una habitación funcional de dimensiones notablemente pequeñas. La cocina residencial moderna es compacta y eficaz, y se ha vuelto una unidad integrada por componentes enteramente preconstruidos. Pero una disposición de habitación compacta, cuidadosamente calculada, tiene poca o ninguna flexibilidad. Cualquier cambio en el emplazamiento de los muebles requeriría un ensanchamiento de la habitación. Es una elección a la que los arquitectos tienen que enfrentarse constantemente: una habitación más grande permite una elección posterior y variedad en su amueblamiento, pero una habitación más pequeña es generalmente menos costosa.

La altura de una habitación se determina, como mínimo, por la altura de la persona más alta que se supone se desplazará por ella, con un poco más de espacio para el sombrero y un pequeño factor de seguridad. Pero hay mucho más que esto. Un techo puede ser lo suficiente alto para dejar sitio al sombrero, pero dar una sensación incómoda de bajeza y opresión, en particular si es grande horizontalmente. En general, cuanto más grande sea una habitación, mayor tendrá que ser la altura mínima de su techo, para que no parezca pesar encima del ocupante. La altura del techo tiene efectos importantes sobre la convección del aire y la propagación de la luz natural; también estos factores tienden a aconsejar techos más altos para las habitaciones más grandes. Las casas primitivas, en las regiones subárticas, se construyen generalmente con techos muy bajos a fin de disminuir las pérdidas de calor hacia fuera y dar una sensación de calor, de comodidad durante los fríos inviernos. En los climas calientes, los techos altos dejan al aire caliente derivar hacia el techo y al agradable aire refrescante estancarse cerca del suelo, donde están los ocupantes. En las iglesias, las salas de concierto y los palacios de deportes, los techos altos permiten a todos los espectadores disfrutar de buenas vistas hacia los actuantes, y consiguen mejores distribución y una reverberación del sonido.

Las hojas de las ventanas corrientes están situadas a la altura precisa para que una persona de pie pueda mirar cómodamente hacia el horizonte. Donde la luz natural es importante, están a menudo situadas lo más cerca del techo posible, dejando sólo el dintel necesario para





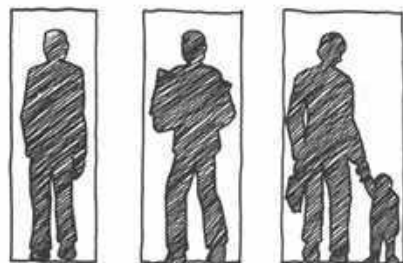


soportar la pared y el suelo de encima. La altura del antepecho es mucho más variable. Para los casos usuales, puede ser suficiente que la ventana llegue a un nivel en que uno pueda mirar desde una posición sentada; o quizás un poquito más arriba, de manera que sea posible asomarse por ella con los codos descansando en el antepecho. A menudo es importante que una mesa, una silla o un mostrador se ajuste contra la pared debajo de una ventana. En una habitación de mucha altura, un antepecho más alto puede dar una sensación de seguridad contra el miedo a una caída. En una habitación privada situada al nivel del suelo, un antepecho muy alto resguarda contra las miradas de los curiosos. En una habitación que dé al jardín, un antepecho colocado en el suelo permite salir directamente afuera si hace un tiempo agradable.

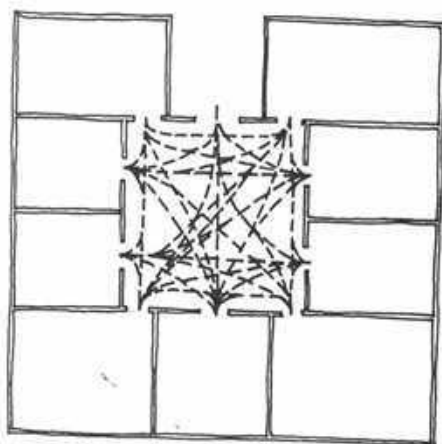
En ausencia de otros factores, la forma del perímetro de un edificio tendría que venir dada por las paredes exteriores según la colocación de las habitaciones en el conjunto interior más apropiado. En habitaciones combinadas, es importante conservar ciertas proximidades: un dormitorio tendría que estar cerca del cuarto de baño, sin ninguna otra habitación de dormir o sala de estar intermedia; una cocina tendría que estar cerca del comedor. Estas relaciones tan sencillas son básicas en cualquier edificio.

Los portales son necesarios para permitir el acceso a y desde las habitaciones. Están hechos a una escala que deja paso a una figura andando, más un poco para permitir el transporte de un paquete de compras, una maleta o un niño pequeño. En los edificios públicos, los portales son pasos de salida cuya capacidad se debe calcular para dejar paso a la gente que ocupa el edificio entero en un tiempo mínimo específico; el ancho y la cantidad de las puertas aumentan de acuerdo con esto.

Los pasillos son útiles para facilitar los pasajes de circulación complicados entre cierto número de habitaciones interrelacionadas. Un pasillo de una anchura de 90 cm es suficiente para una sola persona, pero a dos personas les sería difícil pasar juntas. Unos 30 cm más harán que sea fácil para las dos pasar, pero no permitirán el paso cómodo de dos filas de personas. El tamaño de



los pasillos se tiene que prever, como en las cañerías de agua, para dejar paso al flujo esperado. El carácter de tubo de muchos pasillos, muy desprovistos de imaginación, ha llevado a muchos arquitectos a suprimirlos sustituyéndolos por generosos salones o recibidores. Desgraciadamente, el resultado es pocas veces otra cosa que un pasillo más ancho con los pasajes de circulación cortándose en todas las direcciones, lo cual deja poco espacio para otras actividades. Estas situaciones se prevén fácilmente esbozando un plano en alzado de los pasajes naturales en los cuales la gente circulará.

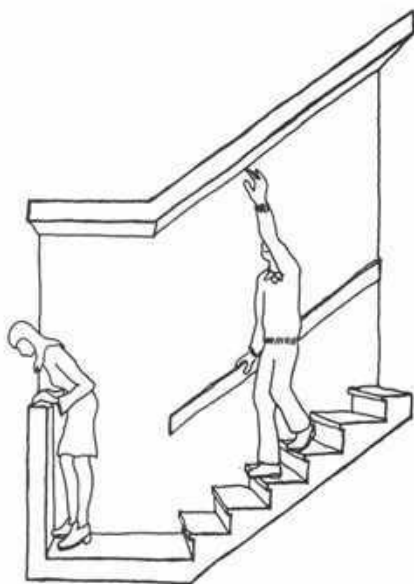


Circulaciones normales en un distribuidor

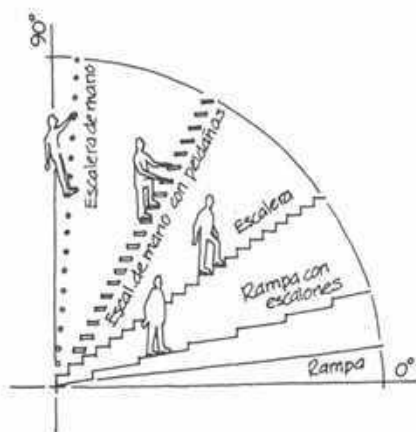
### Movimiento vertical: escaleras, rampas, escaleras de mano

El diseño para el movimiento vertical de las personas dentro y alrededor de los edificios requiere una atención extremadamente cuidadosa a las dimensiones y las peculiaridades del cuerpo humano. El riesgo de tropezar y el esfuerzo de subir o bajar tienen que ser minimizados con la confortable acomodación del pie y la pierna. Hay que instalar una barandilla en una forma y en un emplazamiento tal que pueda ser agarrada fácilmente y con seguridad, ya sea para ayudar a la ascensión, ya para impedir una caída vertical por encima del borde de la escalera. Hay que asegurar un espacio para la cabeza, comodidad a menudo escasa en las escaleras, a fin de proteger de todo daño el frágil y vulnerable cráneo.

Los artefactos arquitectónicos para sustituir un imposible salto vertical de piso a piso por unos pasos de tamaño humano, existen en gran variedad y nos permitirán ascender en cualquier ángulo, desde el casi horizontal al completamente vertical. Las *rampas* proporcionan una ascensión o descenso suave, lento, que se puede hacer con pasos de cualquier longitud, o incluso con una silla de ruedas o un cochecito de niño. Son particularmente eficaces en los locales de exposición, los teatros y las grandes salas donde hay que acomodar a la gente. Sin embargo, una rampa no puede ser muy inclinada sin que haya peligro de resbalar para los pies y los tobillos, especialmente al bajar. Como consecuencia, el porcentaje de espacio para levantar una rampa es muy grande; las rampas ocupan muchísimo espacio en un edificio. Las *rampas de escalones* pueden subir algo más empinada y económicamente, y pueden ser muy agradables en un jardín. En el interior, tenemos la desagradable sensación de poder resbalar en ellas, como en una simple rampa, y también de poder caer como en una escalera, así que es mejor evitarlas. Las *escaleras de mano*, fijas o apartables, están generalmente limitadas a vías de acceso pocas veces empleadas, a áticos, chimeneas, salas de caldera y estanterías de libros, o como accesorio de juego en habitaciones de niños y casas de vacaciones. Las escaleras de mano verticales y casi verticales son especialmente difíciles de usar cuando se transporta algo, lo cual reduce considerablemente su utilidad.

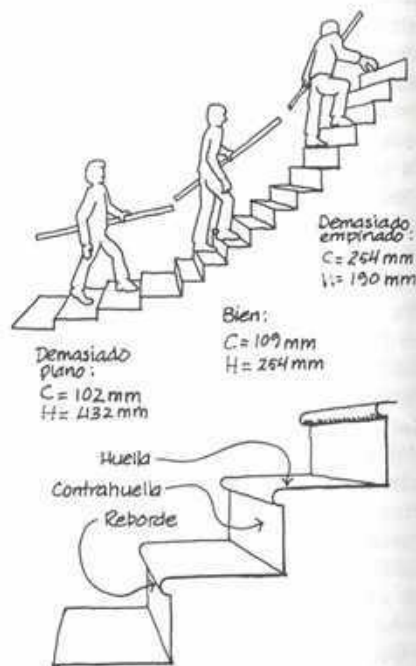
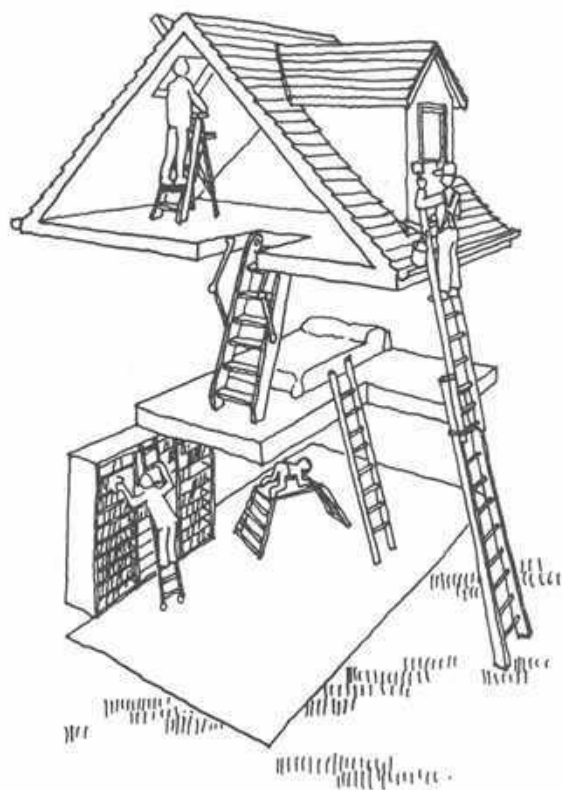






Las escaleras son el artefacto más seguro y práctico para el movimiento vertical, en el repertorio del arquitecto. La *contrahuella* divide la ascensión total vertical en pequeños aumentos que las piernas pueden franquear cómodamente, al bajar o al subir. El *peldaño* proporciona un nivel tranquilizante, una posición estable. El inconveniente de las escaleras es que no pueden adaptarse a personas con varios tipos de invalidez física (en vez de ellas, hay que instalar rampas o ascensores), que se cansan después de subir o bajar sólo algunos pisos; y una caída en una escalera puede ser particularmente mala a causa de las aristas duras presentadas por los escalones.

El peligro de caer en una escalera o el potencial de cansancio están minimizados si sus proporciones son, a la vez, cómodas y absolutamente uniformes en toda ella. Incluso un aumento fraccional en la altura de una contrahuella en un escalón muchas veces conducirá a un número mayor de accidentes. Unos escalones incómodamente mal proporcionados son una cosa familiar a todos. Unos escalones excesivamente empinados requieren demasiado esfuerzo muscular a cada contrahuella y presentan un espacio perturbadoramente estrecho en cada peldaño. Unos escalones muy planos provocan un andar afectado que parece ridículamente ineficaz. Por varios estudios sobre las proporciones de escaleras ya existentes, se sabe que



los escalones cuyas dimensiones de peldaño (P) y de contrahuella (C) en pulgadas se adaptan a la fórmula

$$2C + P = 25$$

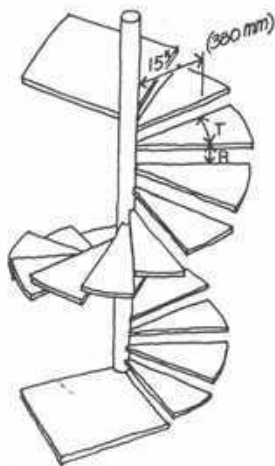
(o, en unidades S.I.,  $2C + P = 635$ )

son susceptibles de ser a la vez seguros y cómodos. Hay que poner límites a la aplicación de esta ecuación. No se puede aplicar al diseño de escaleras monumentales con contrahuellas muy pequeñas y peldaños muy anchos; en estos casos se requiere una experimentación con maquetas a escala natural. En escaleras de proporciones más usuales, C no debería exceder de 20 cm en unas escaleras de residencia privada, o de 15,5 cm en otras escaleras, P no tendría que bajar de 23 cm en escaleras residenciales, o 25,5 cm en otras escaleras. Las escaleras residenciales pueden ser un poco más empinadas porque llevan menos tráfico y son empleadas principalmente por gente acostumbrada a ellas. Los perfiles en los peldaños son un detalle importante, pues ensanchan significativamente el espacio sin cambiar las proporciones fundamentales del escalón.

Las escaleras en espiral y de caracol plantean un problema especial porque, mientras la altura de la contrahuella permanece constante en toda la escalera, la dimensión del peldaño varía considerablemente. Una persona caminando cerca del eje de una escalera en espiral muy cerrada se encontraría como en una escalera casi vertical, con minúsculos peldaños, mientras que, en la parte exterior de la misma escalera, éstos podrían ser excesivamente anchos. Por esta razón, hay que evitar estas escaleras en los edificios públicos. En las residencias, es habitual proporcionar correctamente las contrahuellas y los peldaños de tales escaleras a una distancia de 40 cm del eje central, lo cual es la línea por la cual se desplaza una persona sola en la escalera. Aun así, los peldaños que disminuyan hasta menos de 15 cm en cualquier punto son peligrosos y a menudo prohibidos en los códigos de construcción.

El número de contrahuellas en un tramo de escalera tiene un efecto importante sobre la seguridad y comodidad de la misma. Tramos de menos de tres contrahuellas muchas veces escapan de la atención de usuarios no familiarizados, que tienden a tropezar en ellas antes de haberlos visto. Tramos de más de sesenta u ochenta contrahuellas se hacen muy agotadores. Los tramos largos tendrían que estar interrumpidos por *descansillos* periódicos, cuyas dimensiones mínimas son iguales al ancho de la escalera.

Los problemas de espacio para la cabeza son irritantes porque muchas veces resultan difíciles de solucionar, pero no hay una elección obvia para el arquitecto. Muchas veces la gente baja las escaleras con un movimiento de arriba abajo muy rápido, vigilando al mismo tiempo sus pies para no resbalar; las personas altas están especialmente familiarizadas con el perjuicio que de esto puede resultar.





Cuando planean los espacios de circulación en los edificios —puertas, pasillos, escaleras—, los arquitectos deben tener presente que probablemente muebles y las sillas de ruedas tendrán que pasar por el edificio. No se pueden hacer las puertas tan estrechas que por ellas no puedan pasar sillas de ruedas, neveras, sofás, despachos o pianos. Los recodos estrechos en los pasillos y las escaleras pueden hacer imposible el paso de tales objetos, a no ser que se proporcione un espacio adicional para maniobrar. En vestíbulos pequeños y lavabos individuales debe haber un espacio a la vez para una silla de ruedas y para el área ocupada por una puerta al abrirse o cerrarse. Habría que completar las escaleras, especialmente en edificios públicos, con un sistema apropiado unido a ellas: rampas y ascensores para el uso del minusválido.

Los recibidores sirven varias funciones humanas importantes en los sistemas de circulación del edificio. Los recibidores de entrada permiten entrar o salir del edificio tranquilamente a la gente, abrochar y desabrochar los abrigos, pensar dónde tienen que ir después, adaptar sus ojos al nuevo nivel de luminosidad o esperar algún taxi o a algún amigo. Los *halls* de teatro cumplen esta función y también permiten a los espectadores mover las piernas durante los descansos de una obra. Un recibidor es realmente una sala de expansión en un sistema de circulación lineal, un sitio en el cual la gente puede salir de la corriente en movimiento y detenerse unos instantes.

Afuera, los arquitectos trabajan a otra escala. Las personas siguen siendo la medida, pero ahora se desplazan más rápidamente o van en vehículos. Necesitan más espacio para permitir este movimiento más rápido y para casos de ampliación espacial. El espacio entre cada edificio debe dejar pasar la luz solar. El aire debe poder circular libremente. Hay que proteger la intimidad visual y acústica por cierta distancia entre los edificios y por la configuración de los mismos. Las distancias y los tiempos de caminata son la medida cuando hay que planear las comodidades locales; y el tiempo de conducción o el de transporte público son la medida de las ventajas de un emplazamiento en un área urbana. A esta nueva escala, desgraciadamente, las pequeñas necesidades de los cuerpos son a menudo ignoradas por los arquitectos. ¿Quién no ha anhelado un surtidor para beber, un cómodo banco, o una sala de espera pública en medio de un recorrido de compras o de turismo? ¿Quién no se ha sentido jamás traicionado por el diseñador de una ciudad, que se olvidó de que las personas son humanas?

A la vez, dentro y fuera de los edificios, la seguridad humana es una consideración importante para el diseño. Los edificios pueden provocar tantos perjuicios accidentales a las personas, que su cantidad y variedad resultan alarmantes. Algunos de ellos los enumeramos en el gráfico adjunto. Miles de americanos se matan por accidente en los edificios cada año, y docenas de miles son

## ALGUNOS ACCIDENTES PROVOCADOS POR LOS EDIFICIOS

### **Golpearse, pillarse, pellizcarse**

Techos bajos

Vaivenes incontrolados de puertas

Bordes de puertas sin protección

Puertas que se abren sobre el tráfico

Esquinas no visibles en pasillos muy concurridos

Tiradores de puertas sobresalientes,  
finales de barandillas

### **Cortes, arañazos, pinchazos, rasguños**

Bordes y esquinas agudos

Cristal del piso al techo

Clavos, tornillos, cerrojos sobresalientes

Astillas

Superficies rugosas

### **Caídas**

Tropiezos: obstáculos bajos, suelos desiguales, bordes de alfombras; objetos dejados en el suelo.

Escaleras o rampas mal proporcionadas

Barandillas demasiado bajas o inexistentes

Mala iluminación

Suelos o escaleras resbaladizas

Alfombras desatadas

### **Escaldaduras, quemaduras**

Confusión entre los grifos de agua caliente

Cañerías de vapor de agua sin protección

Aparatos de calefacción sin protección

Estufas colocadas demasiado cerca de pasos de circulación

Incendios

### **Electrocución**

Aparatos defectuosos

Colocación de hilos eléctricos defectuosos



heridos, muchos de ellos, seriamente. La mayor parte de estas muertes se podrían ahorrar con un diseño más cuidadoso y un mejor mantenimiento de las construcciones.

## La especie humana como medida

Como final de este capítulo convendría recordar que la especie humana se ha vuelto literalmente la medida de los edificios a través del sistema inglés de medición. En cada pueblo medieval inglés, las mediciones estaban estandarizadas sobre un poste del pueblo, la longitud del cual procedía del pie derecho de dieciséis hombres seleccionados al azar, colocados con la punta del pie y el tacón tocándose, después de misa, un domingo por la mañana. Una casa comuna de la época medía dos postes. Se podía doblar una cuerda del mismo largo del poste, y así servía para subdividir el poste en cuatro unidades más pequeñas llamadas yardas. Una yarda tenía cuatro pies de largo (1,2 m) en aquel tiempo. La misma cuerda servía para medir una cuerda de leña, una fila de cuatro pies por cuatro, por ocho (1,2 m  $\times$  1,2 m  $\times$  2,4 m), siendo la suma de estas tres dimensiones igual a la longitud de la cuerda.

A medida que se volvió importante el negocio textil, la yarda anglosajona de cuatro pies tuvo que ser abandonada en favor de la yarda continental para la tela de tres pies (915 mm), medida sobre el borde de la tela entre la punta de la nariz y el brazo extendido. El poste, ahora llamado vara, aumentó hasta 16  $\frac{1}{2}$  pies (5,03 m) o 5  $\frac{1}{2}$  yardas de tela. La milla que tiene su origen en mil dobles pasos (*mille pasus*) de un soldado romano, fue estandarizada a 320 varas u 8 estadios (longitudes de surco) de 40 varas cada uno; y el acre (un día de labranza para una yunta de bueyes) a 160 varas cuadradas. Más tarde la sección de milla cuadrada de 640 acres (259 ha) se volvió la medida estándar de subdivisión de la tierra en el oeste y centro de Estados Unidos; y una granja de un cuarto de sección, de 160 acres (65 ha), era la tierra de hacienda corriente.

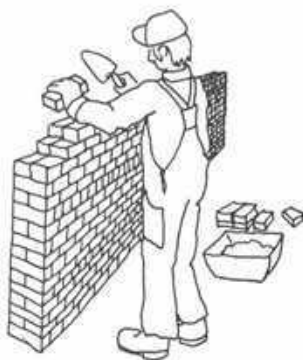
Mientras tanto, una curiosa progresión de circunstancias surgió de la antigua medida de la leña por cuerdas. Se volvió una práctica corriente en Inglaterra ver todos los leños de cuatro pies en tres trozos, cada uno de dieciséis pulgadas (400 mm) de largo, para facilitar el manejo. Las dimensiones de la chimenea y de la estufa fueron estandarizadas según estas medidas. Se sacaban generalmente las maderitas de los leños. Para esto, una longitud estándar para la maderita de quemar era de dieciséis pulgadas (400 mm). Cuando se utilizaban listones de madera como base para el yeso, también se los sacaba de la leña, y las dieciséis pulgadas fueron el espacio estándar para las estructuras ligeras de los edificios. De este espacio vino la hoja actual, de 4 por 8 pies (1219 mm  $\times$  2438 mm), de paneles murales de madera contrachapada o de yeso, que coge tres o seis módulos de la es-

estructura, y de estas hojas viene el cielo raso estándar de 8 pies (2,44 m) de las casas actuales.

Los materiales de construcción corrientes se volvieron, en el curso de la historia, bastante más directamente relacionados con la escala humana. El ladrillo, a pesar de muchas pequeñas variaciones locales en tamaño, era estandarizado en los tiempos medievales dentro de un marco de longitudes y pesos que pudieran ser fácilmente manejados por la mano izquierda de un albañil, dejando a la mano derecha libre para usar la paleta. Cuando de pronto se hizo barata la tabla de madera con la introducción de clavos hechos a máquina, a principios del siglo XIX, los carpinteros adoptaron rápidamente el «dos por cuatro», de fácil manejo como unidad estándar de estructura. La pesada madera de construcción, que requiere un gran número de manipuladores simplemente para manejarla y ajustarla, fue rápidamente dejada de lado, y el equipo de construcción corriente se vio reducido a dos o tres carpinteros que sólo trabajan con herramientas manuales, pequeñas y baratas. Los elementos del tamaño de la mano son la norma tradicional en muchas áreas de la construcción ligera, inclusive las maderitas, los apartaderos de madera, los paneles de madera, las ventanas, los bloques de pavimento y las tejas.

Hoy día manejamos a menudo materiales de construcción más bien en cantidades que a mano, utilizando artefactos mecánicos móviles que los levantan y los transportan con una capacidad impresionante. Muchas veces es más económico emplear materiales a larga escala, como módulos manufacturados ya al tamaño de la sala. No hay nada malo por sí mismo en estas prácticas, aunque los arquitectos tendrían que darse cuenta de que el producto acabado no presentará automáticamente la textura que tienen los componentes hechos a mano y que los ocupantes reconocen subconscientemente. Tampoco los arquitectos deben verse obligados a tomar decisiones antinaturales, respecto a tamaños y proporciones de cosas, a causa de las limitaciones de las grúas o los camiones construidos a escalas sobre o subhumanas.

El sistema métrico de medición no está directamente ligado a la escala humana. Su unidad básica es el metro, definido en su origen como la diezmillonésima parte de la distancia existente del polo norte al ecuador. Su unidad de volumen es el litro, un cubo de un decímetro de arista. Su unidad de masa, el kilogramo, es la masa de un litro de agua. El segundo se conoce como medida del tiempo. Y la escala Celsius, que divide en 100 grados la extensión entre los puntos de congelación y de ebullición del agua, es la medida de la temperatura. Todas las demás unidades derivan de este grupo básico. A causa de su lógica y sencillez, el sistema métrico ha sido adoptado por todos los países del mundo salvo Estados Unidos. Un refinamiento y una racionalización aún mayor del sistema métrico, el «Système International d'Unités» (abreviado S.I.), está encontrando un eco cada vez mayor, y se emplea en este libro como sistema de unidades alternativo al inglés.





Los arquitectos prudentes trabajan siempre a partir de un catálogo mental de los tamaños y proporciones de las cosas. Los esbozos y los planos de un edificio, desde su estado más primitivo, incluyen la representación de personas, muebles y agrupamientos de muebles. Se juega constantemente con las proporciones de las salas y el emplazamiento de las ventanas y puertas durante el proceso de diseño, a fin de facilitar una variedad de emplazamientos apropiados de los muebles en un edificio acabado. Los esquemas de la circulación humana están progresivamente perfeccionados en unos pasajes cortos, uniformes, lógicos, agradables y que pasan por un lado u otro de los diversos nudos de la actividad humana dentro del edificio, en vez de cortar por enmedio. Se escogen materiales, en parte, por el tipo de textura que darán a las superficies del edificio. Cuando es posible, se hace participar a los futuros ocupantes en el diseño del edificio. Si, por estos medios, el edificio queda bien moldeado por el arquitecto y sus futuros ocupantes, entonces es más probable que éstos se hallen bien situados y felices en él.

### Lecturas posteriores

Julius Panero y Nino Repetto, *Anatomy for Interior Designers*, Whitney Publications, Nueva York, 1962.

Charles G. Ramsey y Harold Sleeper, *Architectural Graphic Standards*, John Wiley and sons, Nueva York, 1970, pp. 1 a 86.

## 17. Soporte estructural

### Pesos y fuerzas

Un edificio es empujado y tirado constantemente por diversas fuerzas. La fuerza más constante es la de la gravedad, ejerciendo su empuje hacia abajo en los elementos con los cuales está construido el edificio —teja-dos, paredes, ventanas, suelos, tabiques, escaleras, chime-neas—, fuerza a la cual nos referimos como *peso muerto* sobre el edificio. Los *pesos vivos* del edificio incluyen las fuerzas menos constantes —traslados, pesos variables de la gente, muebles, vehículos, peso de un poco de nieve en el tejado, presiones, predominantemente horizontales, que el viento puede aplicar—. Los terremotos, que provo-can desplazamientos horizontales rápidos y fluctuantes del suelo sobre el cual está el edificio, ejercen también unos pesos vivos horizontales. Los arquitectos tienen que configurar el edificio de manera tal que soporte su propio peso muerto y un peso vivo igual a la máxima combina-ción total de gente, muebles, nieve, viento y temblor de tierra que sea razonable suponer.

Para esto, los arquitectos tienen que determinar primero la magnitud de estos pesos, lo cual suele ser un trabajo aritmético elemental, aunque los edificios de altura inusual o los situados en un lugar venteado fuera de lo normal pueden necesitar una extensa experimentación en el sitio mismo y en un túnel de viento a fin de deter-minar cuáles serán los verdaderos pesos del viento. Des-pués tienen que determinar las configuraciones exactas y la robustez y el tamaño exactos de los componentes del sistema estructural, incluidos todos los artefactos de su-jeción utilizados para que se aguanten juntos todos los elementos más grandes. Un vistazo echado a cualquier edificio en construcción llevará probablemente a la con-clusión, muy correcta, de que el diseño detallado de un sistema estructural es un proceso bastante compromete-dor. Sin embargo, en la raíz, el diseño estructural surge de unos conceptos muy sencillos. No se construye nin-guna estructura que no se apoye, fundamentalmente, en estos conceptos. La profundidad y la complejidad de los procesos de diseño estructural residen en la habilidad

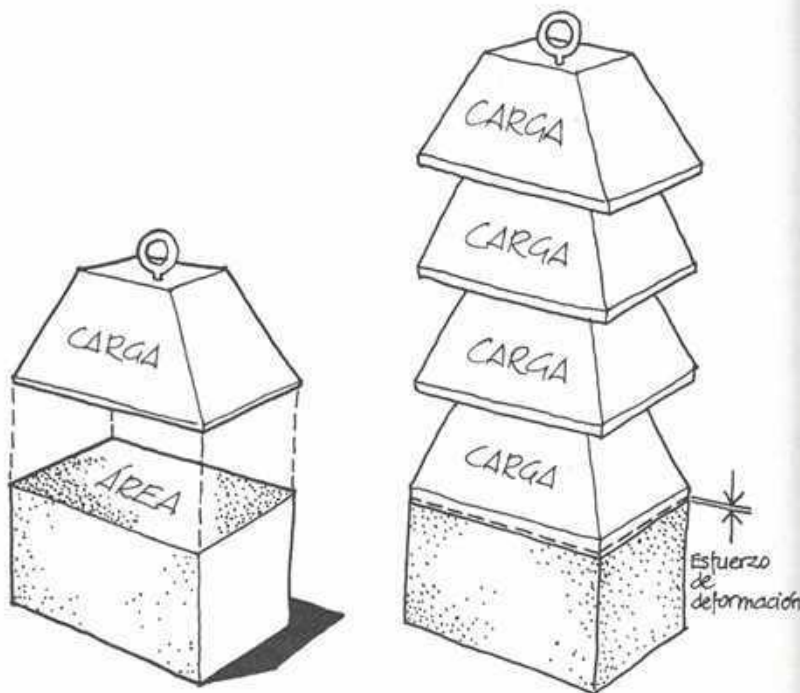


con la cual los arquitectos seleccionan, combinan y proporcionan los artefactos estructurales y los transforman en una forma construible, no en la actitud básica de los artefactos mismos.

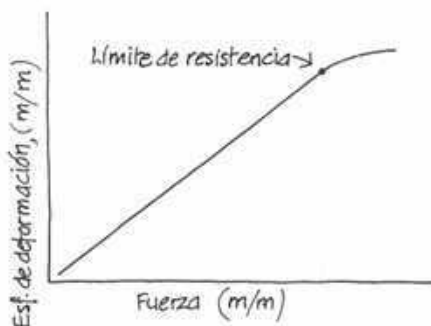
Considérese un bloque de material —piedra de construcción, pongamos por caso— y lo que le sucede cuando se le aplica un peso en dirección hacia abajo uniformemente en su superficie superior. El peso aprieta al bloque desde arriba hacia abajo, y la superficie por debajo del bloque aprieta hacia arriba con la misma fuerza. El bloque está comprimido. La *fuerza de compresión* sobre un bloque es igual al peso dividido por el área de la sección del bloque:

$$\text{Fuerza de compresión} = \frac{\text{peso}}{\text{área}}$$

Si el peso es de 3000 libras y el bloque mide diez pulgadas por quince ( $3,30 \text{ m} \times 5,00 \text{ m}$ ), la fuerza de compresión es igual a 3000 libras divididas por 150 pulgadas cuadradas ( $16,5 \text{ m}^2$ ), o sea veinte libras por pulgada cuadrada. En Unidades S.I., este ejemplo pasaría a una fuerza de 0,0133 meganewtons divididos por  $0,00986 \text{ m}^2$ , o sea  $0,1374 \text{ Mn/m}^2$ . Este concepto de compresión es el más útil porque nos permite comparar la intensidad de las acciones estructurales sobre unos bloques de diversos tamaños y formas bajo pesos diversos.



Ahora supóngase que el peso sobre el bloque es aumentado gradualmente, amontonando más peso encima de él. La fuerza de compresión aumentará en proporción al peso. Simultáneamente, si tenemos un equipo de medición exacto, podremos observar que la altura del bloque disminuye gradualmente, en cantidades muy pequeñas pero existentes, a medida que aumenta la carga. Si trazamos un gráfico de la tensión compresora en función de esta disminución (que es llamada *deformación*), será una línea recta, lo cual nos dice que esta presión es directamente proporcional a la deformación. El declive de la línea, la proporción de la presión sobre la deformación, se conoce como *coeficiente de elasticidad* del material. Los coeficientes de elasticidad han sido determinados experimentalmente para todos los materiales estructurales corrientes, lo que nos da un medio fácil de prever cuánta será la compresión de una pared o una columna bajo un peso dado. El término «elástico» implica también una propiedad que esperamos normalmente de cualquier material que tenga una curva de compresión-deformación lineal: que, si se quita el peso del bloque, volverá a su tamaño original, sin pérdida de dimensión.



Sin embargo, cuando el peso sobre el bloque sigue aumentando, el material dentro del bloque, al final, será comprimido por encima de su capacidad de resistencia. El material se aplastará y no volverá a su tamaño original después de que se quite el peso. La compresión en la cual esto sucede se conoce como *límite de resistencia* del material. En un material quebradizo como la piedra, el límite de resistencia es también el punto en el cual el material se desintegra y se vuelve incapaz de soportar ningún peso substancial. Es peligroso diseñar una estructura de edificio que pueda ser sometida a presiones que lleguen al límite de resistencia, porque cualquier pequeño peso adicional, cualquier minúsculo desperfecto en el material, o cualquier ligero error de cálculo, provocarán el derrumbamiento del edificio. Teniendo en cuenta estos factores, solemos diseñar estructuras con cierto *factor de seguridad*. Un factor de seguridad de dos significa que estamos diseñando para una presión que es justo la mitad del límite de resistencia. Un factor de tres significa que empleamos un tercio de esta presión, etc. Empleamos factores de seguridad más bajos para materiales que suelen ser de calidad relativamente consistente, tales como el acero, y mayores factores para materiales como la madera, que son naturalmente inconsistentes y agrietados. Solemos usar factores de seguridad en combinación con los datos de experiencias con el peso hechas en el laboratorio, para calcular unas tablas normativas de carga de *trabajo admisible* para varios materiales estructurales.

Módulo de elasticidad medio de algunos materiales de construcción corrientes

Supóngase ahora que nuestro bloque de piedra se ha aplastado a una presión de 3600 libras por pulgada cuadrada (24,82 Mn/m<sup>2</sup>). Para el caso de posibles desperfectos e inconsistencias en otros bloques de piedra, adoptaremos un factor de seguridad de tres, lo cual nos da una fuerza efectiva de seguridad de 1200 libras por pulgada cuadrada (8,27 Mn/m<sup>2</sup>). Ahora, si nos piden dibujar un

|          | Mn/m <sup>2</sup>      |
|----------|------------------------|
| Acero    | 20.7 x 10 <sup>4</sup> |
| Aluminio | 6.9 x 10 <sup>4</sup>  |
| Hormigón | 2.1 x 10 <sup>4</sup>  |
| Madera   | 1.0 x 10 <sup>4</sup>  |
| Ladrillo | 1.0 x 10 <sup>4</sup>  |



bloque de piedra para soportar un peso de 60 toneladas (54 480 kg), lo podemos hacer como sigue:

$$60 \text{ toneladas} \times 2000 \frac{\text{libras}}{\text{toneladas}} = 120\,000 \text{ libras.}$$

$$\text{Área de sección de la piedra requerida} = \frac{120\,000 \text{ lbs.}}{1200 \text{ lbs/m}^2} = 100 \text{ pulgadas cuadradas.}$$

(En unidades S.I.:  $54\,480 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/sec}^2 = 0.5334 \text{ Mn}$ )

$$\text{Área de sección requerida: } \frac{0.5334 \text{ Mn}}{8.27 \text{ Mn/m}^2} = 0.0645 \text{ m}^2$$

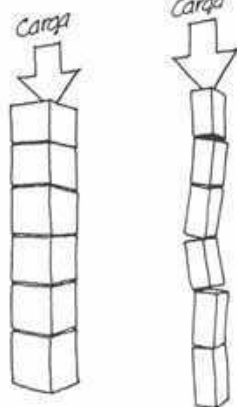
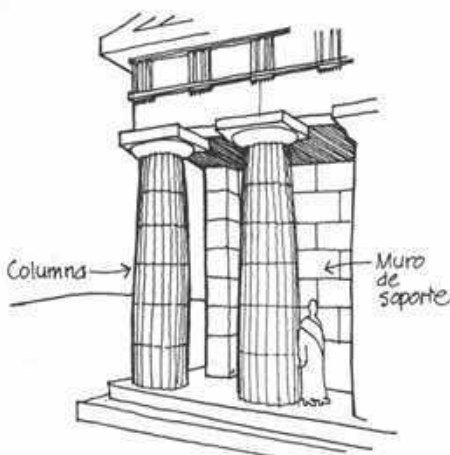
Una piedra de diez pulgadas cuadradas (254 mm  $\times$  254 mm) hará el trabajo. Esto puede parecer un ejemplo trivial, pero es la base para todos los cálculos estructurales. Incluso el diseño de la estructura más complicada tiene que volver, al final, a la cuestión de si determinada pieza de material aguantará o no con seguridad una presión directa.

### Soporte vertical

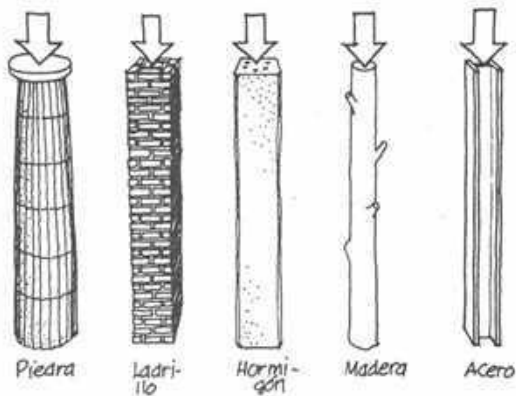
En arquitectura podemos hacer mucho con simples bloques de piedra, hormigón o ladrillo. Una pila vertical de bloques forma una *columna* capaz de soportar la esquina de un suelo o un tejado. Una columna trasladada a una posición horizontal se vuelve una *pared de soporte* que puede aceptar el peso de un borde entero de un suelo o un tejado. Una vez establecido que estas columnas o paredes de soporte no son demasiado delgadas en relación con su altura y la intensidad de la presión aplicada, se puede computar su grosor de la misma manera que en el ejemplo anterior.

Si una columna o una pared es demasiado delgada o, en algunos casos, si el peso de arriba no está aplicado directamente en la parte superior de la columna o la pared, sucederá el pandeo, incluso aunque la compresión sobre el material esté muy por debajo del límite de elasticidad. El pandeo es un desplazamiento lateral cuyas causas y razones matemáticas aún no están del todo entendidas, especialmente en el caso de columnas que no son extremadamente delgadas ni extremadamente gruesas. Las columnas y las paredes cortas y gruesas se rompen antes de pandear, las delgadas pandean consistentemente antes de romperse, pero unas de grosor intermedio y longitud intermedia pueden caerse de cualquiera de estos dos modos. En consecuencia, confiamos ampliamente en fórmulas derivadas de los datos de las experiencias en laboratorios para el diseño de columnas de grosor intermedio.

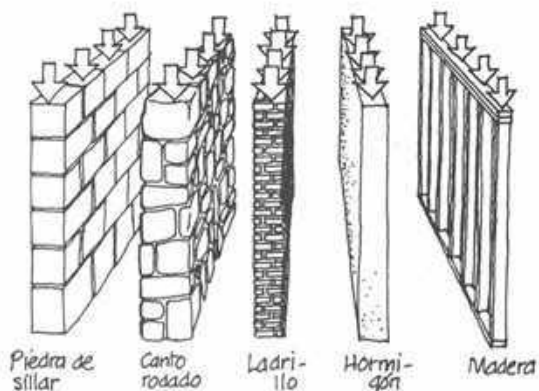
Una columna o una pared que tiene tendencia a pandear se puede hacer más segura dándole el espesor suficiente o reforzándola lateralmente con *puntales* compresores o guías tensoras. Una columna reforzada lateralmente tiene la ventaja de utilizar considerablemente me-



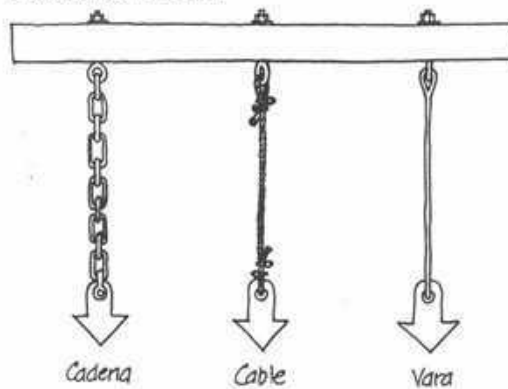
## Columnas



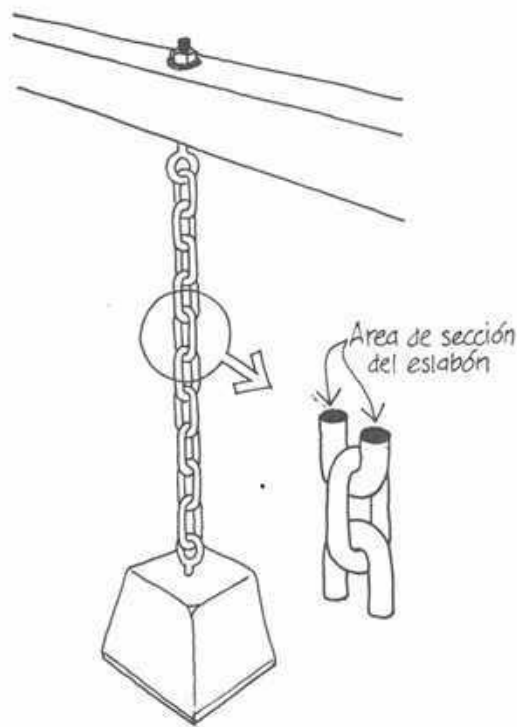
## Muros de carga



## Elementos tensores

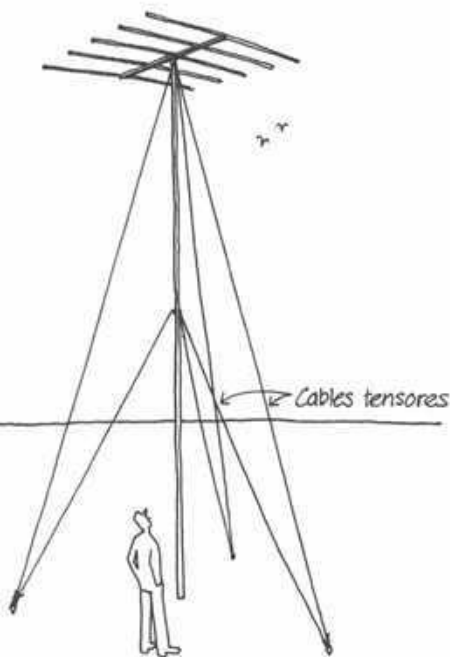






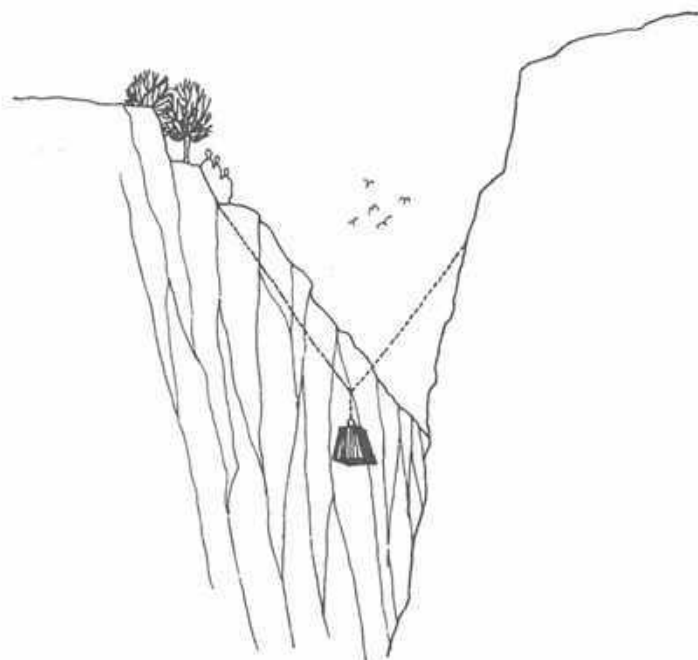
nos material total para soportar el mismo peso que una columna gruesa no reforzada; y así, pues, se emplea mucho en edificios, torres de radio y muchos más tipos de estructuras.

El pandeo es sólo un problema en elementos estructurales sometidos a fuerzas de compresión. Los elementos bajo fuerzas tensoras, tales como las sogas, los cables, las varas y las cadenas, no tienen tendencia a pandear, y por ello se pueden hacer muy delgados en muchas aplicaciones estructurales. Considérese una cadena que cuelgue verticalmente con un peso atado a su extremidad inferior. La fuerza tensora en la cadena es igual al peso aplicado dividido por el área de sección de acero de cualquier eslabón único. La deformación, más allá del límite de resistencia del acero de la cadena, es proporcional a la fuerza. La cadena no se doblará nunca.

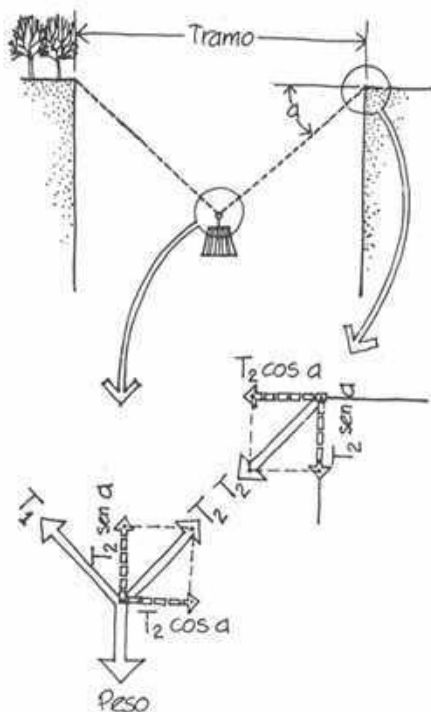


### Proyección horizontal: artefactos tensores

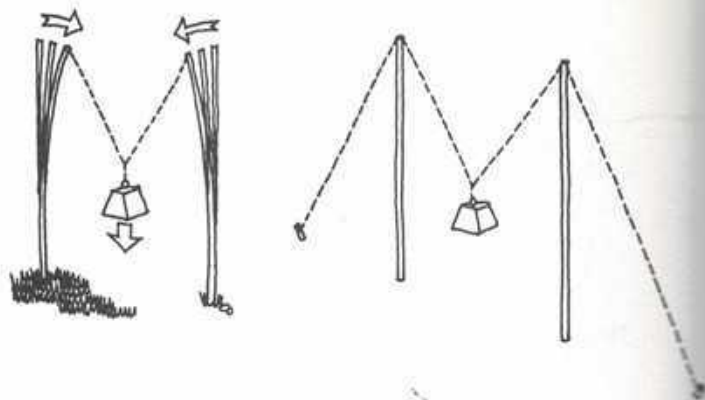
Así pues, los pesos verticales en los edificios pueden ser soportados por compresión por columnas o paredes de soporte, o por tensión por cadenas, varas o cables. Excepto en algunos casos de pandeo de columnas, el comportamiento de estos artefactos estructurales está bien comprendido y es fácilmente computable. El mayor problema estructural en muchos edificios, sin embargo, es cubrir el espacio horizontalmente a fin de soportar los suelos y los techos. ¿Cómo hacemos esto?



Supongase que colgamos una cadena fina a través de un barranco estrecho y suspendamos un peso muy pesado en su centro. Las dos mitades de la cadena se van a parecer muy de cerca a dos líneas rectas que convergen en el punto donde el peso es aplicado. Las extremidades de la cadena tirarán sobre las rocas de las laderas de cada lado en un ángulo ( $\alpha$ ), determinado por la longitud de la cadena que hemos instalado. Ahora, al examinar lo que ocurre en el centro de la cadena, notamos que las dos mitades de la cadena no pueden ejercer una tracción hacia arriba directa contra el peso; una cadena sólo puede tirar sobre la longitud de sus eslabones. Así pues, tiene que resistir la tracción hacia abajo del peso con dos tracciones diagonales a unos ángulos ( $\alpha$ ) de la vertical. Las tracciones diagonales,  $T_1$  y  $T_2$ , deben tener cada una un componente vertical,  $T \sin \alpha$ , igual a la mitad de la tracción del peso. En cada lado del barranco, este componente vertical será transferido a la roca. Pero esto también pasará con el componente horizontal,  $T \cos \alpha$ . La cadena no puede soportar un peso a través de un tramo sin ejercer una tracción tanto horizontal como vertical sobre sus soportes. Lo podemos ver más fácilmente usando, como soporte para las extremidades de la cadena, dos postes delgados en lugar de dos laderas de barranco. Los postes se inclinarán hacia dentro bajo el peso. Un modo corriente de tratar esta tracción horizontal, en puentes colgantes o tiendas de campaña, es hacer correr la cadena (o el cable o cuerda) encima de los postes o las columnas en cada extremidad y colocar las anclas en el suelo a alguna distancia en el exterior de la columna. Las cadenas en el exterior de las columnas proporcionan una tracción horizontal igual a la tracción de la cadena entre las columnas. También, inevi-

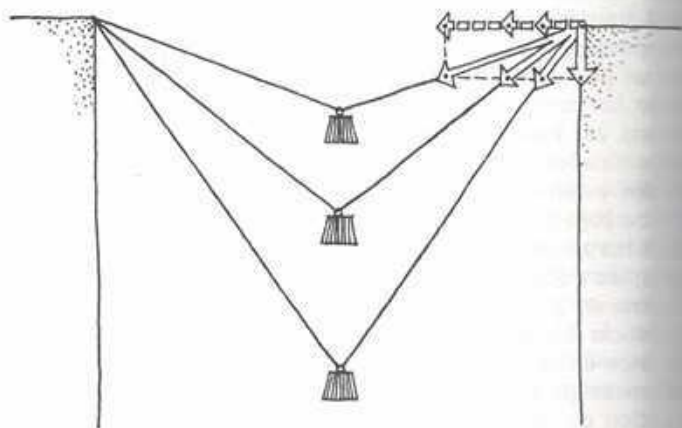






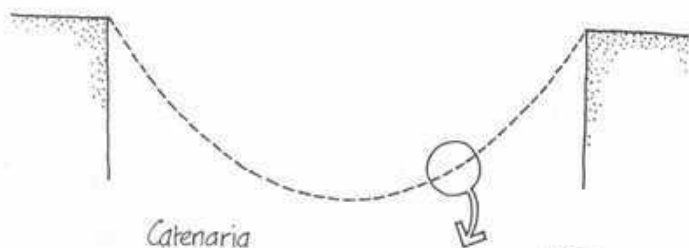
tablemente, añaden un peso vertical substancial a las columnas, y en consecuencia hay que reforzarlas.

Volvamos al problema del franqueo del barranco y observemos lo que ocurre si empleamos una cadena más larga. El ángulo ( $\alpha$ ) aumenta. El peso vertical en las cadenas permanece igual, pero el peso horizontal disminuye, lo mismo que la presión en la cadena. Recíprocamente, si se acorta la cadena, el peso horizontal en las laderas aumenta y la cadena se ve mucho más tensa. Los arquitectos deben decidir, no sólo en el caso de una cadena colgando, sino para *cualquier* aparato de franqueo horizontal, a qué *profundidad* tiene que estar el artefacto. Un aparato muy bajo, como una larga cadena o una armazón o un madero profundo, tendrá generalmente (aparte de un punto) presiones estructurales internas más bajas y necesitará menos material para transportar el mismo peso que un artefacto plano, que tendrá presiones interiores más altas y necesitará más material. En la práctica, sin embargo, elegimos a menudo el material más plano, porque adquiere menos espacio vertical en un edificio, lo cual ahorra dinero sobre columnas, paredes exteriores y otros elementos.

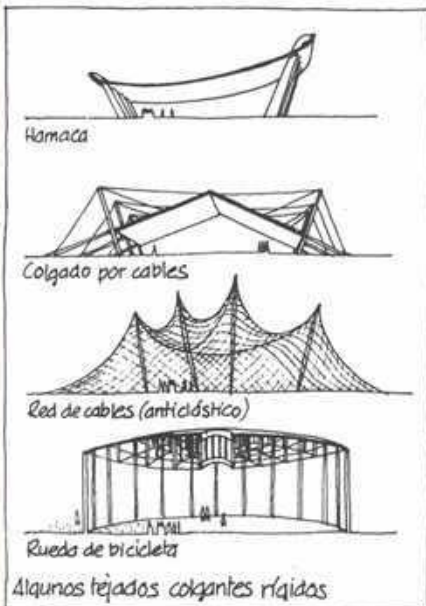


Ahora bien, ¿qué ocurre si añadimos una segunda carga a la cadena? Cuando se añade un segundo peso y después pesos posteriores, la cadena adapta su forma para mantener una línea de pura tensión a lo largo de su eje en cada punto. Las cargas pueden ser desiguales en peso o desigualmente distribuidas en la longitud de la cadena; la cadena cambiará de forma para situar cada uno de sus eslabones en equilibrio, bajo cualquier falta de peso en su punto de ruptura. No se puede forzar una cadena a tomar una forma arbitraria, sino que se debe trabajar con las formas que es capaz de adquirir una cadena. La forma más familiar es la *catenaria*, la elegante curva que adopta una cadena bajo una carga uniformemente distribuida. Ésta es la forma de un puente colgante o de una cadena colgando libremente bajo su propio peso. Cada eslabón representa determinado trío de fuerzas, dos ejercidas en un ángulo obtuso por los dos eslabones adyacentes y el tercero ejercido hacia abajo por el peso del propio eslabón.

Las tiendas de campaña son la representación del principio de la cadena colgante en una forma tridimensional, empleando tela a pequeña escala para cubrir un espacio. Unos tramos extremadamente largos entre los soportes son posibles si los postes son suficientemente altos







para dejar espacio a la obligatoria amplitud colgante de tela, y si la tela está suficientemente tensa para impedir que se arrugue u ondee con el viento. Esta tensión puede ser proporcionada por cuerdas o cables que tiran de la tela hacia abajo en varios puntos, bien dando el peso suficiente a la tela, bien dándole una curvatura *antielástica* (convexa en un eje y cóncava en el otro).

## Los arcos

¿Qué ocurre si abandonamos la cadena e intentamos soportar el peso en medio del barranco con bloques de piedra en vez de la cadena?

Podríamos hacerlo colgando los bloques entre sí de forma ascendente y a través del barranco justo con la buena configuración que haga que cada bloque esté en equilibrio con su vecino inmediato. Con pocos días de computaciones trigonométricas, partiendo del peso que pretendamos llevar en el centro y procediendo bloque por bloque en los bordes del barranco, podremos elaborar una forma ideal que sirva al propósito de este modo. Por suerte, hay un modo más fácil de determinar la forma: calculándola con una cadena colgante. Recuérdese que, en una cadena, cada eslabón está en equilibrio, siendo exactamente iguales su peso y las fuerzas que recibe del eslabón de al lado. Esto es exactamente lo que queremos en nuestro artefacto de piedra, con la única diferencia de que una cadena sólo puede aguantar una tensión, mientras

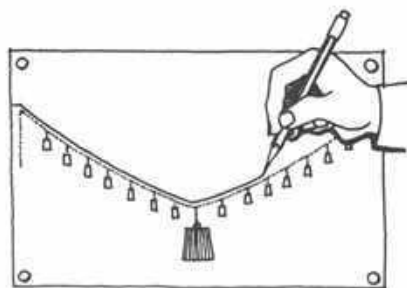




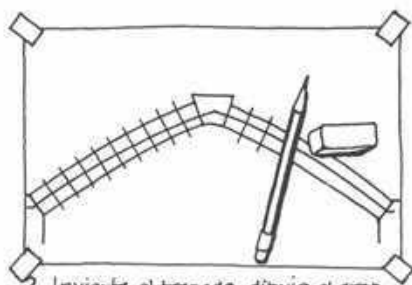
que queremos que nuestras piedras, que son débiles en tensión, aguanten sólo una compresión. La solución es, pues, planear la situación a pequeña escala con un peso colgando de una cadena, teniendo cuidado de que la proporción entre el peso de la cadena misma y el que ella soporte sea la misma que la proporción supuesta entre el peso de las piedras y el que soportarán. Podemos necesitar atar cierta cantidad de pequeños pesos a la cadena para simular esta condición. La cadena y los pesos en nuestro modelo colgante alcanzarán rápidamente el equilibrio. Entonces podemos trazar la forma adoptada por la cadena en una hoja de papel, invertirla y recortar una serie de bloques de piedra cuya línea central asuma la misma forma que la de la cadena. El resultado será una *bóveda* perfectamente formada para llevar la carga dada por medio de la compresión para dentro y entre las piedras.

Si no ha visto usted nunca una bóveda que tenga exactamente esta forma, es porque se construyen pocas bóvedas para recoger una carga única, concentrada. Muchas bóvedas están construidas para transportar cargas uniformemente repartidas y pueden, en consecuencia, tomar la forma de catenaria invertida. Pero usted puede haber visto pocas bóvedas con esta forma catenaria, ya que las bóvedas son mucho más fáciles de planear como arcos de círculos. Si las piedras de la bóveda, las dovelas, tienen la profundidad necesaria para contener una curva catenaria y el arco es reforzado al estar contenido dentro de una pared, estas bóvedas tan sencillas son bastante estables. Más aún, hasta el Renacimiento no se supo que la catenaria era la forma ideal para una bóveda, de modo que todas las bóvedas clásicas de la civilización romana, que hemos copiado tan fielmente en épocas posteriores, son de forma más simple. Los romanos empleaban incluso una *bóveda plana*, forma tan equivocada en apariencia que uno puede verse tentado de dudar de su estabilidad hasta que vea que lleva una carga sin peligro aparente. Esto obliga entonces a visualizar una catenaria bastante plana superpuesta a las piedras.

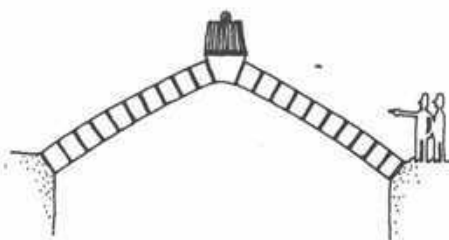
Es importante notar la similitud simétrica de imagen entre las formas catenarias desarrolladas anteriormente y las formas de bóveda aquí ilustradas. La bóveda, para soportar cada condición de pesos, difiere ligeramente de su análogo en cadena en esto, en que el peso muerto mayor de la bóveda misma con respecto al peso o a los pesos superpuestos requiere una curvatura de forma lige-



1. Trace la curva de la cadena modelo

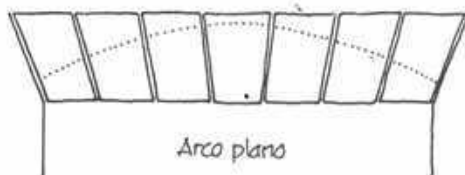
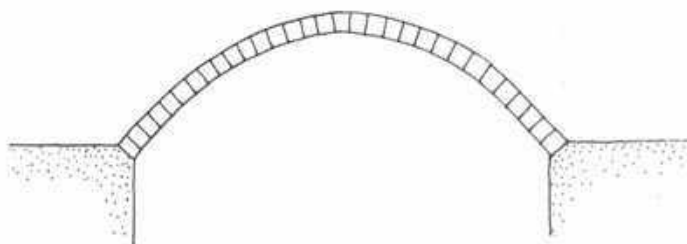
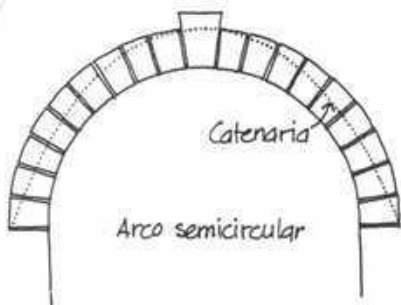


2. Invierta el trazado, dibuje el arco



3. Construya el arco

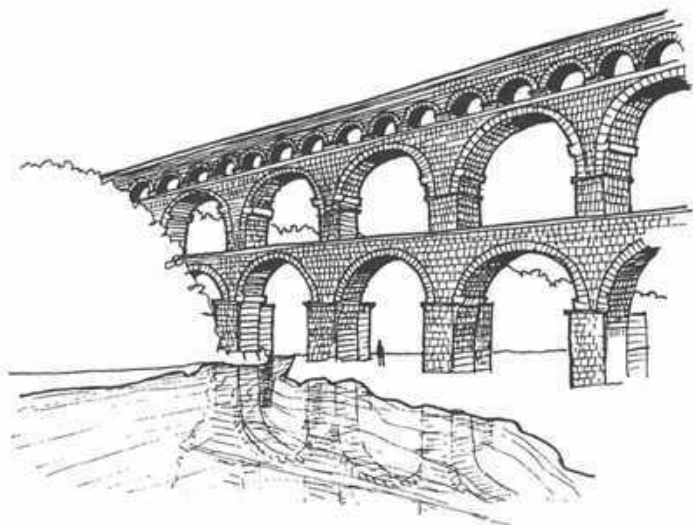




ramente diferente. Nótese también que cada bóveda ejerce una fuerza horizontal, exactamente como lo hace la cadena, pero en la dirección opuesta. El porcentaje de empuje horizontal y el de esfuerzo de compresión dentro de las piedras de la bóveda depende del porcentaje de alzamiento que se ha dado a la bóveda. Cuanto más plana esté la bóveda, más alto será el esfuerzo de compresión en las dovelas. Una vez más, topamos con el principio de que las instalaciones arquitectónicas más profundas tienen presiones más bajas.

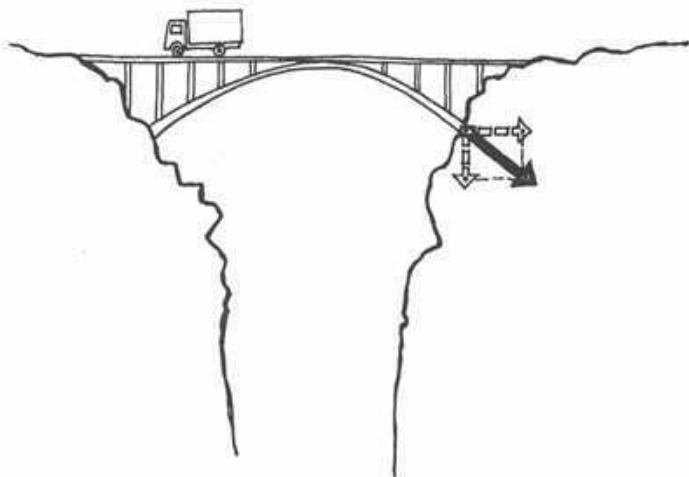
En importantes aspectos, la bóveda no es un análogo exacto de la cadena. La bóveda es rígida y no se puede autoadaptar a tipos de cargas movilizadas. Al estar en compresión, una bóveda puede fracasar a causa del doblegamiento. Por estas dos razones, no se puede construir una bóveda tan delgada como una cadena o un cable. Una bóveda relativamente gruesa no sólo es más resistente al doblegamiento, sino que puede llevar cómodamente por ella misma los tipos de presión de unas cargas que varíen mucho del tipo exacto para el cual ha sido diseñada. Por estas dos razones, también, la forma de la bóveda no tiene una capacidad definitiva de franqueo tan grande como la catenaria, aunque sea, detrás de la catenaria, el segundo mejor artefacto de largo franqueo en el vocabulario estructural del arquitecto.

La forma de bóveda pasó por enormes desarrollos y elaboraciones en los tiempos romanos y medievales, y hoy en día existe bajo muchas formas útiles, a la vez bidimensionales, algunas de las cuales están ilustradas aquí. Muchas formas de construcción arqueadas necesitan durante la construcción algún tipo de soporte temporal, usualmente llamado encofrado. Los arcos, bóvedas y cúpulas son apropiados para muchos materiales, incluidos todos los de albañilería, hormigón, hierro colado, acero e incluso madera.



La necesidad de contrarrestar el empuje horizontal de los arcos y bóvedas ha dado lugar a muchos artefactos arquitectónicos ingeniosos. El sencillo y pesado contrafuerte de los primeros tiempos se ha vuelto el arbotante ligero de la época gótica, en el cual el empuje gravitacional hacia abajo de los pesados pináculos de piedra desvía inexorablemente el empuje hacia fuera de las bóvedas hasta que penetren con toda seguridad en el suelo a través de las cimentaciones. Cuando el hierro dulce se pudo utilizar, entraron en uso varas o cadenas de metal como tirantes, en una alternativa barata a los contrafuertes para todo tipo de bóvedas y cúpulas.

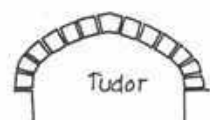
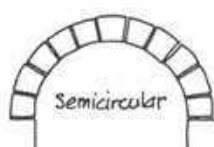
La puesta en práctica, en los siglos XIX y XX, de materiales estructurales nuevos y más fuertes trajo una nueva ola de desarrollo en las técnicas de las bóvedas. Bóvedas y cúpulas de armazón de metal pueden cubrir





## Algunas formas estructurales basadas en el arco

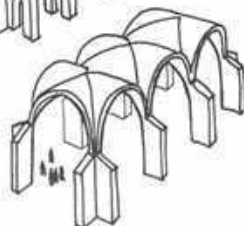
### Arcos



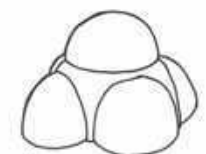
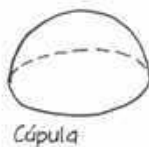
### Bóvedas



Bóveda de crucería



### Cúpulas



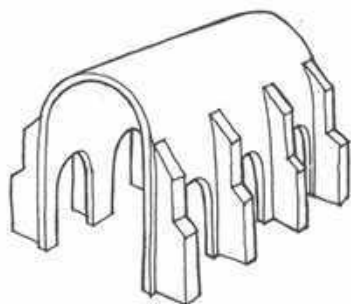
grandes espacios empleando poco más material que las estructuras de suspensión de igual extensión. Bóvedas de hormigón reforzado o de teja de arcilla, muchas veces más delgadas, proporcionalmente, que una cáscara de huevo, se han vuelto cosa corriente y sus arquitectos han explotado no sólo la geometría sinclástica, esférica de la construcción tradicional de bóvedas, sino también la curva anticlástica de la hiperboloide.

### **Artefactos de franqueo libres de empuje: las armazones**

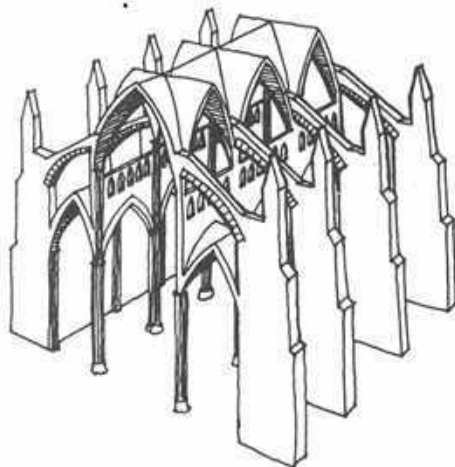
Hasta aquí hemos desarrollado los conceptos de la cadena colgante, la bóveda y la cadena de tirante. Veamos ahora si podemos reunir, a partir de estos elementos, otros artefactos que no ejerzan una presión o un empuje horizontal sobre las paredes del barranco. Estos artefactos

serían particularmente útiles en edificios, dejando las columnas y las paredes de soporte aguantar sólo cargas verticales.

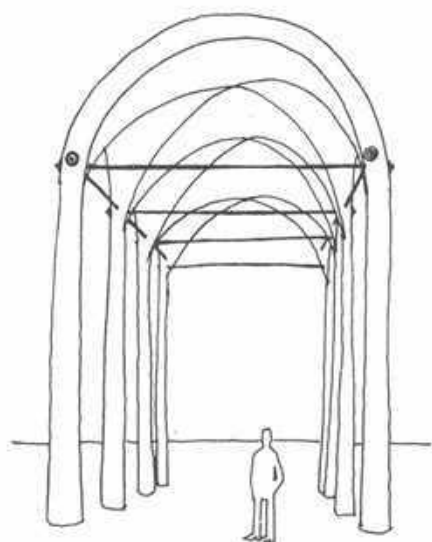
Podríamos volver a empezar con la cadena colgante soportando un peso único en su centro, pero esta vez conectaremos las extremidades de la cadena a las extremidades de un arco muy plano cuya única función, aparte la de soportar su propio peso, es contrarrestar con su empuje hacia fuera la presión hacia abajo de la cadena. Si el artefacto está convenientemente diseñado, podemos demostrar que no ejerce ningún empuje horizontal montando una de sus extremidades en unas ruedas que estén libres de moverse hacia atrás y hacia delante.



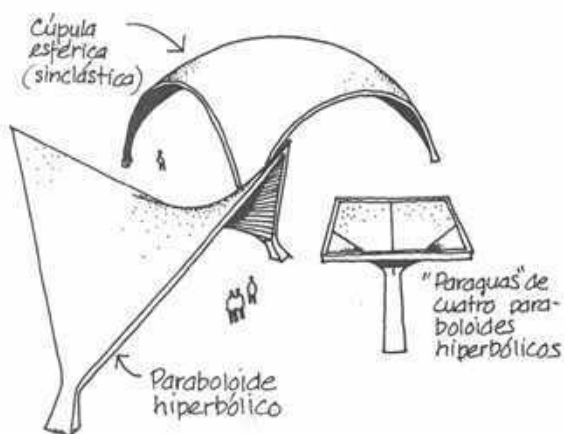
Contrafuertes



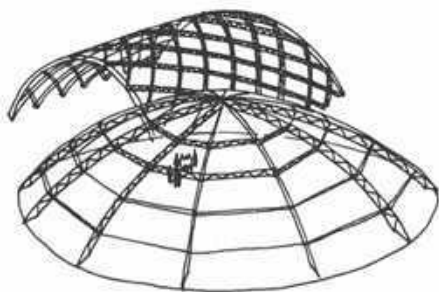
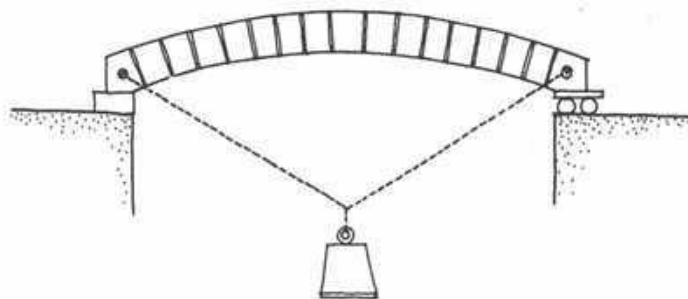
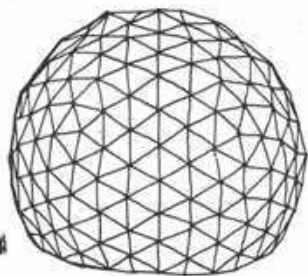
Arbotantes



Varas o cadenas como tirantes

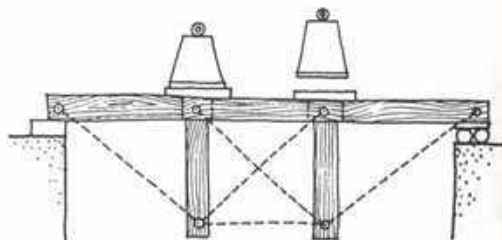
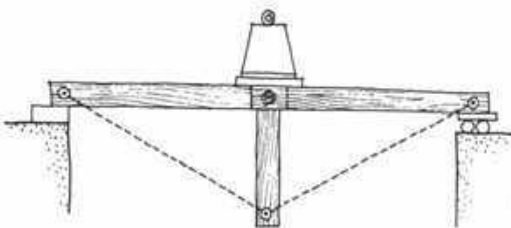
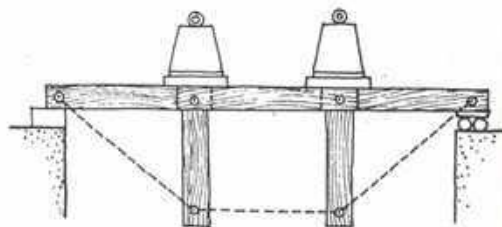
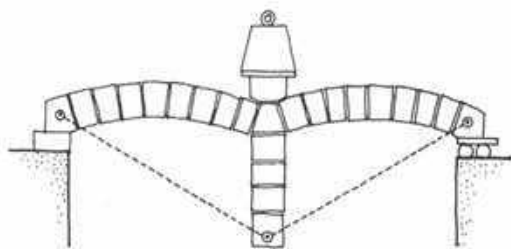


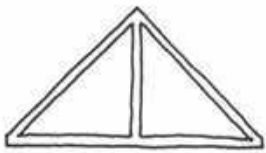




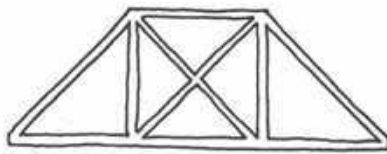
Si preferimos llevar la carga en un punto por encima del arco, antes que colgando hacia abajo en el barranco, lo podemos hacer transmitiendo el peso hacia abajo en la cadena a través de una columna de albañilería. A fin de evitar cualquier concentración de peso en el centro del arco, donde lo corta la columna, es aconsejable hacer dos arcos más cortos con el arco único, proporcionando así un punto de articulación que permite el movimiento entre los elementos cuando el artefacto se desvía. Aunque en realidad podríamos fabricar éste con piedras y una cadena, resultaría algo pesado y, en la práctica, sería más fácil reemplazar la albañilería por unos cortos puntales de compresión de madera, flojamente empernados en sus juntas. Se puede ver ahora fácilmente que hemos inventado una *armazón* sencilla.

Podríamos fabricar una armazón sencilla para soportar *dos* pesos concentrados, como se muestra. Sin embargo, su equilibrio es algo precario porque, si se retira uno de los pesos, se incitará a la línea superior de los puntales, llamada *cuerda* superior, a pandear hacia arriba. El agregado de dos cadenas en el panel central elimina esta posibilidad.

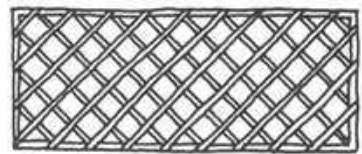




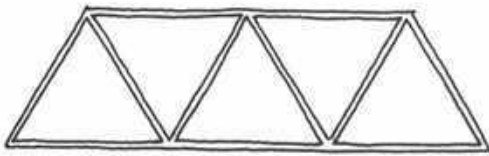
Pendolón sencillo



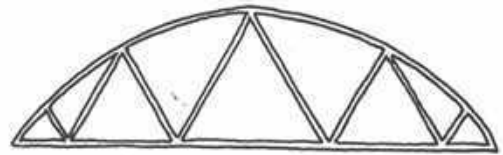
Pendolón lateral



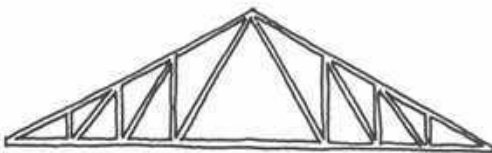
Celosía



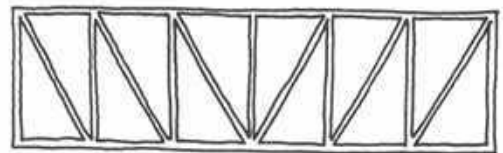
Warren



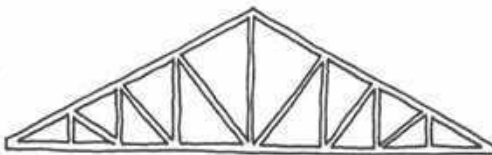
Arco y cuerda



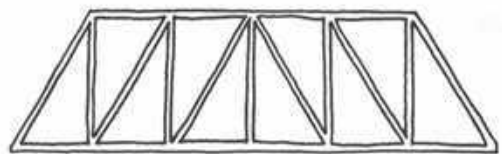
Pratt



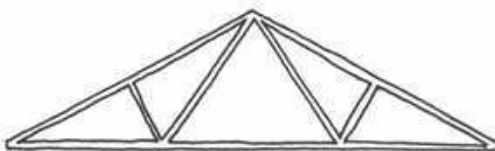
Pratt plana



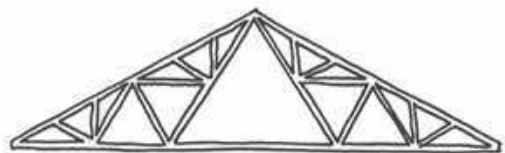
Howe



Howe plana

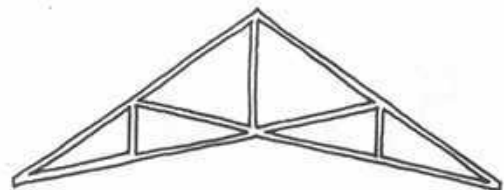


Fink



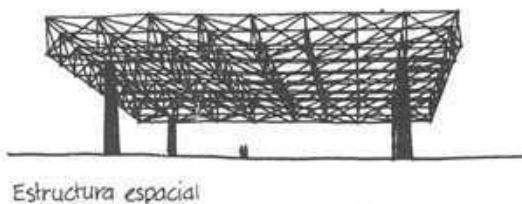
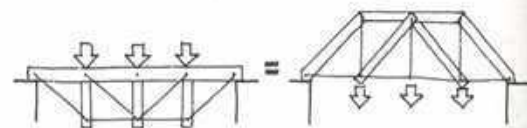
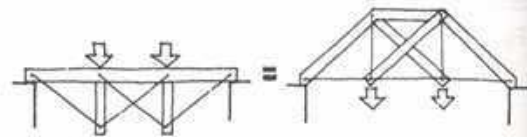
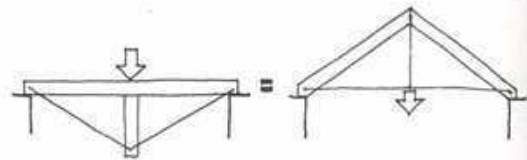
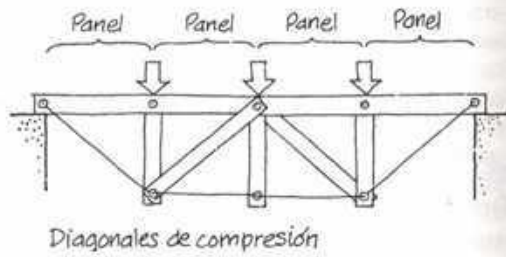
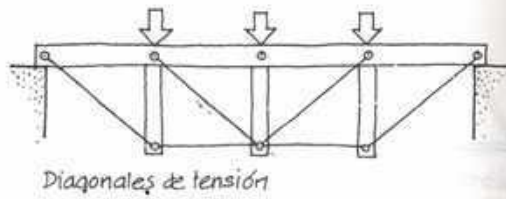
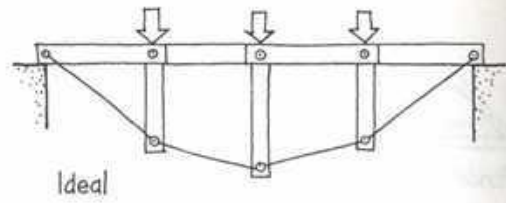
Fink en abanico

### Algunas formas de cerchas



Tijeras



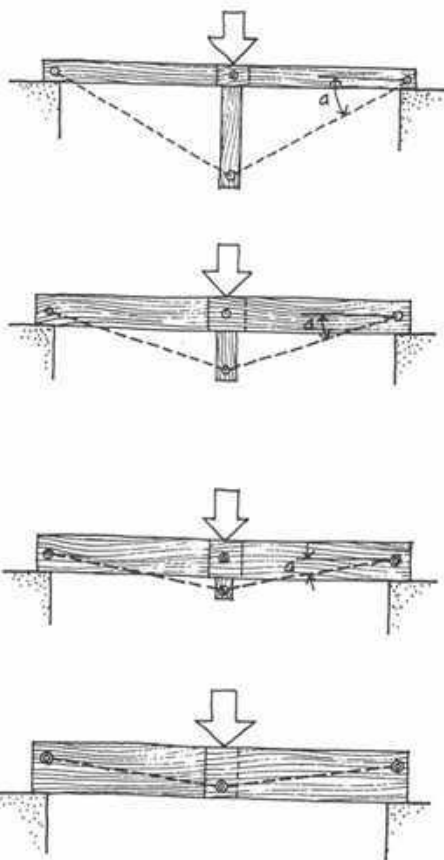


De modo similar se puede desarrollar una armazón ideal para tres pesos concentrados, pero computar o planear las longitudes necesarias de los puntales verticales, a fin de conseguir el equilibrio, es algo arduo. Sería más fácil diseñar y construir la armazón, y ésta sería menos sensible a los pesos movedizos, si todos los puntales verticales fueran de la misma longitud. Podemos hacer esto insertando tirantes o puntales en diagonal en cada *panel* de la armazón a fin de asegurar el equilibrio. Nótese que podemos emplear bien tirantes de tensión, bien puntales de compresión, pero hay que colocar uno en la diagonal opuesta de cada panel del otro. De este modo podemos producir ahora armazones estables con cualquier cantidad de paneles deseada, aunque un número par de paneles tiene la ventaja de producir una armazón simétrica sin la necesidad de las dos diagonales en el panel central.

También podemos invertir todas estas armazones cambiando los puntales de compresión por tirantes de presión y viceversa.

Se han desarrollado muchos tipos de armazones distintas. Las armazones son fáciles de diseñar y analizar matemáticamente, se pueden levantar con pequeñas piezas de material, son de peso bastante ligero y se pueden construir de madera, acero, aluminio u hormigón con igual facilidad. Su contraparte tridimensional, la *estructura espacial*, ha encontrado también un uso corriente en las últimas décadas. Las armazones y las estructuras espaciales son en teoría capaces de cubrir espacios casi tan grandes como hacen los arcos y las bóvedas.

Con las armazones, como con las bóvedas y las catenarias, una mayor profundidad significa unas presiones más bajas y, en general, mayor economía de construcción. Pero otra vez podemos escoger emplear armazones más planas para ahorrar en otros gastos de construcción. Investiguemos, pues, qué sucede cuando se disminuye progresivamente la profundidad de una armazón sencilla.

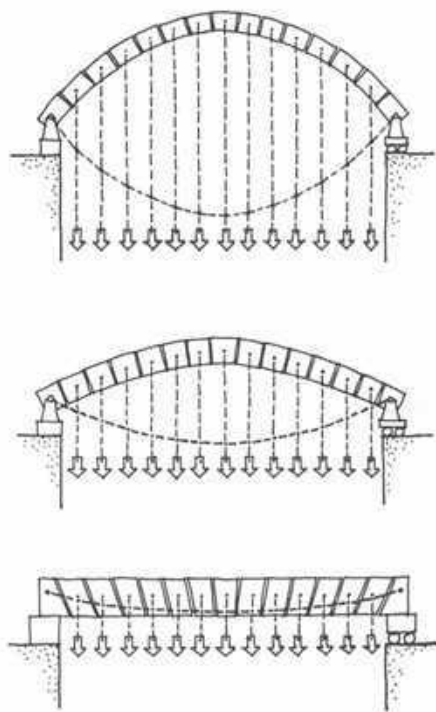


## Vigas

En nuestra primera armazón de madera (en la página 178) notamos que se lleva el peso de la carga a la cadena a través del puntal vertical. La cadena lleva el peso a los bordes del barranco mientras las cuerdas horizontales sólo sirven para contrarrestar en compresión el empuje horizontal de la cadena.

Si acortamos el puntal vertical, el ángulo ( $a$ ) de la cadena disminuye y a la vez el empuje horizontal de la cadena y la tensión en la misma aumentan. Tenemos que emplear una cadena más gruesa y cuerdas horizontales más gruesas, pero el panel vertical sigue llevando solamente el peso superpuesto, así que puede permanecer inalterado. Si acortamos aún más el puntal vertical, la cadena tiene que ser aún más gruesa, y también las cuerdas superiores. Cuando la armazón se vuelve muy plana, las presiones aumentan con extrema rapidez con cada reduc-

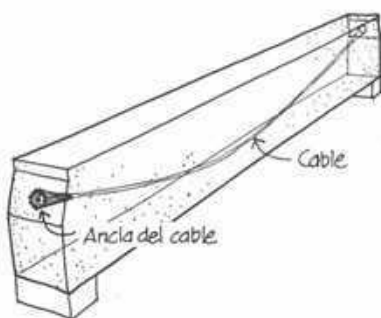




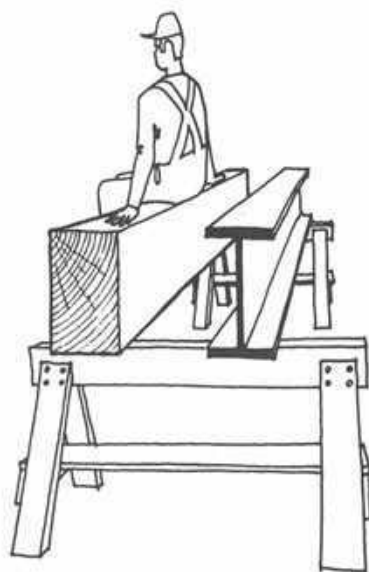
ción sucesiva en profundidad. Un caso límite útil es alcanzado cuando la profundidad de las cuerdas superiores que se necesita para resistir al empuje de la cadena sin doblarse es aproximadamente la misma que la profundidad total de la armazón. Las presiones interiores de la armazón son altas, pero dentro de la capacidad de buenos materiales y estructurales. El puntal vertical puede ser enteramente eliminado, con el centro de la cadena directamente empernado en la madera de las cuerdas horizontales. Lo que tenemos ahora es una armazón con un mínimo práctico de profundidad. No es muy eficaz estructuralmente, porque emplea mucho más acero y madera que una armazón más profunda, pero es compacta y en un edificio producirá a la vez un suelo plano por arriba y un techo plano por abajo, lo cual da como resultado un máximo ahorro de espacio. Lo que hemos producido es, de hecho, una forma de *viga*, diseñada especialmente para el propósito de llevar sólo una carga única concentrada en su punto medio.

A fin de llegar a una configuración de viga que sea apropiada para un peso uniformemente distribuido, o sea, el tipo de viga que diseñaremos normalmente para el suelo o el techo de un edificio, empezaremos con una armazón que consiste en dos elementos de forma ideal para pesos uniformes, un arco catenario por encima y una cadena colgando por debajo. Si los dos están conectados en todos sus puntos gracias a gran cantidad de tirantes, cada uno soportará la mitad del peso, y los empujes horizontales equilibrarán exactamente el otro, así que no habrá ningún empuje horizontal comunicado a las paredes del barranco.

Como se esperaba, el arco y la cadena se vuelven a la vez más gruesos a medida que se reduce la profundidad de la armazón. Al final, cuando se llega al caso



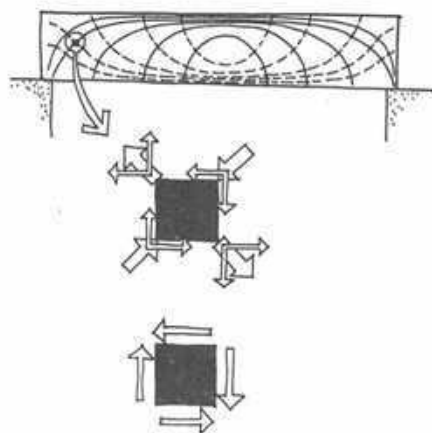
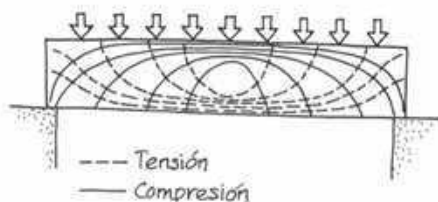
Viga de hormigón postensado



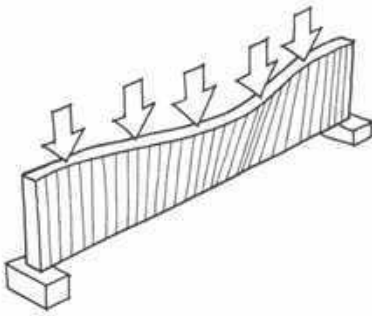
límite útil, el arco se puede volver plano y soportarse todavía a sí mismo y a su mitad de carga. La cadena, en cambio, debe conservar alguna curva si quiere llevar su parte de carga directamente. La forma a la cual hemos llegado es exactamente la forma tomada por una viga de hormigón *postensado*, en la cual unas varas o unos cables de acero estrechamente tendidos comprimen las extremidades de una viga de hormigón, siguiendo entre ellas una curva catenaria.

Sabemos, por la experiencia cotidiana, por supuesto, que una viga puede ser mucho más sencilla que cualquiera de los tipos que hemos desarrollado más arriba. Una longitud de madera con la altura y el grosor adecuados hará bastante bien el trabajo, sin necesidad de complicarse con cadenas, varas o bloques de piedra. Lo que es interesante en una viga plana de madera o acero, sin embargo, es ver cómo las fuerzas de tensión y de compresión obran en su interior. A través del uso de instrumentos de laboratorio, se han hecho mediciones de la dirección de las fuerzas que pasan por una viga rectangular uniformemente cargada. A partir de estas mediciones, se han trazado las líneas de las principales fuerzas de tensión y de compresión. Nótese que las líneas de compresión son similares a las bóvedas y las líneas de tensión a cadenas colgantes, estando las dos disposiciones de líneas simétricamente colocadas para equilibrarse los respectivos empujes. Nótese también cómo las líneas se agrupan en las partes superiores e inferiores de la viga en medio del tramo; las fuerzas de tensión y de compresión son más altas en estas áreas y el material, en estas mismas áreas, de una viga bien diseñada está tensado y comprimido para que las fuerzas obren con toda seguridad. En el resto de la viga, en cambio, las concentraciones de fuerza son menores. El material no trabaja con toda su capacidad y en este sentido se puede decir que está desperdiciado en parte. Por esta razón una viga no es, inherentemente, una forma estructural tan altamente eficaz como una catenaria, una bóveda o una armazón, en las que la mayor parte del material, o todo él, está plenamente sometido a las fuerzas. Pero una viga es compacta, práctica para trabajar, no ejerce empujes horizontales externos y produce fácilmente techos y suelos planos.

Las líneas de fuerza principales en una viga indican otro fenómeno que es de gran interés para los arquitectos. Obsérvese que, donde sea que se corten una línea de compresión y una línea de tensión, lo hacen en ángulo recto. Si examinamos un pequeño bloque de material sacado de una de estas intersecciones, vemos que está comprimido sobre una diagonal y tensado sobre la otra. Si separamos cada una de estas fuerzas en componentes paralelos en las caras de nuestro bloque y las simplificamos, vemos que el bloque está sometido a fuerzas paralelas pero opuestas en sus cuatro caras. Esto somete al bloque a un *esfuerzo constante*, exactamente como las fuerzas paralelas, pero opuestas, ejercidas por las hojas de unas tijeras que cortan una hoja de papel. Cuando volvamos a examinar el diagrama de una viga, vemos que el



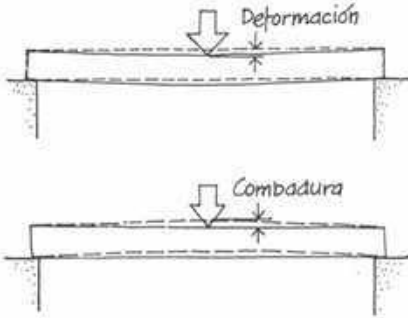




esfuerzo cortante es más alto en las extremidades de la viga, donde las líneas principales de fuerza se cortan en un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal y progresivamente en un ángulo más bajo hacia la mitad de la viga. Así pues, una viga tiene que ser diseñada no sólo para aguantar fuerzas tensoras y compresoras pesadas en sus caras superiores e inferiores en el medio del tramo, sino también esfuerzos cortantes pesados en sus extremidades. El esfuerzo cortante pocas veces es un problema en las vigas de acero, porque el acero es relativamente resistente al esfuerzo cortante, pero la madera y el hormigón son más débiles para este esfuerzo y requieren especial cuidado en su diseño y construcción.

La parte de una viga donde las fuerzas compresoras son más altas es también propensa al pandeo, como cualquier artefacto estructural que aguante una compresión. Como se podía suponer, cuanto más larga y delgada es una viga, más alto es el riesgo de pandeo. Se han desarrollado fórmulas empíricas para prever este riesgo, y cuando el riesgo de pandeo es presente, o bien hay que hacer la viga más gruesa, o bien hay que proporcionar un refuerzo lateral, de modo muy parecido a lo que se hizo con la columna. Este refuerzo puede ser proporcionado a menudo por el suelo o el techo que soporta la viga.

En cuestión de vigas, como en todos los artefactos de franqueo, es importante poder prever cuánto se deformará la viga bajo su carga supuesta. Se han desarrollado fórmulas bastante exactas para servir a este propósito. Sabiendo con antelación cuál será la deformación, podemos diseñar vigas que sean suficientemente rígidas para hacerse sentir sólidas bajo el pie y que no se curvarán tanto como para quebrar unos cielos rasos de yeso que estén fijados a ellas o como para imponer su peso a ventanas, tabiques y otros elementos de un edificio no diseñados para aguantar cargas estructurales mayores.





No hay empuje horizontal



Empuje horizontal



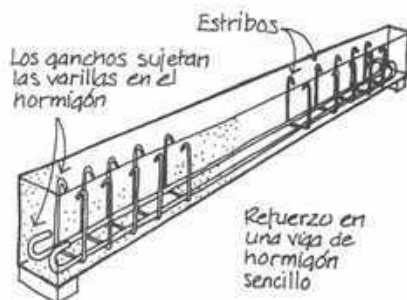
El tirante se opone al empuje horizontal

También podemos *arquear* una viga; es decir, podemos elaborar en su interior una curvatura hacia arriba igual a la desviación esperada bajo la carga, de manera que quede plana cuando se ponga en servicio.

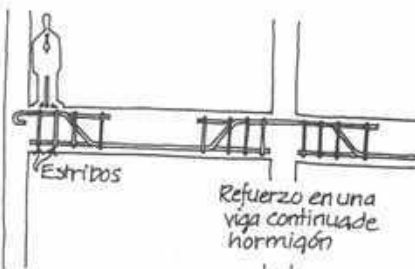
Empleamos las vigas de modos muy distintos. Hemos estado tratando lo que se llama un tramo sencillo. frecuentemente, se coloca una viga única, *continua*, sobre dos o tres paneles adyacentes, o en *voladizo* por encima de sus soportes en una extremidad o en ambas. Estas configuraciones introducen una curvatura en la dirección opuesta sobre los soportes. Haciendo trabajar eficazmente hasta su máximo a más parte del material de la viga, la continuidad de una viga por dos o tres tramos permite generalmente el uso de una viga más pequeña que la que se hubiera empleado con un tramo sencillo.

Vigas con inclinación se emplean como *cabios* de apoyo. Si un cabio está soportado verticalmente en sus dos extremidades, no ejerce ningún empuje horizontal. En cambio, si dos cabios están colocados uno contra el otro en un soporte central, cada uno empuja el otro horizontalmente y hay que instalar un tirante o un contrafuerte. En esta configuración, los cabios son análogos a una bóveda formada de dos piedras apoyadas una contra otra.

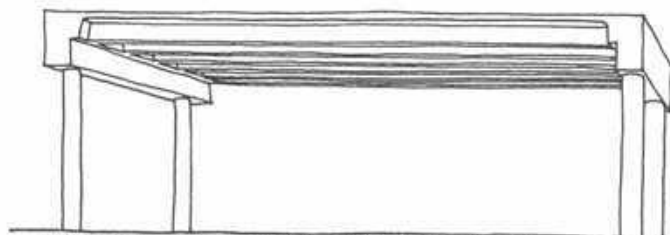
En una construcción de *hormigón armado*, la mayor parte, o todas ellas, de las fuerzas compresivas están soportadas por el hormigón, y hay unas varas de acero colocadas donde pueden recoger las fuerzas tensoras. Se instala un refuerzo contra la quiebra por *esfuerzo cortante* gracias a unos *estribos* verticales de varas de acero colo-



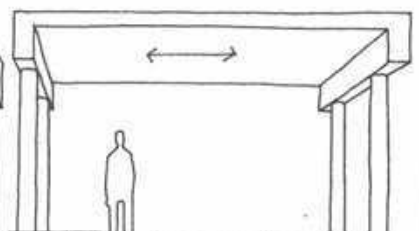
Refuerzo en una viga de hormigón sencillo



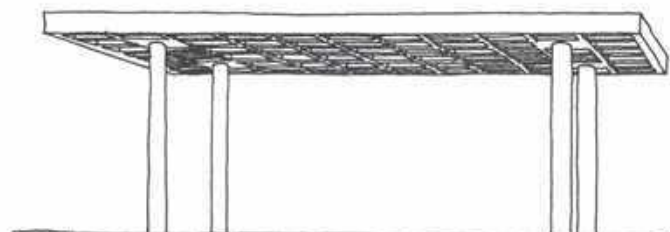




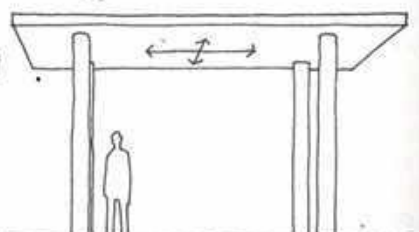
Sistema de enrigado de hormigón unidireccional



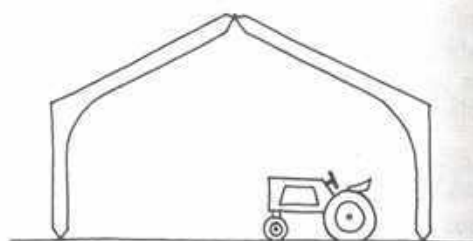
Losa sólida unidireccional



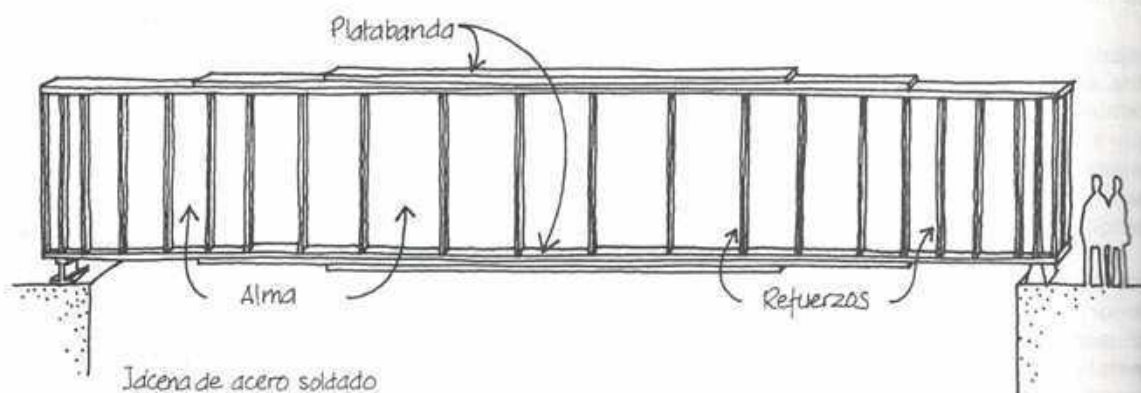
Sistema de cubrición de hormigón reticular



Placa bidireccional



Estructura rígida



Ircena de acero soldado

cadadas cerca de las extremidades de la viga. Para ahorrar más, en las construcciones de hormigón se emplean casi siempre los ritmos continuos con las varas de acero situadas alternativamente entre el fondo y la parte superior de las vigas a medida que cambia la dirección de la curvatura.

Una *losa* de hormigón es una viga de hormigón armado muy ancha y plana. Si una losa de hormigón se extiende entre dos vigas o dos paredes paralelas, sólo se refuerza en la dirección de su extensión y se la llama *losa armada en una sola dirección*. Si una losa de hormigón se extiende entre columnas colocadas en un esquema más o menos cuadrado, se la refuerza sobre dos direcciones (a la vez norte-sur y este-oeste) y se proyecta en dos direcciones mutuamente perpendiculares. Estas losas *bidireccionales* necesitan menos hormigón y refuerzos de acero para soportar una carga determinada y, por consiguiente, se emplean siempre que es posible. Para tramos más largos, con losas de hormigón bien unidireccionales, bien bidireccionales, se puede ahorrar más aún sacando el hormigón de entre las varas de refuerzo de debajo de la losa, a fin de formar un *sistema de vigueta de hormigón unidireccional* (conocido también como *losa nervada*) o un *sistema de vigueta de hormigón bidireccional* (*losa de nido de abeja*).

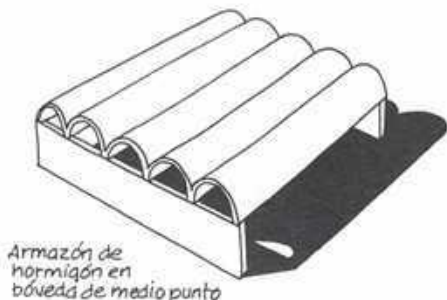
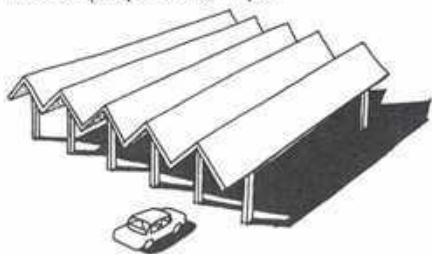
A menudo, para cargas pesadas o tramos largos, las vigas se hacen de hormigón, acero o madera laminada, de manera que haya más material donde las fuerzas son más altas. Por ejemplo, una jácena de acero soldada tiene añadidas unas placas arriba y abajo para contener la presión y la tensión en medio del tramo y unos *reforzadores* verticales para reforzarse contra el esfuerzo cortante en las extremidades.

Una viga no siempre es recta. Para tramos más largos, a menudo es ventajoso hacer una viga curvada, llamada *estructura rígida*, una columna y una viga combinadas con una junta rígida entre las dos. La junta soporta fuerzas muy altas y se suele hacer más gruesa para compensar. Una estructura rígida se comporta a la vez como una viga y como una bóveda, y, por consiguiente, tiene que ser reforzada por tirantes o contrafuertes.

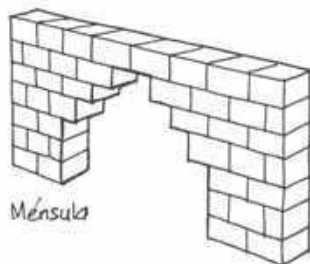
Las estructuras son capaces de cubrir tramos cercanos a los de las armazones. Las vigas, en general, están limitadas a tramos más cortos. Cuanto más profunda sea la viga, más largo será el tramo posible, pero las vigas se vuelven incómodas y antieconómicas para construir en tramos muy por debajo de los que se cubren fácilmente con formas estructurales más ligeras y eficaces.

Si un plano llano de material estructural (que suele ser hormigón armado) se dobla o se pliega para aumentar su profundidad total, es capaz de cubrir distancias bastante largas y actúa de manera muy parecida a la de una viga profunda. El comportamiento estructural de estas formas es planeado fácilmente curvando o plegando una hoja de papel, con dos libros como soportes y cargándola con otras hojas de papel o libros.

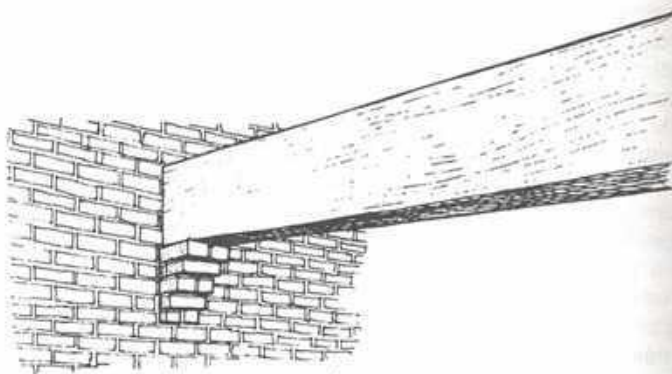
Placa con pliegos de hormigón







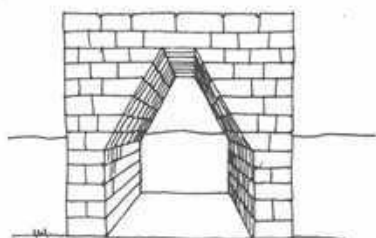
Ménsula



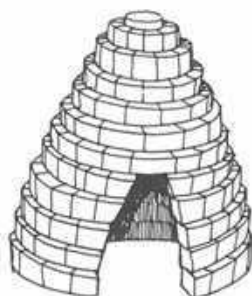
## Las ménsulas

La ménsula es un artefacto estructural compuesto por cierto número de piedras o ladrillos que actúan cada cual como una pequeña viga fragmentaria. Su estabilidad depende de si la acción total de palanca del peso que soporta la parte interior de cada bloque sobrepasa la acción total de palanca del peso soportado por la parte saliente del mismo bloque. A veces se emplea la ménsula sencilla para cubrir aberturas de ventana en paredes, o para formar repisas salientes para soporte de vigas en paredes de soporte. Se emplea frecuentemente en masonerías decorativas. Traslada a la tercera dimensión como bóveda salediza lineal, era empleada por los mayas y otras culturas para cubrir habitaciones estrechas. Sin embargo, su capacidad de cubrimiento es la más limitada de todas las formas estructurales, porque la pesada piedra o el pesado ladrillo con que tiene que ser construida es relativamente débil en lo que se refiere al *esfuerzo cortante* y porque emplea grandes cantidades de material, comparada con otros artefactos capaces de llevar las mismas cargas sobre tramos iguales.

Se pueden cubrir tramos considerablemente más grandes con un uso algo más eficaz del material si se hace girar la ménsula sencilla alrededor de su línea central vertical para formar un *tholos*, pero éste emplea algo más que simplemente el principio de la ménsula; cada uno de sus anillos horizontales de piedra actúa como una bóveda horizontal completamente circular para contrarrestar su propia tendencia a caerse hacia dentro bajo el peso que viene de arriba. Así pues, el *tholos*, a diferencia de las otras formas de ménsula, ejerce un empuje que tiene que ser contrarrestado en sus fundaciones o en sus paredes de soporte, pero conserva la ventaja de todas las formas de ménsula de que puede exigirse sin el uso de un soporte temporal o una cimbra y es superior a sus primas, las ménsulas, por no necesitar un peso macizo que haga de contrapeso. Sólo hace falta que sea una piedra gruesa. En las tumbas micénicas, los *tholos* cubrían tanto como 14,3 m, soportando arriba una carga pesada de tierra. Tra-



Bóveda acartelada



Tholos

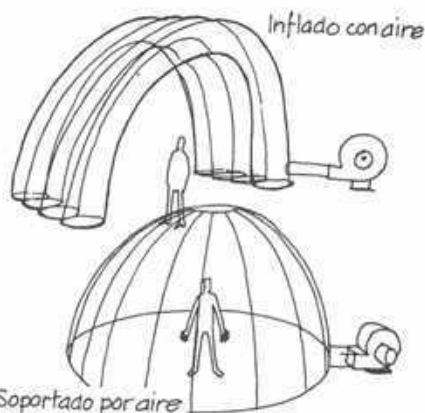
mos de 3 a 6 m son corrientes en otras áreas del Mediterráneo, en particular en el sur de Italia, donde se emplea esta forma para los tejados. En Estados Unidos, los *tholos* encontraron un uso, en el pasado, en la construcción de hornos de cerámica, y todavía sobreviven hoy en día como artefactos corrientemente empleados para hacer la transición vertical entre las grandes aberturas subterráneas de las cloacas y las tapas de las aberturas más pequeñas que desembocan en la calle.



Trullo, Italia

## Estructuras neumáticas

Un grupo variado de artefactos de franqueo cuyo potencial sólo ha empezado a ser descubierto son las *estructuras llenadas con un fluido*. El aire es el fluido más ampliamente utilizado, y las dos categorías que se construyen más a menudo son las *estructuras infladas de aire* y las *estructuras soportadas por el aire*. En las estructuras infladas de aire, los elementos estructurales están hechos de tubos de tela o de lentes reforzados contra el pandeo gracias a la presión interior del aire. La tela misma soporta el peso estructural. Sólo son posibles tramos relativamente cortos antes de que suceda la caída por pandeo en la fina tela de las estructuras infladas de aire. Por otro lado, las estructuras soportadas por aire son en teoría capaces de soportar tramos ilimitados, ya que cada metro cuadrado de tela lo está directamente por la presión del aire contra su superficie inferior. La única fuerza en la tela es la de tensión, normalmente baja, provocada por el ligero exceso de presión del aire que se necesita a fin de mantener la tela tensa. En la práctica, aunque se hayan erigido tramos muy largos, se requieren conexiones intermitentes con el suelo para contrarrestar la tendencia de la tela a moverse o a ondularse con el viento. Las estructuras soportadas por aire plantean sólo un problema de cimentación: cada una tiene que estar asida *por debajo* en el suelo por una fuerza total igual al producto de su presión del aire interna y su superficie en el suelo.

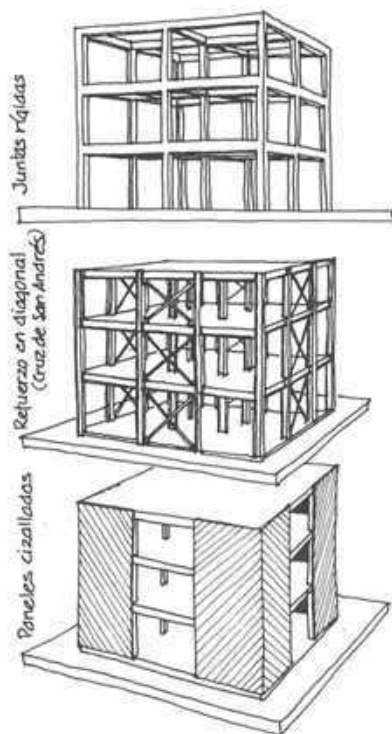


## Soporte lateral

Hasta aquí sólo hemos tratado de los artefactos básicos para soportar cargas verticales y cargas sobre tramos horizontales. A fin de soportar las cargas provocadas incluso por un edificio sencillo, hay que utilizar convenientemente cierto número de estos artefactos estructurales a fin de soportar las superficies del edificio, reunir estas cargas de la superficie y conducirlas a las columnas de paredes de soporte, y luego transportar estas cargas verticales a la tierra, en la cual serán trasladadas gracias a un sistema de cimientos. Además de esto, tenemos que instalar aparatos que mantengan la estructura entera en posición vertical, contra las fuerzas laterales del viento y





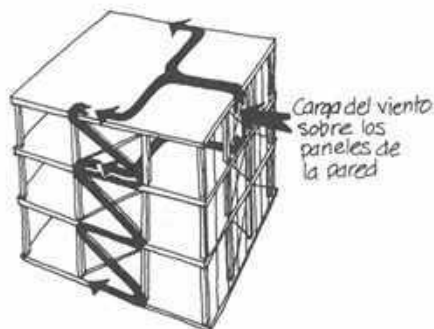


los terremotos y el pandeo compresivo, que en caso contrario la derribarían.

Podemos instalar soportes laterales de tres maneras. Una es hacer muy rígidas las juntas entre las columnas y las vigas. Esto es muy fácil de hacer y muy económico en estructuras de hormigón. En estructuras de acero es un poco más difícil y el proceso suele incluir la soldadura de las conexiones o el empleo de gran número de pernos. En estructuras de madera, las juntas de este material son muy difíciles de hacer a causa de la dificultad que existe en hacer unas ataduras seguras cerca de las extremidades de piezas de madera. Otra manera de proporcionar un soporte lateral es insertando puntales diagonales en diversos emplazamientos alrededor del edificio, creando así efectivamente empujes verticales dentro de la estructura. Un tercer método, análogo al de los puntales diagonales, es emplear paneles cizallados de acero, madera contrachapada u hormigón, en vez de puntales. Ambos, los puntales diagonales y los paneles cizallados, son fáciles de hacer en estructuras de madera, tanto como en acero u hormigón. Las paredes de mampostería son de por sí paneles cizallados y, gracias a su estructura de paredes de soporte, ganan en estabilidad lateral.

Con estos tres métodos de soporte lateral, los artefactos de soporte (juntas rígidas, puntales diagonales o paneles cizallados) tienen que actuar a la vez en la dirección norte-sur y este-oeste del edificio y tienen que ser arreglados en proyección de modo más o menos simétrico alrededor del centro del edificio. Nótese también que los planos del suelo y del tejado de un edificio también juegan su papel en la estabilidad lateral; tienen que estar acompañados por puntales o paneles cizallados, siendo estos últimos muchas veces automáticamente proporcionados por el material mismo de la estructura del suelo o de la cubierta del tejado. En cualquier caso, las cargas laterales en los edificios se tienen que calcular cuidadosamente y hay que instalar artefactos de robustez suficiente para contrarrestarlas, exactamente como se computan y se contrarrestan con sumo cuidado las cargas verticales.

El tejado y el suelo transmiten la carga al refuerzo



Los refuerzos transmiten la carga al suelo

## Los cimientos

En el sitio donde las columnas o paredes de soporte encuentran el suelo, las cargas verticales y horizontales del edificio han de ser transmitidas con seguridad a la tierra. A fin de cumplir con esto, se necesita generalmente algún tipo de artefacto de transición. Una columna de acero, por ejemplo, lleva su carga con una fuerza de cientos de toneladas por pie cuadrado (decenas de meganewtons por metro cuadrado). Ningún subsuelo o roca es capaz de aguantar una presión tan intensa, y, si se dejara reposar la columna directamente sobre el suelo, penetraría inmediata e incontrolablemente, arrastrando parte del edificio con ella. Si una columna lleva su carga con

una fuerza de 500 toneladas por pie cuadrado ( $47,88 \text{ mN/m}^2$ ) y tiene que reposar sobre un suelo que sólo puede soportar con seguridad 10 toneladas por pie cuadrado ( $0,958 \text{ mN/m}^2$ ), tenemos que interponer entre la columna y el suelo un bloque que sea de  $\frac{500 \text{ toneladas/pie}^2}{10 \text{ toneladas/pie}^2}$ , o

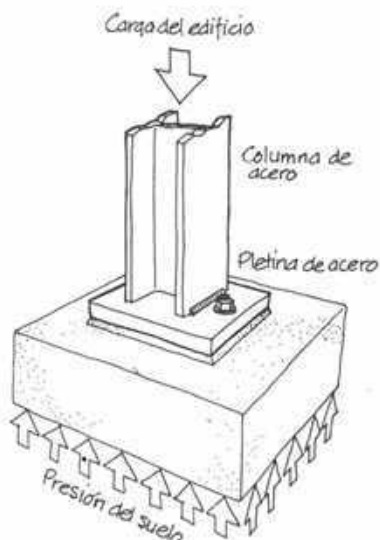
cincuenta veces más grande en el plano horizontal que la sección de la columna (en unidades S.I.,  $\frac{47,88 \text{ mN/m}^2}{0,958 \text{ mN/m}^2} =$

$= 50$ ). Si la columna tiene un área de sección de  $1/4$  de pie cuadrado ( $0,023 \text{ m}^2$ ), el bloque tiene que ser de  $50 \times 1/4$ , o sea de  $12 1/2$  pies cuadrados de superficie ( $50 \times 0,023 \text{ m}^2 = 1,15 \text{ m}^2$ ). Un bloque de hormigón que pase justo de los  $3 1/2$  pies cuadrados ( $1,07 \text{ m} \times 1,07 \text{ m}$ ), servirá. A este bloque se le llama *cimiento con retallo*. De forma interesante, este ejemplo necesita de otro tipo de cimiento con retallo también, porque el hormigón, aunque sea mucho más fuerte que el suelo, es también incapaz de sostener directamente la intensa presión de la columna de acero. Hay que insertar una pesada *placa de fondo* de acero ante la columna y el cimiento de hormigón para repartir el peso. Se computa el tamaño de la placa de fondo del mismo modo general que el tamaño del cimiento mismo.

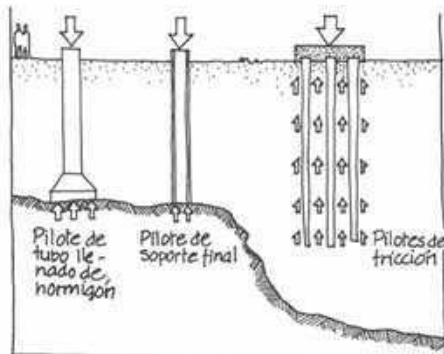
Un cimiento con retallo puede ser ya un *cimiento aislado*, como en el ejemplo anterior, ya un *cimiento de una tira* continua que se emplea bajo una pared de hormigón o mampostería. Sin embargo, una pared puede ser soportada por bases aisladas si se instala una viga de nivelación a fin de repartir el peso de las paredes encima de ellas. En suelos de capacidad entre intermedia y baja, las bases de extensión aisladas pueden ser tan grandes, que es más fácil y económico instalar unas sencillas cimentaciones de mallado continuas de hormigón armado bajo el edificio, que construir unas bases individuales que ocupan sólo pequeños espacios entre sí.

A veces un estrato de tierra o de roca convenientemente duro está enterrado bajo una considerable profundidad de suelo blando, inaprovechable. En este caso, siempre es posible hacer un agujero a través del suelo blando a fin de alcanzar el suelo duro, abocardar el agujero justo por encima del estrato duro a fin de dar una área de soporte más grande y llenar todo el agujero con hormigón. Una columna o una viga de nivelación tiene entonces que reposar encima de este cajón de hormigón. Una posibilidad alternativa es la de emplear un pilón guía para empujar verticalmente una longitud de acero o de hormigón armado a través del suelo blando hasta que su extremidad inferior repose sólidamente encima del estrato duro. Este método de cimentación se conoce como *pilote de soporte final*.

Si el suelo o la roca dura no están al alcance, como, por ejemplo, en áreas pantanosas o próximas al agua, se emplean usualmente los *pilotes de fricción*, hechos de madera, acero u hormigón precortado. Se empuja cada pilote totalmente dentro del suelo blando hasta que



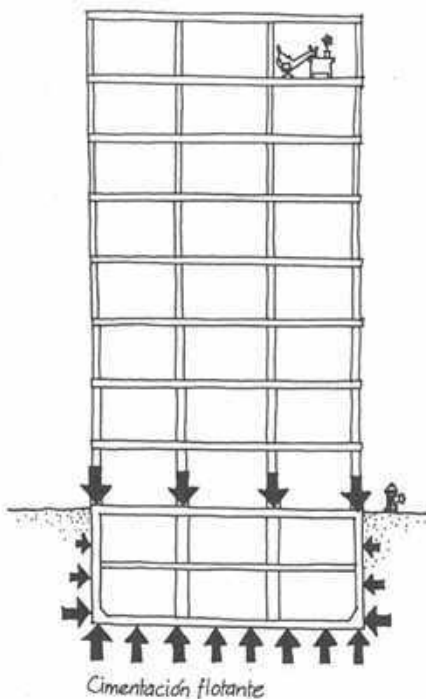




la fricción del suelo contra los lados del pilote alcance el punto donde éste pueda sostener una carga. Los pilotes suelen estar clavados en grupo, con una tapa de hormigón puesta encima de éste a fin de distribuir el peso de la columna sobre los pilotes individuales. Si una columna trae un peso de 250 toneladas (227 000 kg) a la tierra y cada pilote puede soportar con seguridad 10 toneladas (9070 kg), se necesita un grupo de 25 pilotes. Serían apropiadas cinco filas de cinco pilotes cada una.

Alternativamente, un edificio en un suelo blando puede ser soportado por una *cimentación flotante* en la cual el peso del edificio está equilibrado por el de la tierra quitada durante la excavación. Las paredes y los suelos del sótano tienen que estar muy bien reforzados contra el curvamiento. Entonces el edificio flota literalmente, como un barco, soportado por la presión del suelo contra las superficies exteriores del basamento.

A veces unas cimentaciones tienen que ser diseñadas para resistir más una fuerza ascendente que una fuerza descendente, especialmente para el anclaje de estructuras neumáticas o de suspensión. Si se puede aprovechar una roca apropiada, se pueden perforar uno o más agujeros y cementar unos cables o varillas en los agujeros con productos adherentes apropiados. En suelos más blandos hay que enterrar una pieza de hormigón de manera que el peso del hormigón, más el peso del suelo por encima de él, totalice más que la elevación esperada. Para estructuras temporales, se pueden colocar grandes contenedores de arena o de agua en la superficie del suelo como anclas, o se pueden clavar en el suelo pequeñas anclas o estacas de metal.



## Lecturas posteriores

Rowland Mainstone, *Developments in Structural Form*, M.I.T. Press, Cambridge (Mass.), 1975.

William Morgan, *The Elements of Structure*, Sir Isaac Pitman and sons, Londres, 1967.

Mario Salvadori, con Robert Heller, *Structure in Architecture*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N. J.), 1963.

## 18. Medidas contra el movimiento en el edificio

Un edificio, incluso uno aparentemente sólido, macizo, no está reposando nunca. Sus movimientos son, usualmente, muy pequeños, imposibles de detectar con el ojo sin ninguna ayuda, pero la mayoría de ellos son de una fuerza virtualmente irresistible, y harían pedazos al edificio si no se tomaran precauciones de alguna manera contra ellos. Las superficies del edificio se agrietarían, retorcerían y desgarrarían; los diversos elementos se empujarían o aplastarían entre sí. En el mejor de los casos, el edificio se volvería simplemente antiestético. A lo peor, se llenaría de goteras y se podría en sus estructuras.

El movimiento del edificio empieza por la colocación de los primeros materiales en las primeras fases de la construcción. El suelo se asienta progresivamente bajo las cimentaciones a medida que aumenta el peso del edificio. La mayor parte de los materiales que se colocan húmedos —el hormigón, el mortero, la cal— se contraen ligeramente y tienden a agrietarse cuando se endurecen, mientras que el yeso se dilata ligeramente y empuja los materiales adyacentes. La madera no suficientemente seca se encoge después de su instalación. Las vigas, las columnas y otros elementos estructurales, sin que importe de qué material estén hechos, se deforman gradualmente a medida que se acumulan las cargas superpuestas durante la construcción. Más deformaciones, de magnitud variable, ocurrirán durante la vida del edificio bajo las cargas movilizadas vivas, incluidas las fuerzas sólidas y sísmicas, y, en algunos materiales estructurales, más notablemente las maderas y el hormigón, se desarrolla un proceso de inclinación, conocido como *deslizamiento*, sobre un período de años.

Movimientos hacia atrás y hacia delante, causados por efectos térmicos y por la humedad, tienen lugar constantemente. Un edificio se dilata de manera medible en verano y se encoge cuando hace frío. Un tejado calentado por el sol se dilata más al mediodía, mientras que las paredes, más frías, permanecen sin cambios. Durante la noche, el tejado se enfría y se encoge. En temperaturas por debajo de 0°, la formación de hielo dentro o debajo de un edificio puede provocar grietas en los materiales o



levantar los cimientos debido a su dilatación. En condiciones de humedad, la madera y los productos de la misma se dilatan, a menudo ostensiblemente, y cuando el aire los seca, como en un edificio calentado, en invierno, se contraen y a veces se agrietan. Las juntas de los muebles de madera mal pegadas muchas veces se desunen durante el apogeo de la estación en que hay que calentarse. Las puertas y ventanas de madera, si el tiempo está húmedo, a veces se pegarán de manera inamovible a su marco, pero se moverán por estar flojas en condiciones de sequedad. Cuando están yuxtapuestos elementos de diversos materiales, es probable que se muevan de manera bastante diferente unos de otros. Un marco de ventana de aluminio se dilatará realmente poco en invierno, mientras que la estructura de madera en la cual está montado se verá poco afectada por las diferencias de temperatura. Pero una temporada de humedad prolongada hará que se dilate la estructura de madera, mientras que la ventana de aluminio permanecerá inalterada. Si se utiliza una hoja rígida de plástico transparente en vez de cristal en el marco de aluminio, su dilatación y su contracción térmicas serán aún más pronunciadas que las del marco, y cuando la diferencia de temperaturas interior-exterior es importante (exteriores muy calientes e interiores muy fríos), la hoja de plástico, que no transmite inmediatamente el calor, formará temporalmente una curva prominente hacia el lado interior.

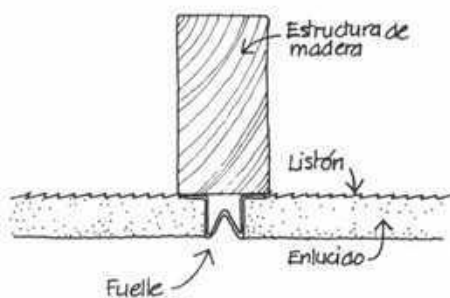
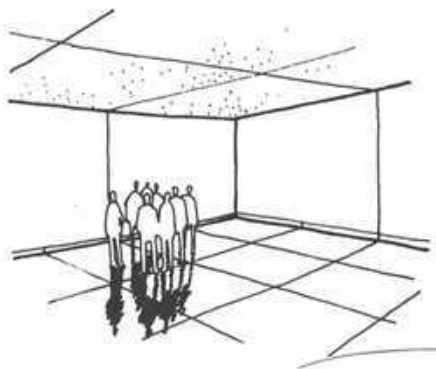
Algunas reacciones químicas no deseadas pueden también causar movimiento en el edificio. Cuando un metal se corroe, se dilata. La argamasa de la cal que no ha sido plenamente hidratada antes de su aplicación se dilatará más tarde, ya que atrae humedad del aire en su estructura cristalina. El cemento de Portland reacciona químicamente con algunos minerales que pueden ser mezclados inadvertidamente con él al hacer hormigón y causan una dilatación de efecto destructor. Las grietas, el levantamiento y el desconchamiento provocados por causas químicas se ven ocasionalmente en los edificios, y es bastante corriente ver elementos de metal pegados entre sí por efecto de la corrosión. Sólo se puede remediar esto con un control cuidadoso de la calidad de los materiales empleados durante la construcción y por la protección completa de los metales propensos a la corrosión con revestimientos adecuados.

Para dejar espacio a los inevitables movimientos de un edificio sin resultados destructivos, los arquitectos respetan unas etapas de precaución durante el proceso de diseño y a lo largo de la construcción. El principio básico que siguen es proporcionar al edificio y a sus componentes el espacio y el medio de moverse sin causar perjuicios. Las grietas transversales en una pared lateral corriente de hormigón son un buen ejemplo. Forman unas líneas intencionales de flaqueza estructural, creadas en el momento en que se coloca el hormigón, sabiendo que éste se agrietará cuando se endurezca, y que más tarde la pared lateral se encogerá y dilatará según los cambios de temperatura y, aquí y allá, será levantada por el hielo o por raíces de

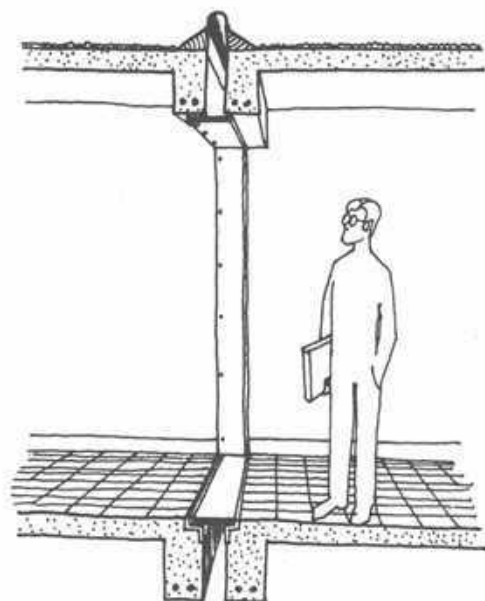


árboles. Si no fuera por estas rendijas intencionadas, estas fuerzas formarían sus propias grietas en la pared lateral en todas direcciones. Las rendijas intencionalmente colocadas, llamadas *juntas de control*, absorben estas fuerzas de modo metódico y dejan que pase cierto porcentaje de inclinaciones y de levantamientos sin que se quiebren los rectángulos individuales de hormigón. Las juntas de control se colocan también, aunque a intervalos menos frecuentes, en suelos y bloques de pared de hormigón dentro de los edificios. Se pueden hacer con una paleta especial mientras el hormigón está aún húmedo o, para tener una apariencia más neta, cortando el hormigón, cuando ya se ha endurecido, con una sierra eléctrica de hoja abrasiva. En paredes o cielos rasos de yeso largos, se insertan a intervalos unas tiras «de fuelle» sobre el listón sobre el cual se aplica el yeso, y el listón subyacente está dividido, lo cual permite una dilatación y una contracción considerables del yeso sin formación de grietas incontroladas. Las tiras de metal empotradas en un suelo de terrazo encauzan también el encogimiento inevitable en todo sistema de rendijas organizado.

El mismo principio sirve para prevenir las grandes grietas estructurales en complejos de edificios unidos entre sí. En realidad, estos complejos están divididos en dos o más edificios pequeños totalmente independientes uno de otro, estructuralmente hablando, gracias a la instalación de *juntas de dilatación* que cortan completamente el edificio en unos emplazamientos debilitados con anticipación. Las losas del suelo están separadas por una brecha horizontal de 50 a 100 mm de ancho en cada junta



*Detalle de una junta de control en el enlucido*



*Cubrición de una junta de dilatación*



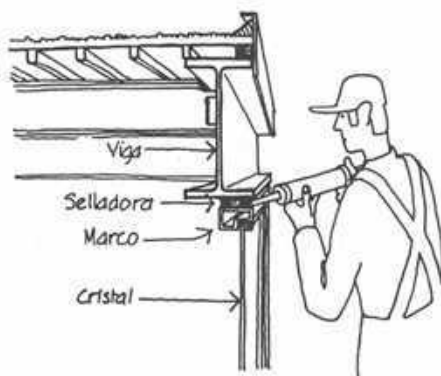


y soportadas por columnas o paredes independientes que reposan sobre cimientos separados de cada lado de la junta. Las paredes y los techos están divididos del mismo modo en la junta. Para cerrar las brechas resultantes, se encajan unas juntas metálicas móviles, de diseño especial, en los suelos, paredes y techos. En el tejado, la cubierta de cada lado de la junta se acaba y se instala una membrana flexible, hinchada, de caucho, metal o plástico para mantener el agua fuera. La red de conductos que se extiende a través de la junta tiene que tener instalado un fuelle flexible para absorber cualquier movimiento, y la cañería tiene que estar provista de codos flexibles. Una vez que se han tomado estas precauciones, una parte del edificio puede colocarse sin afectar a la integridad del conjunto, y los tejados y las paredes son libres de dilatarse y encogerse en respuesta a las condiciones climatológicas, sin provocar perjuicios.

En situaciones en que el asentamiento progresivo de los cimientos o la deformación estructural bajo un peso muerto creciente pueden plantear problemas durante el proceso de construcción, una práctica corriente es la de cargar inicialmente la cimentación o la estructura con un peso muerto (sacos de arena, barras de hierro, ladrillos) igual al peso del edificio que soportará finalmente, y quitar el peso muerto de acuerdo con el aumento de peso de los materiales de construcción que se colocan permanentemente a medida que progresa la construcción, manteniendo así un peso constante a lo largo de toda la construcción. Muchas veces se instalará un elemento estructural con una distorsión intencionada que desaparecerá sólo cuando se hayan llevado a cabo las distintas fases de la construcción. Éste es el caso de una viga o una armazón arqueada, que se volverá plana sólo bajo su carga permanente. Por supuesto, hay que calcular cuidadosamente y con antelación la magnitud del arco requerida. En la construcción de estructuras colgantes de todo tipo, son corrientes las distorsiones aparentes durante las etapas intermedias de la construcción, cuando los cables no están cargados uniformemente; desaparecen cuando se colocan los últimos elementos de la estructura, si todo va conforme con el proyecto.

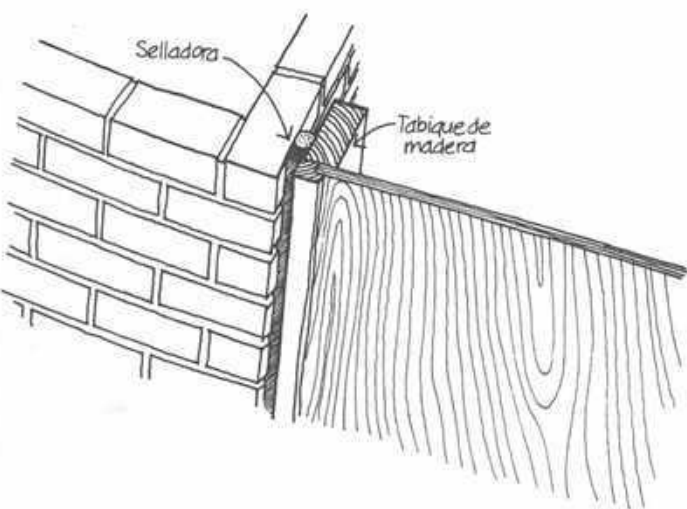
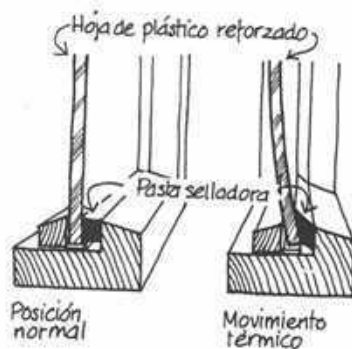
A veces, los movimientos estructurales no plantean ningún problema de seguridad o de duración, pero provocan sentimientos de inseguridad en los habitantes de un edificio. Muchas estructuras de suelo perfectamente adecuadas parecen moverse bajo el pie. Muchos pequeños edificios de estructura segura, con viento fuerte, oscilan o se inclinan lo suficiente para provocar una incomodidad cercana al mareo. El único remedio en cualquiera de estas situaciones es reforzar la estructura a pesar del hecho demostrable de que no sea «necesario» en el sentido físico.

Cuando se instalan las paredes y ventanas contra las estructuras del tejado y los suelos, hay que tener cuidado en pensar en la futura carga viva y las deformaciones por deslizamiento. En estructuras neumáticas y colgantes, donde las deformaciones son considerables, hay que instalar tiras de tela flexible de 300 mm o más de

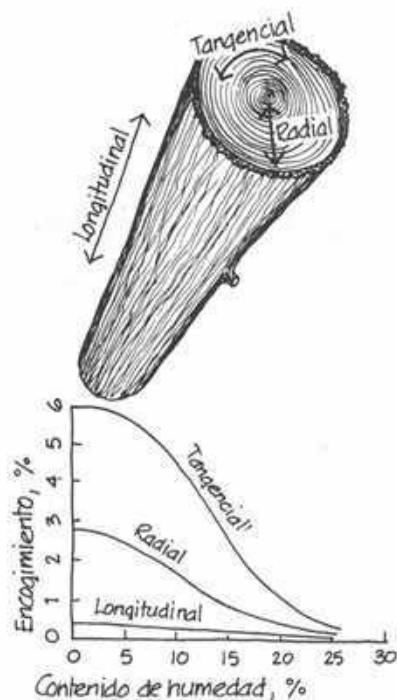


altura entre el tejado y cualquier pared rígida de debajo. En estructuras de acero, hormigón o madera, los materiales quebradizos como el cristal serían quebrantados por las deformaciones estructurales si se los colocara directamente bajo el lado inferior de una viga o una losa. Normalmente, una ventana de cristal está enmarcada independientemente de la viga de encima. Le deja un vacío un poco más grande que la supuesta deformación de la viga entre la parte superior del marco de la ventana y la parte inferior de la viga, y se le coloca una junta movable o se la llena con un compuesto de sello hermético elástico. Cuando se coloca un tabique debajo de una viga, son necesarias precauciones similares para asegurarse de que esta parte de la carga de la viga no sea accidentalmente soportada por el tabique y, por consiguiente, por la estructura que soporta el tabique por debajo.

Hay que diseñar cuidadosamente las ventanas de todo tipo teniendo en cuenta las diferencias de movimiento entre el quebradizo cristal y los materiales en que está enmarcado. Una hoja de cristal debe encajar con soltura en la abertura de su marco y todo su perímetro debe reposar en un cojinete suave de masilla o en un aro de empaque de caucho sintético suave. Las grandes hojas de vidrio deben reposar sobre pequeños bloques de plástico en la base, a fin de impedir que aprieten demasiado el enmasillado y vengán a reposar directamente en el marco. Cuando se emplean hojas de vidrio plastificado en vez de vidrio, su movimiento térmico, como notábamos anteriormente, es extremo y comprende un arqueo pronunciado o una acción de formación de hoyos tanto como un movimiento lineal. Sólo se pueden emplear enmasillados de caucho sintético con excelentes características de adhesión y de elasticidad permanente. La hoja de plástico tiene que ajustarse en el marco sin estar apretada en absoluto, para permitir el movimiento rotativo de los bordes durante el arqueo, y hay que instalar un espesor suficiente de masilla a lo largo de la hoja para que sea capaz de absorber con seguridad el esperado movimiento extremo de la hoja.

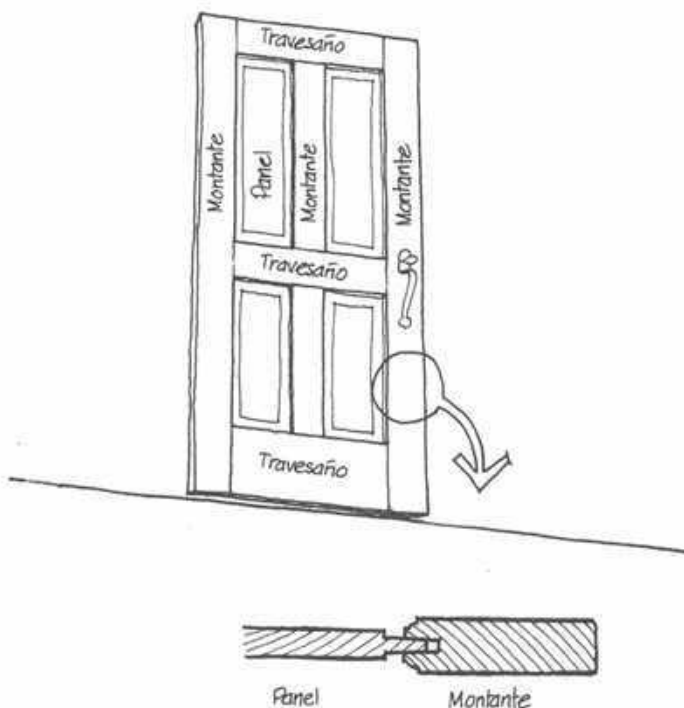






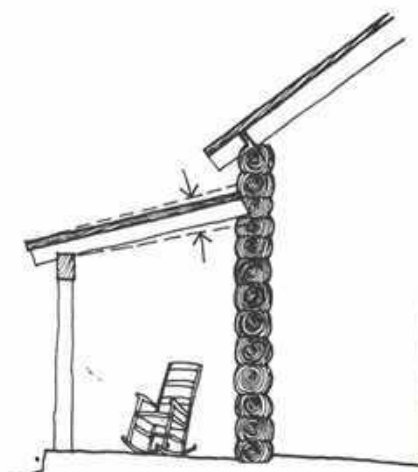
Cuando dos materiales con características de movimiento no similares se junten en una construcción, hay que instalar una junta movable o dejar un espacio entre los materiales y llenarlo con una junta hermética elástica. Esto es aconsejable, por ejemplo, cuando un tabique de madera topa con una pared o una chimenea de mampostería, o cuando un marco de ventana de madera se junta con una columna de hormigón.

De todos los materiales susceptibles de sufrir un movimiento causado por la humedad, la madera es el ejemplo extremo. La situación está agravada por la gran diferencia entre el movimiento paralelo a la veta y el perpendicular a la misma, que es bastante considerable. El problema se puede reducir con el uso de una madera cuyo contenido medio en humedad haya sido, con una cuidadosa aclimatación, llevado a un equilibrio con la humedad del aire, y protegiendo la construcción ya acabada de la humedad o el calor seco extremos. Hay que tener cuidado en minimizar los efectos sobrantes del movimiento de las vetas transversales. El tradicional panel de madera de una puerta es un buen ejemplo de una forma que evoluciona directamente fuera de este requisito, con los montantes y travesaños contruidos con las piezas en el sentido de la veta a fin de dar una estabilidad total máxima y con los paneles unidos sin que encajen del todo en los montantes y travesaños a fin de permitir el movimiento interno. Las puertas y ventanas de madera tendrían que encajar con mucha flojeza en sus marcos. A fin de parar el escape de aire y sonido por las rendijas y permitir el movimiento debido a la humedad, hay que aplicar un burlete en las juntas existentes entre el marco y el elemento móvil.



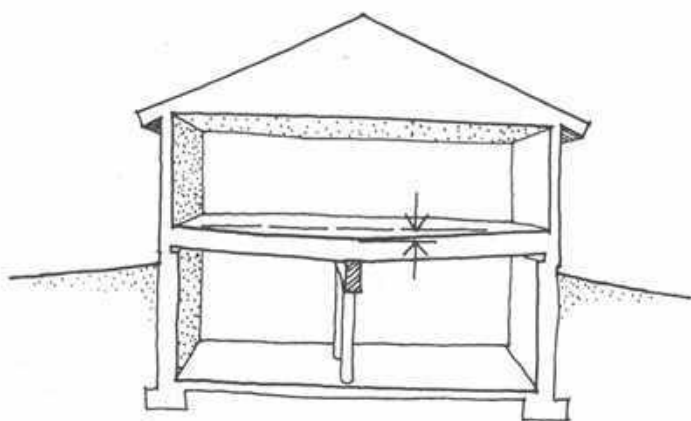
Cuando se utiliza la madera para la estructura de un edificio, habría que emplear vetas transversales lo más pequeñas posible. Donde se emplean las vetas transversales hay que equilibrar simétricamente su dimensión en toda la estructura para evitar la inclinación de suelos y tejados sometidos a cambios de condiciones de humedad. Un tejado plano de pórtico fijado a la fachada de una cabaña hecha de madera, soportado fuera por postes, se inclinará hacia atrás y adelante como consecuencia de los cambios estacionales de humedad. Una vivienda cuyo suelo esté soportado por una viga de madera en su centro y una cimentación de hormigón en su perímetro, tendrá problemas similares, no tan extremos como los del pórtico de la cabaña de madera, pero todavía bastante perceptibles. En esta situación es muy preferible una viga de acero u hormigón.

El hormigón armado se desarrolló en el siglo XIX, procedente de un deseo natural de combinar la economía y la fuerza de compresión del hormigón con la alta fuerza de tensión del acero. Es bastante fortuito que esta boda de conveniencia haya sido un éxito, porque, si los coeficientes de la expansión térmica de ambos materiales no hubieran sido similares, las altas fuerzas internas hubieran, alternativamente, agrietado el hormigón y estirado el acero. También, de no haber sido la composición alcalina del hormigón ideal para impedir la corrosión del acero, la formación expansiva de oxidación en las superficies de las barras de refuerzo hubieran quebrado el hormigón. ¿Cuál podría ser el papel del hormigón en la construcción de hoy si el aluminio, que posee a la vez el coeficiente de dilatación del acero y una violenta aversión química por el hormigón, fuera nuestro único metal fuerte?



## Lecturas posteriores

Charles G. Ramsey y Harold R. Sleeper, *Architectural Graphic Standards*, John Wiley and sons, Nueva York, 1970, pp. 313 a 316.



Cedimiento del suelo provocado por el encogimiento de la viga de madera

### Coefficientes de expansión térmica

|          | m/m/°C   |
|----------|----------|
| Acero    | 0.000012 |
| Hormigón | 0.000012 |
| Aluminio | 0.000023 |



## 19. Control del fuego

El fuego incontrolado es un suceso mortal y destructor únicamente en la civilización humana. Un incendio de bosque es bastante peligroso, pero cuando el fuego se declara en un edificio el peligro se multiplica simultáneamente de varios modos:

Un edificio proporciona una concentración de combustible a un fuego accidental. Un edificio de madera es ya de por sí una fuente de combustible, pero incluso un edificio de hormigón o acero suele estar cargado con muebles, papel, alfombras y materiales de construcción combustibles, tales como un revestimiento de paneles de madera y materiales aislantes de plástico. El petróleo, el gas, la gasolina, la pintura, el caucho, las sustancias químicas y otros materiales altamente inflamables están presentes a menudo en un edificio.

Un edificio proporciona muchas fuentes potenciales de ignición para incendios accidentales. Calderas defectuosas, chimeneas que arrojen chispas, conductos de chimeneas con escapes, hornos mal cuidados, conexiones eléctricas flojas, sobrecargas en los hilos eléctricos y cerillas y cigarrillos descuidadamente manipulados son sólo unos pocos de los medios por los cuales se puede incendiar un edificio o su contenido.

Un edificio, como un horno, contiene un fuego y ayuda a su crecimiento concentrando su calor y sus gases de combustión inflamables. Cuando al fuego se le abren unos pasajes verticales a través del edificio, fuertes corrientes convectivas atizan las llamas y nuevas fuentes de combustible se ofrecen al fuego en las extensiones superiores de la estructura.

Un edificio contiene densas concentraciones de gente, las somete al calor y a los gases generados por el fuego y limita sus posibilidades de escape. Si un fuego escapa al control en un descampado, es probable que hayan pocas personas presentes y hay una multitud de direcciones por las que escapar. Si un incendio de la misma amplitud se declara en una escuela, un teatro, un almacén o un edificio de oficinas, puede haber miles de personas al alcance del fuego y sólo se pueden utilizar unas pocas vías de escape.



Un edificio también sirve de barrera a los bomberos. Así como un incendio en un descampado se puede combatir por todos los lados, incluyendo por el aire, un incendio en un edificio alto puede ser a catorce pisos por encima de la calle, sólo asequible a través de las escaleras. Los edificios bajos y anchos pueden dejar un incendio interior al alcance de las mangueras de los bomberos. Los incendios de edificios exponen a los bomberos al calor excesivo, a gases venenosos, a explosiones, a alturas peligrosas, a paredes que se pueden caer y a suelos y techos a punto de derrumbarse.

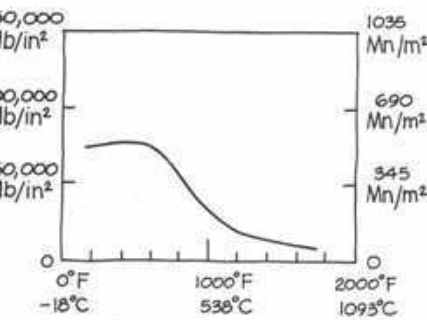
Estas diversas circunstancias del edificio incendiado se combinan para producir unas estadísticas pavorosas. Cada año se pierden doce mil vidas americanas en incendios de edificios y 300 000 personas son heridas, a menudo sería y dolorosamente. Las pérdidas de propiedades debidas a los incendios en Estados Unidos se miden en miles de millones de dólares. El porcentaje de muertes por incendio en Estados Unidos es aproximadamente diez veces más que el de la media europea, lo cual nos lleva a la conclusión de que el diseño de nuestros edificios, por lo que respecta a la seguridad contra incendios, no ha sido de muy alto nivel.

Un fuego empieza cuando una provisión de combustible y otra de oxígeno son llevadas juntas a una temperatura suficientemente alta para iniciar la combustión. A medida que el fuego quema, consume el combustible y el oxígeno, emitiendo varios gases, partículas de materia y grandes cantidades de calor. Según el combustible utilizado, los gases de combustión pueden incluir dióxido de carbono, monóxido de carbono, gas de cianuro, sulfato de hidrógeno y dióxido de azufre. Cualquiera de ellos es tóxico si es inhalado en concentraciones suficientes.

La subida de un fuego, incluso en un edificio bien diseñado, es tan rápida que no se pueden dejar pasar más de dos minutos y medio después de la ignición para escapar de la zona del incendio. El fuego puede herir a la gente de diversos modos. Puede quemarla, particularmente en los pulmones y las vías respiratorias, por exposición al aire caliente o en la piel por radiación térmica fuerte. Puede ahogarla con un aire donde se ha agotado el oxígeno o envenenarla con gases de combustión tóxicos. A menudo, el pánico contribuye a aumentar las muertes en los edificios incendiados; la gente puede tomar decisiones irracionales respecto a su seguridad personal (como volver corriendo a un edificio en llamas para salvar efectos personales) y muchas personas se pueden herir unas a otras empujando, atropellando o pisando cuando se precipitan para escapar. La causa predominante de las muertes en edificios incendiados es la asfixia o envenenamiento por el monóxido de carbono, que ha sorprendido a la víctima después de que no haya conseguido encontrar un medio de escapar a causa de las densas acumulaciones de humo.

En el diseño antiincendio de los edificios, nuestra primera meta es reducir el riesgo de muerte o herida humanas hasta el nivel más bajo posible. Simultáneamente, esperamos reducir los perjuicios del fuego sobre el edifi-





Fuerza de tensión media del acero estructural  
distintas temperaturas

cio y su contenido e impedir la propagación del fuego a los edificios vecinos. Nos gustaría, por supuesto, eliminar todo riesgo de incendio, pero, contrariamente al mito popular, nunca puede existir un edificio totalmente a prueba del fuego. Es obvio que el acero no se quema, pero pierde gran parte de su fuerza estructural y se dobla o desploma a temperaturas muy por debajo de su propio punto de derretimiento y de las frecuentemente alcanzadas por incendios de edificios corrientes y soportadas por ellos. El hormigón es más resistente al fuego que el acero, pero su estructura cristalina fundamental sufre una desintegración progresiva cuando está expuesta al fuego, y, si la duración del incendio es suficientemente larga, son de temer serios problemas y perjuicios estructurales. El ladrillo y la teja, ellos mismos productores de un intenso calor en el horno, no son debilitados por el fuego, pero sus juntas de argamasa están sujetas a la desintegración, debilitando así toda la construcción de albañilería. Así pues, nuestros edificios no pueden hacerse perfectamente resistentes al fuego; sin embargo, hemos desarrollado un arsenal de armas bastante efectivas, y que mejoran cada vez más rápidamente, a fin de proteger las vidas y los bienes contra los incendios en los edificios.

## Impedir que se declare el fuego

Un primer paso natural en la protección contra incendios es impedir que éstos se declaren. Los códigos de construcción y las ordenanzas de zonas regulan la combustibilidad de los materiales con los cuales se pueden construir los edificios en las diversas áreas de una ciudad, tanto como las condiciones bajo las cuales las sustancias inflamables o explosivas se pueden almacenar dentro o cerca de los edificios. El mantenimiento del propio edificio asegura que no se acumule la basura en ningún sitio, y los bomberos y los aseguradores contra incendios (los aseguradores del edificio) inspeccionan periódicamente el edificio para mirar que ninguna concentración peligrosa de materia combustible se haya acumulado dentro. Por estos medios —códigos, ordenanzas de zona, mantenimiento e inspección— se controlan fuentes potenciales de ignición. Los aparatos de calefacción, las chimeneas, los sistemas eléctricos, los aparatos eléctricos y los procesos industriales peligrosos están controlados de manera especialmente estricta. Fumar tiene que ser legalmente prohibido en muchos sitios, tales como estaciones de gasolina, algunos tipos de instalaciones industriales y los teatros.

Los relámpagos pueden dañar e incendiar los edificios altos y los situados en emplazamientos expuestos. Un rayo es la liberación instantánea de un potencial eléctrico muy alto que existe entre una nube de lluvia y la tierra. Una vara de metal puntiaguda directamente conectada a la tierra a través de fuertes conductores de electricidad proporciona a los edificios una protección antirrayos. A través del escape de una carga por las puntas, las tomas



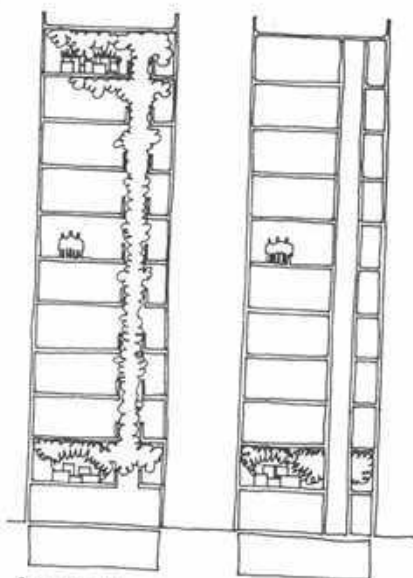
pueden neutralizar siempre las cargas eléctricas de las nubes antes de que estalle el rayo. Si, a pesar de todo, éste toca el edificio, las varas y los conductores ofrecen una vía de paso a la tierra de resistencia considerablemente menor que el edificio mismo y, por consiguiente, constituyen un alto grado de protección.

## Impedir la propagación del fuego

Se procede a la *compartimentación* de un edificio a fin de impedir la propagación del fuego, el humo y el calor más allá de un área limitada del edificio, cuando se declara un incendio. Incluso a la escala de una casa, entre un garaje añadido (donde los escapes de gasolina dan lugar a un riesgo potencial de incendio) y la vivienda se suelen requerir una pared de yeso resistente al fuego y una sólida puerta de madera de cierre automático. En casas colocadas en hilera, hay que instalar un muro resistente al fuego entre las mismas.

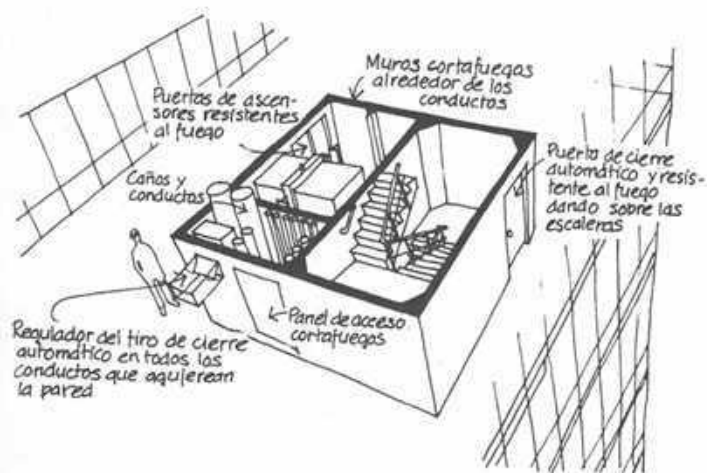
En edificios más grandes, la compartimentación se vuelve sumamente importante, a la vez para proteger al mayor número de personas y para impedir la propagación desenfrenada del fuego por los gases de alta combustión. Las escaleras y los pasillos empleados como vías de escape tienen que estar aislados del resto del edificio por muros cortafuegos (generalmente de albañilería, yeso u hormigón) y por puertas antifuego de cierre automático (usualmente de superficies de acero e interior de mineral incombustible). Los conductos verticales de todo tipo, sean escaleras, ascensores, cañerías, hilos eléctricos o tubos, tienen que estar cerrados por muros cortafuegos y puertas antifuego de cierre automático en cada piso, a fin de impedir la convección del fuego y de productos de la combustión a través del edificio.

Los edificios con un gran despliegue horizontal tienen que estar subdivididos en pequeñas superficies por

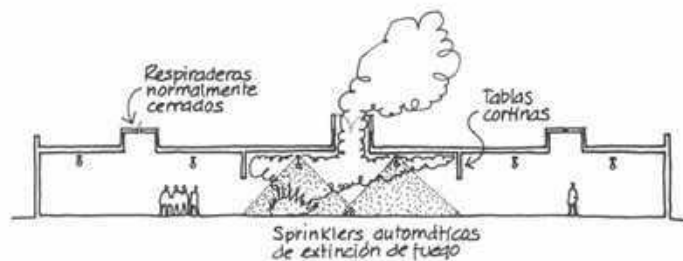


Conducto sin cerrar:  
los gases calientes  
propagan el fuego  
a los pisos superiores

Conducto cerrado:  
el fuego está  
contenido



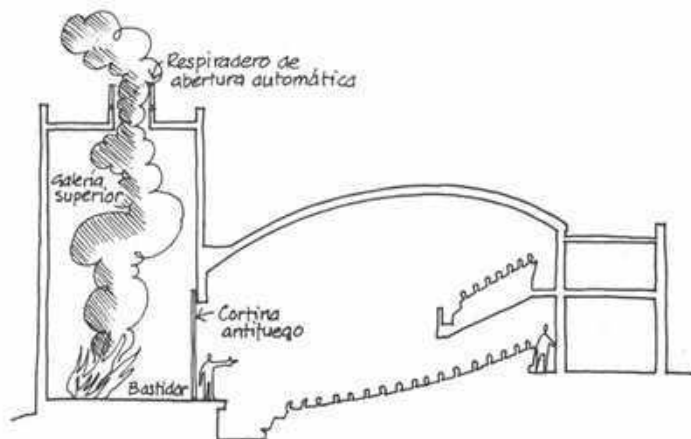


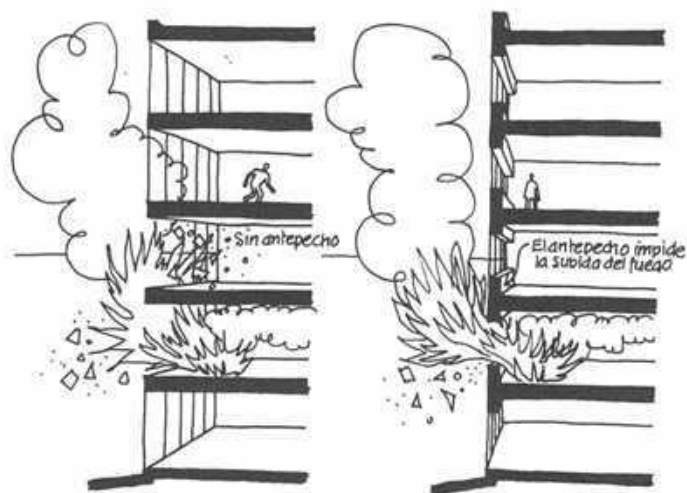


medio de paredes y puertas antifuego. En grandes fábricas o almacenes de una sola planta, donde esto no es factible, hay que colgar del techo unas *cortinas antifuego*, incombustibles, que atrapen y contengan los gases calientes ascendentes procedentes de un incendio; y en cada compartimento así formado hay que instalar respiraderos de abertura automática, en el tejado, para dejar escapar los gases antes de que puedan propagar el fuego. Las puertas de los respiraderos de los tejados se mantienen cerradas contra unos muelles gracias a un *anillo fundible* hecho de un metal con un punto de derretimiento bajo que suelta los muelles para abrir la puerta en caso de subida de calor.

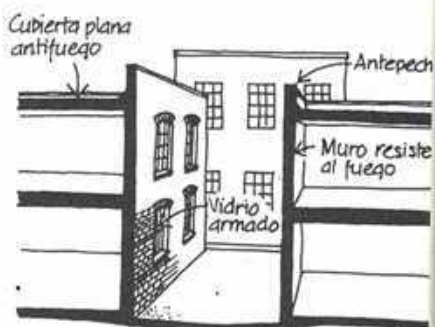
En los teatros, en los cuales el foro está siempre lleno de accesorios inflamables e hilos eléctricos provisionales, se tiene que proteger la sala con una cortina antifuego enrollada encima del proscenio. Si se declara un incendio, la cortina cae a fin de separar herméticamente el escenario de la sala. Un gran respiradero de abertura automática en el tejado, a la altura de los sotabancos, quita el calor y el humo del área del foro.

Las paredes antifuego también son necesarias en el exterior de muchos edificios. El tipo de material autorizado en estas paredes y la extensión y el tratamiento permitidos de ventanas y puertas son función de la proximidad de cada pared con la pared de los edificios vecinos. Si dos edificios están dentro de cierta distancia mínima,

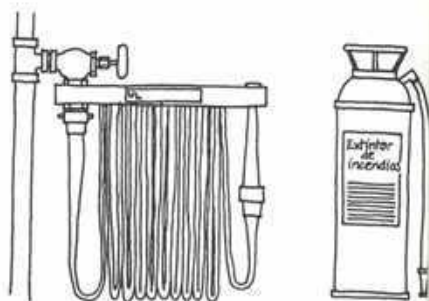




Propagación del fuego sobre la superficie de un edificio

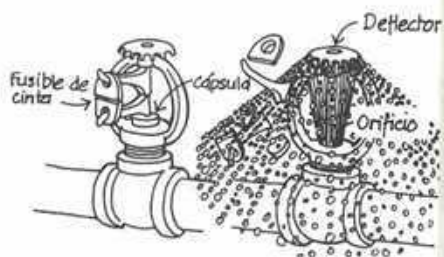


cada uno debe poseer un *parapeto*, una pared antifuego que prolongue cierta distancia de pared por encima del tejado a fin de impedir que el fuego salte de un tejado a otro. Las cualidades antifuego de los materiales de los tejados también están reguladas por la ley en las áreas urbanas, a fin de prevenir la fácil ignición de un tejado por la proyección de fragmentos incendiados por un fuego en algún edificio adyacente. En ventanas situadas enfrente de otra estructura cercana se requiere un cristal alambrado que aguante las llamas durante un tiempo considerable. En edificios de varios pisos, donde un fuego que prenda en la planta baja se puede propagar a los pisos superiores por la fachada del edificio, la ley especifica unas profundidades mínimas de muros antifuego como protección.

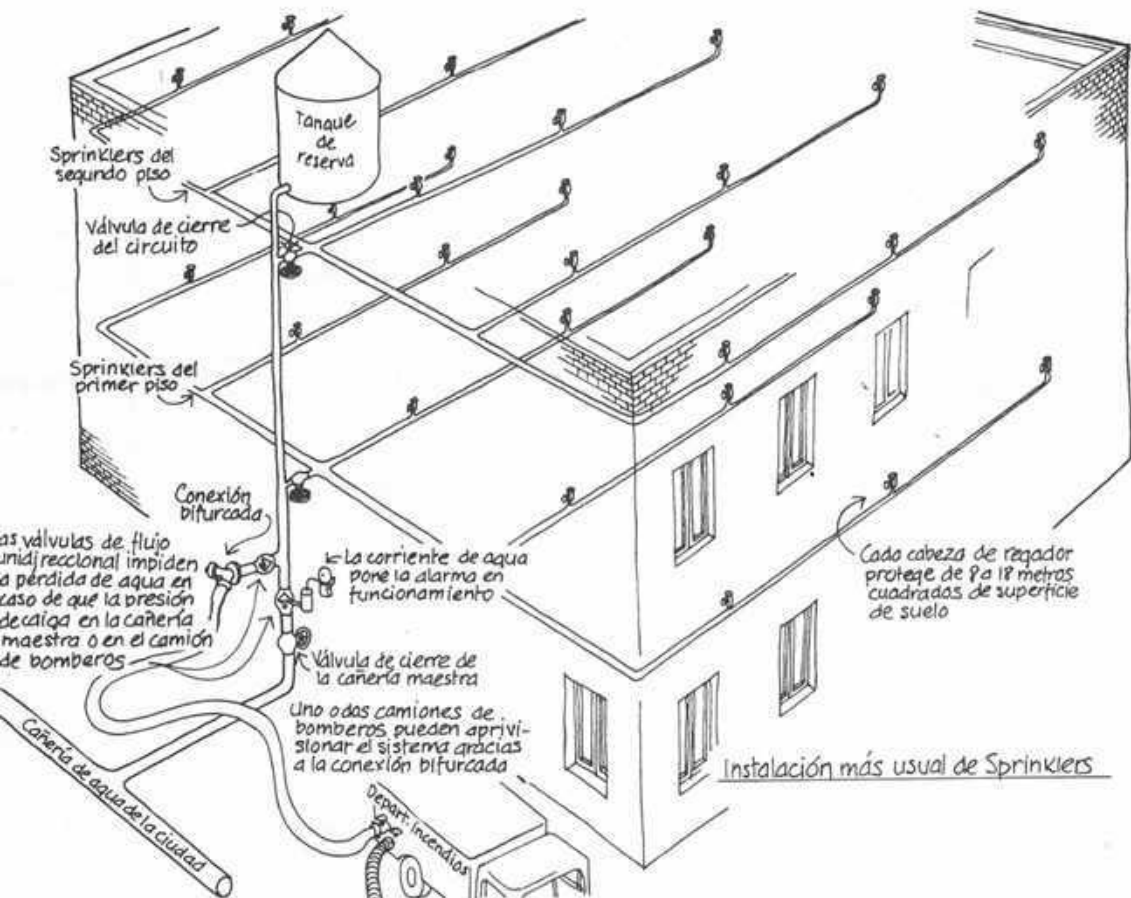


## Extinción de fuegos incipientes

La extinción rápida de un fuego pequeño antes de que se desarrolle es también una manera eficaz de impedir la propagación del fuego. Algunos aparatos de «primera ayuda» tales como los extintores portátiles y rollos de manguera fijados que los habitantes del edificio pueden emplear, sirven para acabar con muchos pequeños fuegos de edificios antes de que se puedan extender. La ley requiere el aprovisionamiento y la identificación clara de estos aparatos. Más fiables y eficaces son los sistemas automáticos de riego, en los cuales cada cabeza de regador es controlada por un anillo o un tapón de metal fundible que se derrite a una temperatura de 65°C aproximadamente. Con la pulverización de agua, que resulta tan eficaz para apagar un fuego, rara vez tienen que descargarse más de una o dos cabezas regadoras antes de que el fuego sea puesto fuera de combate. Los sistemas de







regadores son caros de instalar, pero el gasto inicial está siempre compensado por los ahorros que proporcionan al propietario. Los códigos de construcción hacen generalmente varias concesiones importantes a los edificios con instalaciones de regadores. Se permiten mayores distancias entre las salidas; y esto puede tener como efecto la supresión de una o más escaleras en un gran edificio. Se permiten áreas de suelo más extensas entre las separaciones de fuego; y esto puede dar como resultado la eliminación de algunas paredes y puertas antifuego. Se permiten áreas totales de edificio más extensas, y alturas totales mayores. En algunos elementos estructurales del edificio se puede permitir un grado menor de protección contra el fuego. Se pueden incorporar al edificio mayores cantidades de materiales de construcción combustible.

Además de estas concesiones legales, las tarifas de los seguros contra incendios son ampliamente reducidas para los edificios con instalación de regadores. Para algunos tipos de edificio con grandes riesgos, muchos aseguradores contra incendios se negarán a asegurar un edificio que no tenga una instalación de regadores.

Para el edificio, poco frecuente, en que el agua del regador causaría daños irreparables para el conteni-

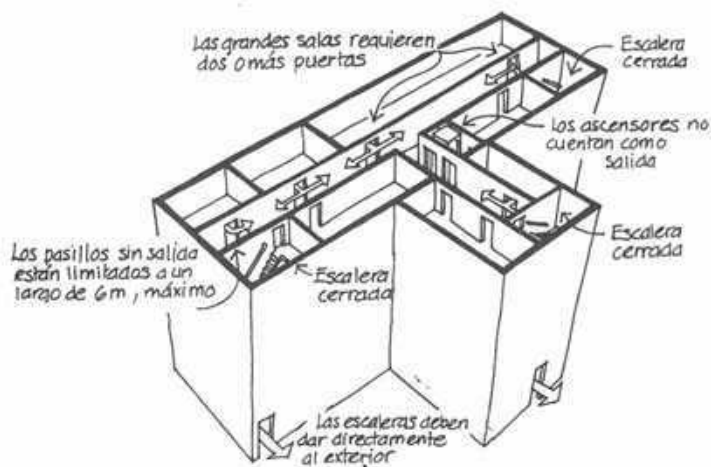
do del mismo —biblioteca, museo, galería de arte— existen sistemas análogos, pero mucho más caros, que descargan gases o polvos inertes sobre las llamas. Los sistemas que no son de agua también son útiles en ciertas áreas como las cocinas industriales, donde son susceptibles de declararse fuegos de grasa u otros tipos de fuegos no domables por el agua.

## Protección de vidas humanas

La función más importante que exigimos a un edificio en caso de incendio es la de dejar a las personas ponerse rápidamente a salvo. Un sistema de alarma las tiene que avisar inmediatamente de la presencia del fuego. Tienen que estar instaladas y etiquetadas en el edificio, a intervalos frecuentes, unas cajas de alarma de manejo manual. Unos sistemas de alarma automáticos, que detectan el humo, el calor, la llama o los productos de la ionización o la combustión, son ahora requeridos legalmente en las viviendas, en muchos lugares, a fin de combatir el alto porcentaje de muertes ocurridas durante el sueño de las personas. En algunos casos, los sistemas de alarma, aparte de poner en marcha aparatos de aviso dentro de un edificio, están directamente conectados a los cuadros de distribución de los bomberos, a fin de evitar el retraso en la petición de ayuda.

Un escape a pie, rápido y bien protegido hacia fuera es la mejor estrategia de seguridad para la gente capacitada físicamente. Para la gente de edad, o minusválida, o situada en los pisos superiores de un edificio alto, muchas veces son necesarias otras estrategias que incluyan ascensores bien protegidos más la existencia de salidas de emergencia seguras y emplazamientos de refugio, dentro del edificio, eficazmente protegidos del fuego. En cualquier edificio, una persona que salga de una habitación debe tener dos vías de escape utilizables en dos direcciones distintas, de manera que, si una de las dos vías está interrumpida por el fuego, la otra todavía pueda utilizarse. Se ha especificado una distancia máxima autorizada desde la puerta de cualquier habitación hasta la vía de escape protegida contra el fuego más lejana; generalmente es de 40 a 60 m. Hay que instalar señales de salida luminosas para la identificación de las vías, y estas señales, junto con luces de emergencia suficientes para alumbrar los pasillos y las escaleras, tienen que ser conectadas a un sistema de batería que les dé la corriente automáticamente si el sistema regular de electricidad del edificio falla. Los pasillos y las escaleras de cada vía de escape deben estar protegidos del fuego y el humo por tabiques antifuego y puertas de cierre automático (la vieja y familiar vía de escape exterior de hierro antifuego ya no es legal en los nuevos edificios). Las puertas que existan en una vía de escape no se deben cerrar contra las personas de dentro del edificio, sino que todas deben abrirse en la dirección del trayecto de dentro hacia fuera, a fin de impe-



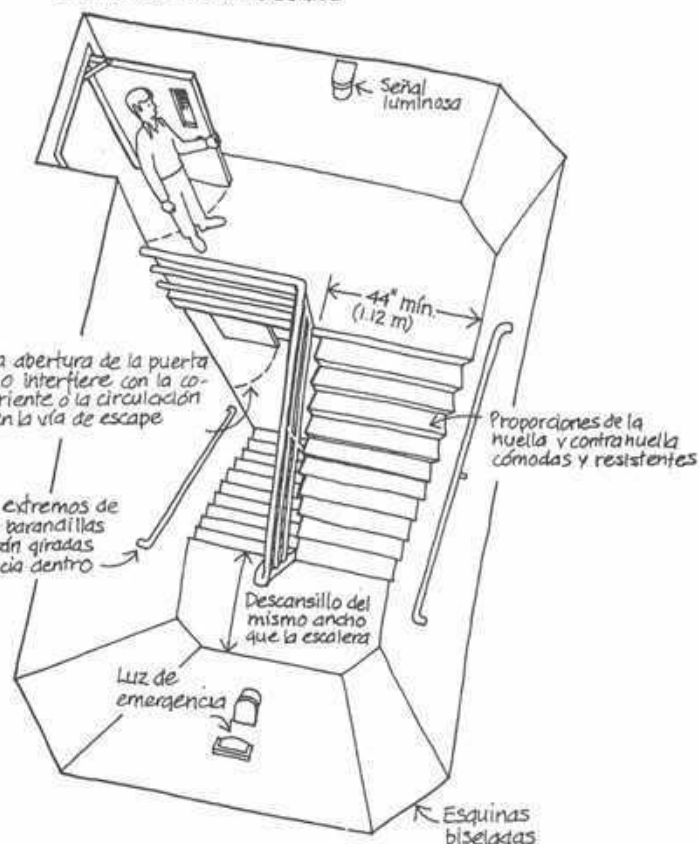


dir la posible interferencia en el flujo de personas que escapan. Las puertas de salida, en muchos edificios previstos para grandes cantidades de gente, en particular las escuelas, los teatros y los edificios polideportivos, tienen que estar dotadas de *hierros antipánico* que abren automáticamente las puertas bajo una presión desde dentro. Las puertas giratorias están hechas para girar hacia fuera y proporcionar dos vías de salida ilimitadas si la gente intenta girar la puerta en dos direcciones al mismo tiempo. No se pueden permitir pasillos sin salida en las vías de escape y hay que cortar al sesgo o redondear las esquinas de las cajas de escaleras, según algunos códigos de construcción, a fin de evitar que la gente se aplaste en ellas por el apresuramiento debido al pánico. Las escaleras de salida deben tener unas proporciones cómodas y consistentes a fin de evitar los tropezones y no deben tener un número excesivo de escalones entre los descansillos. Los descansillos no deben ser más estrechos que las escaleras que conducen a ellos. Las barandillas no deben tener extremidades sobresalientes que puedan agarrar la ropa. No hay que amontonar nada en los pasillos y escaleras de salida. Más aún, el ancho de los pasillos, las puertas y las escaleras de salida debe ser calculado para dejar paso a la población máxima supuesta del edificio dentro de un tiempo máximo especificado; una base para este cálculo es la de que, por un ancho total de 3,60 m pasarán cuarenta personas por minuto.

Estas líneas generales de diseño para vías de salida son muy comprensibles. Si a veces parecen exageradas, sólo hay que recordar que cada una ha sido diseñada para impedir la repetición de tragedias pasadas; o se puede considerar que, a pesar de su severidad, el escape conveniente de edificios en llamas sigue siendo un problema.

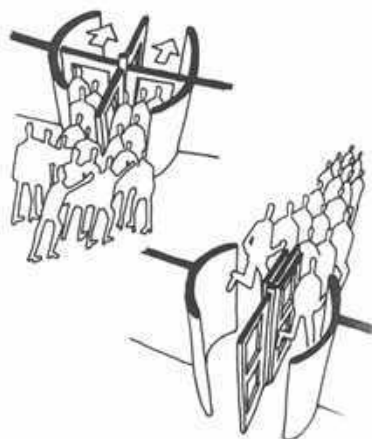


Las puertas se abren,  
en dirección a las vías de salida

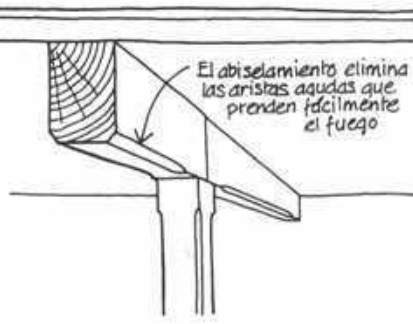


## Protección de la estructura del edificio

La protección de la integridad estructural de un edificio, frente al fuego es crucial en lo que atañe a la conservación del mismo, pero es aún más importante en lo que atañe a la protección de sus ocupantes, de los bomberos y de los edificios vecinos. Cuanto más alto es el edificio, más esencial será que ni éste ni ninguno de sus componentes pueda derrumbarse. A pesar de que no poseemos ningún material a prueba de fuego para lograr esto, sí tenemos materiales suficientemente resistentes al fuego para que ayuden a proteger las estructuras del edificio. Los primeros de todos son los productos de barro cocido —el ladrillo y la teja—, químicamente insensibles al fuego; los amiantos y otras fibras minerales son también insensibles al fuego, pero algunos son difíciles de colocar sin la inhalación excesiva de fibras peligrosas para los trabajadores; y el hormigón y el yeso, compuestos ambos en gran parte de cristales hidratados que absorben cantidades muy grandes de calor para evaporar su agua de cristalización durante un incendio, ofrecen así una considerable barrera contra el fuego durante su lenta desin-



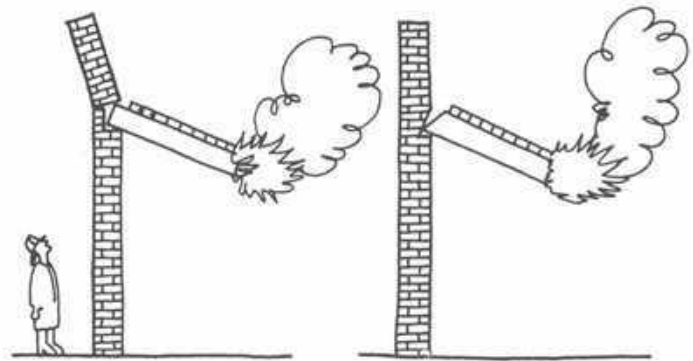




tegración. Sorprende constatar que la madera es moderadamente resistente al fuego si se emplea en piezas de sección ancha y si las esquinas de las vigas y columnas, que se incendian con relativa rapidez cuando son agudas, están *biseladas*. Un desarrollo reciente en la protección estructural contra incendios es el *revestimiento intumescente* utilizable ya como una pintura, ya como un grueso compuesto que se extiende con pala. Expuesto al fuego, el revestimiento se ablanda y suelta burbujas de gas que se extienden para formar una capa aislante sobre el material subyacente. El revestimiento, lleno de burbujas, se carboniza, pero su composición química es tal que la carbonización contra el calor es estable.

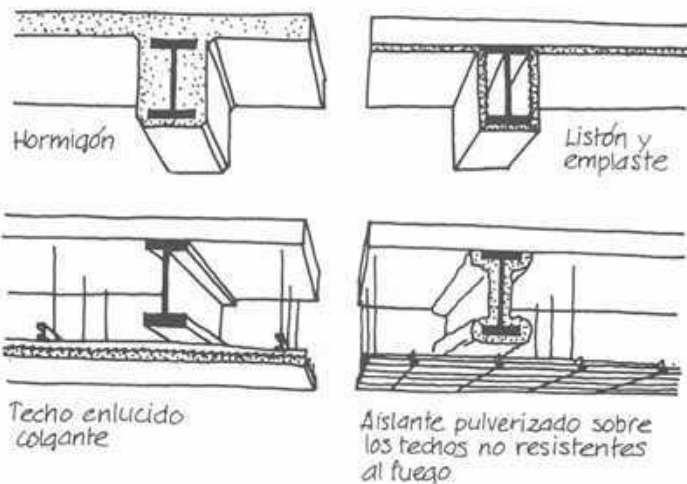
Con la utilización de cualquiera de estos materiales, la idea es impedir el derrumbamiento estructural de un edificio mientras un incendio sigue su curso normalmente o, al menos, retrasar el derrumbamiento en los edificios bajos hasta que los habitantes se hayan puesto a salvo y los bomberos tengan una oportunidad razonable de salvar el edificio. Las paredes y los techos de yeso o de carbón-yeso dan a las viviendas de madera apenas media hora de protección. Los edificios comerciales e industriales de una sola planta pueden ser contruidos de acero no protegido, y en este caso están clasificados de «incombustibles». En caso de fuerte incendio, su derrumbamiento sería rápido, pero es muy improbable que éste suceda antes de que sus ocupantes hayan podido salir por las fáciles vías de escape. La construcción de maderos biselados «de lenta combustión» de, al menos, 200 mm como dimensión mínima, durarán muchísimo más tiempo en un incendio y tiene unos seguros contra incendios más baratos que el acero no protegido. Las extremidades de las vigas y las sopandas de madera deben estar *cortadas contra el fuego* enseguida que penetren en paredes de mampostería, a fin de evitar el tambaleo de la pared en caso de que las vigas se quemen a través de ella.

Los edificios más grandes están contruidos ya de hormigón armado, ya de acero protegido. Las barras de refuerzo de acero en el hormigón armado tienen que estar



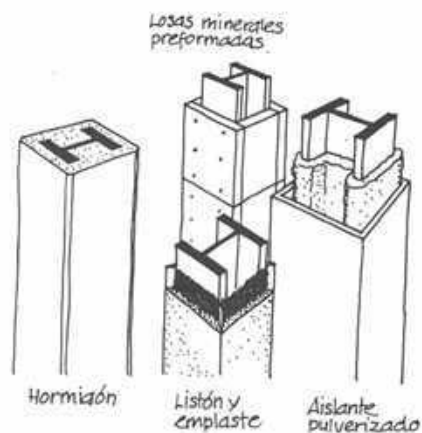
Viga de corte cuadrado

Viga de corte antifuego



### Protección antifuego de las vigas de acero

escondidas a una distancia de 30 a 40 mm dentro de la masa de hormigón para ser protegidas por su capacidad térmica y sus propiedades naturales de resistencia al fuego. Históricamente, la protección de las vigas y las columnas de acero se hizo primero envolviéndolas en una sólida albañilería de ladrillos y más tarde cubriéndolas totalmente de hormigón vertido sobre ellas. Estas soluciones, aunque eficaces, eran relativamente caras y añadían bastante a la carga estructural y al coste estructural de un edificio. Las alternativas de hoy incluyen el enlucido de los elementos, la pulverización de aislantes minerales por conglomerados cementosos sobre ellas y fijando sobre ellas un aislante mineral prefabricado. Las vigas y columnas del exterior de un edificio no suelen estar expuestas a temperaturas tan altas, durante un incendio, como las de dentro del edificio. Los arquitectos pueden determinar, por análisis matemático, la temperatura máxima que alcanzará un elemento de metal determinado durante un incendio, y si la temperatura resulta lo suficientemente baja, no habrá necesidad de añadir ninguna protección antifuego.



### Protección antifuego de las columnas de acero

### **Ayuda a los bomberos**

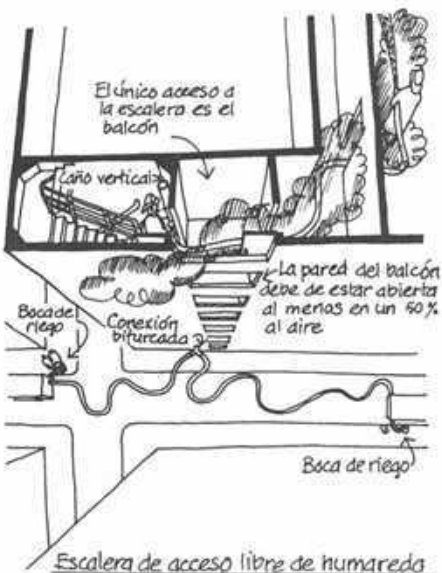
Es vital que un edificio asista y proteja a los bomberos durante un incendio. Antes de la construcción y durante ella, el arquitecto tiene que entregar al servicio de bomberos un informe concerniente a la configuración y construcción del edificio, su contenido y usos supuestos, y sus facilidades de asistencia a los bomberos. Los complejos de edificios deben ser planeados de manera que los camiones de los bomberos puedan dirigirse hacia cualquier edificio del complejo. Las bocas de riego exteriores deben ser situadas dentro del fácil alcance de las man-





Error de diseño: los camiones de bomberos no alcanzan un edificio aislado en medio de un complejo de edificios

Error de diseño: las escaleras de los bomberos no pueden extenderse para entrar o para salvar a cualquier persona



gueras de varios edificios. Las escaleras de los bomberos deben poder llegar a las ventanas de los pisos bajos. En muchas localidades, los edificios más altos deben tener una escalera de acceso antihumareda. Esta escalera puede estar conectada a los espacios principales del edificio sólo por balcones al aire libre, o bien ser presurizada automáticamente por un ventilador en caso de incendio. En esta escalera (o en cualquier caja de escalera encerrada, si no se requiere una escalera antihumareda) hay que instalar un caño vertical a fin de conectar las mangueras de incendio a cualquier piso. Para asegurar un aprovisionamiento de agua continuo a través del caño vertical, hay que conectar al caño una *conexión bifurcada* en forma de Y al nivel de la calle. Así se pueden acoplar uno o dos camiones de bomberos a esta conexión para mantener la presión y el volumen si la cañería de agua de la ciudad no puede responder a la demanda durante un incendio.

### Lecturas posteriores

M. David Egan, *Concepts in Building Firesafety*, John Wiley and sons, Nueva York, 1978.

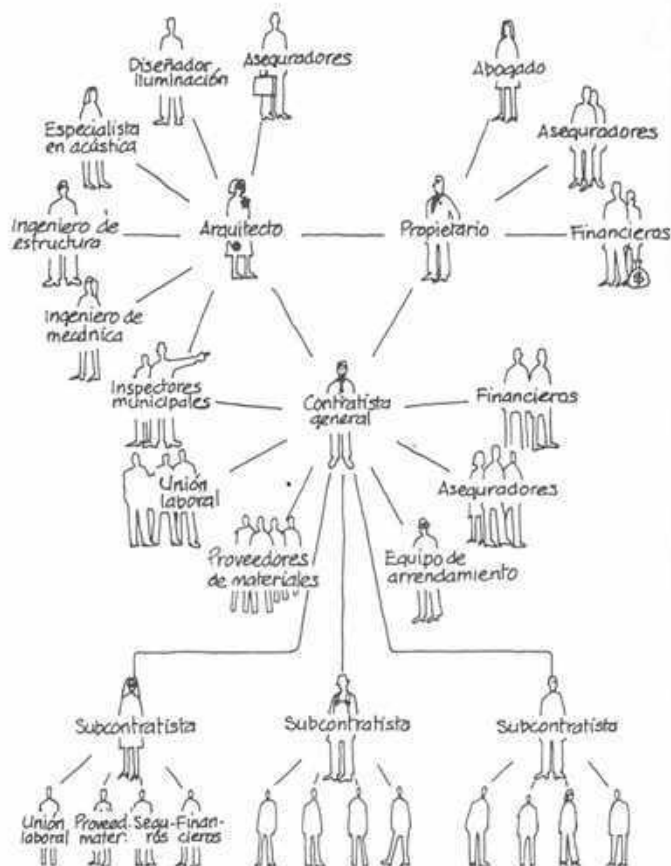
## 20. Construcción de un edificio

Un edificio empieza como un vago concepto de necesidad en la mente de alguien. Si la necesidad es sencilla y la persona hábil y ambiciosa, las etapas necesarias para realizar aquel concepto son sencillas y directas. En algunas sociedades primitivas, un miembro o más de la familia o la tribu trazan en el suelo el plano de un círculo o un rectángulo de tamaño apropiado y juntan materiales recogidos en los parajes —barro, piedra, caña, nieve, troncos o postes— para formar un edificio en el lugar. El diseño y los detalles del edificio requieren poca dedicación porque son tradicionales en la sociedad. El americano suburbano, acostumbrado a hacérselo todo por sí mismo, que necesite una cabaña para sus herramientas o toda una casa, sigue generalmente unas etapas algo más elaboradas. Pasa tiempo desarrollando planos en un papel, o gasta dinero adquiriendo planos ya hechos, a fin de resolver el máximo de problemas funcionales posibles antes de empezar la construcción. Los planos en el papel permiten una estimación exacta de las cantidades de material de construcción necesarias y del trabajo preciso, y facilitan las negociaciones con el inspector de obras local para obtener un permiso de construcción. Una vez todo en orden, se compra y se entrega el material, se preparan las herramientas y se puede empezar la construcción.

### Organización del proyecto más importante

Para los proyectos de edificios más grandes se necesitan arreglos más complicados. Se precisarán gran número de individuos y organizaciones: no simplemente el propietario y el inspector de obras local, sino también un arquitecto, varios especialistas en diseño, en campos como la estructura, las cimentaciones, la calefacción, la cañería, la red eléctrica y la acústica, un contratista general, cierto número de subcontratistas y suministradores de material, y un pequeño ejército de financieros, abogados y aseguradores. Con tantos individuos involucrados, con tanto dinero que pasa de mano en mano, y con los





Organización simplificada para un proyecto de construcción importante

perpetuos riesgos de accidente, incendio, vandalismo, inclemencia climatológica, los problemas laborales, la inflación y la escasez o los retrasos de material, hay que establecer una empresa y acuerdos por escrito entre varios de los individuos a propósito de quién es el responsable de qué, especialmente en el caso de que algo no vaya bien. Como base de estos acuerdos, todos deben ponerse de acuerdo, con precisión, sobre lo que se va a construir y cómo. El «qué» y el «cómo» son los objetivos de los pliegos de condiciones y de las montañas del arquitecto.

Los pliegos de condiciones incluyen un documento escrito que enumera detalladamente el tipo y la calidad de todos los materiales que se emplearán en un edificio, las normas supuestas con los obreros y qué profesiones serán responsables de tal parte de la obra. Las montañas (a veces llamadas los «impresos») determinan el tamaño, el emplazamiento y la configuración de todas las partes del edificio, y los presentan en los términos que cada persona de cada profesión necesita conocer para que el edificio sea construido según su forma prevista. Las especificaciones y las montañas son, a fines prácticos, el medio exclusivo de trasladar las ideas de diseño del propietario

y del arquitecto a un edificio real. Sirven de base sobre la cual se concede el financiamiento de la obra, para varios seguros, para la estimación y las ofertas de precio de la obra, para el contrato y los subcontratos generales de la obra, para los contratos de compra de material y para el permiso legal de construcción. Como tales, deben ser completas, claras, sin ambigüedades y comprensibles. Deben ser redactadas en una lengua inteligible para la gente que suministrará y colocará el material. La estética no tiene importancia en estos esquemas, sino la nitidez y la precisión.

## Problemas de construcción

Un edificio en construcción trae mucha desorganización y dislocación en su vecindaje. Se excava el suelo y se destruye la vegetación. Muchas veces las carreteras y las aceras quedan obstruidas y los tipos de drenaje naturales interrumpidos. A menudo los pesados vehículos de construcción rompen la calzada accidentalmente. A menudo hay ruido, suciedad y humos en torno a la obra. Los instrumentos eléctricos y la maquinaria de construcción presentan riesgos para los dedos y los miembros. Las herramientas y el material pueden caer o ser impulsados por el viento desde altos niveles del edificio. El borde de los pisos, los agujeros en el suelo para las cañerías, los hilos eléctricos, los tubos, las escaleras y los ascensores crean el riesgo de caída accidental. El peligro de incendio accidental aumenta durante la construcción, con las acumulaciones de escombros y las diversas antorchas y estufas de funcionamiento. El edificio parcialmente acabado es una tentación para los ladrones, vándalos y buscadores de aventuras, haciéndolos doblemente vulnerables a los incendios y accidentes. Así pues, el proceso de construcción mismo requiere mucha atención en su diseño a fin de minimizar su peligro y molestias, y elevar al máximo su eficacia y economía.

Durante el proceso de construcción se necesitan servicios temporales: agua, electricidad para los útiles y alumbrado temporal, líneas de teléfono, lavabos y servicio de traslado de los escombros. Los trabajadores de la obra necesitan un aparcamiento o algún otro modo de transporte. El contratista debe proporcionar un sistema de drenaje temporal a fin de conservar las excavaciones sin agua y controlar el drenaje de la superficie. Los camiones que entregan el material necesitan unas vías de reparto. Es necesaria un área para la descarga del material, que sea adyacente a unas áreas secas y seguras donde se puedan almacenar los materiales hasta que se necesiten. Debe haber aparatos para levantar y transportar las cargas de los camiones, amontonar y luego sacar de la obra los materiales, elevar los materiales y los trabajadores hasta los diversos niveles del edificio y transportar los materiales por cada nivel.

En muchos proyectos, el contratista debe exigir cercas y barreras de varios tipos para proteger al público

### PLIEGO DE CONDICIONES

Chez Rover

H. Dogg, propietario

Cimentación: Hormigón, 2500 Kg

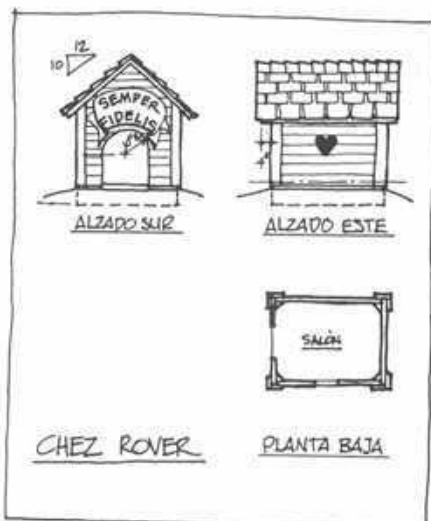
Suelo: Relleno con gravilla y losa de hormigón

Estructura: Tablas de pino, rebajadas y cepilladas

Tejado: Cedro rojo, de 12.5cm para la intemperie

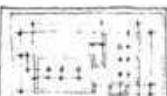
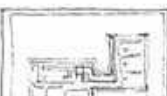
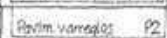
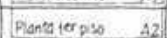
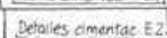
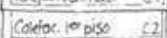
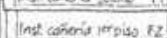
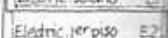
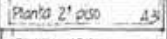
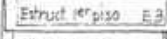
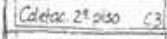
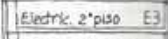
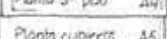
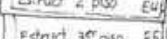
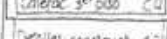
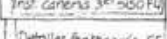
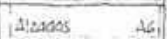
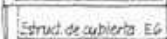
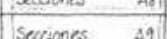
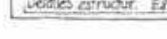
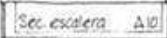
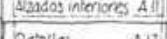
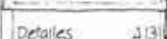
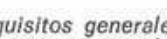
Pintura: Una mano de base de aceite, dos manos exteriores de pintura latex. Entregar las muestras de color al propietario para que elija

Pliego de condiciones sencillo



Dibujo de trabajo sencillo



| P<br>Paisaje                                                                                             | A<br>Arquitectónico                                                                                         | E<br>Estructural                                                                                             | C<br>Calefacción                                                                                            | F<br>Fontanería                                                                                                 | E<br>Electricidad                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>Plano del emplaz. P1 | <br>Planta sótano A1       | <br>Planta cimentac. E1     | <br>Calefac. ventilac. C1  | <br>Inst. cañería sótano F1   | <br>Electric. sótano E1   |
| <br>Pavim. variegados P2 | <br>Planta 1er piso A2     | <br>Detalles cimentac. E2   | <br>Calefac. 1er piso C2   | <br>Inst. cañería 1er piso F2 | <br>Electric. 1er piso E2 |
| <br>Plantaciones P3      | <br>Planta 2º piso A3      | <br>Estruct. 1er piso E3    | <br>Calefac. 2º piso C3    | <br>Inst. cañería 2º piso F3  | <br>Electric. 2º piso E3  |
| <br>Detalles P4          | <br>Planta 3er piso A4     | <br>Estruct. 2º piso E4     | <br>Calefac. 3er piso C4   | <br>Inst. cañería 3er piso F4 | <br>Electric. 3º piso E4  |
|                                                                                                          | <br>Planta cubierta A5     | <br>Estruct. 3er piso E5    | <br>Detalles construct. C5 | <br>Detalles fontanería F5    | <br>Detalles electric. E5 |
|                                                                                                          | <br>Alzados A6             | <br>Estruct. de cubierta E6 |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Alzados A7             | <br>Detalles estructur. E7  |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Secciones A8           | <br>Detalles estructur. E8  |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Secciones A9           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Sec. escalera A10      |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Alzados interiores A11 |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Detalles A12           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Detalles A13           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Detalles A14           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Detalles A15           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <br>Detalles A16           |                                                                                                              |                                                                                                             |                                                                                                                 |                                                                                                              |

Típicas hojas de monte para un edificio de tamaño medio

|                   |                                      |                                       |                                       |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>División 1</b> | <b>Requisitos generales</b>          | <b>División 9</b>                     | <b>Acabados</b>                       |
| Sección 1A        | Servicios temporales                 | Sección 9A                            | Listones y enlucidos                  |
| <b>División 2</b> | <b>Emplazamiento de la obra</b>      | 9B                                    | Trabajo con baldosas                  |
| Sección 2A        | Movimiento de tierras                | 9C                                    | Pintura                               |
| 2B                | Pavimento de asfalto                 | <b>División 10</b>                    | <b>Especialidades</b>                 |
| <b>División 3</b> | <b>Hormigón</b>                      | Sección 10A                           | Acabados de cerrajería                |
| Sección 3A        | Obras con hormigón                   | 10B                                   | Accesorios de baño                    |
| <b>División 4</b> | <b>Mampostería</b>                   | <b>División 11</b>                    | <b>Equipos</b>                        |
| Sección 4A        | Obras con ladrillos                  | Sección 11A                           | Equipo de lavadero                    |
| <b>División 5</b> | <b>Metales y varios</b>              | <b>División 12</b>                    | <b>Amueblamiento</b>                  |
| Sección 5A        | Acero estructural                    | (Ningún tipo de trabajo en esta fase) |                                       |
| <b>División 6</b> | <b>Carpintería</b>                   | <b>División 13</b>                    | <b>Construcciones especiales</b>      |
| Sección 6A        | Carpintería basta                    | Sección 13A                           | Sauna                                 |
| 6B                | Carpintería de acabados              | <b>División 14</b>                    | (Ningún tipo de trabajo en esta fase) |
| <b>División 7</b> | <b>Protección contra la humedad</b>  | <b>División 15</b>                    | <b>Mecánica</b>                       |
| Sección 7A        | Construcción del tejado              | Sección 15A                           | Calefacción y ventilación             |
| 7B                | Trabajo con láminas de metal         | 15B                                   | Fontanería                            |
| 7C                | Hermetización                        | <b>División 16</b>                    | <b>Electricidad</b>                   |
| <b>División 8</b> | <b>Puertas, ventanas y cristales</b> | Sección 16A                           | Trabajos de electricidad              |
| Sección 8A        | Puertas y marcos de metal            |                                       |                                       |
| 8B                | Ventanas metálicas                   |                                       |                                       |
| 8C                | Cristales y colocación de cristales  |                                       |                                       |

Típicos pliegos de condiciones para un edificio de tamaño medio

de los peligros de la obra y proteger ésta de los intrusos. Los árboles tienen que ser cercados contra posibles daños ocasionados por la maquinaria de construcción. Las excavaciones, si se hacen en un suelo inestable o demasiado cerca de las carreteras o los edificios vecinos, deben ser apuntaladas para impedir su derrumbamiento en el suelo circundante. Si la excavación va a ir por debajo de las cimentaciones de los edificios adyacentes, puede que éstos tengan que ser sostenidos temporalmente para evitar que se hundan o desprendan.

A medida que sube el edificio, los trabajadores necesitan andamios y escaleras de mano para acceder a las diversas superficies. Muchos elementos estructurales necesitan un soporte temporal: puntales con codillo para las paredes, una cimbra para el hormigón, cimbras para las bóvedas de albañilería y puntales en diagonal temporales, hechos con tablas o cables, contra las estructuras de madera o acero. Más tarde, todo esto se quitará a medida que la estructura se aguante por sí sola. Por razones de seguridad y comodidad, los contratistas instalan suelos de tablas de madera en los edificios con estructuras de acero hasta que los suelos permanentes estén colocados, unas barandillas temporales en los bordes y las aberturas de los pisos. En muchos emplazamientos del edificio se requieren protecciones temporales contra las inclemencias del tiempo. El contratista y los subcontratistas necesitan uno o más despachos portátiles. A menudo unos cobertizos o remolques contienen las herramientas y el material utilizable en el sitio, si no hay áreas de trabajo especiales protegidas, como las existentes alrededor de las grandes sierras eléctricas de cortar madera o material de albañilería. Unos alquitranados a prueba de agua protegen las pilas de material. Contra el mal tiempo, los alquitranados actúan como tejados o paredes en todo el emplazamiento del edificio a fin de proteger la obra y los trabajadores del viento, la lluvia, la nieve o el frío. En invierno, unas estufas temporales protegen las obras de hormigón o albañilería contra el hielo, antes de que se hayan endurecido completamente, o ayudan a secar la pintura o el yeso. En tiempo muy caluroso, hay que instalar ombreadores contra el sol.

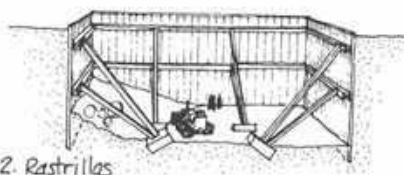
Los trabajadores de la construcción están expuestos a muchos peligros; el oficio de la construcción tiene los porcentajes más altos de accidentes de trabajo de todas las industrias de Estados Unidos. Por eso se requieren muchos artefactos de protección en las diversas industrias de la construcción. El casco rígido de seguridad es universal y tiene que proteger la cabeza contra objetos que caigan o de golpes contra los objetos peligrosos situados en altura. Los zapatos de seguridad, de puntas reforzadas, protegen el pie de las herramientas o los materiales que caigan. Las suelas antideslizantes cumplen una función de seguridad evidente. Las gafas impiden que las virutas y el polvo flotantes en el aire entren en los ojos. Protegen a éstos de las chispas y el resplandor de los soldadores. Los guantes y los delantales de cuero, las máscaras de respiración filtradoras de polvo y los cinturones

### Apuntalamiento de una excavación con tablestacado

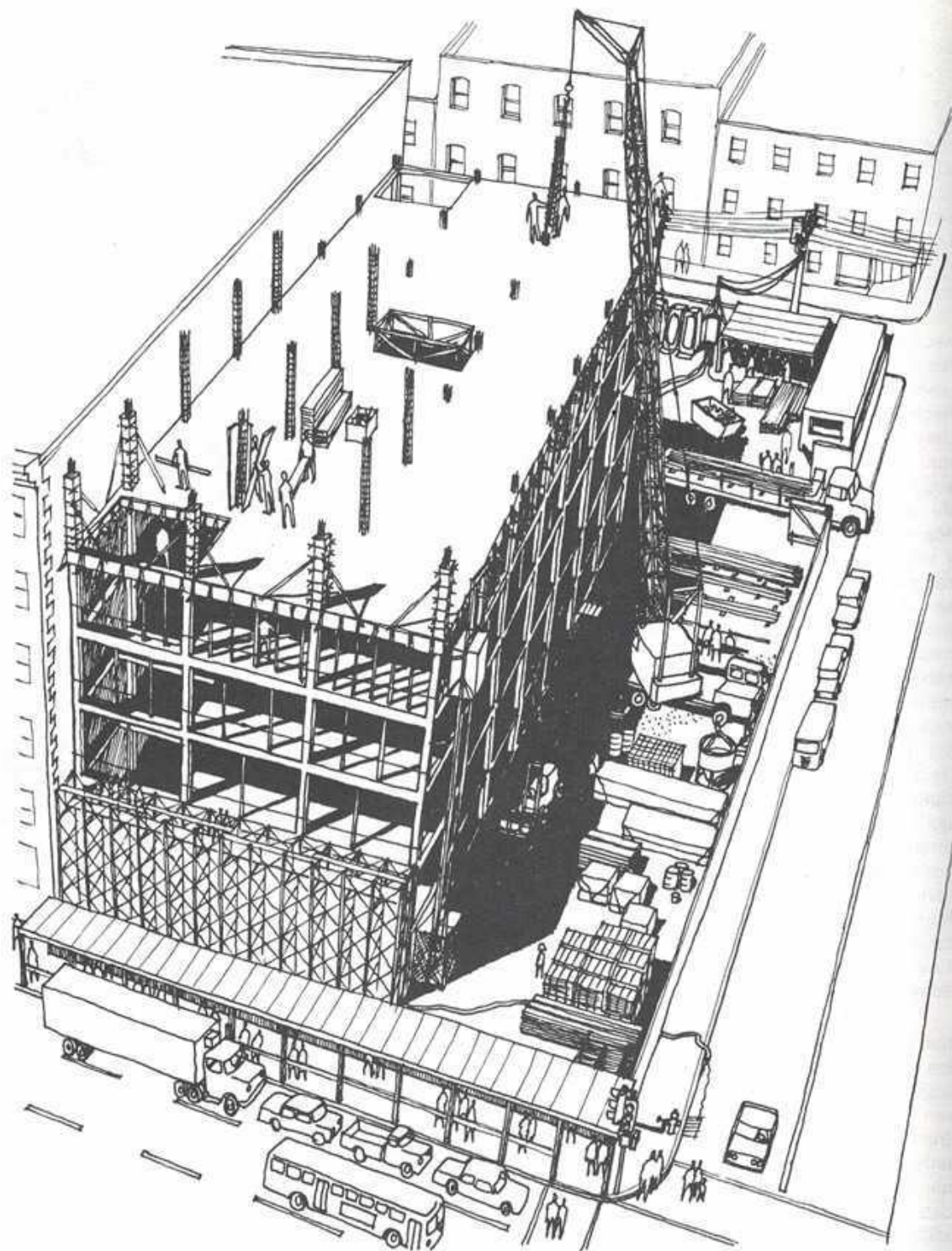


A medida que la excavación va siendo más profunda, hay que reforzar las tablestacas

### Métodos alternativos para reforzar los tablestacados







o la  
sio  
con  
de  
nar  
tor  
acc  
ext  
sar  
vie  
ta  
fun  
en  
gur  
de

que  
mar  
trat  
tist  
de  
gra  
qui

fici  
ase  
arq  
vier  
imp  
ace  
fáb  
mat  
de  
y c

que  
men  
que  
rob  
usu  
de  
men  
libr  
cua  
dura  
los  
apla  
sist  
esp  
des  
teri

me  
sor  
jes  
incl  
de

Las cuerdas de seguridad son exigidos en ciertas profesiones. Muchas herramientas eléctricas son construidas con detalles de seguridad, tales como las protecciones de las hojas que giran automáticamente, aparatos que frenan el movimiento de vuelta de las máquinas e interruptores automáticos que paran las herramientas si caen accidentalmente. Los botiquines de primer socorro y los extintores están al alcance de la mano y las instrucciones sanitarias y para casos de incendio están colocadas a la vista. La ley requiere unos seguros sanitarios y de hospitalización para los trabajadores. Suele ser contratado un funcionario encargado de la seguridad, por el contratista, en cada emplazamiento de construcción, con el fin de asegurar que están limpios y seguros todos los componentes de la obra.

Normalmente, los obreros tienen sus propios pequeños instrumentos de construcción, martillos, sierras manuales, etc. Las otras herramientas pertenecen al contratista general o a los subcontratistas. Pero, si un contratista no quiere conservar un gran inventario de equipos de construcción, puede alquilar o arrendar los útiles muy grandes o altamente especializados a una empresa de alquiler de equipos.

Cada remesa de material que penetre en un edificio tiene que ser comprobada durante la entrega para asegurarse de que corresponde a la especificación del arquitecto. Cada pieza de madera o madera contrachapada viene del taller con la identificación de su tipo y calidad impresa, lo cual hace fácil su inspección en la obra. El acero estructural es entregado con un certificado de la fábrica referente a su composición y calidad. Muchos otros materiales de construcción son estampados y certificados en este mismo modo, con las indicaciones de su origen y calidad.

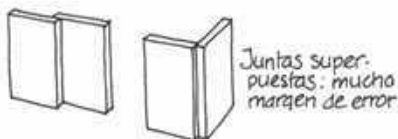
Los materiales como el hormigón y la argamasa, cuando se colocan húmedos, no pueden tener su calidad totalmente comprobada en el momento de su colocación, ya que no hay ningún modo seguro de saber cómo será su robustez después de que se hayan endurecido. El proceso normal es el de proyectar pequeñas muestras de material de cada lote en moldes especiales. Se marcan cuidadosamente estos moldes especiales y se los registra en un libro junto con los emplazamientos del edificio en los cuales se ha empleado la muestra de material y se dejan durante el período normal de endurecimiento. Entonces se lleva a un laboratorio donde se determina su robustez aplastándolos en una prensa hidráulica calibrada. Si la resistencia al aplastamiento está por encima del mínimo especificado, todo va bien; pero, si no lo está, hay que deshacer y volver a empezar el trabajo hecho con el material del cual se han sacado las muestras.

Con la ayuda de los modernos instrumentos de medición y nivelación, los edificios se construyen con un sorprendente grado de precisión, pero no son como relojes o cámaras fotográficas. Hay que dar por sentado que incluso los mejores elementos de construcción, a causa de su gran tamaño, de los perjuicios que pueden haber





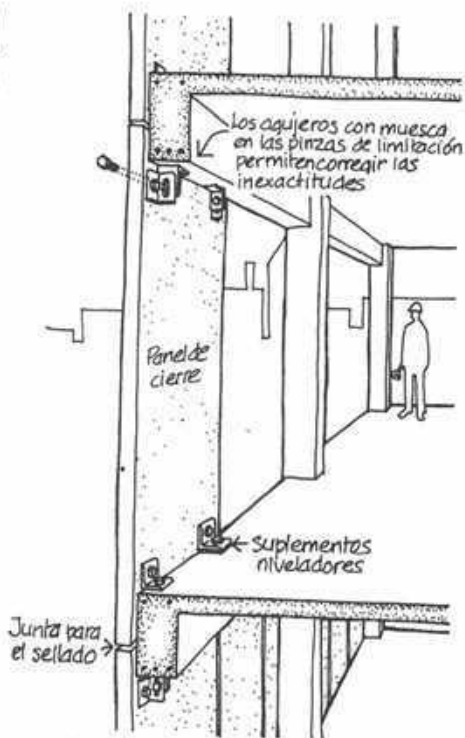
sufrido en la entrega, del agua que pueden haber absorbido durante el traslado o en el emplazamiento de trabajo y de las variaciones de temperatura, no pueden ser cuadrados, planos, alineados, a plomo, perfectos o exactos en el momento en que son instalados en el edificio. Hay que dar también por sentado que un obrero puede no medir o instalar siempre una pieza exactamente como tendría que serlo, especialmente en los tipos de trabajo más aproximados, como son el trabajo con hormigón y el encofrado de madera. Para pocos elementos de construcción, como el acero estructural, existe una norma industrial general que especifica los máximos posibles entre varios tipos de deformaciones e inexactitudes que se pueden esperar del producto cuando llega al sitio de construcción. Sin embargo, para muchos elementos podemos dar por sentado que es razonable esperar una exactitud de más o menos 6 mm en los edificios, pero a veces habrá que aceptar discrepancias de 25 mm. En estas condiciones, las juntas en las cuales una pieza de material reposa simplemente encima de otra son las más fáciles y seguras de hacer. Cuando hay que hacer encajar materiales sobre uno o más lados, es esencial que se instalen unos boquetes intencionales en caso de colocación y encaje incorrectos. Las aberturas para las ventanas y puertas en paredes de estructura de madera son siempre más grandes que las ventanas o puertas mismas. Cuando éstas se instalan, se pueden nivelar y colocar por medio de pequeñas cuñas en todo su perímetro. La tabla de chilla cubre la abertura resultante fuera, y dentro la tapa el acabado de la pared. Los paneles de pared de metal u hormigón se instalan con generosos boquetes periféricos, tanto por el movimiento térmico y la deformación estructural como para facilitar la instalación. Las pinzas metálicas de montaje en estos paneles proporcionan amplias posibilidades para la nivelación y colocación correctas antes de que se haga una fijación definitiva.



Cuando se planea el trabajo de construcción, es importante que los materiales que deban presentar una buena apariencia, acabada, sean instalados lo más tarde posible dentro del proceso y estén protegidos de todo daño hasta que el último obrero haya dejado el edificio. En muchos edificios, por ejemplo, sería más fácil instalar el suelo definitivo al comienzo de la construcción, durante la operación de instalación de la estructura; sin embargo, de hacerse así, la superficie estaría expuesta a la abrasión, formación de astillas, arañazos, mellas, grasa y manchas causadas por los pies, las herramientas, el material, los derrames y los diversos accidentes de todo el trabajo que se hará posteriormente en el edificio. En vez de esto, aunque sea a cambio de algunos inconvenientes, la instalación de los suelos definitivos es uno de los últimos trabajos en un edificio.

Los arquitectos deben determinar también con cuidado lo que se dejará expuesto en un edificio. Podría ser atractivo dejar a la vista la estructura de madera de una pared, pero ¿qué apariencia tendrá luego la pared en realidad, con los defectos naturales de la madera, las mar-

cas impresas del tipo de madera, las mellas dejadas por el martillo del carpintero, las marcas de lápiz que queden y las groseras perforaciones para los hilos eléctricos y la tubería? Una pared, si tiene que dejar ver su estructura, pide una atención especial en la elección del tipo de madera adecuada y una colocación cuidadosa de la tubería y los hilos. También pide una calidad de mano de obra superior y más tiempo de colocación que lo que se suele pedir a un carpintero de construcción. Normalmente, es más barato seguir el proceso corriente de traer los paletas y pintores para revestir la pared con varias capas sucesivas bien acabadas, y dejar que el carpintero, el electricista y el fontanero sigan su modo de hacer habitual, más barato y eficaz. Cuando se examina cualquiera de los modos tradicionales de montar los edificios en nuestra sociedad, se ve en seguida que existe un principio seguido en la sucesión de la construcción, de modo que cada uno de los profesionales tapa y allana el trabajo de los profesionales anteriores. El cuarto equipo antes del final, en un edificio típico, instala grandes superficies de material plano —entablados, paneles de pared, listones, paredes de yeso— que cubren sencillamente los interiores expuestos del edificio. El tercer equipo antes del final es el de los que alisan con sustancias *gooey* —sustancias taponadoras, yeso, compuestos para juntas de paredes— que esconden lo más grueso de las brechas en los materiales planos. El equipo anterior al último instala los suelos, las tablas y los listones de revestimiento y las molduras de todo tipo. El último equipo, el de los pintores, hace brillar y tapa todas aquellas capas con un fino revestimiento cosmético y preservador, prepara la última limpieza de los escombros de la construcción, realiza las inspecciones finales de todas las partes interesadas y la entrega de la llave al propietario. Al fin, después de un largo y complicado período de gestación, ha nacido el edificio.



Montaje de los paneles de cerramiento

## coste del edificio

Los edificios son de por sí unos objetos carísimos. El gasto se puede medir esencialmente en dos cantidades, el total de recursos físicos consumidos y el tiempo humano invertido. Los recursos físicos sólo se pueden comparar en términos relativos, pero con el tiempo humano podemos ser mucho más precisos. La casa media americana requiere aproximadamente una decimoquinta parte del tiempo de trabajo de la vida de un hombre para ser producida. Un rascacielos medio de Manhattan emplea, en total, el equivalente de las vidas útiles enteras de cincuenta a cien trabajadores para su construcción y el equivalente a varias vidas por año para su mantenimiento. A medida que los edificios muy grandes cuestan varias veces esto.

La mejor manera de aprender por qué los edificios son tan caros, es trabajando en la construcción de uno de ellos. Incluso un edificio pequeño utiliza copiosos materiales, volúmenes y superficies de materiales caros, la



mayor parte de los cuales deben ser levantados, colocados y unidos entre sí por medio de la labor humana. La cantidad de clavos, ladrillos o pernos consumidos es siempre asombrosa, y cada uno de estos elementos incluye el gasto de una cantidad delimitada y significativa de tiempo humano. El número de operaciones separadas requerido para completar hasta el detalle más sencillo de un edificio es sorprendente. Organizar a los obreros, encargar el material, pensar en los problemas, planificar las siguientes etapas de la construcción, archivar, pagar las facturas, también requiere mucho tiempo. Los totales suben con una rapidez alarmante y uno se da cuenta pronto de que nos hemos acostumbrado a construir refugios muy grandes y caros en nuestra sociedad.

La economía en la construcción de un edificio, unida a que el diseño del mismo está establecido, es cuestión de buena organización. Una buena organización incluye el mejor y más eficaz uso de los obreros, las herramientas, los materiales y el dinero. Se tiene que hacer el máximo de trabajo posible en un sitio protegido, con preferencia una fábrica, donde las condiciones de trabajo son ideales y donde existe un alto grado de mecanización. Los obreros necesitan ser cuidadosamente sincronizados para que no queden nunca desocupados y tampoco se interfieran uno al otro. Hay que conseguir el material al precio más bajo posible, pero únicamente de fabricantes fiables. El material tiene que ser entregado a medida de las necesidades. Si llegan al lugar demasiado tarde, interrumpen el trabajo; si llegan demasiado temprano, consumen espacio de almacenamiento en el sitio, son más susceptibles de sufrir perjuicios antes de su instalación a causa del tiempo o de algún accidente, son más susceptibles de sufrir pequeños robos y se tienen que pagar antes. Un buen contratista de obras hace equilibrios pidiendo lo menos posible para poder trabajar en competencia con los otros contratistas, pero suficientemente para sacar un beneficio o al menos no perder dinero. Luego organiza el proyecto con cuidado y a sabiendas, a la vez, para mantener el margen de beneficio esperado y para producir un edificio bien construido. La organización, en construcción, es una profesión arriesgada y requiere mucha habilidad, y los buenos contratistas no son personas fácilmente encontrables.

## 21. Mantener un edificio vivo y en crecimiento

Incluso antes de que esté acabado un edificio, la naturaleza empieza a destruirlo sistemáticamente. La fuerza de la gravedad, el viento y los movimientos sísmicos ponen constantemente a prueba la estabilidad de su estructura. Las ondas ultravioleta de la luz solar resecan y estropean los materiales de construcción orgánicos a través de la deterioración de las moléculas. Desde la atmósfera, el agua de lluvia disuelve los anhídridos carbónicos y dióxidos de azufre para formar ácidos carbónicos y sulfúricos que se comen la piedra y aceleran la oxidación de los metales. Cuando los metales adyacentes de potenciales electrolíticos diferentes son mojados por la lluvia, sucede una reacción galvánica que causa la rápida descomposición del metal anódico. El agua acelera el crecimiento de mohos y hongos que atacan muchos materiales de la construcción, particularmente la madera y sus productos. El agua también atrae varios tipos de insectos destructores de la madera, así como las malas hierbas, las enredaderas y los árboles, cuyas raíces se introducen en las pequeñas rendijas del edificio y las abren mucho más. El agua, al caer, salpica de tierra las partes más bajas de las paredes externas, alimentando así los insectos y los hongos. Cuando el agua se hiela en la tierra, levanta y agrieta las cimentaciones y los pavimentos. Dentro del hormigón y la albañilería, el agua helada forma astillas en la superficie. El viento transporta polvo, gérmenes y semillas y los deposita en el edificio. Los ratones y las ratas se instalan dentro del edificio y se abren paso, royendo, a través de él. Los animales domésticos frotan, mastican y rascan la superficie del edificio y depositan excrementos que producirán pudrición en oscuros rincones de la casa. Los habitantes humanos de un edificio también contribuyen a su destrucción, abriendo paso a la humedad y la suciedad, derramando, salpicando, manchando, carbonizando, golpeando, rascando, descargando escombros, desgastando las puertas y los cajones, teniendo animales domésticos destructivos, criando niños destructivos y originando humo, hollín y humos de cocina que manchan las superficies de los edificios. La naturaleza no se ensaña especialmente contra los edificios; en gran parte, son las



mismas fuerzas naturales que nivelan las montañas, desvían los ríos de sus cauces, cambian los lagos en pantanos y los pantanos en bosques y renuevan los viejos materiales en todo el mundo. El cambio es un factor constante en la naturaleza: nacimiento, crecimiento, madurez, decadencia, muerte, pudrición y otra vez nacimiento son las etapas de todos los ciclos naturales. Así que esto sucede también en los edificios, pero los humanos quieren tener el ciclo bajo su control y conservar cada edificio para el uso humano hasta que su muerte complazca los proyectos de los hombres.

Las fuerzas de destrucción en los edificios pueden ser agrupadas en tres categorías: hay las fuerzas que representan amenazas tan serias o inmediatas a la aprovechabilidad del edificio, que deben ser neutralizadas a todo precio razonable; hay las que son inevitables pero podemos contrarrestar satisfactoriamente con una base cotidiana; y paradójicamente, hay las fuerzas de deteriorización que pueden contribuir a la belleza y utilidad del edificio, si es que las dejamos actuar.

### Salvaguardar el edificio

Entre las primeras categorías de fuerzas, las más peligrosas son las que amenazan la estabilidad de las cimentaciones de un edificio. Contrarrestamos el levantamiento de las cimentaciones por el hielo situándolas bajo el nivel más profundo al cual el suelo se helará en invierno. Evitamos un asentamiento excesivo con un diseño cuidadoso de las cimentaciones con respecto a la capacidad de aguante del suelo que las soporta. Para impedir la erosión del suelo alrededor y debajo de las cimentaciones, los sistemas de drenaje del tejado deben ser conservados en buen estado de funcionamiento; cualquier escape en los caños principales de dentro o cerca del edificio debe ser reparado, y, en emplazamientos secos y venteados, hay que emplear plantaciones u otros artefactos protectores contra la erosión eólica. Las áreas inmediatamente adyacentes a las paredes de sótanos deben estar desprovistas de árboles, para evitar los daños producidos por las raíces. En edificios que reposan sobre pilones de madera sin tratar clavados en el suelo, hay que llevar a cabo inspecciones periódicas para asegurarse de que unos pozos vecinos o unas bombas de agua cercanas en proyecto de construcción no hayan bajado su nivel de agua por debajo de las extremidades superiores de los pilones, porque así, a no ser que estén totalmente sumergidos, se pudrirán.

Si las cimentaciones de un edificio se han asentado pero los daños no son irreparables, el *apuntalamiento* puede, en general, provocar una mejora. Se construye una cimentación nueva de mayor capacidad por debajo o a lo largo de las ya existentes y se posa el edificio en ella.

Las insuficiencias estructurales también caen en la categoría de «peligrosas». Usualmente, la estructura

de un edificio es suficientemente fuerte para empezar, pero si un diseño defectuoso o el aumento del peso de carga provocan insuficiencias estructurales cuando el edificio está ya en uso, siempre se pueden añadir nuevas vigas, columnas o puntales.

Las estructuras requieren cierto tipo de manutención. Las estructuras de acero deben ser protegidas de la humedad y la oxidación ya por las capas del edificio que las envuelven, ya por el mantenimiento de la pintura o algún otro revestimiento protector en todas sus superficies expuestas. En armazones de madera, todas las juntas importantes empernadas deben ser apretadas otra vez para compensar el encogimiento de la madera después de que se haya calentado el edificio en un período inicial, después de la construcción: hay que instalar aberturas o paneles de acceso en todos los materiales cubridores, para permitirlo. Hay que proteger las estructuras de madera de los hongos e insectos devoradores de madera. Algunos hongos de la madera, como la mancha azul-gris, que se encuentra en la madera recién aserrada, y la verde, o la mancha blanca que se ve en algunas maderas, son simplemente antiestéticos pero no provocan ningún daño estructural. Otros, con nombres coloquiales como «pudrición seca» y «pudrición húmeda», son excepcionalmente destructivos. Los insectos que agujerean la madera, de los cuales hay muchas especies en diversas partes del mundo, son uniformemente peligrosos.

Todos estos organismos destructores de la madera consumen ésta como alimento, y necesitan humedad y aire. Los medios más importantes de controlar los organismos son, pues, envenenar la madera, mantener ésta totalmente seca para privar a los organismos de humedad o mantenerla totalmente sumergida en agua para privarlos de aire. Se utilizan comercialmente sustancias químicas llamadas *preservadores* para envenenar la madera a la vez contra los insectos y los hongos. No son muy eficaces si son simplemente aplicadas en la superficie; en vez de esto, tendrían que ser repartidas por todas las células de la madera con un tratamiento de compresión en una fábrica. Algunas especies de madera son naturalmente resistentes a los insectos y la pudrición, gracias a sustancias químicas que se forman naturalmente dentro de ellas. El secoya, el ciprés y el cedro son las maderas americanas más corrientes con esta propiedad.

Conservar la madera seca o conservarla húmeda pueden parecer metas contradictorias, pero en ambas condiciones la madera se salva de ataques. La madera húmeda, sin estar sumergida, o la alternativamente humidificada y secada, ofrece a la vez humedad y aire a los organismos destructores y sufre, por consiguiente, fuertes ataques. La madera muy cerca del suelo o dentro de él es especialmente vulnerable. La que reposa directamente sobre una cimentación de ladrillo o piedra tendría que ser protegida de la humedad capilar con una capa antihumedad de plástico impermeable o asfalto. Las vigas de madera que reposan en cavidades de paredes de cimentación tendrían que ser protegidas del mismo modo y deberían dis-





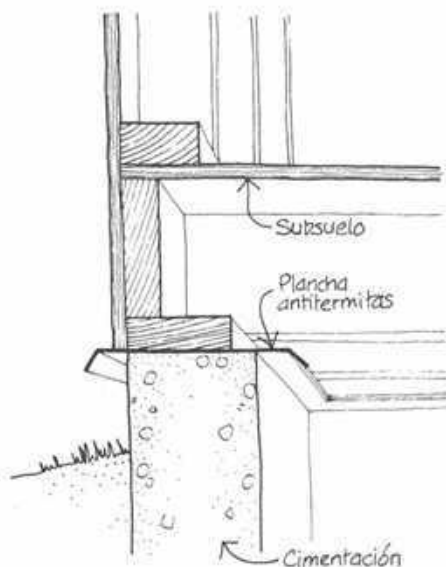
frutar de mucho espacio para «respirar» por todos los lados.

Cuando se conecta una pieza de madera con otra en un emplazamiento exterior, el agua de lluvia se mantiene entre las dos por acción capilar y se pudre rápidamente. El puente cubierto ilustra una respuesta lógica a este problema: los cimientos de juntas en las armazones de madera que soportan el puente se mantienen secos gracias a un tejado y unas paredes resistentes al agua. Si el puente no estuviese cubierto, dentro de algunos años se volvería estructuralmente podrido a causa de la pudrición de sus juntas. Cuando no es posible la protección atmosférica de las juntas de madera, un tratamiento preservador, o al menos una gruesa mano de pintura, colorante o asfalto, detendrá la deteriorización, pero las juntas de la madera al descubierto tendrán que ser evitadas excepto en los bancos, las barandillas, las cercas y otras construcciones secundarias. Incluso en éstas, se requieren una inspección y una manutención periódicas que reemplacen los elementos podridos antes de que se vuelvan peligrosos.

Si se mantiene la madera totalmente sumergida, no hay aire posible y la madera se libra a la vez de los insectos y de la pudrición (a no ser que se trate de agua de mar, lo cual vuelve la madera susceptible a las oleadas máximas). El efecto es de sumo uso en las cimentaciones de madera situadas debajo del nivel del agua. Sin embargo, si el nivel del agua baja, la pudrición se formará justo por encima del nivel del agua, como lo hace en postes de madera no tratada utilizados para soportar los diques en agua fresca.

Un edificio que tenga partes de madera no tratadas que se extiendan en el suelo, o uno que tenga pedazos de madera o troncos de árboles enterrados cerca de él, son especialmente susceptibles a las termitas. Sin embargo, éstas son capaces de atacar también la madera seca, transportando agua del suelo a ella. El tipo de termita más común (y más perjudicial) que se encuentra en Estados Unidos es la termita subterránea, que anida en el suelo pero coge su alimento de la madera de un edificio que se encuentre encima. Para alcanzar el edificio, los insectos construyen tubos protectores huecos de barro, polvo de madera y excrementos a través de la cimentación intermedia y luego túneles en la madera misma. Donde las infestaciones de termitas son corrientes, el suelo en los alrededores inmediatos del edificio tendría que ser envenenado, y habría que instalar *escudos antitermitas* de hoja de metal entre la cimentación y la estructura de madera. Los escudos no impiden la entrada de las termitas, pero las obligan a construir sus tubos de protección a través del escudo, donde se las puede ver, mejor que en grietas de la cimentación. Una vez que se han visto los tubos en los escudos, se puede empezar un tratamiento de exterminación del suelo.

Las termitas de madera seca, que necesitan muy poca humedad, no precisan ningún contacto con el suelo y se hallan en edificios de madera en los trópicos y sub-



tropicos. Hay que cubrir los edificios infestados con hojas de plástico y fumigarlos con un gas venenoso. Se encuentran otros tipos de termita y de insectos destructores de madera en diversas partes del mundo y cada especie requiere su propio tipo de prevención y curación.

Algo relacionado muy de cerca con la prevención contra las termitas y la pudrición, es la prevención de goteras de agua en el edificio. Junto con el incendio y el terremoto, nada puede derrumbar un edificio tan rápidamente como la pudrición interna originada por un tejado con goteras. Hay que mantener concienzudamente los tejados, los sistemas de drenaje del agua de lluvia, las paredes y las ventanas. Hay que remediar rápidamente las goteras en la cañería y las situaciones de condensación excesiva. En la casa corriente de estructura de madera, los perjuicios causados por el agua y la pudrición procedentes de la condensación son casi universales en las ventanas de guillotina de madera, por la parte superior de cada panel de vidrio, y en subsuelos de madera debajo de los depósitos de los retretes. Los problemas de goteras y los perjuicios de agua y de pudrición asociados ocurren con frecuencia cerca de las chimeneas y alrededor de los bajantes de agua de los tejados. A través de la pudrición de las tablas del tejado alrededor de las goteras, estos problemas se mezclan rápidamente entre sí, a no ser que se los haya atacado en cuanto hayan surgido.

La manutención de un tejado incluye mantener los sistemas de drenaje funcionales sin goteras y sin estorbo de escombros, quitar la tierra y las plantas que se pueden instalar en los intersticios e inspeccionar las goteras o las señales de deteriorización. Las tablas de ripia de todo tipo son poco a poco corroídas por el agua, el hielo y el viento, y descompuestas por las fuerzas destructivas del sol, y pueden ser quebrantadas o torcidas por el hielo, el viento o unas ramas de árboles. Las membranas de los tejados se corroen menos rápidamente pero son susceptibles de sufrir daños por dilatación y contracción de la cubierta del tejado, la formación de burbujas y la ruptura debidas al vapor, y la abrasión debida al exceso de tráfico a pie.

Las juntas de argamasa en la mampostería son susceptibles de sufrir daños debidos al hielo y al deshielo del agua absorbida. Los albañiles, cuando aprietan y adaptan las juntas, las pueden hacer desprenderse de su agua antes de empaparse o absorberla. A pesar de estas precauciones, la argamasa se deteriora progresivamente, por lo general en un tiempo medido en décadas, y de vez en cuando es necesario, para la futura estabilidad de la pared, quitar de la superficie la argamasa estropeada y rejuntar la mampostería con argamasa nueva.

Mucha gente encargada de la manutención de un edificio opina que las plantas trepadoras aceleran la deterioración de la mampostería porque sus raíces penetran la superficie y sus hojas conservan la humedad entre las lluvias. Los propietarios de edificios deben considerar este factor en comparación con el innegable encanto de dichas plantas, su contribución al refresco en verano, gracias a





la sombra que dan y la evaporación de sus hojas, y su acción aislante en invierno.

Para reducir el peligro de incendios en un edificio a un nivel aceptable, se requiere una inspección continua: La basura debe ser quitada rápidamente. Hay que revisar periódicamente las chimeneas, los aparatos y las cargas del circuito eléctrico a fin de cerciorarse de las buenas condiciones de seguridad. Las salidas deben mantenerse despejadas y las puertas de socorro cerradas pero funcionando. Los extintores mal colocados o ausentes deben ser reemplazados y los sistemas de alarma y de corriente de emergencia deben ser comprobados periódicamente. En algunos tipos de edificios, especialmente las escuelas, son aconsejables unos ejercicios de alarma al fuego para la seguridad de sus ocupantes.

Unas averías intolerables, para la higiene, en los sistemas de fontanería incluyen los caños obturados o con goteras, los caños sujetos al hielo y, por consiguiente, a los reventones, y las instalaciones con grietas o defectos. Una calefacción inadecuada o una falta de luz o de ventilación naturales son peligros suficientes para justificar la evacuación del edificio hasta que se hayan corregido, como lo son también la acumulación de basura o las infestaciones de parásitos. En muchas partes del mundo las pantallas en las ventanas, para alejar las moscas y los insectos picadores, son una necesidad de la higiene.

Al final de nuestra exposición sobre los problemas más críticos de la manutención de los edificios están los enemigos humanos de los mismos, los vándalos y los pirómanos. Cuando no hay más motivo, en apariencia, el vandalismo y la piromanía parecen tener lugar principalmente en edificios en mal estado o abandonados. Los edificios inhabitados en buen estado son susceptibles de sufrir perjuicios sólo si parecen psicológicamente amenazantes a un grupo de personas. Las escuelas y los edificios de baja renta son víctimas frecuentes, más si tienen un aspecto autoritario y deprimente. La respuesta a esto parecería ser edificar casas en las cuales cada individuo se sintiera implicado personalmente, pero hasta aquí no tenemos guías seguras de cómo se diseñan y construyen semejantes casas.

### **Manutención rutinaria de un edificio**

La manutención rutinaria de un edificio comprende muchos tipos de operaciones de reparación, renovación y limpieza. Al exterior del edificio, las superficies impermeables de las paredes, tales como la baldosa vidriada, el esmalte de porcelana sobre acero, el vidrio, el aluminio y el acero inoxidable, tienen un tiempo de vida extremadamente largo en circunstancias normales y no necesitan otra manutención que un lavado periódico y el reemplazo ocasional de la argamasa o la sustancia taponadora entre las unidades. Las pinturas, los colorantes y los barnices exteriores se deterioran rápidamente con el

sol y la lluvia, y se tienen que renovar cada tantos años. Con la pintura blanca, esta rápida degradación tiene alguna ventaja: la pulverización y el lavado de la superficie de la capa de pintura conserva el revestimiento limpio y brillante en apariencia.

Los excrementos de las palomas, los estorninos, los gorriones, las gaviotas y otros pájaros contribuyen a los problemas de manutención exterior en algunos edificios. Eliminar las hendiduras escondidas de los exteriores de los edificios soluciona bastante el problema. En casos extremos se pueden necesitar unos aparatos productores de sonidos desagradables o de choques eléctricos, o también filas de puntas para impedir que los pájaros duerman allí.

El vidrio de las ventanas acumula rápidamente unas capas de suciedad en ambos lados que, con el tiempo, oscurecerán la visibilidad y bloquearán la luz del día. El lavado periódico es más fácil con tipos de ventanas que dejan alcanzar los dos lados del cristal desde el interior del edificio. Si no son así se necesitan escaleras de mano para alcanzar las ventanas de los edificios bajos, y unos pasillos permanentes o andamios colgantes móviles para edificios más altos. Las ventanas deben ser diseñadas para permitir un fácil reemplazo de los cristales rotos, preferentemente desde el interior del edificio. Los marcos de ventana necesitan una inspección periódica para los casos de corrosión, de escapes de aire o agua, de estrechez o soltura excesivas, y el deterioro o rotura de los hierros.

Las superficies interiores de los edificios están generalmente a salvo de los efectos destructivos del sol, la lluvia y el viento, pero quedan sometidas al desgaste, el deterioro y el ensuciamiento por la ocupación humana. Las paredes y los techos recogen el polvo y la suciedad del aire y las manos, las cabezas, los pies y los muebles colocados contra ellos. En áreas como las cocinas y los cuartos de baño, donde las paredes están especialmente expuestas a la suciedad, las pinturas de esmalte brillante o semibrillante hacen el lavado más fácil. Los *alicatados* lisos de baldosas de cerámica vitrificadas o de plástico laminado son preferibles en instalaciones muy utilizadas. Las puertas, las ventanas y sus marcos de madera suelen ser revestidos con una mano de esmalte para permitir la fácil limpieza de marcas de dedos. Cuando se repintan los interiores, una de las primeras etapas del proceso es reparar las grietas del yeso. Una gran grieta de yeso es a menudo indicadora de problemas estructurales o de goteras de agua, y no tendría que ser tapada antes de que se haya establecido un diagnóstico. Cuando se encogen los colores de la pintura, el empapelado o los paneles de madera, tendríamos que considerar cuál será el efecto del nuevo color sobre los niveles de iluminación de la habitación. Sólo el blanco y los colores muy pálidos son altamente reflectantes de la luz, y los otros colores pueden dar un efecto a la vez excesivamente sombrío e intolerablemente oscuro.

Los suelos, que sufren las abrasiones del polvo pisado, son las más susceptibles de deteriorarse de todas





las superficies interiores de un edificio, y son también una fuente de suciedad que se ve removida por el pie y depositada en las paredes y los muebles. La manutención del suelo es pues el más laborioso de los cuidados cotidianos de la casa. Podemos dejar fuera gran parte de la suciedad traída por los pies con el uso de una alfombrilla o una reja ante la puerta de entrada. Aspirar, desempolvar, barrer y fregar quitan la suciedad antes de que penetre demasiado hondo. El enceramiento de algunos tipos de suelo da alguna protección contra el deterioro y hace la limpieza del suelo mucho más fácil. Los suelos de piedra o baldosa duros son altamente resistentes a la abrasión y fáciles de lavar. Los suelos de piedra o baldosa blandas y de madera se abrasan mucho más rápidamente. Los suelos de madera, en muchos casos, pueden ser fijados y barnizados de nuevo si han sufrido una fuerte abrasión. Las baldosas y piedras blandas necesitarán un reemplazo ocasional. En las escaleras públicas, donde el deterioro es excepcionalmente severo y los escalones gastados presentan un problema de seguridad excepcional, hay que emplear materiales duros. Son convenientes pedales con superficies antideslizantes de abrasivos extremadamente duros.

La manutención de suelos, techos rasos y entablados se facilita, y su aspecto mejora generalmente, si unos dibujos de colores mezclados o rayas están presentes en la superficie. Estos dibujos disimulan las pequeñas manchas y rayas de suciedad, haciéndolas mucho menos notables de lo que serían en superficies de color liso. Frecuentemente, los materiales de color liso cuestan más que otros idénticos pero de varios colores, porque incluso el más pequeño defecto de manufactura será causa de rechazo del material liso, cuando lo más probable es que ni se note en uno de colores.

Las pintadas pueden ser un gran problema en sitios públicos. El pretendido artista será generalmente desanimado por una superficie tan áspera, irregular o de ricos dibujos, que no haya ningún mensaje superpuesto que se pueda leer, si es posible aplicarlo en el sitio. Por otro lado, superficies excepcionalmente lisas, fáciles de limpiar o reempapelar incitarán la agregación de nombres, notas y dibujos. Éstos se pueden dejar mientras la acumulación de pintadas sea agradable. Las obscenidades o los excesos se pueden borrar, y así vuelve a empezar el proceso.

Aparte de sus sistemas mecánicos, un edificio tiene pocas partes móviles que necesiten cuidados. Los cajones, las puertas y las ventanas necesitarán un ajuste y una lubricación ocasionales. Los goznes, los pestillos y las cerraduras son especialmente propensos al deterioro y la rotura. Las puertas que dejan paso a grandes cantidades de gente, en los mercados, las escuelas y otros edificios públicos, precisan una manutención más frecuente y el reemplazo ocasional de las partes podridas.

Son necesarios programas sistemáticos de manutención para todos los complejos mecánicos de un edificio. En los equipos de calefacción, ventilación y refrigeración,

hay que reemplazar o limpiar los filtros de aire a intervalos regulares. Los quemadores necesitan una limpieza y un reajuste de vez en cuando para lograr la máxima eficacia de la combustión. Los motores, los ventiladores, las bombas y los compresores precisan lubricación y el reemplazo de las correas de caucho. Con menos frecuencia, los conductos pueden necesitar limpieza por aspirador.

Hay que limpiar con regularidad los aparatos de fontanería y liberar sus desagües de las obstrucciones. Los grifos y las válvulas de los retretes necesitan una manutención constante. A veces, en ciertas áreas, la cañería de alimentación de agua se puede llenar de laminillas minerales procedentes del agua, y debe ser reemplazada. La cañería de desagüe es propensa a la obstrucción en todo momento a causa de pelos, papel o la invasión de raíces de árboles. Se pueden introducir unos aparatos conectados a un largo hilo eléctrico, con cuchillas rotativas para evitar los obstáculos en los puntos que hay que limpiar. Los calentadores de agua son especialmente propensos a la formación de escamas provenientes de la carga mineral del agua, y sus elementos eléctricos o quemadores de combustible requieren cuidados periódicos.

Las bombillas incandescentes, los tubos fluorescentes y los reactores fluorescentes son los elementos del sistema eléctrico de un edificio que necesitan reemplazarse más a menudo. La limpieza regular de los aparatos y, de vez en cuando, la limpieza y una mano de pintura a los techos y las paredes, también se requieren para lograr un rendimiento máximo del sistema eléctrico de alumbramiento. Los enchufes y los aparatos eléctricos se deterioran relativamente de prisa. Los otros elementos eléctricos no suelen deteriorarse, pero el envejecimiento de los sistemas eléctricos en su conjunto ocurre bastante rápidamente. La capacidad de los viejos sistemas es demasiado pequeña: además, no proporcionan seguridad suficiente y no corresponde a las normas modernas de protección en tierra. Incluso los sistemas recientemente instalados son susceptibles de falta de protección con la toma de tierra y es seguro que dentro de pocos años los desarrollos futuros eclipsarán las instalaciones actuales más modernas. Afortunadamente, es fácil instalar nuevos hilos eléctricos en las estructuras ya existentes, especialmente en las que se puede aprovechar plenamente la capacidad de los conductos.

Los ascensores y las escaleras mecánicas suelen ser renovados frecuentemente por especialistas asociados a los fabricantes de los aparatos y son regularmente inspeccionados por representantes del municipio local para las cuestiones de seguridad. Los ascensores en particular tienen unos mecanismos y controles extremadamente complejos y diversos, y son propensos a un fuerte deterioro. Ya que los ascensores también presentan un potencial único de peligro humano, sus mecanismos se diseñan con extremados factores de seguridad, incorporan numerosos aparatos de seguridad en su diseño y su manutención debe ser frecuente y completa.



Entre las artes más sutiles de un arquitecto experimentado está el empleo de las fuerzas naturales de deterioro para la mejora del edificio. Hay pocas cosas que den más satisfacción que ver un edificio que se hace más atractivo con la edad y no más envejecido. Para construir semejante edificio, uno debe primero darse cuenta del problema básico, que son las superficies que tienen que soportar el mal trato del sol, la lluvia, el viento, el hollín, la suciedad y el deterioro causado por los humanos. Cualquier material cuyo aspecto empeore gradualmente al ser expuesto a estas fuerzas, tendrá que ser evitado. Un coche nuevo proporciona muchos ejemplos de este tipo de material: cuando surge del escaparate resplandece seductora-mente por su esmalte brillante e impecable, sus cromados pulidos y sus curvas de vidrio rutilantes, y acuna el cuerpo humano en acolchados rellenos y brillantes de almohadillado rodeado por un alfombrado espeso. Cada día que pasa, el coche se vuelve menos atractivo: la pintura se pulveriza y decolora. Cualquier grieta o mella es inmediatamente visible como si se tratara de un defecto importante. Las manchas de oxidación desfiguran los cromados. El cristal y la pintura tienden a parecer aún más sucios de lo que están. El almohadillado se arruga y las alfombras acumulan la suciedad que se niega a ser evacuada. Un automovilista que compra un coche por su aspecto visual está condenado a procurar una difícil conservación y a la desilusión final, porque el coche no parecerá nunca tan bonito como el día en que fue adquirido.

Considérese, en cambio, un tejado de tablas de cedro. Las tablas, cuando se las instala, tienen un color llamativo, pero bastante rápidamente, con el sol y la lluvia, empiezan a volverse grises. Durante algunos meses, no son muy bonitas, sino que parecen un poco sucias y ralladas. Luego el color empieza a fusionarse e intensificarse y el tejado toma un agradable y plateado tono gris que se hace cada vez más rico con el paso del tiempo. La lluvia trabaja las tiras más blandas, las crecidas en la primavera en la fibra de la madera, y añade textura al tejado. Los líquenes o los musgos añaden color. Sin ningún cuidado, el tejado no sólo durará varias décadas, sino que en realidad se volverá cada año más atractivo. Así como el automóvil emprende su vida con un acabado perfecto que sólo puede perder su perfección con el tiempo, el tejado de cedro deja completamente de lado la cuestión de la perfección y adquiere una pátina cada vez más rica, cuya belleza no tiene límite.

Existen muchos materiales de construcción de esta misma calidad. El secoya y el ciprés son similares al cedro en sus condiciones climatológicas. Un interior de madera no acabado, con cubiertas de mesas, puertas y barandillas, donde está constantemente manipulado y rozado, parecerá lleno de manchas durante un tiempo, pero luego empezará a brillar por el pulido natural dado por las manos humanas. Los pomos de latón de las puertas son atacados químicamente, en el tiempo, por el sudor de las manos,

para poner en valor el fascinante cristalino del metal. El cobre, en el entorno exterior, evoluciona lentamente desde un color naranja con reflejos a un rico tapizado de óxido azul verde. El óxido se pega estrechamente al metal para protegerlo de deterioraciones posteriores. Los tejados de plomo, cuando se oxidan, pasan a tener un agradable color blanco. El aluminio es un metal con óxidos protectores similares, pero el óxido parece sucio y manchado y no especialmente bonito. Así pues, muchos aluminios de exterior se oxidan químicamente en la fábrica, a menudo con el añadido de un color permanente marrón o negro, y así se vuelven un material que, con el tiempo, no se convertirá en peor ni mejor. Muchos metales ferrosos se oxidan y destruyen, pero se ha descubierto una aleación de acero que tiene un óxido autoprotector muy resistente y que adquiere un color y una textura agradables después de un período inicial de aspecto manchado.

La mampostería suele tener progresivamente mejor aspecto a medida que acumula capas de suciedad y que la argamasa se desgasta y adquiere un color más sutil. Las plantas trepadoras realzan más aún su belleza año tras año. Los suelos de baldosas de cerámica vidriada o los suelos de losas de piedra natural adquieren un aspecto agradable bajo el pie. Las superficies de cerámica vidriada sobre albañilería cambian poco en aspecto con los años y presentan un contraste brillante con los colores suaves, intensificados, de los materiales que se encuentran alrededor. Dado que el tiempo oscurece tantas veces los colores, las superficies que empiezan su vida con colores oscuros tenderán a envejecer con más gracia que las superficies pálidas. Sin embargo, una superficie de pintura blanca o blanqueada con cal, si es renovada con frecuencia, adquirirá con el tiempo una textura agradablemente uniforme y resaltará sobre las áreas vecinas de color oscuro.

Las superficies hechas a base de muchas pequeñas unidades suelen envejecer de manera más bonita y son más fáciles de reparar que las grandes y uniformes. Una quebradura o un defecto en un cristal que va del suelo al techo es visualmente desagradable, potencialmente peligroso y requiere unos especialistas hábiles y un equipo caro para ser reemplazado. Una quebradura en uno o dos paneles pequeños, parte de una ventana de muchos paneles, no es particularmente desagradable a la vista y no obliga a un reemplazo de los paneles a no ser que dejen pasar el aire o el agua. Si se necesita reemplazarlos, una sola persona medianamente hábil lo puede hacer por poco dinero, el precio de la herramienta y el material. El gran panel de cristal debe limpiarse cada tantas semanas si quiere parecer limpio. La ventana de muchos paneles tiene que estar bastante sucio antes de empezar a molestar. Del mismo modo, un patio pavimentado con ladrillos o pequeñas piedras tiene ventajas de manutención sobre uno pavimentado con hormigón o asfalto. Una pared tapizada con tablas estrechas de madera envejecerá probablemente con más gracia que una con grandes paneles de hermosa madera contrachapada. Un suelo de piedras irregulares o de



simples tejas de barro pondrá menos en evidencia los estragos del tiempo, que un suelo de losas de mármol pulido.

Los materiales de construcción de segunda mano presentan muchas ventajas en lo que a sus características visuales se refiere: ya están gastados, curtidos y endurecidos por el tiempo. En muchos casos ya han adquirido una agradable pátina. Suelen tener un diseño y unos detalles más ricos que los materiales contemporáneos. Son a veces más baratos que éstos y traen generalmente consigo un aire de historia y continuidad con el pasado en un edificio nuevo. Se combinarán cada vez más naturalmente con el edificio a medida que éste adquiera marcas de lesiones, reparaciones y cambios propios para producir al fin una estructura que tiene grabada su propia historia en sus superficies visibles.

Los edificios deberán poder absorber los golpes más duros de la vida sin que su aspecto empeore. El desgaste y el curtido normal no deberían disminuir la belleza de los acabados. Ciertas cantidades de suciedad y mugre deberían parecer aceptables en las diversas superficies del edificio. Y el desorden, normal y agradable, de los diversos objetos de la vida de cada día de las personas no debería parecer fuera de sitio porque el edificio parece haber sido construido para visitantes de otro planeta superdelicados. La manutención del edificio no es un fin en sí, sino que procura hacer la vida mejor para los habitantes del mismo a través del lento y digno proceso de envejecimiento del propio edificio.

Las ampliaciones y el remodelaje son a veces importantes para el uso de muchos edificios. A través de estos procesos, un edificio puede crecer y adaptarse a los requisitos cambiantes de los hombres, y así se puede alargar indefinidamente su vida útil. El remodelaje suele incluir el desplazamiento de algunos acabados, tabiques y equipos mecánicos interiores, la reconfiguración del interior y quizá de las fachadas, y la aplicación de nuevos acabados. El remodelaje es más difícil si el interior posee muchas paredes maestras o si la estructura del suelo es difícil de romper y cambiar, como en muchos edificios de hormigón. Es más fácil si los tabiques, los suelos, las escaleras y los servicios mecánicos son relativamente sencillos de desmontar y volver a colocar. La ampliación de un edificio es posible en la dirección horizontal, vertical o ambas direcciones. Para las ampliaciones verticales, se pueden evitar muchos gastos y trastornos si la estructura original se ha hecho de manera que pueda aceptar pisos adicionales sin un sobreesfuerzo estructural y que sus ascensores, escaleras y sistemas mecánicos hayan sido planificados desde el principio para servir a la expansión. Las ampliaciones horizontales parecerán probablemente muy extrañas si el edificio original tiene una forma completa y cerrada, como una cúpula, un cilindro o un paraboloide hiperbólico. Son más fáciles de adaptar cuando el edificio original ya forma esquinas y codos y cuando uno o más puntos naturales de conexión están instalados alrededor de la periferia del sistema ya existente de circulación de peatones.

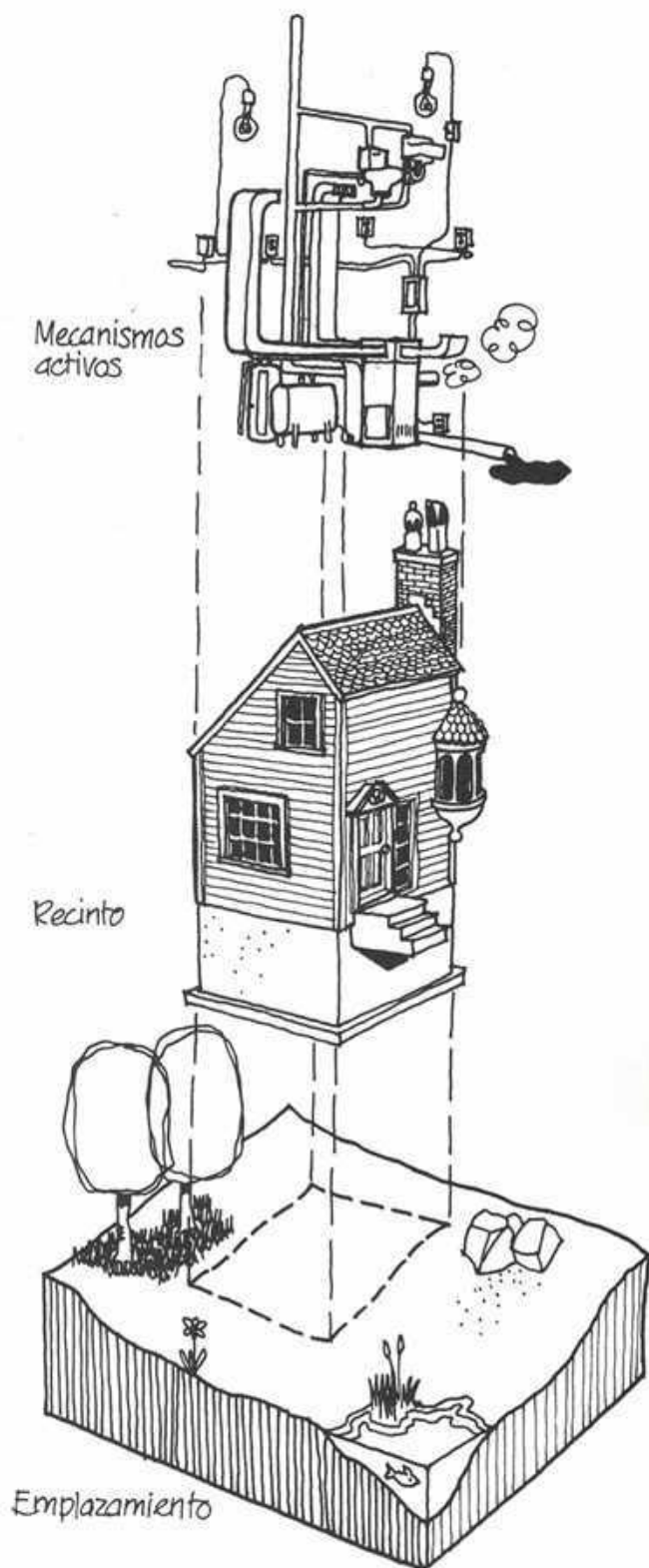
Con un remodelaje periódico y una manutención constante, un edificio vivirá mucho tiempo. Cierta número de edificios de la época de los romanos siguen en uso. Incluso uno de madera, si se lo defiende del agua y el fuego, puede durar siglos. Pero cada día se abandonan y derriban edificios. A veces las razones son de higiene y seguridad. A veces un edificio, simplemente, no puede ser llevado a las normas modernas de comodidad porque es demasiado pequeño, o porque su configuración original es demasiado rígida para sufrir cualquier alteración. Más comúnmente, un edificio se vuelve antieconómico a causa de la quiebra de la empresa que albergaba, los gastos excesivos de manutención o las reparaciones o los impuestos sobre la propiedad, o porque ocupa un terreno de tanto valor que el propietario desea construir otro mucho más grande a fin de valorar al máximo el rendimiento de la inversión. En la mayor parte de estos casos, se encargan el desmantelamiento y el transporte por camiones y por piezas a un contratista de demoliciones de edificios. Se pueden salvar y vender algunos elementos, pero generalmente el edificio entero acaba en pedazos rotos en un vertedero.

En las áreas rurales, no es difícil encontrar una cabaña o un refugio que muere de forma natural después de muchos años de servicio. Es triste saber que el optimismo y la energía humana, la habilidad que se juntó un día para fabricar el edificio, se están ahora perdiendo para siempre, pero es una experiencia alegre ver cómo la naturaleza vuelve a coger los materiales del edificio que ella entregó entonces y transformarlos para otros usos. Hay dignidad en el decaimiento de la madera en ruinas, y confianza reestablecida en la lenta absorción de la madera por la tierra. Hay belleza en el supremamente paciente ataque de la naturaleza sobre la albañilería y el hormigón, en ver cómo la intemperie alisa las superficies y cómo los zarcillos de las plantas se introducen en los diminutos poros y las pequeñas rendijas para empezar el largo proceso de introducción y de acuñación que algún día, probablemente varias generaciones después, convertirá los materiales en tierra. Poco a poco las plantas cubren el edificio moribundo y éste se transforma en un nuevo objeto del paisaje, una pintoresca promesa del nuevo y mejor orden con el cual la naturaleza lo reemplazará.





# El bloque de construcción arquitectónico



## 22. Los componentes y la función del edificio

Hasta aquí hemos examinado las características del entorno exterior, las hemos comparado con los requisitos ambientales de las personas y la sociedad y hemos notado la serie de funciones que esperamos que cumpla un edificio para conciliar las diferencias entre las dos cosas. Hemos tratado con muchísima extensión los diversos mecanismos físicos que empleamos en los edificios a fin de que cumplan estas funciones. Queda ahora por mirar, brevemente, los elementos corrientes a partir de los cuales montamos los edificios, ver qué funciones esperamos que cumpla cada uno de ellos y por qué combinación de mecanismos funciona cada uno. Palabras tan sencillas como «pared» esconden elementos muy complicados que cumplen una sorprendente cantidad de funciones en un edificio.

Empecemos con un elemento que llamamos el «emplazamiento». El emplazamiento es el importante perímetro exterior de un edificio de artefactos que modifican el entorno. Unos árboles en el emplazamiento pueden bloquear el paso de los rayos del sol, enfriar el aire, desviar el viento invernal y proporcionar cierta intimidad visual. El emplazamiento puede alejar el agua de la cimentación. Puede proteger un edificio del ruido o el fuego porque lo mantiene a una distancia suficiente de dos edificios vecinos. Por una cuidadosa colocación y orientación de un edificio en el emplazamiento, se pueden crear áreas exteriores útiles, se pueden instaurar bolsas de microclima más caliente o más frío, y se puede controlar la penetración del sol en el edificio para conseguir la máxima comodidad en todas las estaciones del año. Para muchos edificios, el emplazamiento proporciona también el agua y el alcantarillado, e incluso puede proporcionar comida.

Un segundo perímetro de artefactos que modifican el entorno están contenidos en el recinto del edificio. Aquí es donde se hace el máximo trabajo de éste: La luz del sol está bloqueada, admitida selectivamente y reflejada. El paso del aire, del calor, de la humedad, del ruido y de las criaturas vivas está estrictamente controlado. Las superficies de nivel están creadas y superpuestas para la ocupación humana, soportadas por paredes o columnas. El



volumen del recinto se divide en una disposición adecuada de salas conectadas entre sí por vías de paso a la vez verticales y horizontales.

Dentro de estos dos perímetros están los mecanismos activos que producen o activan el calor, hacen circular el aire, proporcionan la luz, dan corriente a los aparatos, distribuyen el agua y recogen los desechos líquidos. Es mejor restringir lo más posible el papel de los artefactos activos para armonizar el entorno interior en condiciones óptimas una vez que se ha cumplido el gran trabajo de modificación ambiental gracias a los artefactos pasivos del emplazamiento y del recinto del edificio. Semejante concepto del diseño tiene, por supuesto, la ventaja de disminuir el consumo de energía del edificio. De manera aún más importante, tiende a ofrecer las máximas ventajas y comodidades nivelando la fluctuación de la temperatura, reduciendo el ruido debido a un equipo mecánico, reduciendo la contaminación del aire y proporcionando niveles más favorables de iluminación natural. También ayuda a situar a la gente en una relación más natural con el medio ambiente exterior, en el cual pueden entender y apreciar más plenamente los majestuosos ciclos de la naturaleza y la relación de estos ciclos con la vida humana. Las máquinas, por muy potentes que sean, nunca pueden sustituir el buen juicio de diseño de un arquitecto que coloca y configura el edificio, ya que es el recinto de éste, no el equipo mecánico, el que debe crear las condiciones básicas para la satisfacción humana, a la vez espiritual y física.

Somos capaces de fabricar edificios satisfactorios, según parece, a partir de, prácticamente, cualquier cosa. Algunos materiales necesitan pocos procedimientos: el musgo, la piedra rota, la piedra de cantera, la nieve, las hierbas, las cañas, las hojas, el bambú, el asfalto natural, los troncos y las ramas de los árboles. Con un modesto gasto de tiempo y energías podemos hacer ladrillos cocidos, piezas de madera cuadradas, papel, bloques de piedra y yeso. Con más procedimientos, cemento, cristal, metales y plásticos. Uno construye con lo que puede conseguir en un área determinada, dentro de una circunstancia determinada de restricciones económicas. Junto con los militares, el Peace Corps o las comisiones extranjeras de arquitectura, los arquitectos e ingenieros americanos se han encontrado a menudo construyendo con musgo, paja o bambú, intentando enfrentarse a climas y modos de vida no familiares. Incluso nuestros propios modos de vida siguen cambiando, y cada mes llegan al mercado nuevos materiales de construcción, cada uno prometiendo ciertas ventajas sobre los materiales que quieren reemplazar.

En semejantes situaciones, el arquitecto aprende a evaluar los nuevos o extraños materiales, viendo para qué pueden servir mejor y qué ventajas e inconvenientes tienen. ¿Qué resistencia tiene el material en tensión, en compresión y en esfuerzo cortante? ¿Cómo lo afectará el agua? ¿Dejará pasar el vapor de agua? ¿En cuánto se dilatará y se encogerá con los cambios de humedad y temperatura? ¿Se puede dejar su superficie expuesta en un suelo

o una pared? ¿Cómo afectará el material al fuego? ¿Cuáles son sus propiedades acústicas? ¿De qué manera se puede colocar el material? ¿Cómo reaccionará al deterioro y a la intemperie? Si no son posibles unas pruebas en el laboratorio, los arquitectos experimentados aún pueden juzgar bastante bien estas cualidades tirando, tocando con los dedos, curvando, rascando, mojando, poniéndole una cerilla a la muestra u observando cómo el material ha sido empleado y desgastado por la intemperie en los edificios ya existentes. Después de aprender lo que el material puede y no puede hacer, los arquitectos deben determinar dónde puede servir un edificio y con qué otros materiales debe cooperar para formar elementos de construcción que cumplan todas las funciones que de ellos se esperan.

La tabla adjunta muestra las principales funciones ejercidas por varios elementos de construcción. Una pared exterior cumplirá probablemente más funciones importantes que cualquier otra parte del edificio. No hay material sencillo que pueda hacer bien este trabajo. En consecuencia, incluso la pared de una residencia corriente de estructura de madera tiene una combinación de mate-

|                                                | Emplazamiento | Cimentación | Estructura | Suelos | Paredes | Ventanas | Puertas | Tejados | Techos | Tablones | Acabados | Armado/miento | Chimeneas | Calentadores/C.A. | Fontanería | Electricidad |
|------------------------------------------------|---------------|-------------|------------|--------|---------|----------|---------|---------|--------|----------|----------|---------------|-----------|-------------------|------------|--------------|
| Proporciona aire limpio                        | ●             |             |            |        |         | ●        | ○       |         |        |          |          |               |           | ●                 | ○          | ○            |
| Proporciona agua limpia                        | ●             |             |            |        |         |          |         | ●       |        |          |          |               |           |                   | ●          | ●            |
| Evacua y recicla los desechos                  | ●             |             |            |        |         |          |         |         |        |          |          |               | ●         | ●                 | ●          | ●            |
| Controla la radiación térmica                  | ●             |             | ●          | ●      | ●       | ●        |         | ●       | ●      |          | ●        | ●             | ●         | ●                 | ●          | ●            |
| Controla la temperatura del aire               | ●             |             | ●          | ●      | ●       | ●        | ○       | ●       | ●      |          |          | ○             | ●         | ●                 | ●          | ●            |
| Controla las cualidades térmicas de superficie |               |             | ●          | ●      | ○       | ○        |         |         |        | ●        | ●        | ●             |           | ○                 |            | ●            |
| Controla la humedad                            | ●             | ●           | ●          | ○      | ●       | ●        | ○       | ●       | ●      |          | ●        |               |           | ●                 | ●          | ●            |
| Controla la corriente de aire                  | ●             |             | ●          | ○      | ●       | ●        | ○       | ●       | ○      | ○        |          |               |           | ●                 |            | ●            |
| Visión e intimidad visual óptimas              | ●             |             | ●          | ○      | ●       | ●        | ●       | ●       | ●      | ●        | ●        | ●             |           | ●                 |            | ●            |
| Condic. acústicas e intim. acúst. óptimas      | ●             | ●           | ○          | ●      | ●       | ●        | ○       | ●       | ●      | ●        | ●        | ●             |           | ○                 | ●          | ●            |
| Controla la entrada de los seres vivientes     | ●             | ○           | ●          | ○      | ●       | ●        | ○       |         | ●      |          |          |               |           |                   |            | ●            |
| Proporciona energía concentrada                | ●             |             |            |        |         |          |         | ●       |        |          |          |               |           |                   |            | ●            |
| Proporciona canales de comunicación            |               |             |            |        | ●       | ●        | ●       |         |        | ●        | ●        |               |           |                   |            | ●            |
| Proporciona superficies útiles                 | ●             | ●           | ●          | ●      | ○       | ●        | ●       |         |        | ●        | ●        | ●             |           |                   |            |              |
| Proporciona soporte estructural                | ●             | ●           | ●          | ●      | ●       |          |         | ●       | ●      | ○        |          |               |           |                   |            |              |
| Se guarda del agua                             | ●             | ●           | ●          | ●      | ●       | ●        | ●       |         |        |          | ●        |               |           |                   | ●          | ●            |
| Se adapta a los movimientos                    |               | ●           | ●          | ○      | ○       | ○        | ○       | ○       | ○      | ○        | ○        |               | ○         | ○                 | ○          |              |
| Controla el fuego                              | ●             |             | ●          | ●      | ●       | ●        | ●       | ●       | ●      | ●        | ●        | ●             | ●         | ●                 | ●          | ●            |

Clave: ● Función mayor ○ Función menor -A veces cumple una misión



riales extraordinariamente sofisticada. Mirando del exterior al interior, esta pared suele incluir varias capas de pintura exterior, chapas de madera, fieltro abetunado de construcción, una vaina de contrachapado, estructura de madera de dos por cuatro, aislante de fibra mineral, hilos eléctricos, conductos de calefacción, una hoja de plástico como barrera contra el vapor, una capa de yeso y varias capas de pintura interior. Para hacer esta pared se necesitan aproximadamente quince operaciones de construcción separadas, llevadas a cabo por seis distintas profesiones de la construcción. Pero su eficacia en el cumplimiento de sus funciones atribuidas es insuperable.

Las puertas y ventanas son casos especiales de «paredes», están especialmente diseñadas para permitir la penetración controlada de las defensas ambientales de la pared. Una puerta controla principalmente el paso de las personas, pero a menudo actúa como una válvula o un filtro para el paso selectivo del aire, el calor, los animales, los insectos y la luz. Una ventana es uno de los elementos de un edificio más fascinantes. Una ventana clásica del tipo más corriente permite el control simultáneo independiente de:

- La iluminación natural.
- La ventilación natural.
- La vista hacia fuera.
- La vista hacia dentro.
- El paso de los insectos.
- El paso del agua.
- El paso del calor (radiante, de conducción, de convección).

Considerando esta multiplicidad de funciones, una ventana es un mecanismo sorprendentemente sencillo. Para los arquitectos, las posibilidades de una ventana son ilimitadas. Considérense algunas de las elecciones posibles en el diseño de una simple ventana para un edificio:

- Su orientación.
- Su emplazamiento en la pared.
- Su tamaño.
- Sus proporciones.
- Los artefactos sombreadores exteriores.
- Su tipo de funcionamiento (fijado, deslizante, etc.).
- El material y el color del marco.
- El tipo del cristal.
- El tipo de pantalla o de contraventana.
- El tipo de la cortina, el material, el color.
- El tipo del mosquitero.

Para los arquitectos, las ventanas son importantes no sólo como elemento funcional del recinto del edificio, sino como elemento principal del diseño visual, a la vez exterior e interior, como alumbradores del espacio interior, como acumuladores del calor solar y a veces como el medio de paso entre el exterior y el interior. Para

conseguir las metas de diseño de una ventana, respecto a todo eso, hay que aprender a manipular las posibilidades técnicas que uno tiene a su disposición. Los resultados pueden acercarse a lo sublime: una gran vidriera soleada, fijada en el suelo; el rosetón de una catedral, de un cristal ricamente coloreado; un gran panel de vidrio suspendido invisiblemente sobre la vista panorámica de un valle boscoso; una cómoda ventana donde uno se puede instalar y leer un sábado de lluvia por la tarde; una claraboya que ilumina una brillante tapicería... Pero los resultados también pueden ser vulgares, incluso deprimentes: una «ventana-cine» que sólo retrata una calle llena de coches aparcados y al mismo tiempo destruye la intimidad interior; una ventana de vivienda que da a un triste patio interior; una ventana demasiado pequeña que deja el espacio interior demasiado oscuro...

El caso es muy parecido para todos los otros elementos de un edificio: cada uno debe cumplir una multiplicidad de funciones; cada uno debe ser hecho de una combinación de materiales de capacidades complementarias; cada uno ofrece al arquitecto su abanico único de posibilidades estéticas que hay que explotar o, con cierto riesgo del arquitecto, ignorar. Estos elementos forman los bloques de arquitectura del edificio, la única materia con la cual un arquitecto puede trabajar la magia única que dará como resultado un edificio satisfactorio. La única base sólida para la creatividad arquitectónica reside en un conocimiento ordenado y asequible del funcionamiento de los edificios. Existe un orden natural de la arquitectura, y la verdadera libertad de diseño parte de una familiaridad cotidiana, fácil, con este orden.

Este libro ha subrayado el orden natural de la función física de los edificios. La arquitectura tiene otras funciones, también importantes; cada edificio sirve a una función económica, justificando su existencia en dinero, y a una función simbólica, creando emociones en las personas que tienen experiencias con él. Pero esto es el cometido de otros libros. Aquí, el mensaje es simplemente que los fundamentos científicos de la edificación son siempre los mismos. Una casa de nieve en el Ártico obedece a las mismas leyes físicas que una de bambú en los trópicos, y un rascacielos de estructura de acero no está tan alejado de una casa en un árbol como podríamos creer. Un arquitecto que entienda que debe tener como principio esencial cómo moderar las fuerzas de la naturaleza para la habitación humana, está preparado para construir bien bajo cualquier circunstancia.



Cuando un término está convenientemente definido en el texto, sólo se da la referencia de la página en donde se encuentra la definición.

Abertura automática en el tejado, 204.

Absorción, 61.

*Acción capilar.* Atracción del agua a través de un pequeño agujero o de una rendija gracias a la combinación de las fuerzas de cohesión dentro del agua y de adhesión entre el agua y el material por el cual es atraída.

*Acondicionador de aire.* Pequeña máquina eléctrica autónoma de refrigeración y deshumificación, usualmente montada en una ventana o en un agujero hecho a propósito en la pared exterior de un edificio.

*Activo.* Adjetivo empleado para describir cualquier sistema del edificio que requiere la aplicación de una energía procedente de una fuente exterior para su funcionamiento, como contraste con un sistema pasivo, que sólo utiliza corrientes de energía ambiental.

*Aerobio.* Adjetivo que describe un proceso biológico que sólo tiene lugar en presencia de oxígeno.

Agua dura, 45.

*Agujero de drenaje.* Abertura en una pared cuya función es la de evacuar hacia el exterior cualquier agua que se pueda acumular dentro de la pared, debido a las goteras o a la condensación.

*Alero.* Borde inferior de un tejado inclinado.

*Alfarje.* Revestimiento de pared interior, pero no llega hasta el techo.

*Anaerobio.* Adjetivo que describe un proceso biológico que sólo tiene lugar cuando hay ausencia de oxígeno.

*Andamio.* Plataformas temporales utilizadas para la comodidad de los obreros, generalmente soportadas por estructuras de metal o de madera.

*Anillo fundible.* Interruptor hecho de una aleación especial con un punto de fundición muy bajo, utilizado para el control automático de los aparatos de seguridad en caso de incendio en los edificios.

*Antepecho.* Borde inferior horizontal de una ventana o una puerta.

Anticlástico, 176-177.

*Apiabático.* Adjetivo que describe un cambio en el volumen de un gas sin que haya pérdida ni aporte de calor.

*Apuntalamiento*. Estructura temporal erigida a fin de soportar una obra de tierra o una estructura de hormigón recientemente colado para que no se derrumbe.

*Arbobante*. Contrafuerte en el cual los empujes laterales son transmitidos desde la bóveda o el arco hasta la masa vertical del contrafuerte gracias a unos arcos inclinados.

*Argamasa*. Substancia empleada para cementar las unidades de mampostería.

*Armazón*. Artefacto estructural de franqueo en el que se transforman las cargas en fuerzas axiales gracias a un sistema de elementos delgados.

*Arquear una viga*, 185.

*Balago*. Tejado hecho de fajos de hierbas u hojas.

*Barrera contra el aire*, 120.

*Barrera contra el vapor*, 173.

*Bidireccional*, 187.

*Bisel*. El corte al biés del borde de una pieza de material a 45°.

*Bomba de calor*, 94.

*Bóveda*. Forma estructural que consiste en un arco trasladado a un eje que no está en su plano, o en una combinación de estas traslaciones.

*Bóveda plana*, 173.

*Caduco*. Árbol que pierde sus hojas en invierno.

*Cajón*, 191, 192.

*Cal*. Hidróxido de calcio, producido a partir de la piedra caliza o de las conchas de mar y empleado como ingrediente de la argamasa o del emplasto.

*Calor específico*. Proporción de la capacidad de almacenamiento de unidad de calor de un material con la del agua.

*Calor latente*. Calor requerido para cambiar la fase de un material sin alterar su temperatura.

*Calor sensible*. Calor que alza o disminuye la temperatura de un material sin cambiar su fase.

*Cámara de aire*, 46.

*Cámara de igualación de la presión*, 120, 121.

*Cambiador de calor*. Aparato que sirve para trasladar el calor de un medio a otro, como del agua al aire, o del aire al aire. Un «radiador de automóvil» es un cambiador de calor del agua al aire.

*Campo de filtración*, 52, 53.

*Canalón*, 115.

*Caño vertical*, incendio, 212.

*Capacidad térmica*, 64.

*Carga de trabajo admisible*, 165.

*Catenaria*, 171.

*C.C.*, véase Corriente continua.

*Cemento Portland*. Polvo gris empleado con agua para cementar la arena y la grava y hacer hormigón; también empleado en la argamasa y el estuco.

*Ciclo de absorción*, 94, 95.

*Ciclo de compresión*, 93, 95.

*Cimentación de mallado*, 191.

*Cimentación flotante*, 192.

*Cimiento aislado*, 191.

*Cimiento con retallo*, 191.

*Cimiento de tira*, 191.

*Cinturón protector*. Envoltura de árboles plantados a fin de parar el viento.

*Cizalla*. En un material, tendencia a resbalar por un plano causada por fuerzas paralelas, pero opuestas, aplicadas en los dos lados del plano, de modo muy similar a unas tijeras que apli-



can unas fuerzas paralelas, pero opuestas, en los dos lados de un plano perpendicular al plano de una hoja de papel.

**Claraboya.** Ventana vertical situada en la junta de dos planos de tejado. Ventana en el tejado.

**Coefficiente de elasticidad,** 165.

**Colector plano,** 90-92.

**Columna.** Elemento de estructura lineal vertical que soporta principalmente cargas verticales.

**Compartimentación.** Subdivisión de un edificio por paredes y/o suelos antifuego a fin de reducir la propagación de un incendio en el edificio.

**Compensación.** Transformación de un material desde un estado gaseoso a un estado líquido. También: el líquido así formado.

**Compresión.** Acciones de apretar con juntas.

**Conducción,** 60.

**Conducto,** 146.

**Conexión bifurcada.** Aparato en forma de Y situado en la base de un edificio que permite la conexión de uno o dos camiones de bomberos al caño vertical o al sistema de riego de un edificio.

**Continuidad.** En una estructura, propiedad de tener unos elementos estructurales rígidamente unidos entre sí de modo que puedan actuar como una unidad estructural única.

**Contrafuerte.** Artefacto estructural, en el cual el peso muerto de la piedra o del ladrillo se combina con los empujes angulares de los arcos o de las bóvedas para producir una fuerza resultante que cae sin peligro en las cimentaciones del edificio.

**Contrahuella de escalón.** Dimensión vertical total de un escalón.

**Convección,** 60.

**Convectivo.** Adjetivo que describe un proceso que utiliza la convección como modo de traslado de calor.

**Convector.** Aparato de calefacción del aire por medio de vapor o de agua caliente que circula a través de tubos de metal expuestos al aire. Un convector suele poseer aletas metálicas fijadas al tubo a fin de aumentar su superficie para un mejor traslado de calor, el conjunto completo está generalmente contenido en un armario de metal con aberturas para la circulación del aire.

**Cordón saliente.** Molde horizontal sobresaliente que recorre la fachada de un edificio.

**Corona.** Ligera curvatura.

**Cortafuego,** 210.

**Cortina antifuego,** 204.

**Cortocircuito.** Interconexión accidental o inadvertida de un hilo caliente con un hilo neutro.

**Corriente alterna.** Corriente eléctrica que invierte su dirección a intervalos rápidos y regulares, generalmente de 60 veces por segundo en Estados Unidos.

**Corriente continua.** Corriente eléctrica de dirección constante.

**Cuerda.** Elemento lineal estructural de un armazón, circuito. Bucle sencillo de hilo eléctrico capaz de servir una cantidad limitada de aparatos o de salidas.

**Cumbrera, Tejado.** Borde superior de un tejado inclinado, línea en la cual se cortan los dos planos de un tejado a dos aguas.

**Cúpula.** Forma estructural que consiste en la rotación de un arco alrededor de su eje vertical. Una cúpula siempre es una hemisfera o cualquier otro segmento de una esfera.

**Chimenea,** 105.

**Decibelio,** 136.

**Deflección.** La cantidad a la cual el punto dado de un elemento

estructural empieza a moverse cuando el elemento se coloca bajo una carga dada.

*Derrame*. Divergencia en las superficies de un marco de ventana.

*Descansillo*. Plataforma ancha en una escalera.

*Deslizamiento*, 193.

*Desmoronamiento*, 118.

*Difracción*. La curvación de ondas de luz o de sonido al pasar por bordes agudos, especialmente por una serie de bordes cuyo intervalo sea similar a la longitud de onda de la luz o del sonido.

*Dintel*. Viga que soporta una pared situada encima de la abertura de una ventana o de una puerta.

*Disimulador del ruido*, 142.

*Dovela*, 173.

*Eco*, 140.

*Efluente*. El resto flotante de la descomposición de las aguas residuales.

*Emisión*, 61.

*Encofrado*. Estructura de madera o de metal que proporciona temporalmente forma y soporte a un elemento de construcción de hormigón o de mampostería que aún no se puede soportar por sí mismo.

*Encristalado*. Instalación de vidrio en un edificio. También, aplicación de un acabado de vidrio en un material de cerámica.

*Enfriador evaporativo*, 97.

*Enfriamiento radiacional*. Enfriamiento de los objetos terrestres por radiación del calor desde los objetos al cielo de la noche.

*Equinoccio*, 15.

*Equinoccio otoñal*, 15.

*Equinoccio primaveral*, 15.

*Escudo antitermitas*, 226.

*Esfuerzo cortante*. Magnitud de la cizalla en un elemento estructural, medida en unidades de fuerza aplicada por unidad de superficie.

*Espacio bajo*. Área de acceso continua, no suficientemente alta como para poder estar de pie, debajo de la planta de un edificio.

*Estribu*. Piezas de varas de acero en forma de U, utilizadas para reforzar las vigas de hormigón contra la quiebra por esfuerzo constante.

*Estructura espacial*. Armazón tridimensional que cubre un espacio con una dirección bidireccional.

*Estructura llenada con fluido*, 189.

*Estructura rígida*, 186, 187.

*Factor de seguridad*, 165.

*Fachada*. Principal cara exterior de un edificio.

*Fango*. Precipitado de las aguas residuales en descomposición.

*Fase única*, 144.

*Filete*. Ranura instalada a fin de doblar el borde de un guardaguasas o de una membrana de tejado.

*Filtración de carbón de leña activado*. Limpieza del aire o del agua haciéndolos pasar a través de cierto volumen de carbón de leña, producido especialmente para tener una gran proporción de superficie con el volumen. Este carbón de leña activado tiene una alta eficacia en la absorción de muchos tipos de contaminantes.

*Fluorescente*, 126.

*Fosa séptica*. Tanque subterráneo estanco diseñado para provocar la descomposición anaerobia de las aguas residuales y para separar los residuos en el efluente y el fango.

*Frontón*. Extremidad triangular ornamental de un tejado de dos aguas en la arquitectura clásica.



*Fuerza de compresión.* Magnitud de la compresión en un material, medida en unidades de fuerza aplicada por unidad de superficie.

*Fuerza de tensión.* Magnitud de la tensión aplicada al material, medida en unidades de fuerza aplicada por unidad de superficie.

*Gotera.* Cualquier artefacto del edificio que obligue al agua a caer sin tocar el edificio en este punto antes que corriendo en su superficie.

*Guardaaguas.* Tira continua de hoja de metal o de plástico que actúa como barrera contra el paso de agua.

Guía, 115.

Hidrónico, 93.

Hierro antipánico, 208.

*Hilo caliente.* Hilo eléctrico cargado de corriente no puesto a tierra.

Hilo neutro, 145.

Hipotermia, 28.

*Hormigón.* Material parecido a la roca, producido por la mezcla de cemento Portland, arena, grava y agua, dejándola endurecer.

*Hormigón armado.* Tipo corriente de construcción en la cual se utiliza el hormigón para soportar las fuerzas de compresión, y en el cual se empotran unas varillas de acero para soportar las fuerzas de tensión.

*Hormigón prefabricado.* Hormigón colado y endurecido fuera del emplazamiento del edificio, y colocado luego en el edificio como un elemento rígido.

Humedad relativa, 71.

*Imbornal.* Agujero hecho a través de un parapeto a fin de evacuar el agua del tejado.

*Incandescente.* Adjetivo que describe una sustancia calentada hasta tal temperatura que emite luz.

*Infiltración.* Aporte o pérdida de aire en un edificio por las rendijas y los defectos del recinto del mismo.

*Infrarrojo.* Literalmente debajo del rojo; longitudes de ondas electromagnéticas más largas que las de la luz roja.

*Interconexión.* Instalación de fontanería defectuosa que permite la penetración de las aguas residuales en las cañerías de abastecimiento de agua en caso de pérdida de presión de abasto.

Interruptor capilar, 120, 121.

Interruptor con toma de tierra, 147.

*Interruptor de circuito.* Aparato que interrumpe automáticamente la corriente eléctrica si se sobrepasa la capacidad de un circuito eléctrico, impidiendo así perjuicios al circuito.

*Interruptor térmico.* Caja de material poco conductor interpuesta entre las partes de un almacén de metal a fin de reducir la conducción del calor.

Inversión, 17.

Inversión atmosférica, 17.

Jácena de acero soldada, 186, 187.

Junta de control, 195.

*Junta de empaque.* Tira elástica utilizada para taponar una junta situada entre dos elementos adyacentes.

*Junta de expansión.* Plano de separación estructural completa entre dos porciones de un gran edificio, cuyo propósito es permitir un movimiento relativo entre las partes sin quebra-dura estructural.

Junta de laberinto, 119-120.

Levantamiento de helada, 124.  
Ley del cuadrado invertido, 76.  
Límite de resistencia, 165.  
*Listón*. Cualquier material mallado en hojas utilizado como base para la aplicación del enlucido.  
Listón abiselado, 117.  
Listón inclinado, 116.  
*Losa*. Elemento horizontal plano de hormigón, utilizado corriente-mente para suelos, tejado o carretera.  
Losa de nido de abeja, 186, 187.  
*Losa de nivelación*. Losa de hormigón que reposa directamente en el suelo.  
Losa nervada, 186, 187.  
Lumen, 132.  
Luminosidad, 133.

*Mampostería*. Obra de piedra, de ladrillos o de bloques de hormi-gón.  
*Marco*. Parte de la estructura de una ventana, a menudo móvil, que contiene el cristal.  
Martillo de agua, 46.  
Ménsula, 188, 189.  
*Monitor*. Caja rectangular que sobresale de un tejado plano para facilitar la iluminación y/o la ventilación natural.  
*Monitor de tejado*, véase monitor.  
Montea, 214.

*Ondas estacionarias*. Modos de vibración de frecuencia única, que provoca el refuerzo del sonido a la frecuencia dada.

Pandeo, 166.  
*Panel cizallado*. Elemento de estructura plano que soporta las car-gas laterales gracias a unas fuerzas dentro de su plano.  
*Panel de servicio*. Caja metálica que contiene los interruptores de circuito para cierto número de circuitos eléctricos, y des-des la que salen todos los hilos eléctricos de estos circuitos.  
*Panel de un armazón*. Segmento rectangular de un armazón, de-limitado por una cuerda inferior, una cuerda superior y dos cuerdas verticales.  
Pantalla contra la lluvia, 119, 120.  
*Parapeto*. Pared que sobresale de las superficies que rodean al tejado.  
*Pared de antepecho*. Zona situada entre las partes superiores de las ventanas de un piso y la parte inferior de las ventanas del piso siguiente.  
Pared de retención de hielo, 116.  
Pared de soporte, 166.  
Pared sonda, 118.  
*Pasivo*. Adjetivo utilizado para describir cualquier sistema de un edificio que sólo emplea corrientes ambientales de energía sin necesidad de aplicación de energía proveniente de una fuente externa.  
*Pasta de cristales*. Material elástico utilizado para taponar la periferia de los paneles de vidrio.  
*Peldaños*. Elementos planos horizontales de un escalón.  
Película aislante, 64.  
*Persianas*. Tiras de material poco separadas entre sí utilizadas para obstruir el paso de la luz o de la lluvia pero permitien-do el paso del aire.  
Peso muerto, 163.  
Peso vivo, 163.  
*Piedra angular*. Bloques rectangulares de albañilería contruidos en las esquinas interiores de los edificios.  
Pilote de fricción, 191, 192.



Pilote de soporte final, 191, 192.

*Pirólisis*. Calentamiento de materiales a fin de reducirlos a sus elementos constituyentes.

Placa de fondo, 191.

Pliego de condiciones, 214, 216.

*Postensado*. Aplicación de una fuerza de compresión a un elemento estructural de hormigón gracias a unas hebras de acero tensadas después de que el hormigón se haya endurecido.

Pozo artesiano, 45.

Preservador, 226.

Presión de vapor, 72.

*Puente térmico*. Paso de alta conductividad que sirve para la transmisión del calor a través de un conjunto de construcción, por otro lado bien aislado.

*Puntal*. Elemento estructural corto que trabaja en compresión el agua fresca, a la vez la fría y la caliente, hasta las instalaciones de fontanería del edificio.

*Puntal angular*. Puntal diagonal temporal utilizado para emplear las paredes o las columnas durante la construcción.

*Punto de rocío*. Para cualquier masa de aire que contenga vapor de agua, la temperatura a la cual el vapor de agua empezará a condensarse. El punto de rocío varía según el contenido en agua del aire: cuanto más alto sea el contenido en agua, más alto es el punto de rocío.

Radiación, 60.

*Radiación nocturna*. Radiación de calor desde los objetos terrestres hacia el cielo de la noche.

*Radiación terrestre*. Radiación termal proveniente de o proyectada sobre objetos en la tierra.

Rampa de escalones, 155, 156.

*Reactor, fluorescente*. Conjunto eléctrico en un aparato fluorescente de luz que sirve a la vez para proporcionar el alto voltaje necesario para que se encienda la lámpara, y para limitar la corriente a la lámpara una vez que ha sido encendida.

Reborde, 156.

*Recalce*. Reforzamiento de las cimentaciones de un edificio con el soporte temporal de un edificio por gatos mientras se añaden nuevos elementos de cimentación.

*Receptor de calor*. Masa o substancia con capacidad térmica muy grande si se la compara con las cantidades de calor que fluyen por un sistema térmico dado.

Reflexión, 61.

Reforzamiento del sonido, 140.

*Refuerzo*. Estria de material añadido a un elemento estructural a fin de aumentar su resistencia al pandeo o a la cizalla.

Regulación vasomotriz, 27.

*Regulador de gas*. Aparato que sirve para controlar y reducir la presión del gas en el punto de utilización.

*Regulador de tiro*. Tapa metálica movable que actúa como válvula en la corriente de aire en un conducto, un aparato consumidor de combustible, o una chimenea.

*Relé*. Interruptor eléctrico controlado por otra corriente eléctrica.

*Resonador*. Cámara hueca que vibra por resonancia y, así pues, absorbe la energía del sonido a una frecuencia determinada.

*Resplandor*. Contraste excesivo de brillo entre una tarea visual y su entorno.

Revestimiento intumesciente, 210.

Rueda regenerativa, 108, 109.

Sello hermético, 119.

Sifón, fontanería, 51.

*Sinclástico*. Adjetivo que describe una superficie que tiene el

mismo sentido de curvatura que, sea cóncavo o convexo, por sus dos ejes principales.  
Sistema de energía total, 95.  
Sistema de riego, 205-207.  
Solsticio, invierno, 15.  
Solsticio, verano, 14.  
Suavizador de agua, 45.  
Sumidero, 52.

*Tabla de rípa.* Pequeña pieza plana de material traslapado sobre piezas similares en una superficie vertical o inclinada de tal modo que impide la penetración del agua.

*Tarea visual.* Foco de atención en un medio ambiente iluminado; objeto que se está intentando ver.

*Tejado de membrana.* Tejado tratado contra el agua gracias a una hoja de material impermeable.

Tejado invertido, 74.

Temperatura radiante media, 77.

*Tensión.* Fuerza que aparta por tirantez o tracción.

*Tensor.* Que tiene que ver con la tensión.

*Terrazo.* Suelo decorativo de hormigón producido por la pulverización y el pulido de una losa hecha de pedacitos de mármol de color y de un hormigón de color seleccionado.

Tholos, 188.

Tiempo de reverberación, 141.

*Tierra negra.* Excremento humano.

*Tirante sencillo.* Elemento estructural tensor; o sencillo aparato de conexión tensor.

*Toldo.* Tejadito inclinado y saledizo sobre una ventana o una puerta.

*Tramo de escalón.* Dimensión horizontal total de un escalón.

*Transformador.* Aparato que sirve para reducir o aumentar el voltaje de la corriente alterna gracias a dos bobinas con, cada una, un número distinto de vueltas de hilo eléctrico enrollado alrededor de un centro magnético.

*Traviesa.* Viga delgada, inclinada, utilizada repetitivamente a estrechos intervalos para soportar un tejado inclinado.

Tres fases, 144.

*Unidades SI.* Sistema internacional de unidades, sistema racionalizado de medida basado en el metro.

Unidireccional, 186, 187.

Válvula vacuorreguladora, 48.

*Valla de nieve.* Valla delgada utilizada para provocar el amontonamiento de la nieve, para que no se acumule en las carreteras o en las vías de paso.

*Ventana basculante.* Ventana cuya hoja se cierra a lo largo de su borde superior y se abre hacia adentro.

*Ventana de guillotina.* Ventana con dos hojas, que se deslizan ambas en guías verticales.

*Ventana de hojas.* Ventana que se abre empujándose por un lado, y se cierra por el otro.

*Ventana proyectante.* Ventana que se abre al empujar su parte de abajo, y está articulada sobre un borde superior.

*Ventilador de tejado.* Aparato, normalmente de metal, que incita al paso del aire por el tejado.

Ventosa de cañería, 52.

Vierteaguas, 121, 122.

*Viga.* Sólido elemento estructural que resiste a las fuerzas de flexión por medio de unas fuerzas de tensión interiores, de compresión y cortante.

Viga de nivelación, 191.



*Viga voladiza.* Porción de una viga o de un armazón que sobresale más allá de su último punto de soporte.

*Vigueta.* Viga delgada utilizada varias veces en espacios estrechos para soportar un suelo o un tejado plano.

*Vitrificado.* De superficie de vidrio.

*Wythe.* Capa vertical de una pared de mampostería ancha de un ladrillo, un bloque o una piedra.

*Yeso.* Mineral natural, sulfato de calcio hidratado, empleado para hacer enlucidos, madera laminar, material estructural antifuego, y otros materiales de construcción.

*Zanja.* Espacio hueco especialmente instalado dentro de un edificio para albergar cañerías, hilos eléctricos o conductos.

- Absorción acústica, 137-142  
 Absorción de la luz, 126, 130  
 Absorción térmica, 61  
 Acceso para camión de bomberos, 211  
 Accidentes en edificios, 158, 160  
 Accidentes en la construcción, 217, 219  
 Acero, resistencia al fuego del, 202, 210  
 Acústica, 135-142  
 Agua  
   distribución del 43, 44, 46, 48;  
   dura, 45;  
   fría, 47;  
   fuentes de, 43-45;  
   tratamiento del, 43, 45, 46  
 Agua dura, 45  
 Agua estancada en un tejado plano, 84, 99  
 Agujero de goteo, 118  
 Aire comprimido, 148  
 Aire de combustión, 105, 106  
 Aislamiento  
   de fibras, 62;  
   reflectivo, 78, 80-83;  
   térmico, 61-74, 78, 80, 81, 86, 87;  
   térmico, interno en comparación con externo, 69, 70  
 Alfombra, 75, 139, 142  
 Alicatado, 229  
 Animales, 21-24  
 Antepecho, 205  
 Apuntalamiento, 224  
 Arco, 172-177  
 Área de superficie por volumen, 87, 88  
 Armazón, 176-181  
 Arquear una viga, 185, 196  
 Arquitecto, 213-215  
 Ascensor, 207, 208, 231  
 Bajante, 115  
 Barra colectora, 147  
 Barrera contra el aire, 120-122  
 Barrera contra el vapor, 73, 74, 99  
 Base con inclinación, 123  
 Biselamiento, 210  
 Blanqueo, 61, 69  
 Boca de riego, 44, 211  
 Bomba de agua, 45-46, 47  
 Bomba de calor, 94  
 Bóveda, 174-176  
 Bóveda plana, 173, 174  
 Bóveda sinclástica, 176  
 Burletes, 103, 121, 122  
 Cabios, 185  
 Caldera, 89  
 Calefacción  
   eléctrica, 89, 90;  
   hidrónica, 92;  
   por agua caliente, 92;  
   por aire caliente, 92;  
   por vapor, 92;  
   radiante, 78, 79  
 Calefacción, aparato de, 88, 89  
 Calor solar, 13-21, 69-70, 78, 80-83, 86, 87, 90-92, 95  
 Cámara de aire, 46  
 Campo de filtración, 52, 53  
 Cañería de retorno al calentador, 46-47  
 Cañería de suministro, 46, 47  
 Caño vertical para incendios, 212  
 Capacidad térmica, 33, 64-65, 71, 86, 88  
 Carbón, 89, 90  
 Casa, 30, 31  
 Catenaria, 171-173, 182  
 Ceguera nocturna, 128  
 Ciclo de absorción, 94-95  
 Ciclo de agua, 18, 19  
 Ciclo de compresión, 93-95  
 Cimbra, 217  
 Cimentación flotante, 192  
 Cimientado, 190-192;  
   aislado, 191;  
   cajón, 191, 192;  
   con retallo, 191;  
   de mallado, 191;  
   de una tira, 191;  
   flotante, 192;  
   pilote, 191, 192  
 Cinturón de protección, 106  
 Circulación atmosférica, 17-21  
 Cisterna de agua de lluvia, 44  
 Ciudades, influencia en el tiempo local, 21  
 Claraboya, 131  
 Clima local, 20-21  
 Coeficiente de elasticidad, 165  
 Colectores planos, 90-91  
 Color, 126, 127, 131-134;  
   efecto sobre la iluminación interior, 130, 229  
 Color liso, 230  
 Columna, 166-168, 190-192, 211  
 Combustibles de calefacción, 89, 90  
 Combustibles fósiles, 22, 89-90  
 Comodidad térmica, 28, 56-59  
 Compartimentación, 203-205  
 Condensación, 17, 18, 47, 71-74, 80, 85, 94-95, 97, 99, 112, 125  
   en paredes y tejados, 72-74  
 Condicionador de aire, 97, 109  
 Conducto eléctrico, 146  
 Conductos, cierre al fuego de los, 203  
 Conexión bifurcada, 212  
 Construcción de lenta combustión, 210  
 Construcción incombustible, 210  
 Contaminación del aire, 101, 102  
 Continuidad estructural, 184, 185  
 Contrafuerte, 175-177;  
   arbotante, 175, 177  
 Contraste visual, 128, 131, 133  
 Contratista de edificio, 213, 222  
 Control de calidad de materiales, 219  
 Control de ruido, 141-142  
 Convección, aire de, 87-90, 93



Convección como traslado de calor, 60, 63  
 Coronada, superficie simétrica, 124  
 Cortinas, 87, 90, 139, 142  
 Cortinas antifuego, 204  
 Corriente alterna, 144  
 Corrosión, 194, 223, 232-233  
 Coste de un edificio, 221-222  
 Cristal, 62, 63, 82, 83, 228;  
   absorbente de calor, 82, 83;  
   aislante, 62, 63;  
   doble, 62, 63;  
   manutención del, 228, 229;  
   reflectante, 82, 83;  
   triple, 62  
 Cuerpo  
   calor metabólico, 26-27, 28;  
   enfriamiento, 27, 28;  
   temperatura, 26  
 Cuerpo humano, tamaño del, 149  
 Cúpula, 174-176  
  
 Chimenea, 66, 67, 68, 105, 109  
  
 Decibelio, 136  
 Deformación estructural, 184, 186, 197  
 Descansillos en las escaleras, 157, 208  
 Desechos  
   líquidos, 50-55;  
   sólidos, 53  
 Deshumidificación, 95, 99  
 Deslizamiento estructural, 193  
 Desmoronamiento, 118  
 Desorden, 234  
 Deterioro de los edificios por la naturaleza, 223-228, 232-235  
 Día, duración del, 14-16  
 Dilatación  
   por congelación, 193-194;  
   térmica, 193, 194  
 Dilatación y encogimiento en los edificios, 193-199  
 Dimensiones de habitaciones, 151, 152  
 Dimensiones del edificio, 150-155  
 Discurso humano, sonidos del, 136  
 Disimulador del ruido, 142  
 Dovela, 173  
 Drenaje de cimentación, 122  
 Drenaje del tejado, 114, 122  
  
 Eco, 140  
 Efecto de invernadero, 82  
 Ejercicio, 27, 28  
 Elección de emplazamiento, 33, 43  
 Electricidad, 143-148;  
   de fase única, 144;  
   de tres fases, 144  
 Emisión, 61, 63  
 Empalizada para la nieve, 106

Empuje en los cables, 185  
 Empujes en arcos, 173-177, 187  
 Encofrado, 174  
 Enfriador evaporativo, 97, 99  
 Enfriamiento radiacional, 17, 61, 76-78, 80, 83, 84  
 Equinoccio  
   de otoño, 15;  
   de primavera, 15  
 Erosión del suelo, 23, 115, 224  
 Escaleras, 155-157, 207, 208;  
   de incendio, 207, 208;  
   en espiral y de caracol, 157;  
   espacio en altura, 155, 160;  
   fórmulas de proporción para, 157  
 Escaleras antihumaredas, 212  
 Escaleras de mano, 155, 156  
 Escaleras mecánicas, 231  
 Escape de un incendio, 207-208  
 Escupidor, 116, 117  
 Esfuerzo cortante en las vigas, 183-184  
 Espacio de aire como aislante, 62-64  
 Estaciones, relación con la órbita de la tierra, 14-16  
 Estribos, 185  
 Estructura a la vista, 220  
 Estructura espacial, 180, 181  
 Estructura rígida, 186, 187  
 Estructuras llenadas con un fluido, 189  
 Estructuras metálicas a prueba de fuego, 211  
 Estructuras neumáticas, 189  
 Evaporación, 18, 27, 93, 97, 99  
 Excrementos de pájaros, 229  
 Extinción del fuego, 205-207, 211-212  
  
 Factor de seguridad estructural, 165, 166  
 Filete, 116, 117  
 Filtración del aire, 109  
 Fisiología humana, 25-30  
 Fontanería, 44-55, 125, 228, 231  
 Formación de ampollas bajo la pintura, 73  
 Formación de burbujas en el tejado, 74, 113, 227  
 Formación de humus, 49, 50, 54  
 Fosa séptica, 52-53  
 Fotosíntesis, 21, 22, 109, 110  
 Frentes meteorológicos, 19  
 Fuentes de luz fluorescente, 126, 132  
 Fuentes de luz incandescentes, 126, 132  
 Fuerza de compresión, 164-166  
 Fuerza tensora, 168  
 Fuerzas laterales sobre los edificios, 189-190

Galería de susurros, 139  
 Gas, combustible, 90, 148  
 Generador eléctrico, 143, 144  
 Generador hidroeléctrico, 144  
 Geología del terreno del edificio, 22, 23  
 Goteo de agua de lluvia, 115  
 Gotera, 121, 122  
 Goteras de agua, 125, 227  
 Grietas del yeso, 184, 229  
 Guardaaguas, 116, 118, 122  
 Guía, 115

Herramientas de construcción, 217, 219  
 Hierros antipánico, 208  
 Higiene, 28-29, 49-55, 228-231  
 Hilos eléctricos, 145  
 Hipotermia, 28  
 Hongos, 223, 225  
 Hormigón armado, 185-187, 199, 210, 217, 219  
 Humedad, 27, 71, 85-100, 194, 198, 199  
 Humedad relativa, 71  
 Humidificación, 99

Iluminación, 126-134  
   134  
 Iluminación de edificios, 126-6  
 Iluminación de día, 129-132, 134  
 Iluminación natural, 129-132, 134  
 Impresos, 214  
 Incendios de edificios, 200-212, 228  
 Incinerador, 53  
 Infiltración de aire, 102, 103  
 Inspector de obras, 213  
 Instalación de hilos de bajo voltaje, 147;  
   eléctricos, 145-147  
 Intensidad del sol sobre la tierra, 16  
 Interconexiones en fontanería, 48  
 Interrupción capilar, 122  
 Interruptor con toma de tierra, 147  
 Interruptor de circuito, 145-147  
 Interruptor térmico, 125  
 Intimidación acústica, 142  
 Inversión atmosférica, 17

Jácena, 187  
 Juntas de argamasa, 227  
 Juntas de control, 195  
 Juntas de dilatación, 195, 196  
 Juntas de laberinto, 119-120  
 Juntas estancas, 119  
 Juntas rígidas, 190

Lámparas de descarga, 132  
 Levantamiento de helada, 124

- Ley del cuadrado inverso, 76  
 Límite de resistencia, 165  
 Listón inclinado, 116  
 Losa  
   de hormigón, 186, 187;  
   en nido de abeja, 186, 187;  
   nervada, 186, 187  
 Luminosidad, 133  
 Luminosidad visual, 82, 128,  
   131  
 Luz  
   artificial, 132-134;  
   brillo de, 127-128, 133;  
   color de, 126, 127;  
   natural, 129-132;  
   reflexión de, 131  
 Luz del cielo, 129-131  
 Luz solar, 13;  
   efectos de la, 13, 17, 21, 22,  
   29, 61, 80-83, 86-88, 90-92,  
   126, 129-132, 223, 232  
 Madera  
   movimiento causado por la  
   humedad en la, 198, 199,  
   225;  
   resistencia al fuego de la,  
   210  
 Mampostería, estanquidad de,  
   118  
 Mancha irregular, 64  
 Mantenimiento de edificios,  
   223-235  
 Manutención del suelo, 230  
 Martillo de agua, 46, 47  
 Material a prueba de fuego,  
   209, 210  
 Materiales de construcción,  
   60, 75, 166, 219, 240, 242  
 Materiales de segunda mano,  
   234  
 Medición  
   sistema inglés, 160;  
   sistema métrico, 161  
 Ménsula, 188-189  
 Metales autoprotectidos, 233  
 Metano, 54  
 Modelos estructurales con ca-  
   dena colgante, 172  
 Monitor, 105, 131  
 Monteas, 214-216  
 Movimiento del aire, 27, 57,  
   101-110  
 Movimiento vertical en los  
   edificios, 155-157, 207, 208  
 Muebles, 28, 77, 150-153  
 Muestra de material para  
   pruebas, 219  
 Música, 136, 140, 141  
 Nieve, 18, 106, 115, 116, 163  
 Oído humano, 29, 36  
 Ojo humano, 29, 126-128  
 Ondas continuas, 139  
 Ondas de sonido  
   absorción, 137, 138;  
   difracción, 137;  
   propagación, 137;  
   reflexión, 137  
 Óxido del metal, 233  
 Oxígeno, falta de, 89  
 Pandeo, 166-168, 178  
 Pandeo de vigas, 184  
 Paneles cizallados, 190  
 Pantalla contra la lluvia, 120,  
   121  
 Parapeto, 116, 117, 205  
 Pared de retención de hielo,  
   116  
 Pared de soporte, 166-168  
 Pared sonda, 118  
 Paredes, 33, 34, 63, 64, 68-70,  
   116-122, 137-142, 166, 167,  
   190, 191, 203-205, 221,  
   240-242;  
   antifuego, 203-205;  
   de alta capacidad térmica,  
   34, 68-70  
 Pasillos, 154, 155  
 Película aislante de aire, 64  
 Percepción térmica, 74-75  
 Peso  
   muerto, 163;  
   vivo, 163  
 Pintadas, 230  
 Pirómanos, 228  
 Placa de fondo, 191  
 Placas acústicas, 139  
 Planos, 213-215  
 Pliegos de condiciones, 214-  
   216  
 Portales, dimensiones, 154  
 Pozo, 44, 45;  
   artesiano, 45  
 Precipitaciones, 18, 19-20  
 Precisión en los edificios, 219,  
   220  
 Pudrición, 225, 226  
 Puente cubierto, 226  
 Puente térmico, 64  
 Puerta, 105, 198, 208, 209,  
   242;  
   giratoria, 208, 209  
 Pulverización de la pintura,  
   229  
 Pulverizadores de basura, 53  
 Puntal diagonal, 190  
 Punto de rocío, 71-74  
 Radiación infrarroja, 13, 76-84  
 Radiación nocturna del cielo,  
   17, 80, 83, 84  
 Radiación térmica, 60-62, 80,  
   84;  
   longitud de onda, 61  
 Radiación ultravioleta, 22, 109,  
   223  
 Radiador, 92  
 Rampa, 155, 156  
 Rampas de escalones, 155,  
   156  
 Reacción galvánica, 223  
 Recibidores, 155, 158  
 Recuperación del calor, 54,  
   108, 109  
 Reflexión, 61  
 Relámpagos, 202, 203  
 Remodelaje, 234  
 Resistencia térmica, 62-64, 69-  
   70, 86-88  
 Respiraderos en el tejado de  
   apertura automática, 204  
 Resonador, 138  
 Retrete, 47, 48, 51, 52, 54  
 Revestimiento intumescente,  
   210  
 Riegos en la construcción,  
   217, 219  
 Rocío, 17  
 Ropa, 28, 35, 57-59  
 Rueda regenerativa, 108, 109  
 Ruido, 136-138, 141-142  
 Salidas, 207-208  
 Secuencia de construcción,  
   220, 221  
 Seguridad  
   en edificios, 30, 158, 159,  
   202-212, 228;  
   en la construcción, 217, 229  
 Seguridad contra incendios,  
   202, 228  
 Seguros contra incendios, 206  
 Servicios temporales durante  
   la construcción, 215, 217  
 Sifón de depósito, 51  
 Silla de ruedas, 158  
 Sistema de alarma contra in-  
   cendios, 207  
 Sistema de energía total, 95  
 Sistema de hormigón uni y  
   bidireccional, 186-187  
 Sistema eléctrico  
   antigüedad del, 223;  
   en pequeños edificios, 145-  
   147  
 Sistema vasomotor, 27  
 Sistemas de fontanería, ma-  
   nutención de, 228, 231  
 Sistemas de riego, 205-207  
 Sistemas mecánicos, manuten-  
   ción de, 230, 231  
 Sistemas pasivos, 91  
 Solsticio  
   de invierno, 15;  
   de verano, 14-15  
 Sombreador, 79-83, 129  
 Sonido, 135-142  
   absorción por las plantas,  
   141;  
   reforzamiento del, 139, 140  
 Sótano, 122, 123, 192;  
   estanquidad del, 122, 123  
 Suavizador de agua, 45  
 Subcontratista, 213-215  
 Sumidero, 52  
 Suministros de agua en edifi-  
   cios pequeños, 47  
 Tablillas, 114-116, 232  
 Techo de paja, 114  
 Tejado, 34, 63, 69, 80, 82,  
   113-117, 227;  
   inclinado, 113-116, 185;  
   membrana, 113;  
   plano, 113, 116, 124



- Tejado invertido, 74
- Tejado sobresaliente, 81, 91, 116-117
- Tejados, resistencia al fuego de los, 205
- Temperatura del aire, 85-100
- Temperatura media radiante (T.M.R.), 77-80
- Termitas, 226
- Terremoto, 163, 190
- Tholos, 188, 189
- Tiempo de reverberación, 140, 141
- Tiendas de campaña, 171
- Tierra
  - calentamiento por el Sol, 16, 17;
  - enfriamiento nocturno, 17;
  - órbita alrededor del Sol, 14, 15
- Tierra, capacidad térmica de la, 70, 71
- Torre de refrigeración, 93, 96, 97, 98
- Transpiración, 27
- Tratamiento de los desperdicios, 50, 54, 55
- Tuberías de vacío, 148
- Tubo de desagüe, 51, 52
- Túnel de viento, 106
- Válvula vacuorreguladora, 48
- Vandalismo, 228
- Vapor, 92, 148
- Vapor de agua, 18, 27, 71-74
  - desplazamiento entre edificios, 73
- Ventanas, 81-83, 103-105, 121-122, 130-131, 137, 138, 153, 154, 196, 197, 205, 228, 229, 233, 242, 243;
  - dimensiones de las, 153-154;
  - diseño de los, 242, 243;
  - orientación de las, 83
- Ventilación, 29, 80, 101, 123;
  - convectiva, 80, 103-105;
  - natural, 102-108
- Ventilador, 98, 109
- Ventilador de techo, 105
- Ventiladores, ventilación, 108, 109
- Ventosa de cañería, 51, 52
- Vía de escape del fuego, 207
- Viento, 18-21, 33, 34, 102-108, 113, 114-116, 120-123, 138, 163, 189, 223;
  - alrededor de edificios altos, 106-108;
  - energía del, 92, 102-104, 143;
  - fuerzas del, 163, 189
- Vierteaguas, 121, 122
- Viga, 181-187;
  - de hormigón armado, 185-187;
  - de hormigón postensado, 183;
  - líneas de fuerza principal, 183
- Viga de nivelación, 191
- Vista, 29, 126-128
- Zanja, 48

¿Qué hacen los edificios? y ¿cómo funcionan? El nuevo libro de Edward Allen aporta una respuesta completa y elegantemente articulada a estas preguntas fundamentales sobre la arquitectura.

"Un libro en el que el Artículo obedece a las mismas leyes físicas que una casa de bambú en los Tropics", escribe Allen. "Y un resultado de estructura de acero no está tan alejado de una casa en un árbol como podríamos creer a veces". Pero los principios bajo los que funcionan los edificios nunca han sido claramente expuestos. El libro de Edward Allen es la primera fisiología de la arquitectura que se aborda de una manera comprensible y no matemática; por ello permitirá entender cómo funcionan los edificios tanto a los profanos como a los profesionales.

Por primera vez reunidos en un volumen único, cada capítulo de *Cómo funciona un edificio* describe con concisión un aspecto de la función del mismo: consideraciones térmicas en arquitectura, cómo proteger los edificios del agua, reducir el peligro de incendio, adaptar los edificios a los usuarios, cuál es su comportamiento estructural y mucho más. Cada uno de estos capítulos constituye una introducción completa a su tema con el fin de incorporar claridad y simplicidad a la descripción de fenómenos que, de otro modo, pueden resultar complejos.

Unas 300 ilustraciones originales acompañan el texto y ayudan a la comprensión de los puntos clave. En tanto que libro de principios sobre el diseño y la construcción, *Cómo funciona un edificio* ocupará un lugar destacado entre los libros básicos de arquitectura y de construcción de edificios. Un índice y un glosario de los términos completan el libro como manual de referencia apropiado.

Edward Allen es profesor adjunto de Arquitectura en el Massachusetts Institute of Technology y autor de varios libros sobre construcción.

Editorial Gustavo Gili, SA

08029 Barcelona, España. Pasa 110. 875-89

Tel: 93 322 81 61 - Fax: 93 322 92 05

e-mail: info@gili.com

<http://www.gili.com>

ISBN 84-252-1089-5



9 788425 210891