

# El Movimiento del Aire Condicionante de Diseño Arquitectónico





# El Movimiento del Aire Condicionante de Diseño Arquitectónico



2011

## *El movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico*

Luis Velasco Roldán

El presente trabajo parte de la tesis doctoral homónima dirigida por los catedráticos Jaime López de Asiain y Rafael Serra Florença, leída en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona con la calificación de sobresaliente *Cum Laude* por unanimidad, en junio de 2006.

Durante el proceso de investigación el trabajo obtuvo la Beca de Investigación 2003 del Colegio Oficial de Arquitectos de Baleares, así como el Premio de Innovación Tecnológica 2006, promovido por el Govern de les Illes Balears y el Premio Medi Ambient 2008 de investigación, promovido por el Consell Insular de Mallorca.

CATÁLOGO DE PUBLICACIONES DE LA ADMINISTRACIÓN GENERAL DEL ESTADO:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

TIENDA VIRTUAL DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE FOMENTO:

[www.fomento.es](http://www.fomento.es)

© DEL TEXTO: el autor

EDITA: Centro de Publicaciones  
Secretaría General Técnica  
Ministerio de Fomento ©

N.I.P.O.: 161-11-128-0

# ÍNDICE

<b>0. PRÓLOGO</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15
1.2. ÁMBITO CLIMÁTICO	15
1.3. MARCO TEÓRICO	15
1.4. EL MOVIMIENTO DEL AIRE CONDICIONANTE DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO	15
1.5. VENTILACIÓN NATURAL	16
1.6. ESTUDIO Y MONITORIZACIÓN	16
<b>2. BASES GENERALES</b>	<b>17</b>
2.1. MÉTODOS DE INTERCAMBIO DE CALOR	19
2.1.1. CONDUCCIÓN	
2.1.2. CONVECCIÓN	
2.1.3. RADIACIÓN	
2.1.4. TERMODINÁMICA DEL AIRE	
2.2. CONFORT TÉRMICO	21
2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AMBIENTE	
2.2.1.1. Temperatura	
2.2.1.2. Humedad relativa	
2.2.1.3. Velocidad del aire	
2.2.2. FACTORES INDIVIDUALES	
2.2.2.1. Vestimenta	
2.2.2.2. Tasa metabólica	
2.2.2.3. Período de ocupación	
2.2.2.4. Sexo	
2.2.2.5. Edad	
2.2.2.6. Peso, constitución corporal	
2.2.2.7. Aclimatación	
2.2.2.8. Parámetros culturales	
2.3. ZONA DE CONFORT	29
2.3.1. DIAGRAMAS CLÁSICOS DE CONFORT	
2.3.1.1. Carta bioclimática del Olgay	
2.3.1.2. Zona de confort de Givoni	
2.3.2. ZONA VARIABLE DE CONFORT	
2.3.3. INDIVIDUALIZACIÓN - ZONIFICACIÓN	
2.4. FENÓMENOS FÍSICOS ACTIVADORES DEL MOVIMIENTO DEL AIRE	26
2.4.1. VENTILACIÓN NATURAL POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA	
2.4.1.1. Efecto chimenea	
2.4.1.2. Ventilación adiabática	
2.4.1.3. Ventilación simple	
2.4.1.4. Ventilación cruzada	
2.4.1.5. Infiltraciones	

2.4.2. VENTILACIÓN NATURAL POR DIFERENCIA DE PRESIÓN GENERADA POR EL VIENTO	
2.4.2.1. Ventilación simple	
2.4.2.2. Ventilación cruzada	
2.4.2.3. Infiltraciones	
2.4.3. COMBINACIÓN DE ESTRATEGIAS	
2.4.4. ELEMENTOS INDUCTORES	
2.4.5. VENTILACIÓN MECÁNICA	
2.4.6. VENTILACIÓN MECÁNICA ACONDICIONADA	
2.4.6.1. Enfriamiento gratuito	
2.4.6.2. Ventilación por desplazamiento	
2.4.7. SISTEMAS HÍBRIDOS	
2.4.7.1. Uso alternativo de estrategias y sistemas naturales y artificiales	
2.4.7.2. Ventilación natural asistida por ventilación mecánica	
2.5. RÉGIMEN DE VENTILACIÓN	32
2.5.1. VERANO	
2.5.2. INVIERNO	
2.5.3. ESTRATEGIAS Y SISTEMAS DE PREENFRIAMIENTO O PRECALENTAMIENTO	
2.5.4. ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
2.5.4.1. Sistemas indirectos	
2.5.4.2. Sistemas directos	
2.5.5. PREVENCIÓN DE CARGAS	
2.5.5.1. Invierno	
2.5.5.2. Verano	
2.5.6. CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN	
2.5.6.1. Estrategias de control	
2.5.6.2. Sensores	
2.5.7. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	
2.5.8. RUIDO	
2.5.9. SEGURIDAD	
2.6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	39
2.6.1. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON MODELOS A ESCALA	
2.6.1.1. Túnel de viento	
2.6.1.2. Piscinas de sales	
2.6.1.3. Piscinas de agua	
2.6.2. MODELOS MATEMÁTICOS	
2.7. DISTRIBUCIÓN DE FLUJOS DESDE LA ESCALA URBANA HASTA EL INTERIOR DEL LOCAL	40
2.7.1. A ESCALA TERRITORIAL	
2.7.2. A ESCALA LOCAL	
2.7.2.1. Régimen de viento suburbano	
2.7.2.2. Régimen de viento urbano	
2.7.2.3. Agrupación de edificios	

2.8. EL MOVIMIENTO DEL AIRE A TRAVÉS DE LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS	42
2.8.1. VIVIENDAS	
2.8.2. OFICINAS	
2.8.3. HOSPITALES	
2.8.4. CENTROS EDUCATIVOS	
2.8.5. GRANDES SUPERFICIES	
2.9. ABERTURAS EN LA ENVOLVENTE	45
2.9.1. POSICIÓN RELATIVA EN EL CERRAMIENTO	
2.9.2. DIMENSIONES RELATIVAS ENTRE ABERTURAS	
2.9.3. FORMA Y PROPORCIÓN	
2.9.4. SISTEMA DE APERTURA	
2.9.5. ÁNGULO DE INCIDENCIA DEL VIENTO	
2.10. CIRCULACIÓN DEL AIRE EN EL INTERIOR DE LOS LOCALES	48
2.10.1. VENTILACIÓN NATURAL	
2.10.2. VENTILACIÓN MECÁNICA	
2.10.3. VENTILACIÓN MECÁNICA REFRIGERADA	
<b>3. EL MOVIMIENTO DEL AIRE A TRAVÉS DE LA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA</b>	<b>51</b>
3.1. REINO ANIMAL	53
3.2. VIVIENDAS PRIMITIVAS	53
3.3. SUMER	54
3.4. EL ANTIGUO EGIPTO	54
3.5. CRETA	55
3.6. GRECIA	56
3.7. ROMA	56
3.8. ARQUITECTURA ISLÁMICA	57
3.9. CHINA Y JAPÓN	59
3.10. EL RENACIMIENTO	61
3.11. PERSIA	62
3.12. MONGOLIA	63
3.13. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	63
3.14. EL MOVIMIENTO MODERNO	67
3.15. EL REGIONALISMO CRÍTICO	74
3.16. POSTMODERNISMO. LA CRISIS ENERGÉTICA	78
3.17. HIGH TECH	79
3.18. LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE	80
<b>4. ESTRATEGIAS Y COMPONENTES INDUCTORES DEL MOVIMIENTO DEL AIRE</b>	<b>83</b>
4.1. VENTILACIÓN NATURAL	
4.1.1. POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA	
4.1.1.1. Patio como piscina de aire refrigerado	
4.1.1.2. Patio como elemento de extracción	
4.1.1.3. Atrio	
4.1.1.4. Patinillo	
4.1.1.5. Conducto vertical	
4.1.1.6. Exutorio	
4.1.1.7. Aireador de cubierta	
4.1.1.8. Forma de la cubierta	

4.1.1.9. Compartimentación en planta y en sección	
4.1.1.10. Infiltraciones	
4.1.2. INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	
4.1.2.1. Chimenea térmica solar	
4.1.2.2. Invernadero	
4.1.2.3. Muro trombe	
4.1.2.4. Doble carpintería. Hoja interior ventilada	
4.1.2.5. Torre de refrigeración adiabática	
4.1.2.6. Sistemas de calefacción o refrigeración	
4.1.3. POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO	
4.1.3.1. Ventana	
4.1.3.2. Doble carpintería con ambas hojas ventiladas	
4.1.3.3. Persiana	
4.1.3.4. Permeabilidad de los cerramientos	
4.1.3.5. Ventana aireada	
4.1.3.6. Rejilla de ventilación exterior	
4.1.3.7. Túnel de viento	
4.1.3.8. Compartimentación interior	
4.1.4. INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO	
4.1.4.1. Resaltes, balcones y voladizos	
4.1.4.2. Captador unidireccional / multidireccional	
4.1.4.3. Extractor unidireccional / multidireccional	
4.2. VENTILACIÓN MECÁNICA	111
4.2.1. Inyectores / Extractores	
4.3. VENTILACIÓN ACONDICIONADA	112
4.3.1. Ventilación natural / Mecánica / Acondicionada	
<b>5. PRETRATAMIENTO DEL AIRE Y MINORACIÓN DE LA DEMANDA</b>	<b>115</b>
5.1. PREENFRIAMIENTO	117
5.1.1. A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS CONVECTIVAS	
5.1.1.1. Conductos enterrados	
5.1.1.2. Refrigeración nocturna	
5.1.2. A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS EVAPORATIVAS	
5.1.2.1. Agua. Sistemas directos	
5.1.2.2. Vegetación	
5.1.2.3. Agua. Sistemas indirectos.	
5.2. PRECALENTAMIENTO	122
5.2.1. ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN PASIVA	
5.2.1.1. Invernadero	
5.2.2. ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN ACTIVA	
5.2.2.2. Colectores solares	
5.3. MINORACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	124
5.3.1.1. Prevención de cargas	

<b>6.</b>	<b>ESTUDIO Y DIAGNOSIS DEL MODELO CONSTRUIDO</b>	<b>127</b>
6.1.	PROGRAMA Y EMPLAZAMIENTO	129
6.2.	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	129
6.3.	ESTRATEGIAS MEDIOAMBIENTALES	129
6.4.	OBJETIVOS DE LA MONITORIZACIÓN	134
6.5.	DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE MONITORIZACIÓN	135
6.6.	TOMA DE DATOS	135
6.7.	CONCLUSIONES	135
6.7.1.	MONITORIZACIÓN ESTIVAL	
6.7.1.1.	Monitorización del sistema de prerefrigeración	
6.7.1.2.	Monitorización de los distintos regímenes de ventilación	
6.7.2.	MONITORIZACIÓN INVERNAL	
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>145</b>
	BIBLIOGRAFÍA	147
	ÍNDICE DE IMÁGENES	149



## PRÓLOGO

Por fin sale a la luz un trabajo sistemático y completo sobre la importancia del movimiento del aire en relación con la habitabilidad del espacio construido, es decir, con la arquitectura.

Se encuentran con cierta facilidad estudios sobre la influencia de los vientos y las brisas en los edificios, desde aquellos primeros análisis de Víctor Olgiay, durante su estancia en Colombia que conocí en 1968, hasta otros muchos basados en su mayoría en sus trabajos, pero que han ocupado tan solo algún capítulo de libros dedicados al confort y al aprovechamiento de lo que universalmente se conoce como “ventilación cruzada”.

En general, arquitectos de los países húmedos y en especial los japoneses, han sido históricamente maestros en el dominio y control de las brisas y del movimiento del aire en el interior de los edificios, dando lugar a una arquitectura muy característica, admirada y copiada en todo el mundo donde el clima era semejante y, como suele ocurrir tantas veces, convertida en mimesis formal casi siempre banal donde esa situación no se daba.

Pero siempre estos trabajos se presentaban como estudios parciales y complementarios de otros factores referentes al diseño arquitectónico y confundidos con ellos por lo que resultaba conveniente, en mi opinión, abordar el tema de una manera más integral, más generalizada, para dar su verdadero valor a este factor, “el movimiento del aire”, en su aplicación al diseño y a la evaluación de sus resultados en arquitectura.

La decisión de Luis Velasco de realizar su tesis doctoral sobre el tema nos dio la oportunidad de abordarlo a fondo y reflexionar sobre ello para más adelante extraer conclusiones y plantear metodologías y pautas que pudieran ser útiles a los arquitectos.

Naturalmente, el modo más directo y eficaz de llevar a cabo el estudio consistía en bucear en la historia de la arquitectura para identificar, analizar y clasificar los ejemplos y tipologías que se habían producido en diferentes lugares, climas y culturas, tanto en la arquitectura popular “sin arquitecto” como en los casos de edificios singulares en los que este factor se había considerado fundamental para el proyecto.

Debía pues estudiarse el universo de modelos, clasificarlo, sistematizar sus componentes y establecer las relaciones estructurales, (tipológicas), que pudieran dar lugar a otros modelos cada vez más actuales y adecuados para los adelantos constructivos y técnicos.

Por otra parte, el tema del confort humano en el espacio construido es muy complejo, con múltiples condicionantes pero con un fundamento básico y primario, condición *sine qua non*, que se refiere al confort térmico. En este, la temperatura y la humedad relativa vienen modificadas por el movimiento del aire: a mayor velocidad del aire mayor frescor o frío por evaporación y menor agobio o incomodidad por eliminación de humedad ambiente.

Los planteamientos básicos de las instalaciones de Aire Acondicionado (Fanger) tienden a crear una situación de equilibrio estable entre esos factores. Sin embargo, está comprobado que la permanencia de ese equilibrio produce cansancio, incomodidad y desazón en el que lo sufre, (ejemplo frecuente de los trabajadores de una oficina así acondicionada), pero además, está demostrado que la sensación de confort térmico tiene un componente muy personal y variado, de modo que no puede generalizarse ni uniformizarse.

Por ello, la variabilidad y la personalización del movimiento de aire en cada espacio y usuario pueden ser la clave de la obtención de una sensación de confort plena en el espacio habitable.

En cuanto a la construcción del índice de la investigación realizada debo decir que me parece muy acertada y que la búsqueda de modelos y ejemplos históricos se ha resuelto con suficiente validez e, igualmente, me parecen bien utilizadas las estrategias metodológicas de análisis y conocimiento de los diversos sistemas de control y de mejora térmica en variadas arquitecturas, climas y culturas, por lo que la tesis mereció en su día la calificación de sobresaliente *cum laude* por el tribunal que la juzgó en la Universidad Politécnica de Cataluña.

También se me ocurre que la posible incorporación de los aspectos energéticos a este estudio podría abrir una nueva línea de investigación que acercaría el tema del control y dominio del movimiento del aire en los edificios a la preocupación, hoy tan actual, de la sostenibilidad.

Por último, quiero felicitar al autor y a cuantos han contribuido a la publicación de este libro pues considero que significa una aportación importante y necesaria para el conocimiento y manejo de un factor de diseño arquitectónico poco considerado ni controlado en general por los arquitectos.

**Jaime López de Asiain. Doctor arquitecto**  
Sevilla. Abril de 2010



# 1. INTRODUCCIÓN

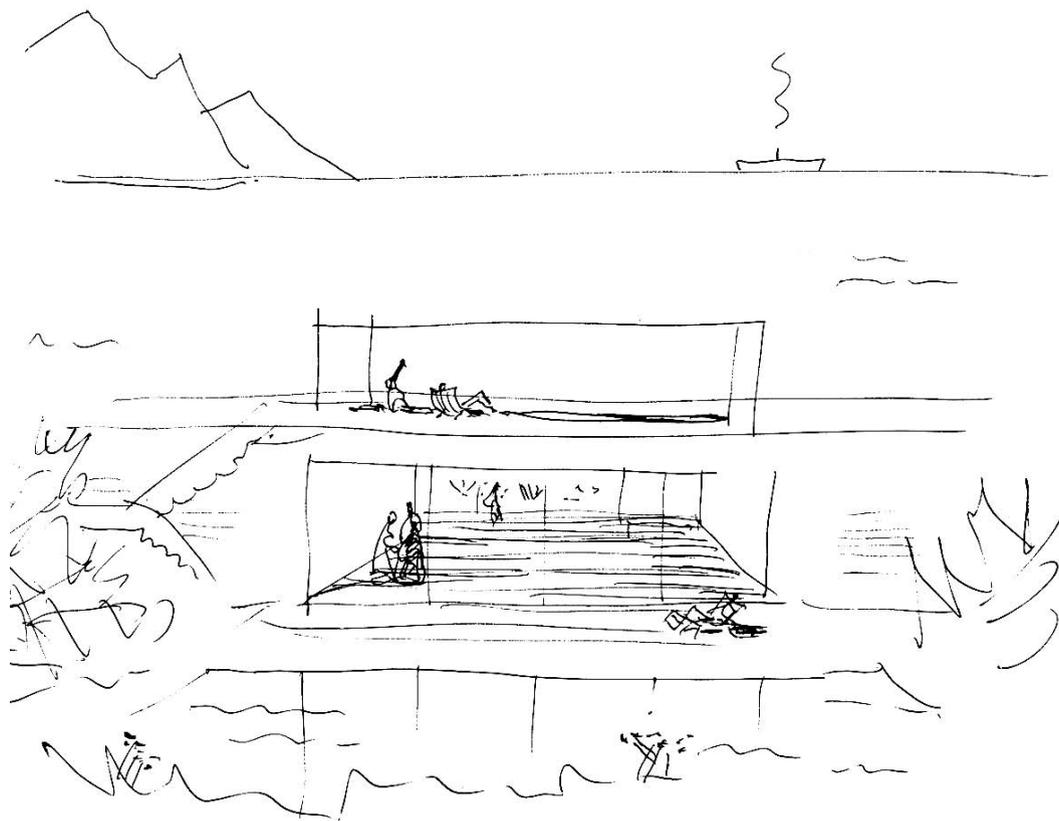


Fig. 1.1. Proyecto de urbanización. Colonia de San Pedro. España. Alejandro de la Sota. 1984



### 1.1 OBJETIVOS DE LA PUBLICACIÓN

La sobrevaloración del edificio como objeto estético, exento de usuarios, genera una arquitectura insostenible que supedita su habitabilidad a la instalación de potentes sistemas de climatización. La reproducción irresponsable de edificios, entendidos como un mero repertorio formal, como objetos de moda, descontextualiza la arquitectura de tal forma que esta se ve reducida a fotogénicas construcciones completamente inhabitables. El extremo opuesto del espectro arquitectónico es igualmente perverso: edificios que, confundiendo arquitectura con eficiencia energética, generan máquinas de consumo mínimo ajenas a cualquier otro condicionante arquitectónico, cultural o urbano, tiranizando al usuario y condicionando su modo de habitar.

Recogiendo la reflexión de Jaime López de Asiain, debemos aspirar a definir una arquitectura en que las formas existen no únicamente como capricho de la imaginación sino por designio del clima y de las estaciones, para que quienes las habitan no se sientan prisioneros de un medio artificial hostil y ajeno al entorno circundante, sino identificados con su medio ambiente.

Las figuras 1.3 y 1.4 ejemplifican ambas aproximaciones antagónicas: aislamiento y permeabilidad.

### 1.2 ÁMBITO CLIMÁTICO

El libro centra su atención en aquel ámbito climático en el cual el efecto refrigerante del movimiento del aire atesora suficiente potencial para restablecer por sí solo las condiciones de confort o que la ausencia de alternativas claras conviertan dicha estrategia en la principal baza de refrigeración.

La capacidad de enfriamiento de la ventilación depende de la velocidad del aire interior así como del diferencial de temperatura entre el interior y el exterior. Conociendo la temperatura de confort y comparándola con los datos climatológicos, es posible valorar el potencial teórico de enfriamiento obtenido a través de la ventilación. Confrontando este dato con la energía requerida en verano, es sencillo evaluar la cobertura energética obtenida por medio de la ventilación natural.

La figura 1.2 muestra de forma gráfica dichos valores en el ámbito de la Península Ibérica (el esquema ha sido realizado con un valor de renovación del aire interior de 9 volúmenes/hora equivalente a

una ventilación cruzada inducida por una brisa (12-14 Km/h). Observamos que es posible mediante estrategias de ventilación natural obtener, por ejemplo en el arco mediterráneo, reducciones de entre un 40 y 60% de la energía anual requerida en refrigeración mediante sistemas de acondicionamiento artificial convencionales.

Pese a que, por ejemplo, en el clima mediterráneo el alto grado de humedad y el reducido diferencial térmico entre el día y la noche reduce el potencial teórico de algunos sistemas pasivos de prerefrigeración del aire, las moderadas temperaturas permiten el uso del aire exterior como materia prima de refrigeración natural. Por ello se ha prestado especial atención a la influencia de la velocidad del aire, la interdependencia que se establece entre esta y las demás variables de confort, así como los nuevos límites que establecerá la consideración de la velocidad del aire en la envolvente de confort térmico.

Si bien el trabajo se centra en el clima moderado, se extenderá el ámbito de estudio también a regiones de clima cálido ya que, pese a estar sometidas a condiciones mucho más rigurosas, es posible encontrar en esta publicación soluciones y estrategias válidas para dichos climas.

De igual modo se describen las estrategias de control de la renovación del aire en invierno, propias de climas fríos cuya importancia y potencial es habitualmente obviado en climas moderados.

### 1.3 MARCO TEÓRICO

La utilización de estrategias de refrigeración natural por medio del movimiento del aire frecuentemente presenta errores de diseño o patrones de uso erróneo, impidiendo aprovechar al máximo el potencial refrigerante o resultando incluso contraproducente. Es por ello que resulta fundamental la adquisición de conocimientos acerca de los mecanismos de transferencia de energía, así como las estrategias, los sistemas y los componentes de ventilación que potencian la efectividad de la refrigeración.

La primera parte del libro se centrará en la descripción de los conceptos que permitan profundizar en el conocimiento de todos los sistemas de refrigeración basados en el movimiento del aire.

### 1.4. EL MOVIMIENTO DEL AIRE GENERADOR DE FORMA ARQUITECTÓNICA

La ventilación tiene dos objetivos principales: proveer la renovación de aire necesaria para garantizar la calidad del aire interior y refrigerar el espacio construido y a sus ocupantes. Las investigaciones en el campo de la refrigeración natural en edificios se refieren, habitualmente, al modo de acondicionar el aire exterior antes de su entrada en el local. Pese a que este tipo de estrategias serán convenientemente descritas, el presente libro se centra principalmente en los mecanismos de intercambio que se establecen en la propia envolvente del edificio, en las estrategias referidas al control de la circulación del aire interior (natural o forzada) y, en general, en todos los fenómenos que afectan al confort térmico una vez que el aire ha entrado en el interior del edificio.

Es objeto del presente trabajo la reflexión acerca de cómo estos factores afectan al diseño y la forma arquitectónica. Es por ello que el documento pretende ser sugerente a través de la exposición de ejemplos construidos o proyectos representativos de todos los tipos clasificados. Se ha realizado una clasificación de estrategias y componentes históricos y contemporáneos de ventilación.

Se describen los condicionantes previos necesarios para una prerefrigeración efectiva y las estrategias, sistemas y componentes que fomentan el movimiento del aire en el interior de los edificios.

Se han analizado todo tipo de sistemas (naturales, mecánicos y artificiales) para representar de una manera clara todo el espectro de posibilidades. De esta forma es posible realizar, de una manera sencilla, cualquier tipo de comparación o plantear posibles combinaciones.

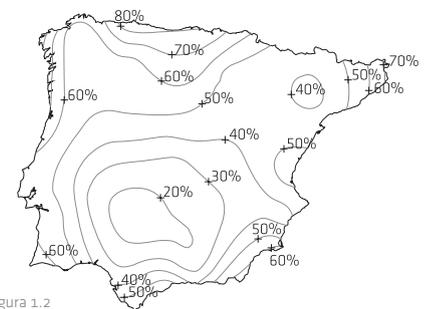


figura 1.2

Fig. 1.2. Potencial de las estrategias de ventilación natural en la reducción de consumos destinados al acondicionamiento térmico estival (1)

## 1.5. VENTILACIÓN NATURAL

Se aboga claramente por los sistemas de ventilación natural. Estos, además de tener un menor coste de implantación y explotación, promueven el contacto del usuario con su entorno, fomentando la reconsideración de unos parámetros del confort más acordes con la realidad que los habitualmente promovidos por los intereses de las marcas comerciales de acondicionamiento artificial.

Gran parte del efecto refrigerante de la ventilación natural se consigue con un buen criterio de implantación y estructura interior, dotando a todos los espacios de aberturas de entrada y salida del aire y fomentando un régimen de ventilación correcto

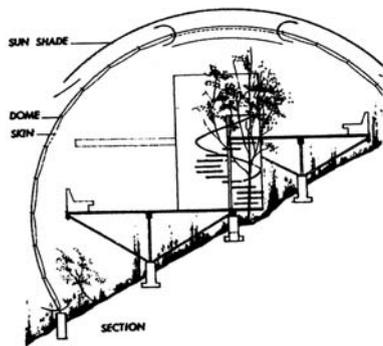


figura 1.3

(previo control de cargas y la disposición de la inercia térmica en el interior). Del cumplimiento de estas sencillas pautas depende el éxito de la ventilación natural, y por el contrario, su incumplimiento condena al fracaso dichas estrategias. Pese a ello se reflexionará en torno a los sistemas de ventilación mecánicos y artificiales, tanto por la extraordinaria relación potencial/coste de los primeros como por las grandes posibilidades de complementariedad con las estrategias naturales de ambos.

## 1.6. ESTUDIO Y MONITORIZACIÓN

Con el objetivo de comprobar las teorías expuestas en el marco teórico se analiza pormenorizadamente un ejemplo construido, tipológicamente representativo desde su fase de diseño hasta la com-

probación de los resultados obtenidos.

“Fuera de toda duda que habrán de ser diferentes las edificaciones que se hagan en Egipto de las que se efectúen en España; distintas las que se hagan en el Ponto de las que se efectúen en Roma; ya que estas diferencias dependen siempre de las de los países, puesto que una parte de la Tierra está bajo la influencia de su proximidad al Sol, otra por su distancia de él, y otra por su posición intermedia entre ambas resulta templada....

....de esta manera, el arte y la ciencia remediarán las molestias que por si mismas produce la naturaleza.”

Vitruvio Poilon, Marco Lucio.  
*Los diez libros de arquitectura*(2)

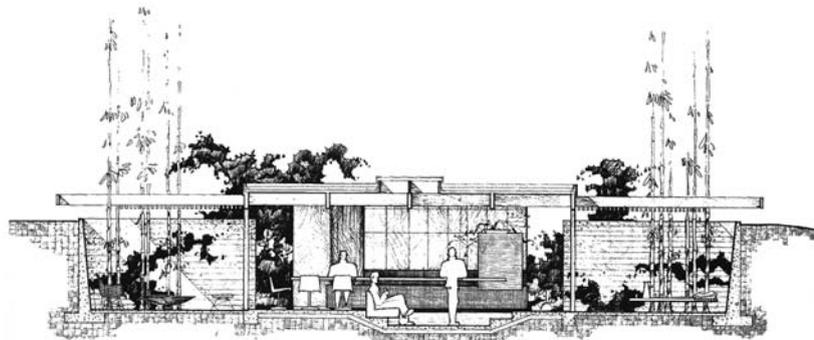


figura 1.4

## NOTAS

1. Allard, F. (Editor). *Natural ventilation in buildings*. JamesGJames. Londres, 1998. Pág. 54
2. Vitruvio Poilon, Marco Lucio. *Los diez libros de arquitectura*. Editorial Iberia. Barcelona, 1997. Pág.140

Fig. 1.3 Proyecto de cúpula geodésica. Los Ángeles. EE. UU. Buckminster Fuller. 1962  
Fig. 1.4. Proyecto de casa patio enterrada. Los Angeles. EE. UU. A. Quincy Jones. 1961

## 2. BASES GENERALES

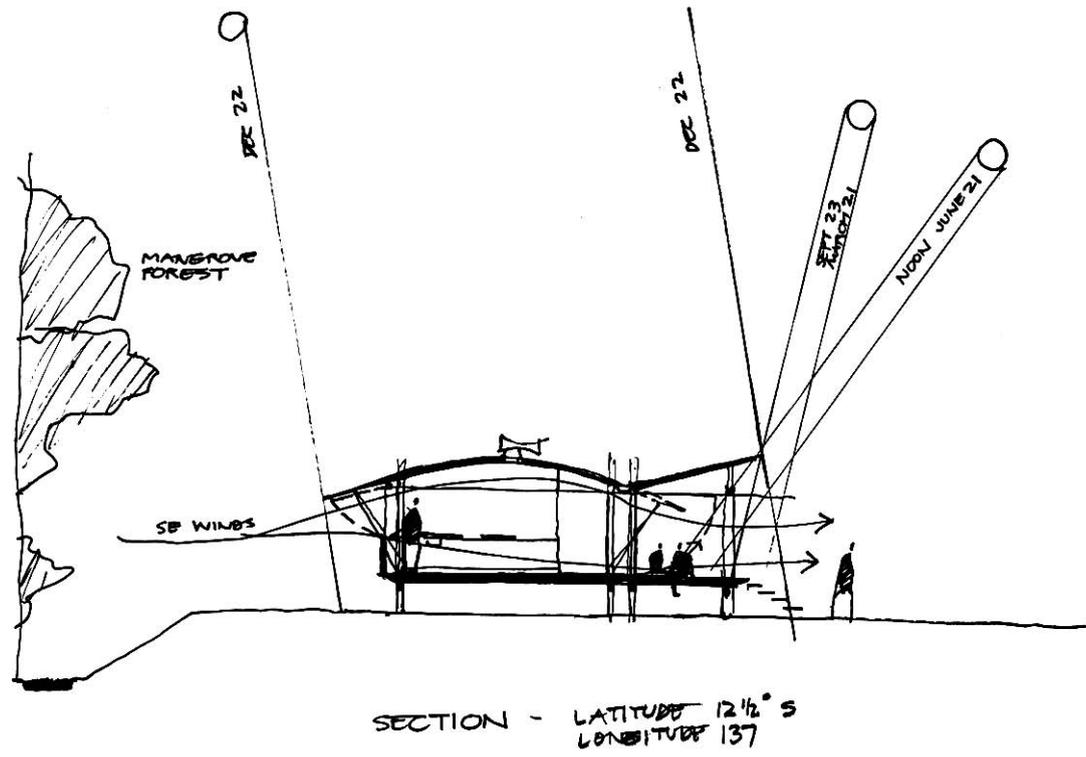


Fig. 2.1. Casa Marika- Alderton, Australia. Estudio preliminar. Glenn Murcutt. 1994



## 2.1. MÉTODOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

Los principales mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente son los siguientes:

1. Pérdidas o ganancias por conducción en zonas del cuerpo en contacto con otros sólidos.
2. Transferencia de calor por convección debido a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el aire.
3. Transferencia energética radiante de onda larga entre el cuerpo y las superficies que lo rodean.
4. Transferencia radiante de onda corta debida a la radiación solar o espacial incidente.
5. Pérdidas sensibles y latentes debidas al intercambio de temperatura y humedad en el proceso de respiración.
6. Flujo de calor latente debido a la evaporación del agua sobre la piel.

El calor se transmite por lo tanto por cuatro procesos diferentes: conducción, convección, radiación e intercambio energético por evaporación o condensación. Estos estarán presentes, en distintas proporciones, dependiendo del proceso analizado.

La conducción y la convección precisan de un medio para su transmisión, cosa que no ocurre en el caso de la radiación.

La evaporación, o su fenómeno inverso, la condensación, precisa que una sustancia, en este caso el agua, cambie de estado.

### 2.1.1. CONDUCCIÓN

La conducción es el método de transmisión de energía que se establece entre dos cuerpos sólidos puestos en contacto<sup>(1)</sup>. La energía transmitida por conducción se dirige desde las moléculas con una energía más elevada (mayor temperatura) hacia aquellas moléculas de menor energía (menor temperatura). Por lo tanto, la condición indispensable para que exista conducción es el contacto de dos cuerpos a distintas temperaturas. El flujo de calor transmitido depende de la diferencia de temperaturas y de la llamada conductividad térmica de ambos materiales.

### 2.1.2. CONVECCIÓN

La convección puede entenderse como un tipo de mecanismo de transmisión de calor por conducción entre moléculas de dos fluidos o entre un fluido y un sólido, en el que la energía se transporta por

desplazamiento de materia. Cuando dos fluidos se encuentran a distinta temperatura, aquel de menor densidad (el más caliente) asciende y desplaza hacia la zona inferior al fluido de menor densidad (más frío). A través de este movimiento las moléculas de ambos intercambian energía. Si el movimiento se produce de forma natural, provocado por ejemplo por la radiación solar, el proceso se denomina convección natural. Si, en cambio, es provocado por cualquier sistema mecánico, se denomina convección forzada.

Para un individuo, el intercambio de energía por convección depende de la velocidad del aire que le rodea. En un ambiente cerrado, y con una velocidad de aire de 0,1 m/s, se considera un valor medio de apenas 3 Kcal/hm<sup>2</sup> °C.

El intercambio de energía entre un fluido y un sólido, entre el aire y los cerramientos por ejemplo, se produce en la capa de aire más cercana al sólido, denominada **capa límite**. La velocidad del aire en la capa límite es variable, partiendo de valores nulos en la superficie de este hasta alcanzar la velocidad de las corrientes convectivas del local o del viento exterior.

El movimiento del fluido en la capa límite puede ser laminar o turbulento. Si es laminar las capas del aire se mueven paralelas entre sí y paralelas al cerramiento. En este caso, el intercambio de calor se produce por convección entre capas del fluido y por conducción entre cerramiento y fluido. Con **flujo turbulento**, el movimiento paralelo a la pared se combina con movimientos perpendiculares a esta, lo cual provoca la mezcla del fluido, y se incrementa con ello en gran medida la transmisión de energía por convección. Será conveniente por lo tanto diseñar agrupaciones de edificios, fachada, distribuciones, etc que fomenten flujos turbulentos para fomentar la refrigeración.

Matemáticamente, el flujo de calor por convección que un fluido intercambia con el volumen edificado se expresa de la siguiente forma:

$$Q_{cv} = Hc(T_p - T_a)$$

Siendo:

Hc: coeficiente de convección (W/m<sup>2</sup>°C)

T<sub>p</sub>: temperatura superficial de la pared o de la piel en °C

T<sub>a</sub>: temperatura del fluido

El coeficiente de convección indica la cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo y de área desde una superficie en contacto con el aire hacia él, cuando la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido es de 1°C. Con convección natural y superficie horizontal de grandes dimensiones el régimen se supone laminar.

$$Hc = 1,31 (Dt)^{0,33}$$

Siendo:

Dt: diferencial de temperatura

Con convección natural y superficie vertical de grandes dimensiones el régimen se supone turbulento.

$$Hc = 1,52 (Dt)^{0,33}$$

Siendo:

Dt: diferencial de temperatura

La convección forzada depende sobre todo de la velocidad del aire (v<sub>a</sub>).

Para velocidades >5m/s, Hc = 7,2v<sub>a</sub> + 0,78

Para velocidades <5m/s: Hc = 18,6 v<sub>a</sub> + 5,6

Los procesos convectivos deben tenerse muy presentes a la hora de diseñar sistemas de calefacción o refrigeración por aire. La fuente de energía (calor o frío) debe situarse de forma que esta sea capaz de crear las corrientes convectivas que potencien el intercambio de energía requerida.

Si el movimiento convectivo del aire no es tenido en cuenta puede fomentarse la estratificación del aire en lugar de la redistribución de la energía.

Para evitar este efecto es recomendable situar la fuente de calor cerca del suelo. Por el contrario, para la transmisión de frío, el mejor rendimiento se consigue cuando la fuente se sitúa cercana al

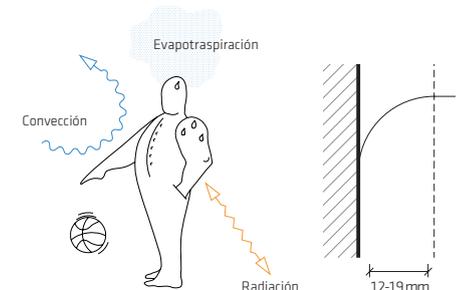


figura 2.2

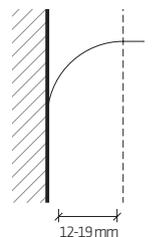


figura 2.3

Fig. 2.2. Métodos de intercambio de calor. Javier Neila/ César Bedoya(1)

Fig. 2.3. Convección: gráfica de velocidad y dimensión de la capa límite(1)

techo (en locales de pequeño volumen). La posición de los emisores de calor deberá tener igualmente presente el resto de transferencias de energía que se produzcan en el local (otras fuentes de calor o frío, radiación solar, infiltraciones, aparatos electrónicos, etc.), las entradas y salidas de aire, etc..

### 2.1.3. RADIACIÓN

Dos cuerpos, por el único hecho de estar a distinta temperatura intercambian energía por radiación y dicho flujo será positivo hacia la superficie más fría. La transmisión de energía se produce por ondas electromagnéticas y, por lo tanto, sin necesidad de la existencia de un fluido ni contacto alguno.

Para que la radiación sea un factor relevante en el confort térmico se requieren grandes superficies radiantes o altas temperaturas. Los sistemas comercialmente denominados radiadores, son eminentemente convectores, pese a que parte de la energía que emiten es radiante (apenas un 10%).

La radiación está implicada de forma indirecta en algunos sistemas de calefacción y refrigeración que emplean el aire como medio de transferencia de energía, como por ejemplo el muro trombe (ver página 100). Estos interceptan la radiación que incide sobre un elemento sólido calentándolo. La energía captada es transmitida al aire posteriormente por convección o radiación del muro sobre las superficies interiores.

### 2.1.4. TERMODINÁMICA DEL AIRE HÚMEDO

Se denomina psicometría a la ciencia que se ocupa de la determinación de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Para el estudio de estos mecanismos de transferencia de energía se recurre al empleo del diagrama psicrométrico. Este permite, si la presión atmosférica es constante, conocer a partir de dos parámetros ambientales el resto de variables de la mezcla aire-vapor de agua. Los conceptos fundamentales para la comprensión del diagrama psicrométrico son los siguientes (2):

**Temperatura seca:** se utiliza para medir la temperatura del cuerpo, de objetos, parámetros o del aire. Es la temperatura que marca un termómetro convencional.

**Temperatura húmeda:** es un valor que relaciona temperatura y humedad relativa. Se trata de la temperatura que indicaría un termómetro convencional que tuviera el bulbo de mercurio envuelto

en una gasa humedecida y sometida a una leve corriente de aire. Si el aire está saturado, la temperatura seca y la temperatura húmeda coinciden. Si no es así, la corriente de aire evapora el agua de la gasa absorbiendo energía y refrigerando el mercurio contenido en el bulbo del termómetro. De esta forma la temperatura seca será en este caso superior a la húmeda y la diferencia entre ambas estará relacionada con valores de humedad relativa tabulados.

**Temperatura de rocío:** temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua del ambiente, para unas condiciones dadas de humedad y presión atmosférica.

**Humedad relativa:** es la cantidad de agua que contiene una masa de aire en relación con la máxima cantidad de agua que podría llegar a admitir sin producirse la condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y humedad atmosférica.

Los procesos de transferencia de energía más habituales son los siguientes:

**Enfriamiento o calentamiento sensible.** Es aquel que se consigue aumentando o reduciendo la temperatura seca sin modificar por lo tanto la cantidad de vapor contenida en el aire. Son procesos de calentamiento sensible los producidos por la radiación solar, los convectores, los splits de aire acondicionado, etc. Los procesos de calentamiento sensible son, por ejemplo, los sistemas de tubos enterrados no porosos, la ventilación o la radiación nocturna.

El flujo de energía necesario para modificar la temperatura de un determinado caudal de aire se determina de la siguiente forma:

$$\text{Flujo (W)} = V_m (C_e(T_2 - T_1))$$

Siendo:

$V_m$ : caudal de aire tratado (Kg/s)

$C_e$ : calor específico del aire seco (J/Kg°C)

$T_1 - T_2$ : temperaturas inicial y final

Sobre el diagrama psicrométrico corresponde a un desplazamiento horizontal de humedad específica constante.

Debe tenerse en cuenta que el enfriamiento sensible aumenta la humedad relativa del aire, con lo cual la temperatura mínima admisible es determinada por la temperatura de rocío: punto a partir del cual, se produciría la condensación. En climas hú-



medos por lo tanto, la humedad relativa ambiental limita el potencial de estos procesos.

**Calentamiento o enfriamiento latente.** Si se fuerza el paso de una corriente de aire a través de una cortina de agua se produce un fenómeno de evaporación que reduce la temperatura seca de la corriente de aire. Ésto es debido a que la evaporación de agua es un proceso endotérmico, es decir, precisa de un aporte de energía que es extraído del aire, reduciendo con ello su temperatura de bulbo seco. El potencial de estos procesos es grande ya que, por ejemplo, con la evaporación de un solo gramo de agua por metro cúbico de aire se reduce su temperatura 2,2°C.

La humedad relativa del aire se ve lógicamente incrementada, por lo que el potencial en climas muy húmedos como el tropical, se ve consecuentemente de nuevo limitado. En cambio, recursos arquitectónicos tradicionales basados en la evaporación son habituales en climas secos y moderados: fuentes, láminas o recipientes porosos de agua, pavimentos húmedos, etc.

Soluciones contemporáneas de refrigeración evaporativa mediante agua micronizada fueron profusamente empleados durante la Expo92 de Sevilla y en la actualidad cada vez existe mayor número de sistemas y productos comercializados. Este tipo de componentes se fundamentan en el aumento de la tasa de evaporación mediante la multiplicación de la superficie de intercambio energético entre el agua y el aire por medio de la desintegración de las gotas de agua.

La **vegetación** es un caso especial de enfriamiento

Fig. 2.4. Torres de refrigeración adiabática. Espacios abiertos EXPO92. Sevilla. España. 1992

latente. La reducción de la temperatura ambiente producida por la vegetación se debe a la evaporación del agua que transpiran las plantas a través de sus hojas y raíces. Un árbol es capaz de evaporar 500 Kg de agua al año por cada metro cuadrado de superficie exterior, lo cual equivale a 40 W/m<sup>2</sup> de superficie vegetal. Cabe recalcar que el efecto refrigerante solo es perceptible si la vegetación se sitúa en un espacio suficientemente confinado como para que el viento no disipe el aire refrigerado.

La ecuación que permite evaluar el intercambio de energía para una presión atmosférica constante es la siguiente: con ella es posible valorar el descenso de temperatura que se obtiene mediante procesos evaporativos.

$$(C_p + x C'p)(t - t') = L (x'sat - x)$$

Siendo:

C<sub>p</sub>: calor específico a presión constante del aire fresco

C'<sub>p</sub>: calor específico a presión constante del vapor de agua

x: humedad específica del aire de entrada

x'sat: la humedad específica de la mezcla saturante a la temperatura t'

t: temperatura del aire de entrada

t': temperatura del aire saturado

L: calor latente del agua (500 Kcal/Kg en condiciones de verano)

La **condensación** es un proceso exotérmico, es decir libera energía a la atmósfera elevando la temperatura de bulbo seco del aire y disminuyendo la humedad relativa.

Otro fenómeno atmosférico a considerar es el llamado **relente**. En climas húmedos, el descenso de temperatura nocturna provoca, al caer la noche, la saturación del aire y el descenso de una finisi-

ma lluvia llamada relente. En el caso de que este fenómeno tenga lugar pasada la media noche se denomina popularmente sereno.

Estos fenómenos no deben confundirse con el **rocío**, que se produce por la condensación del vapor de agua sobre las superficies frías provocada por el descenso de temperatura del aire por debajo del punto de rocío.

## 2.2. CONFORT TÉRMICO

La evaluación del confort térmico es compleja. A pesar de que popularmente este es entendido como únicamente dependiente de la temperatura del aire, en él intervienen factores de muy diversa índole. Estos factores deben considerarse de una forma integral, evaluando cómo afecta al confort la combinación de todos ellos, así como el contexto en que estos son evaluados (dadas las grandes diferencias existentes entre los requerimientos exigidos en el interior de los edificios y los espacios abiertos, por ejemplo).

Desde el punto de vista estrictamente energético, un individuo se encuentra en situación de confort térmico cuando su balance energético es nulo, es decir, cuando el resultado de la sumatoria de los flujos de calor sobre el cuerpo humano es igual a 0. Cuando esto no es así, entran en funcionamiento los mecanismos de termoregulación del cuerpo humano con el objetivo de mantener constante la temperatura interna del organismo.

En caso de ascenso de la temperatura se produce la vasodilatación y, como consecuencia de esta, la sudoración. Esta tiene un efecto refrigerante provocado por dos efectos fundamentales:

1. La reducción de la temperatura del sudor por intercambio convectivo, reducción de temperatura que es transmitida a la piel por conducción.
2. La evaporación del sudor sobre la piel. La exposición de la piel a la corriente de aire será por lo tanto el factor fundamental.

En la figura 2.5 observamos un ejemplo de aprovechamiento de este fenómeno. En el observamos como el diseño de la sección permite la creación de un espacio elevado sombreado y expuesto a la brisa marina en donde es posible colgar hamacas y potenciar la evaporación del sudor y con ello la refrigeración de los ocupantes. En el caso de producirse un descenso de la temperatura se produce la vasoconstricción de las venas superficiales, lo

cual provoca un descenso de la temperatura de la piel y una reducción de las pérdidas por convección y radiación.

Aunque el balance térmico global del cuerpo sea nulo, es posible que ciertas zonas estén expuestas al **disconfort local**. Para neutralizarlo será imprescindible actuar sobre la zona de disconfort no siendo en modo alguno efectivo actuar sobre las condiciones globales.

### 2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS

El requerimiento principal para conseguir el confort térmico es por lo tanto la llamada neutralidad térmica, esto es, que el balance energético del cuerpo esté dentro de unos márgenes satisfactorios (que el individuo no sienta ni demasiado frío, ni demasiado calor). Los principales parámetros a tener en cuenta son, pues, aquellos que provocan una pérdida o una ganancia de energía.

El objetivo del proyectista debe ser, en cualquier caso, conseguir en el espacio interior un arco de valores confortable para una mayor parte de los individuos.

#### 2.2.1.1. Temperatura

Pese a que popularmente se equipara el concepto de temperatura a la temperatura que mide un termómetro convencional (temperatura seca), el concepto de temperatura puede integrar múltiples variables relacionadas con el confort térmico. Entre las más habituales se encuentran las siguientes:

**Temperatura seca:** Temperatura del aire (prescindiendo de los efectos sobre el termómetro de la radiación y la humedad de este).

**Temperatura radiante:** Dos cuerpos por el simple hecho de estar a distintas temperaturas intercambian energía por radiación. La temperatura radiante media es la temperatura que traduce el efecto promedio de enfriamiento o calentamiento por radiación electromagnética de un entorno. La temperatura radiante afecta de forma relevante al confort térmico. Su importancia queda manifiesta en locales no aislados dotados de sistemas de acondicionamiento artificial "todo aire". Frente a grandes lunas en invierno o bajo cubiertas no aisladas en verano es necesario elevar o reducir en gran medida la temperatura de impulsión para lograr un mínimo confort térmico relativo con gran peligro de disconfort térmico local.



figura 2.5

Fig. 2.5. Refrigeración por sudoración. Hamacas en espacios expuestos y sombreados. Vivienda unifamiliar. Cadaval & Sola-Morales. Oaxaca, México. 2006

La sensación de confort en verano es equivalente en un espacio cuya temperatura del aire y su temperatura media radiante sean de 26°C (edificio aislado con ventilación natural) y la de un edificio con temperatura media radiante de 30°C y temperatura del aire de 23°C (edificio no aislado y acondicionado de forma artificial).

**Temperatura equivalente:** también llamada temperatura seca resultante o temperatura operativa, integra la sensación de confort generada por la temperatura del aire y la temperatura radiante.

Cuando la humedad está comprendida entre el 45 y el 60% y la velocidad del aire es inferior a 0,2 m/s la temperatura operativa es el valor más utilizado.

**Temperatura efectiva o de sensación:** es un índice arbitrario que combina el efecto sobre las personas de la temperatura seca, la humedad y el movimiento del aire. Fue definida por los laboratorios de ASHRAE en 1924 de una forma experimental.

#### 2.2.1.2. Humedad relativa

Pese a que muchos modelos de confort consideran que la humedad relativa influye poco en el bienestar mientras está comprendida entre el 25 y el 60%, esta es una variable a considerar ya que afecta directamente a la tasa de evaporación del sudor y con ello al confort térmico.

En verano, si la humedad relativa es baja, la tasa de evaporación será alta (clima cálido seco). Al contrario, si la humedad relativa es alta (clima cálido húmedo) la dificultad de evaporar el sudor puede llegar a anular gran parte del potencial refrigerante que produce la sudoración.

Otro efecto a tener en cuenta en invierno es el incremento de la conductividad de los tejidos en ambientes húmedos, efecto potenciado por el aumento del flujo de calor entre el cuerpo y el aire en ambientes húmedos provocado por el alto calor específico de aire húmedo.

#### 2.2.1.3. Velocidad del aire

La velocidad del aire es, junto a la temperatura y la humedad, uno de los valores determinantes de confort. Todos los sistemas de acondicionamiento obtienen el confort manipulando estos tres factores.

La refrigeración producida por el movimiento del aire es debida a dos fenómenos. El primero es evaporativo y está provocado por el aumento de la tasa de **evaporación** del sudor al entrar en contacto con la corriente de aire. La evaporación absorbe la energía del cuerpo refrigerándolo.

El segundo fenómeno se produce al aumentar la transferencia de calor por **convección** entre el cuerpo y el aire. Esta viene potenciada en gran medida por la presencia de flujos turbulentos en contacto con el cuerpo que provocan el incremento del coeficiente convectivo al forzar una mayor renovación del aire de la capa límite.

Se consigue la misma reducción en la temperatura de sensación con flujo laminar y velocidades entre 0,25 y 0,40 m/s que con velocidades entre 0,15 y 0,25 m/s y flujo turbulento.

Existen distintas teorías vigentes referidas al confort térmico y la velocidad del aire.

**ASHRAE (1985):** cuantifica el efecto refrigerante del movimiento del aire considerando una **disminución de 1°C en la temperatura efectiva por cada 0,275 m/s** para temperaturas inferiores a 37°C.

La velocidad máxima se fija en **0,8 m/s** (para prevenir el vuelo de papeles y corrientes de aire frío que provoquen disconfort local). Si el aire tiene una temperatura menor a 33 o 34°C se estará potenciando la pérdida de calor entre el ambiente y la piel.

Para temperaturas mayores, pese a que las pérdidas por convección no se producen, la renovación del aire de la capa límite continúa provocando pérdidas por evaporación.

**Tanabe y Kimura (1988):** estudian las reacciones de sujetos japoneses frente a distintas velocidades del aire por encima de **1.6 m/s**, temperaturas entre los 27 y 31°C y humedad relativa del 50%. Las velocidades preferidas se sitúan siempre por encima de los límites marcados por ASHRAE.

**McIntyre (2000):** realiza experimentos en los cuales los sujetos manipulan la velocidad del aire por medio de ventiladores de techo. Los resultados tabulan situaciones de confort con velocidades por encima de los **2 m/s** llegando hasta los **4 m/s** para una temperatura de 30°C.

**Rulfes (1999):** utiliza para definir la sensación de frescor o de calor asociado a una corriente de aire el concepto de corriente efectiva. Esta queda definida por la siguiente ecuación:

$$q_{ce} = q_x - 8(Cx - 0,15)$$

Siendo:

$q_{ce}$ : temperatura de la corriente efectiva (°C)

$q_x$ : temperatura seca de la corriente del aire (°C)

$Cx$ : velocidad del aire (m/s)

La temperatura seca de la corriente del aire se modifica con un término que tiene en cuenta su velocidad.

La diferencia entre la temperatura efectiva de la corriente de aire y la temperatura del aire del local, denominada DTE, es:

$$Dq_{ce} = q_x - q_a - 8(Cx - 0,15)$$

Siendo:

$Dq_{ce}$ : diferencia de temperaturas efectivas, DTE, de la corriente del aire (°C)

$q_a$ : temperatura del aire del recinto

El autor de los estudios concluye:

“Si la temperatura seca de la corriente de aire permanece constante, un aumento de 0,1 m/s de la velocidad del aire produce un descenso de la DTE de 0,8°C, debido al efecto refrigerante del aire. Cuando la velocidad del aire es inferior a 0,1 m/s la temperatura resultante es prácticamente igual a la temperatura operativa. Para velocidades mayores, **un aumento de 0,1 m/s produce una disminución de 0,5°C en la temperatura resultante**”

Pedro Rulfes (3)

Pese al gran efecto refrigerante resultante, Rulfes limita la velocidad máxima a **0,35 m/s**. Dicho límite solo es comprensible al considerar que los estudios de Rulfes se centran principalmente en la climatización artificial, cuyas estrategias se basan en la impulsión de aire a baja temperatura y velocidades reducidas, conceptos antagónicos a los que rigen la ventilación natural.

**Neila (1997):** las velocidades máximas recomendadas por Javier Neila para el período de verano en espacios interiores son las siguientes:

Recomendable: 0,20-0,55 m/s

Agradable: 0,55-1,10 m/s

Aceptable: **1,10-2,00 m/s**

Estos valores pueden ser superados en espacios exteriores si la humedad relativa es elevada y las temperaturas son altas.

Podemos por lo tanto concluir:

**Es posible en climas moderados conseguir el confort térmico en verano utilizando como materia prima únicamente el aire exterior sin necesidad de reducir su temperatura.**

Observamos también que las distintas teorías expuestas abogan por velocidades considerablemente mayores a las normativas redactadas por y para los sistemas de acondicionamiento artificial.

Los fabricantes de aire acondicionado, interesados en la instalación de aparatos cada vez más potentes, justificándose en una reducción del ruido emitido disminuyen la velocidad y la temperatura del aire de impulsión. Esto conlleva mayores consumos y dificultades en la distribución del aire, demasiado frío para incidir directamente sobre los ocupantes.

En verano los sistemas de acondicionamiento artificial rara vez introducen el aire de forma difusa, limitándose a introducir aire muy caliente en unos pocos puntos del espacio. Fomentar el movimiento de aire interior por medios mecánicos (ventiladores de techo, por ejemplo) facilita la distribución de la energía y evita la necesidad de calentar en exceso zonas cercanas a las bocas de impulsión para conseguir de esta forma alcanzar las zonas más lejanas.

Los sistemas de ventilación natural, al utilizar como materia prima aire a una temperatura similar al aire interior, no presentan problemas de corrientes frías o desconfort local, con lo cual las velocidades admisibles son sensiblemente mayores a las del aire refrigerado.

Establecer cuál es la velocidad admisible en función de la temperatura de la corriente es vital para aprovechar el potencial refrigerante gratuito del movimiento del aire.

En invierno la situación varía. Debe reducirse la velocidad interior del aire para evitar pérdidas de calor convectivas.

Por otro lado, la reciente modificación del Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) considera "inadecuado" prácticamente la totalidad del aire exterior. Todo aire exterior debe ser filtrado y tratado para considerarse apto para su inyección en el interior. Dicha consideración, que podría ser razonable en áreas urbanas de alta densidad de tráfico, es una consideración absurda en la mayoría de los casos.

### 2.2.2. FACTORES INDIVIDUALES

Los parámetros individuales de confort térmico tienen que ver con la persona que recibe el estímulo. Son, entre otros: vestimenta, tasa metabólica, edad, sexo, peso y constitución corporal, estado de salud, ingestión de alimentos, historial térmico inmediato, etc.

Estos factores tienen una relevancia menor que los parámetros ambientales, pero pueden adquirir importancia en determinadas circunstancias de ocupación o uso específico: residencias de ancianos, recintos deportivos, hospitales, espacios exteriores, etc.

**2.2.2.1. Vestimenta.** Es el más evidente mecanismo de protección contra el frío. El arropamiento reduce las pérdidas de calor del cuerpo al actuar como elemento aislante. Su unidad de medida es el Clo (clothing). Un Clo equivale a una resistencia térmica de  $0,155 \text{ m}^2\text{°C/W}$ . Los valores de referencia son los siguientes:

Persona desnuda: 0 clo

Ropa ligera: 0,5 clo

Ropa media: 1 clo

Ropa pesada 1,5 clo

Los efectos que sobre el confort produce la vestimenta dependerán de la estación y el clima. En clima cálido húmedo es deseable un aislamiento mínimo y una exposición máxima de la piel para favorecer las pérdidas convectivas.

En clima cálido seco, por el contrario, el objetivo de la vestimenta no es incrementar el arropamiento sino evitar la incidencia de los rayos solares y el mantenimiento de la humedad sobre la piel. Una exposición excesiva al aire exterior podría provocar la deshidratación del sujeto por una excesiva sudoración.

**2.2.2.2. Tasa metabólica.** Es la cantidad de energía liberada por el cuerpo y depende de su actividad

muscular. La unidad metabólica es el Met, equivalente a  $58.15 \text{ Wm}^2$  de superficie corporal. Aplicando una superficie estándar obtenemos valores de aproximadamente 100 W cada Met.

Las actividades musculares más habituales están tabuladas según distintos métodos, entre los cuales la medición directa es el más aceptado.

Los valores de referencia son:

Descansando: 100W

Actividad baja (viviendas u oficinas): 120 W

Trabajo medio, sentado: 180 W

Desplazamiento: 295 W

Trabajo intenso: 415 W

Trabajo muy intenso: 520 W

**2.2.2.3. Período de ocupación.** La mayoría de los diagramas de confort se construyen para ocupaciones prolongadas (dos o tres horas) en donde el cuerpo ha tenido tiempo de adaptarse a las condiciones del entorno. En edificios o zonas de este donde se esperen períodos cortos de permanencia, la importancia de ciertos factores puede reducirse. El confort térmico y la importancia de ciertas variables energéticas depende también del valor absoluto de los estímulos recibidos y del tiempo que dichos estímulos se mantienen, bien sea por el abandono del local o la desaparición de estos.

Este último fenómeno es especialmente interesante en el caso de que se actúe modificando la velocidad o humedad relativa del aire.

Ambas variables cuentan con un límite máximo más o menos claro a la hora de valorar el bienestar a largo alcance. En cambio, el límite de tolerancia es mucho mayor cuando se valora la percepción sensorial inmediata. Esta peculiaridad fue explotada con éxito en el acondicionamiento ambiental de los espacios abiertos de la Expo92, en los que se vaporizaba agua durante unos segundos con el objetivo de "humedecer a los ocupantes". El agua era rápidamente evaporada, produciendo una sensación agradable de frescor. A pesar de que es claramente inadmisibles una corriente continua de aire saturado sobre los ocupantes, este recurso, empleado de forma controlada y puntual, puede convertirse en una opción válida de refrigeración.

Además de los parámetros ambientales existen otra serie de parámetros subjetivos de cada indi-

viduo: constitución corporal, aclimatación, condiciones sociales, color del entorno construido, iluminación, contacto visual con el exterior, etc. Todos ellos, pese a que normalmente tienen un peso relativo menor, son parámetros a tener en cuenta que permiten entender el confort como una combinación de múltiples factores experimentados de diferente forma por cada uno de los individuos.

**2.2.2.4. Sexo.** Las mujeres tienen menor capacidad de adaptación al ambiente térmico al tener una menor capacidad cardiovascular. La temperatura de su piel, la capacidad de sudoración y su metabolismo son ligeramente inferiores a los del hombre. Todos estos factores hacen que la temperatura preferida por las mujeres sea entre 0,5 y 1°C superior al preferido por los hombres.

**2.2.2.5. Edad.** A medida que el individuo envejece pierde capacidad de adaptación al medio debido a la disminución de la tasa metabólica y sudoración. Se barajan incrementos de 0,5°C en la temperatura de confort por cada 20 años del individuo.

**2.2.2.4. Constitución corporal.** La constitución corporal es la relación existente entre la superficie expuesta al ambiente y el volumen de cada individuo. Una persona obesa tiene una superficie de piel expuesta reducida en relación al volumen de su cuerpo, por lo que disipa energía con dificultad. Por el contrario, una persona delgada tiene una mayor superficie en relación a su volumen y por ello, una capacidad de disipación de energía mayor.

**2.2.2.5. Aclimatación.** Cuando nos desplazamos a una zona climática distinta a la nuestra, necesitamos de un tiempo de aclimatación a las nuevas condiciones exteriores. Debe por lo tanto prestarse atención a los requerimientos de confort propios del lugar. Karyono (1996) realizó estudios en Indonesia que demuestran que en el clima cálido húmedo las preferencias de los individuos se sitúan 6°C por encima de las requeridas por las normativas europeas.

**2.2.2.6. Parámetros culturales.** Por último, cabe citar toda una serie de factores psicológicos, culturales o sociales como las costumbres en el atuendo, las expectativas de confort, etc. La valoración de la importancia de estos dependerá de cada caso.

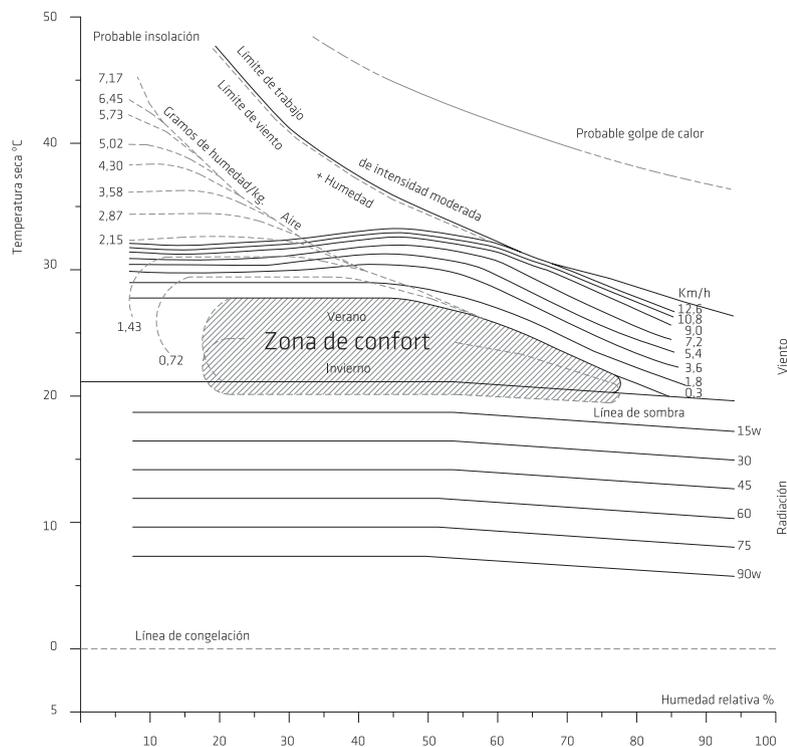


figura 2.6

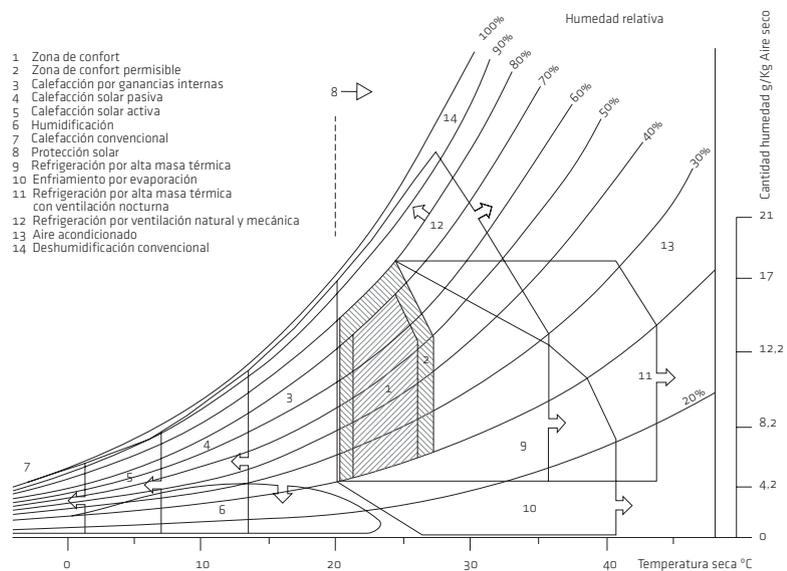


figura 2.7

- 1 Zona de confort
- 2 Zona de confort permisible
- 3 Calefacción por ganancias internas
- 4 Calefacción solar pasiva
- 5 Calefacción solar activa
- 6 Humidificación
- 7 Calefacción convencional
- 8 Protección solar
- 9 Refrigeración por alta masa térmica
- 10 Enfriamiento por evaporación
- 11 Refrigeración por alta masa térmica con ventilación nocturna
- 12 Refrigeración por ventilación natural y mecánica
- 13 Aire acondicionado
- 14 Deshumidificación convencional

**Fig.2.6.** Diagrama de confort. Válido para 40° de latitud. Olgay(4)  
**Fig. 2.7.** Diagrama de confort. Givoni(4)

Valga como ejemplo el comentario de Tanizaki relativo a las distintas expectativas de confort que refleja la importancia que para la cultura japonesa tiene un íntimo contacto con la naturaleza.

Citar a modo de ejemplo lo dicho por Saito Ryoku en *El refinamiento es frío*:

“El hecho de que en esos lugares reine un frío igual al que reina al aire libre sería un atractivo suplementario. Me desagrada que en los cuartos de baño de estilo occidental de los hoteles, lleguen incluso a poner calefacción central”.

Jinichiro Tanizaki  
*El elogio de la sombra*

### 2.3. ZONA DE CONFORT

Desde 1900 se vienen realizando experimentos para determinar cuáles son los valores físicos más confortables para los seres humanos que habitan una determinada área. Los primeros en definir la zona de confort fueron Houghten y Yagloglou en 1923 en la *American Society of Heating and Ventilating Engineers*. Mediante una serie de encuestas establecieron las condiciones en las cuales un determinado grupo de individuos se sentía confortable.

Después de la segunda guerra mundial se empiezan a considerar variables subjetivas al incorporar a dichos estudios disciplinas como la medicina, la psicología o la geografía. Pese a esta corriente multidisciplinar, los arquitectos se mantuvieron al margen de toda investigación hasta que **Olgay** (1963) reinterpretó los estudios de confort en clave arquitectónica.

La zona de confort se determina a partir de una serie de modelos teóricos, empíricos o adaptativos. Entre los teóricos, el modelo más aceptado es el **PMV** (Fanger 1970, ASHRAE), que representa el voto medio previsto de un grupo de personas expuestas a un ambiente dado de condiciones constantes.

Entre los estudios empíricos, se encuentra el PD (*Predicted Dissatisfied Due to Draft*) que evalúan el confort incluyendo parámetros de disconfort térmico local como las corrientes frías de aire.

Por último se encuentran los modelos adaptativos, como el de Humphreys, Auliciems, Griffins, etc., que incluyen las variaciones climáticas exteriores

como factor influyente en las preferencias térmicas interiores de las personas.

A partir de todos ellos se establece la envolvente de confort, que es básicamente el entorno dentro del cual las condiciones de confort del individuo son satisfactorias.

#### 2.3.1.1. Cartas Bioclimáticas de Olgay (1963)

Los hermanos Olgay fueron los primeros en representar de forma gráfica la envolvente de confort para climas templados incorporando criterios de diseño arquitectónico para restablecer dichas condiciones satisfactorias.

La zona de confort señalada es aquella en la que, a la sombra, con ropa ligera y baja actividad muscular, se siente una sensación térmica agradable.

La envolvente es válida para espacios exteriores pudiendo extrapolarse a edificios de reducida inercia térmica, pero resulta un tanto discutida en el estudio de edificios de inercia térmica elevada al no tener en cuenta los efectos de esta en las condiciones de temperatura y humedad relativa interior (3). La tabla está realizada para un arropamiento de un Clo (situación de arropamiento intermedia entre invierno y verano). Para condiciones frías, la carta específica la cantidad de radiación solar necesaria para retornar a las condiciones de confort.

En condiciones de sobrecalentamiento, es posible ampliar la zona de confort térmico incrementando la velocidad del aire, con un límite de 5 m/s para temperaturas en torno a los 34°C.

**2.3.1.2. Zona de Confort de Givoni.** La carta bioclimática de Givoni sitúa la envolvente de confort (aquella que delimita la zona del diagrama dentro de la cual obtenemos unas condiciones de confort térmico) sobre un diagrama psicrométrico estándar. Con ello se obtiene una herramienta muy útil para entender y aplicar distintas técnicas de enfriamiento o calentamiento natural mecánico o artificial.

El climograma de Givoni es adecuado para climas cálidos secos y no existen pautas de adaptación de la zona de confort a otro tipo de climas por lo que deben considerarse sus límites con cautela. El área de confort se sitúa entre los 21 y los 26°C (si bien esta puede ser ampliada entre los 20 y los 27°C) y humedades relativas entre el 20 y el 75% (ampliada

hasta el 80%). Givoni determina, al igual que Olgay, estrategias de restablecimiento del confort para cada una de las zonas del diagrama, incluyendo características constructivas de los edificios.

Se delimita un área específica de ventilación natural o mecánica para temperaturas de entre 25 y 30°C sin hacer referencia a la velocidad de la corriente de aire o a su temperatura.

#### 2.3.2. ZONA VARIABLE DE CONFORT

González de Chávez<sup>(5)</sup> defiende, en su modelo de confort, la variabilidad de los estímulos físicos en el interior de los edificios como la recuperación de algo inherente a los entornos naturales.

Según el autor, no solo deben tenerse en cuenta las variaciones estacionales, en donde las expectativas de confort varían a una escala mucho mayor, sino que deben incluso atenderse las posibles variaciones de los parámetros de confort que tienen lugar a lo largo del día.

El modelo, denominado zona variable de confort térmico, tiene por lo tanto como característica la de no ser una zona fija ni constante:

“...dependiendo de la situación del entorno físico, de las características del ocupante y de la interacción entre el entorno y el ocupante, la zona de confort se desplazará hacia temperaturas más altas o más bajas o se estrechará en uno o en ambos sentidos modificándose también de forma similar con relación a la humedad relativa...”.

Chávez del Valle (6)

Una consecuencia directa del modelo propuesto es la consideración de la temperatura interior en función de la temperatura exterior. La consideración de este modelo conllevaría diferenciales de temperatura menores con el consecuente ahorro energético, la reducción de costes de instalación y mantenimiento y una mayor sensación de contacto e integración con el entorno exterior.

Del mismo modo, aumentaría las posibilidades del acondicionamiento natural gracias a una cierta limitación de las expectativas de confort. En dicho entorno, la velocidad del aire es tenida en cuenta como uno de los factores claves de confort adoptándose los valores del ASHRAE en cuanto a velocidad máxima y efecto sobre la temperatura de sensación.



figura 2.8

### 2.3.3. INDIVIDUALIZACIÓN - ZONIFICACIÓN

La subjetividad que conlleva el concepto de confort se demuestra en el habitual descontento general de los usuarios ante estrategias que ofrezcan condiciones únicas e invariables. Al hablar del movimiento del aire, los valores de refrigeración y la velocidad máxima tolerable varían en gran medida entre distintos modelos.

Por otro lado, buscar valores confortables para el 95% de los sujetos en grandes espacios, restringe en gran medida las posibilidades de uso del movimiento del aire como materia prima de refrigeración. Es por ello fundamental abogar por una individualización de las condiciones de cada zona o puesto de trabajo mediante la introducción de mecanismos de corrección como ventiladores de techo o sobremesa que permitan ofrecer la respuesta adecuada a cada individuo o grupo.

Podemos constatar como este tipo de estrategias eran utilizados incluso antes de la aparición de la electricidad. La figura 2.8 corresponde a un ventilador del s. XIX accionado por un motor de explosión alimentado posiblemente por alcohol.

### 2.4. FENÓMENOS FÍSICOS ACTIVADOS DEL MOVIMIENTO DEL AIRE

Los mecanismos naturales inductores del movimiento interior del aire están invariablemente generados por la diferencia de presión entre el interior y el exterior o entre distintas zonas del local o

edificio. Esta diferencia de presión estará causada por diferencia de temperaturas, por la presión dinámica ejercida por el viento o mediante métodos mecánicos, si bien normalmente es producto de la combinación de varios factores.

El teorema de Bernoulli es la ecuación fundamental que regula el comportamiento de los flujos de aire entorno a los edificios y en el interior de estos:

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + P + \rho gz = \text{Constante}$$

Siendo:

V: la velocidad del fluido en la sección considerada

G: la aceleración gravitatoria

Z: la altura desde la cota inferior

P: la presión a lo largo de la línea de la corriente

$\rho$ : la densidad del fluido

#### 2.4.1. VENTILACIÓN NATURAL POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

Ventilación generada por diferenciales de densidad que tienden a equilibrarse mediante el transporte de masas de aire desde zonas con sobrepresión hasta zonas depresionarias en función de las siguientes ecuaciones:

$$P_s = 9,8 \times (\rho_{\text{ext}} - \rho_{\text{int}}) \times H$$

$$\rho_{\text{ext}} \times T_{\text{ext}} = \rho_{\text{int}} \times T_{\text{int}}$$

Siendo:

$P_s$ : diferencia de presiones provocada (N/m<sup>2</sup>)

H: altura relativa entre los dos puntos a analizar en metros

$\rho$ : densidad del aire en el interior y el exterior de temperatura entre el aire de los dos puntos señalados expresada en °K.

**2.4.1.1. Efecto chimenea:** el aire, al aumentar de temperatura reduce su densidad y tiende a ascender, siendo sustituido por aire a una menor densidad y consecuentemente de menor temperatura.

Inducir este tipo de ventilación es especialmente útil en zonas de escasa presencia de viento o allí donde este siga patrones de dirección, intensidad o temperatura erráticos que dificultan su aprovechamiento.

El movimiento ascendente del aire depende de la altura de la columna de aire caliente y del diferencial térmico entre este y el exterior.

$$P_s = 0.042 \times H \times T$$

Siendo:

$P_s$ : diferencia de presiones provocada (N/m<sup>2</sup>)

H: altura relativa entre los dos puntos a analizar en metros

T: diferencia de temperatura entre el aire de los dos puntos señalados expresada en °C

Las diferencias de presión son en general muy pequeñas comparadas con las inducidas por el viento, por lo que para asegurar corrientes efectivas a efectos refrigerantes, son necesarias alturas o diferencias de temperatura considerables. Dichos diferenciales de presión pueden obtenerse mediante el uso como canales de ventilación de espacios comunicados en sección (cajas de escaleras o atrios) o elementos que eleven la temperatura lejos de áreas ocupadas (inductores solares).

En edificios de gran altura (por ejemplo, en atrios de rascacielos), por el contrario, deben prevenirse diferencias de presión excesivas provocadas por aberturas incontroladas en la parte inferior y superior del espacio ventilado mediante la sectorización vertical, instalando aberturas autoregulares de flujo constante o mediante puertas giratorias o vestíbulos de independencia.

Las figuras 2.9 y 2.10 muestran el dispositivo inductor de iluminación y ventilación diseñado por Sáenz de Oiza en la reforma de su vivienda en Mallorca. Las vertientes de la cubierta conducen el aire caliente hacia la limahoya, atravesando las persianas que protegen el interior de la radiación solar, filtrando la luz sin impedir la salida de aire. La radiación al ser interceptada por las persianas, calienta el aire interior del lucernario fomentando la extracción del aire pero no, como comunmente se cree, la succión del aire interior (ver apartado dedicado a las chimeneas solares).



figura 2.9



figura 2.10

Fig. 2.8. Ventilador. S. XIX. Agra, India

Fig. 2.9 - 2.10. Ventilación por efecto chimenea. Casa en Colonya, Baleares. España. Fco. Sáenz de Oiza

La figura 2.11 corresponde al Instituto de Antropología Social y Arte Popular en Luxor. El instituto es un edificio de planta abierta, protegido del sol por gruesos muros de escasas aberturas. Fathy emplea en este proyecto gran cantidad de recursos constructivos y tipológicos propios de la arquitectura popular egipcia, como por ejemplo el *qa'a*. Este es un componente de ventilación por diferencia de temperatura, habitual en los palacios urbanos de la época otomana, consistente en una torre coronada por un tambor o linterna que se eleva dos o tres plantas por encima del tejado de la vivienda. Estas torres de extracción juegan un importante papel en la climatización, al fomentar la extracción de aire por diferencia de temperatura y succionar el aire fresco de los numerosos patios. Puede observarse la presencia de láminas de agua a los pies de las torres que multiplican la refrigeración del aire.

**2.4.1.2. Ventilación Adiabática:** La ventilación adiabática se basa en la corriente descendente que provoca la refrigeración del aire mediante la evaporación de agua en la parte superior de un espacio confinado (chimeneas, patios, atrios, etc.).

El aumento de densidad del aire induce su descenso hacia las zonas ocupadas, en donde es almacenado o evacuado por las aberturas inferiores. La succión de aire exterior que se genera en la parte superior del canal de ventilación, asegura la continuidad del proceso.

Para el cálculo de los diferenciales de presión obtenidos puede aplicarse la fórmula anterior, si bien será necesario calcular en primer lugar el descenso de temperatura generado por la evaporación del agua.

**2.4.1.3. Ventilación simple:** es aquella que tiene lugar a través de una única abertura. En la ventilación simple la renovación de aire está inducida en

gran medida por la diferencia de temperaturas entre interior y exterior (al tender los dos ambientes a igualar sus presiones) y no a la acción del viento.

Si el interior se encuentra a mayor temperatura, la estratificación del aire caliente forzará su salida por la parte superior de la abertura a la vez que el aire exterior es succionado por la parte inferior.

Si el interior se encuentra a menor temperatura que el exterior, las corrientes serán inversas. La línea que separa ambos campos de presiones se denomina línea neutra y lógicamente su diferencial de presión es cero.

En la ventilación simple el gradiente de presión es siempre reducido, por lo que el movimiento de aire es por lo general insuficiente para producir una refrigeración efectiva. La eficiencia de este tipo de ventilación puede mejorarse limitando la profundidad de las estancias a un máximo de 2,5 h para evitar zonas no ventiladas en la estancia o sustituyendo una abertura única por dos de menor tamaño situadas en la parte inferior y superior del paramento activando de esta forma el mayor diferencial de presiones posible.

**2.4.1.4. Ventilación cruzada:** la ventilación cruzada se activa por diferencias de presión generadas por el viento al incidir sobre el edificio. Pese a lo que habitualmente se piensa, esta no se activa por diferencia de temperaturas entre fachadas soleadas y sombreadas. Diferencias de temperaturas de 5°C entre fachadas apenas son capaces de generar velocidades de 0,1 m/s (con entradas de aire a ras del suelo y salidas en la parte inferior del forjado).

En situaciones excepcionales, con fachadas soleadas de colores oscuros o muros cortina y en ausencia de viento, puede formarse una columna de aire

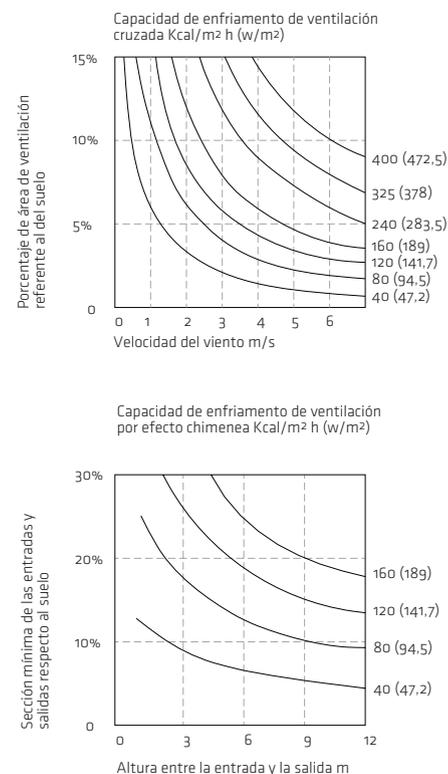


figura 2.12

caliente ascendente adosada a la fachada capaz de generar pequeñas presiones negativas en el interior. Estas, combinadas con entradas de aire situadas en la fachada opuesta, podrían llegar a activar débiles circulaciones de aire, en todo caso residuales comparadas con el efecto producido por la más ligera brisa. Estas corrientes de aire caliente ascendente corren el riesgo de introducirse en el interior inducidas por salientes, balcones, la presencia de viento o cualquier succión que se produzca desde el interior, con el consiguiente peligro para el confort.

**2.4.1.5. Infiltraciones:** la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior crea un flujo de aire constante a través de grietas, juntas entre materiales, etc. El volumen de aire dependerá de la superficie total de estas pequeñas aberturas o juntas, así como el gradiente térmico. La gran importancia para el confort y el balance energético de este fenómeno se pone claramente de manifiesto

figura 2.11

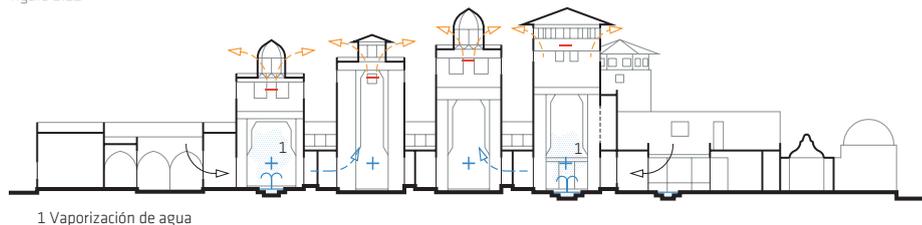


Fig. 2.11. Ventilación por efecto chimenea. Instituto de antropología social y arte popular. Luxor. Egipto. Hassan Fathy, 1965

Fig. 2.12. Capacidad de enfriamiento de la ventilación por diferencia de temperatura y por presión de viento. A. Sevilla

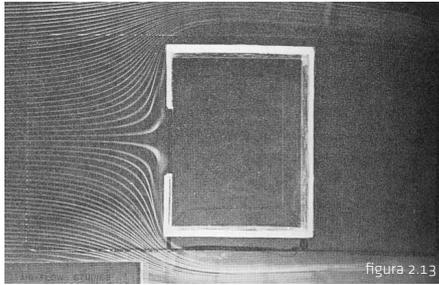


figura 2.13

al situarse uno próximo a las juntas que dejan las aberturas de vidrio templado o cualquier tipo de carpintería no estanca.

En climas fríos, es recomendable sellar al máximo los edificios y controlar las renovaciones de aire por medio de sistemas mecánicos de flujo constante con el objetivo de reducir las pérdidas de calor. En climas húmedos las infiltraciones resultan benéficas debido a la necesidad de mantener un alto número de renovaciones de aire con objeto de evacuar el vapor de agua interior, pudiendo el uso de carpinterías excesivamente herméticas favorecer la aparición de condensaciones superficiales en el interior.

## 2.4.2. VENTILACIÓN NATURAL POR DIFERENCIA DE PRESIÓN GENERADA POR EL VIENTO

La acción del viento sobre la envolvente del edificio genera variaciones de presión en su entorno adyacente al tratar la corriente de aire de superar el obstáculo, induciendo diferencias de presión (positivas o negativas) entre aberturas que activan la circulación del aire.

La forma del campo de presiones que el viento crea alrededor del edificio determina de qué modo se producirá el intercambio de aire entre el interior y el exterior. Dicha distribución de presiones es función de la forma del edificio, de su entorno y de la dirección e intensidad del viento.

$$P_s = C_p \times \frac{1}{2} \rho \times V^2 h$$

Siendo:

$C_p$ : Coeficiente adimensional

$\rho$ : densidad del aire (función de la presión atmosférica, temperatura y humedad)

$V_h$ : velocidad media en la cota de estudio

El coeficiente  $C_p$  es un valor adimensional obtenido de forma experimental a través de mediciones realizadas en túneles de viento y su extrapolación a casos análogos. El coeficiente determina cuál es el comportamiento de una abertura frente a una

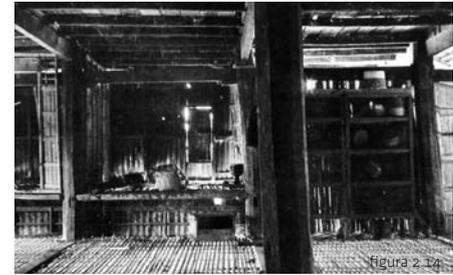


figura 2.14

dirección determinada de viento (es, por lo tanto, función del edificio, la posición relativa de la abertura y la dirección del viento).

**2.4.2.1. Ventilación simple:** es la que se produce a través de una única fachada. Esta tiene escaso potencial de ventilación al no existir abertura que permita la salida del aire y por lo tanto su paso a través del edificio (ver figura 2.13). Es siempre preferible instalar dos ventanas de menor tamaño a una única ventana de grandes dimensiones. Estas deben separarse en busca de pequeñas diferencias de presión que puedan establecerse entre fachadas o distintas partes de esta.

El uso de "orejas" o elementos salientes junto a las aberturas acentuará los diferenciales de presión.

### Tabla de Melaragno

Ancho de la abertura/ancho del muro	0,66		1	
	V. Media	V. Máxima	V. Media	V. Máxima
Abertura simple a barbovento dirección de viento perp.	13	18	16	20
Abertura simple a barbovento viento incidente en ángulo	15	33	23	36
Abertura simple a barbovento viento perpendicular	17	44	17	39
Dos aberturas a sotavento viento incidente en ángulo	22	56	23	50
Abertura a barbovento - abertura en muro adyacente viento incidente perpendicular a las aberturas	45	68	51	103
Abertura a barbovento + abertura en muro adyacente viento incidente perpendicular	37	118	40	110
Abertura a barbovento + abertura a sotavento viento incidente en ángulo	35	65	37	102
Las velocidades están expresadas en forma de porcentaje de viento exterior	42	83	42	94

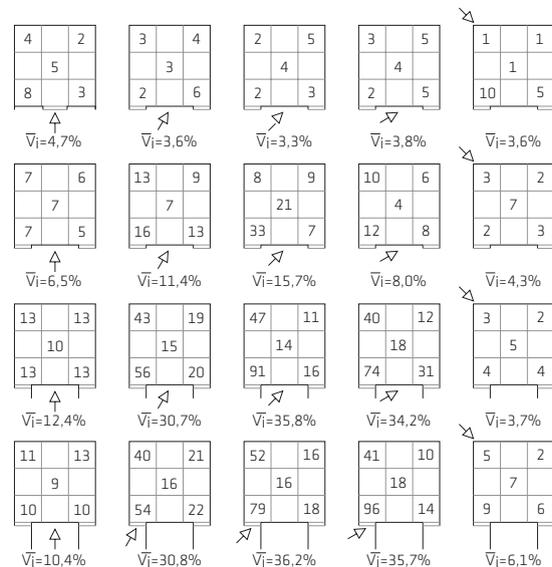


figura 2.15 - 16

**Fig. 2.13.** Ensayos en túnel de viento. Ventilación simple por presión dinámica del viento. Obsérvese cómo el viento se desvía hacia los laterales sin acceder a la estancia. Olgyay

**Fig. 2.14.** Vivienda tradicional polinesia. Ventilación por infiltraciones en clima cálido húmedo a través del propio sistema constructivo vegetal **Fig. 2.15.** Método Melaragno. 1982. Estudios experimentales en túnel de viento con el objetivo de determinar las velocidades medias frente a distintas configuraciones de ventanas y vientos incidentes **Fig. 2.16.** Velocidades del aire frente a distintas configuraciones de ventanas y elementos salientes (velocidades en %;  $V_i$ , velocidad media). Givoni. La altura y anchura de las aberturas es igual a 1/3 de la altura interior. El área total se encuentra distribuida en una o dos aberturas

El gráfico 2.16 muestra las mediciones de velocidad interior realizadas por Givoni en túnel de viento ante distintas configuraciones de ventanas y elementos salientes. Puede observarse la importante repercusión de los reales frente a direcciones de viento oblicuas.

**2.4.2.2. Ventilación cruzada:** La ventilación cruzada posee un potencial de refrigeración mucho mayor que la ventilación simple o la ventilación por diferencia de temperaturas.

En los gráficos 2.12 puede compararse el potencial de ambas estrategias. La capacidad de enfriamiento obtenida, por ejemplo, en un doble espacio con un 15% de aberturas practicables en relación a su superficie en planta, es de aproximadamente 100 Kcal/m<sup>2</sup>h. Una brisa (3m/s) con la misma superficie de ventana ofrece una capacidad de enfriamiento tres veces mayor (325 Kcal/m<sup>2</sup>h). Observamos en el gráfico el reducido potencial de la ventilación simple por diferencia de temperaturas (10 Kcal/m<sup>2</sup>h), 32 veces menor que el inducido por una ventilación cruzada en presencia de brisa.

En edificios ventilados de forma natural el primer objetivo de proyecto debe, por lo tanto, centrarse en la organización de los espacios de forma que permitan al aire atravesar el edificio y que cada uno de los locales disponga al menos, de una entrada y una salida de aire, de forma que la ventilación cruzada pueda activarse global e independientemente en cada una de las estancias. Cuando ello no sea posible, la abertura de salida del aire puede sustituirse por un canal de sección suficiente que conduzca a una zona exterior de presiones negativas. Será en este caso la sección del canal y no el tamaño de la ventana la que condicionará el volumen de aire circulante.

La presión motriz que induce el movimiento del aire se determina de la siguiente forma:

$$P_s = P - P_2$$

$$P_1 = C_{p1} \times 1/2\rho \times V_h^2$$

$$P_2 = C_{p2} \times 1/2\rho \times V_h^2$$

$$V_h = V_r \times \ln(h/3)/\ln(\rho/3)$$

Siendo:

Vh: velocidad media en la cota de la ventana

Vr: velocidad media a una determinada altura de referencia

(las mediciones se realizan habitualmente a 10 m de altura)

$\rho$ : densidad del aire

El caudal de aire es fácilmente determinable a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{v1} = (C_d \times A \times (P_s \times 2)/r)^{1/2}$$

Siendo:

Cd: coeficiente de descarga 0,5

A: área útil del hueco

$\rho$ : densidad del aire (función de la presión atmosférica, temperatura y humedad)

Ps: ver fórmula anterior

**2.4.2.3. Infiltraciones:** la presión del viento al incidir sobre muros y cerramientos genera un campo de presiones con capacidad para introducir o extraer un volumen considerable de aire a través de cualquier abertura o junta abierta entre materiales.

Del mismo modo que en el caso de las infiltraciones provocadas por diferenciales de temperatura, deberá valorarse la conveniencia de permitir o eliminar dicha renovación del aire mediante la selección del tipo constructivo o la calidad de las carpinterías.

### 2.4.3. COMBINACIÓN DE ESTRATEGIAS

Para que las diferencias de presión obtenidas por diferencia de temperatura y por la acción del viento sumen sus efectos, la posición de las aberturas y los posibles inductores deben estudiarse detenidamente en función de la estrategia propuesta y del campo de presiones que generen los vientos dominantes.

Por regla general, las entradas de aire deben situarse en zonas de depresión interior y sobrepresión exterior, mientras que las salidas por el contrario deben abrirse a zonas de sobrepresión interior y depresión exterior. Debe evitarse el efecto incontrolado de las zonas de turbulencia interior y/o exterior. La situación de estas será explicada más adelante. La cúpula, por ejemplo, explota el efecto combinado de extracción de aire por diferencia de temperatura e inducción dinámica del viento. El aire aumenta su velocidad al tratar de superar el obstáculo que suponen generando una zona de depresión en los laterales y a sotavento, forzando la evacuación del aire caliente acumulado en la parte superior de la cúpula gracias a la forma y situación de esta.



figura 2.17



figura 2.18

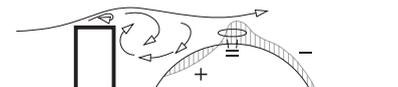
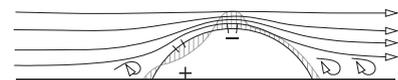


figura 2.19

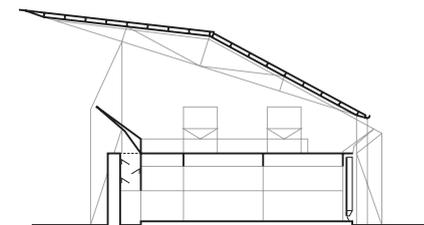


figura 2.20

Fig. 2.17. Extractor rotatorio. Casa Wichita. Richard Buckminster Fuller. Kansas. EE. UU. 1947

Fig. 2.18. Vivienda en La Geria. Tenerife. España. Ruiz Larrea & Asociados. 2003. Ventilación inducida por el paso de los vientos fuertes procedentes del mar a través de la cámara bajo cubierta

Fig. 2.19. Estudio de la influencia de la construcción de posibles edificaciones cercanas en el rendimiento del inductor unidireccional. Design Center. Linz. Alemania. Thomas Herzog. 1993

Fig. 2.20. Inductor unidireccional. Museo de Minas y Minerales. New South Wales. Australia. Glenn Murrucutt. 1989

#### 2.4.4. ELEMENTOS INDUCTORES

La diferencia de presiones entre interior y exterior puede multiplicarse mediante el empleo de elementos inductores. En el caso de potenciar la diferencia de temperaturas se denominan inductores térmicos. En el caso de potenciar la entrada de aire exterior o la inducción de sobrepresiones en la envolvente que fomenten la extracción del aire interior se denominan inductores de presión dinámica de viento.

##### 2.4.4.1. Inductores térmicos

Las chimeneas solares o el muro trombe son componentes de inducción térmica. Cabe reflexionar en torno a las posibilidades de desarrollo de estos elementos así como su implantación en países en vías de desarrollo. La chapa de acero galvanizado es el método más económico y habitual de cubierta en las urbes de muchos países de este ámbito. La sustitución de tipos tradicionales por este sistema constructivo provoca importantes sobrecalentamientos en verano y la entrada del frío durante el invierno. La incorporación de una hoja interior dotada de aislamiento y separada unos centímetros de la chapa permitiría convertir una cubierta deficiente en un captador de energía y en un elemento de ventilación eficaz al inducir el movimiento interior del aire mediante el calentamiento del aire interior de una cámara, formada entre las dos hojas de una cubierta inclinada.

La hoja superior de la cámara interceptaría la radiación solar cediendo la energía por convección al aire

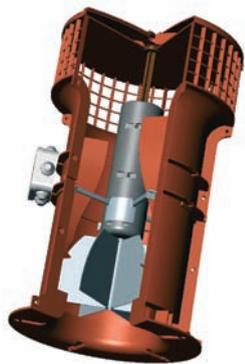


figura 2.21

de la cámara. En verano, al abrir la parte superior de la cámara al exterior y su parte inferior al espacio interior se generaría un tiro capaz de activar la extracción de aire. En invierno, la cámara podría emplearse como captador solar para el calentamiento del aire interior si se invirtiera el flujo y se forzase su descenso por medio de algún sistema mecánico.

##### 2.4.4.2. Inductores de presión dinámica de viento

Son aquellos que mediante dispositivos añadidos a las entradas o salidas de aire aumentan el diferencial de presión entre las aberturas.

El Design Center de Linz, por ejemplo, diseñado por Thomas Herzog, explota el potencial de estos elementos.

La volumetría y la forma de la cubierta responden a la voluntad de reducir al mínimo el volumen de aire interior a climatizar. La entrada de aire exterior se produce por aberturas en la fachada cercanas al suelo. La propia forma del edificio concentra las succiones en la coronación coincidiendo con las aberturas de evacuación del aire. A pesar de ello, la eficiencia de estas se refuerza mediante un inductor en previsión de posibles inversiones en el flujo que pudieran provocar futuras construcciones cercanas al edificio. El control del volumen de aire extraído se regula por medio de exutorios motorizados.

Otro sistema de inducción de presión dinámica de viento interesante, es el empleado por César Luis Larrea en el prototipo ganador del concurso de construcción de vivienda bioclimática que tuvo lugar en 2003 en la isla de Tenerife (figura 2.18). Dado el régimen de fuertes vientos oceánicos (que dificulta la ventilación de la vivienda por medio de ventanas convencionales), se genera una cámara de aire entre la vivienda y el forjado superior por el que se induce el paso del viento. La succión indirecta, y por lo tanto de menor potencial, que genera esta corriente a su paso es aprovechada para ventilar la vivienda mediante aberturas situadas en la parte inferior del cielo raso de la cámara de aire.

En la Casa Wichita, Richard Buckminster Fuller, también explora las posibilidades de los inductores e extracción rotatorios, pero al igual que en los ejemplos construidos recientemente por los abandonados de la High Tech inglesa, estos elementos suelen tener un objetivo más efectista que efectivo.



figura 2.22

En el caso de la Casa Wichita la solución adoptada parece difícilmente justificable al tratarse de una vivienda completamente rodeada de ventanas (lamentablemente fijas).

#### 2.4.5. VENTILACIÓN MECÁNICA

La ventilación mecánica consiste en inducir el movimiento de aire mediante algún tipo de dispositivo mecánico. Esta es una importantísima vía de investigación al basarse en componentes de gran efectividad sobre el confort, con grandes posibilidades de individualización, bajo coste y consumo mínimo (un ventilador doméstico tiene un consumo equivalente al de una bombilla incandescente: 60-140w).

Los sistemas de ventilación mecánica no deben plantearse como alternativa a los sistemas de acondicionamiento natural o artificial. Su diseño integrado puede permitir un amplio abanico de posibilidades de combinación y coordinación entre sistemas de acondicionamiento que multipliquen la eficiencia global.

Existen principalmente dos tipos de sistemas: aquellos que por medio de una red de conductos toman el aire del exterior y lo introducen en cada uno de los espacios y aquellos únicamente destinados a hacer recircular el aire del interior de los locales.

Los primeros se asocian habitualmente a la renovación o la climatización del aire interior con el objetivo de mantener la calidad de este. Se componen de ventiladores, filtros, una red de conductos de impulsión o extracción y unos elementos terminales o difusores.

Los ventiladores por el contrario tienen como objetivo la manipulación de la velocidad del aire inte-

Fig. 2.21. Prototipo de ventilador híbrido  
Fig. 2.22. Periferia de Caracas, Venezuela

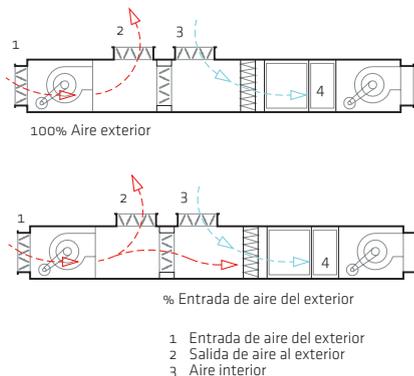


figura 2.23

rior sin modificar sus condiciones de temperatura o humedad, generando o direccionando corrientes de aire, desestratificando bolsas de aire frío o caliente, incrementando el intercambio convectivo entre la corriente y la masa interior o reduciendo la temperatura de sensación de los ocupantes.

Otra interesante aplicación de la ventilación mecánica se basa en su capacidad para actuar como inductor de presiones en el interior como alternativa a la ventilación cruzada en períodos en donde onsumos que esto comporta puede ser importante en determinados usos como el escolar, en donde la estrategia habitual de ventilación hasta la entrada en vigor del CTE consistía en mantener el aula sellada durante el período que dura cada una de las materias (50 minutos) y aprovechar el cambio de clase para renovar el aire y eliminar posibles olores. Este régimen de ventilación podría ser fácilmente mejorado mediante un sistema de extracción mecánico continuo, que permitiría mantener el confort térmico de los ocupantes y la calidad del aire interior en todo momento, a la vez que disminuiría el consumo energético al reducir las pérdidas por renovación de aire al mínimo necesario.

En climas templados, la ventilación ocasional a través de la apertura de ventanas y puertas es el método más extendido para la renovación de aire en invierno. En general, dicha costumbre aporta la renovación suficiente del aire interior.

Recientemente el Código Técnico de la Edificación en su documento básico HS3 obliga a la instalación de un sistema de renovación de aire, que actúe de forma constante, independiente a la ventila-

ción que pueda ser aportada por las aberturas de fachada. Sin entrar en disquisiciones acerca de la incomprensible generalización de dicha medida en todo el territorio nacional, es posible aprovechar la implantación de esta instalación para un mejor aprovechamiento de las energías naturales del entorno, modificando por ejemplo la velocidad de los extractores en determinadas franjas horarias para potenciar la refrigeración nocturna o la inseguridad que pueda producir en ciertas zonas la apertura de las ventanas por la noche. Se hace imprescindible

para ello la comercialización de ventiladores de baja revolución que faciliten la ventilación nocturna asegurando niveles de ruido reducidos.

Remarcar que la ventilación híbrida puede resultar interesante al mejorar la efectividad de los tradicionales conductos de extracción natural, si bien de momento (junio de 2011) no se comercializa en España un solo modelo de ventilador híbrido capaz de detectar diferencias de presión debido al altísimo coste de las sondas. El sistema habitual de control de su puesta en marcha se realiza habitualmente con un termostato exterior. De esta forma cuando este detecta temperaturas exteriores muy reducidas (en torno a los 0°C) detiene el ventilador al poder asegurar que existe un diferencial térmico suficiente, lo cual convierte la supuesta ventilación híbrida en una extracción constante en gran parte de las regiones de España.

Esta circunstancia, así como los fuertes condicionantes dimensionales y de diseño a los que obliga

la normativa, incentiva la instalación de sistemas mecánicos convencionales para el cumplimiento de los requisitos básicos del CTE.

## 2.4.6 VENTILACIÓN MECÁNICA ACONDICIONADA

Los sistemas de aire acondicionado se basan en la modificación de las condiciones de temperatura, humedad, pureza y velocidad del aire por medio de equipos de climatización y redes de conductos. Existen principalmente tres tipos: los sistemas de absorción, los sistemas termoeléctricos y los sistemas de compresión.

Este último es el sistema más extendido por sus aplicaciones en el ámbito doméstico. Consiste en el aprovechamiento de la energía liberada o absorbida en la evaporación o condensación de un fluido cuyo cambio de fase se produce en un arco de temperaturas reducido que es posible alcanzar mediante la manipulación de su presión.

En pequeñas instalaciones se emplean las llamadas bombas de calor reversible las cuáles permiten invertir el flujo del sistema y con ello las funciones de los intercambiadores, obteniéndose calor en invierno y frío en verano.

Desde la bomba de calor se transporta el fluido hasta los llamados *fan-coils*. Allí mediante un intercambiador se refrigera o calienta el aire del local y se introduce la cantidad necesaria de aire exterior para asegurar su calidad.

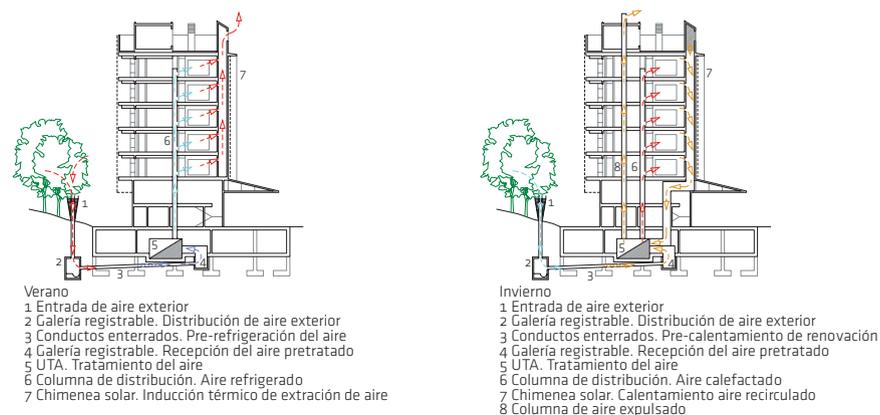


figura 2.24

Fig. 2.23. Esquema de funcionamiento del sistema de ventilación gratuita (*free-cooling*)

Fig. 2.24. Hemiciclo Solar. Móstoles, España. Larrea-Gómez-Prieto. 2009. Esquema de funcionamiento del sistema de acondicionamiento híbrido

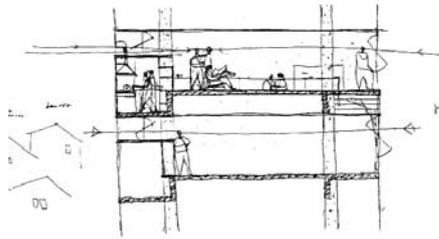


figura 2.25

El acondicionamiento del espacio interior es responsabilidad de la arquitectura y no de todos aquellos implementos de acondicionamiento artificial de los que cada vez más depende la habitabilidad.

La amplia difusión de las bombas de calor domésticas asumidas como la única solución posible al acondicionamiento interior, denota la baja calidad de muchas de nuestras construcciones, así como un claro desenfoco a la hora de determinar las causas del disconfort y sus posibles soluciones.

En la mayor parte de los casos, el sistema de aire acondicionado se reduce a unos aparatos que, instalados sin criterio alguno, inyectan aire refrigerado al interior. La ineficaz difusión de este fuerza a los equipos a impulsarlo a temperaturas muy bajas y a velocidades excesivas con el objetivo de equilibrar las cargas procedentes de un deficiente aislamiento o una inexistente protección solar. Es necesario el replanteamiento de las instalaciones de acondicionamiento artificial de forma que pasen a formar parte de una estrategia coordinada en la que se integren estrategias de preenfriamiento, almacenamiento y acondicionamiento natural mecánico y artificial.

#### 2.4.6.1. Enfriamiento gratuito (*free cooling*)

El Reglamento de Instalaciones térmicas, RITE, obliga a incorporar un sistema de enfriamiento gratuito basado en la inyección de aire exterior en aquellos sistemas *todo aire* cuyo régimen de funcionamiento exceda de 1000 horas/año. El ahorro de energía que comportan es considerable en grandes instalaciones gracias al aprovechamiento de las energías del entorno siempre que esto sea posible.

El sistema funciona de la siguiente forma: La admi-

sión de aire exterior se basa en la comparación de entalpías. Si la energía contenida en el aire exterior (entalpía) es netamente inferior a la del aire interior, se renueva completamente el aire interior sin consumo de energía por parte de los compresores. En el caso de que la entalpía exterior sea inferior a la interior, se fuerza una renovación parcial del aire con un consumo energético para su climatización ajustado en todo caso al mínimo necesario.

#### 2.4.6.2. Ventilación por desplazamiento (*displacement ventilation*)

Son instalaciones normalmente aparejadas a sistemas radiantes de calefacción o refrigeración de baja temperatura. En ellas la función del aire inyectado es estrictamente la de proveer el volumen de aire de renovación necesario para mantener la calidad del aire. Las entradas y salidas del aire se sitúan de tal forma que potencien las corrientes convectivas generadas por los emisores (fríos o calientes).

#### 2.4.7. SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas híbridos de ventilación pueden describirse como aquellos sistemas que proporcionan un acondicionamiento interior utilizando de forma coordinada procedimientos naturales, mecánicos y/o artificiales en diferentes períodos del día, estación o régimen de uso del edificio(7). Son los frecuentemente denominados edificios inteligentes. La principal diferencia entre los sistemas convencionales de acondicionamiento artificial y los sistemas híbridos es el hecho de que estos últimos son sistemas dotados de mecanismos de control y automatización que determinan en cualquier momento el tipo de acondicionamiento necesario (natural, mecánico o artificial) para asegurar el menor consumo energético con unas condiciones de confort satisfactorias en cualquier patrón de uso del edificio. Comentar a estos efectos que no pueden en ningún caso considerarse inteligentes edificios de enormes fachadas vidriadas que, a costa de complejos sistemas de acondicionamiento, obligan a desplazamientos de grandes volúmenes de aire con el objetivo de equilibrar las pérdidas de fachadas sombreadas con el sobrecalentamiento que sufren aquellas sobre las que incide la radiación solar sin protección solar alguna.

#### 2.4.7.1. Uso alternativo de estrategias y sistemas naturales y artificiales

Instalaciones basadas en la combinación de dos sistemas completamente autónomos. El sistema

de control o el usuario elige el período de funcionamiento de cada uno de ellos. Un ejemplo de esta estrategia de acondicionamiento es la formulada por el "Hemiciclo solar". En las noches de verano o en períodos de entretiempo la ventilación cruzada refrigera las viviendas. Durante el verano e invierno el usuario pone en funcionamiento el sistema de climatización de aire, en donde el aire es prerefrigerado o precalentado por un sistema de conductos enterrados e inyectado en la vivienda. En el caso de que esta preclimatización no sea suficiente entran en funcionamiento una serie de unidades de tratamiento del aire (UTAs). Las chimeneas solares aportan la necesaria extracción a las viviendas en verano o conducen el aire viciado de nuevo a las UTAs para su paso por los recuperadores de energía.

#### 2.4.7.2. Ventilación natural asistida por ventilación mecánica

Sistemas basados principalmente en la ventilación natural. Durante períodos en los que se reduce el potencial de los métodos de inducción (elevadas temperaturas exteriores o calmas) o se producen puntas de demanda, se activa el sistema de extracción. Esta es una de las posibles estrategias de mantenimiento de la calidad del aire propuestas por el Código Técnico de la Edificación (ventilación híbrida).

### 2.5. RÉGIMEN DE VENTILACIÓN

"Nacidos y criados bajo la superstición del Caribe de abrir puertas y ventanas para convocar una fresca que no existía en realidad, el doctor Urbino y su esposa se sintieron al principio con el corazón oprimido por el encierro. Pero terminaron por convenirse de las bondades del método romano contra el calor, que consistía en mantener las casas cerradas



figura 2.26

Fig. 2.25. Residencial Jaraguá. Jaraguá. Brasil. Paulo Mendes da Rocha. 1984  
Fig. 2.26. Estrategia de precalentamiento del aire. Muro trombe ventilado. Australia

en el sopor de agosto para que no se metiera el aire ardiente de la calle, y abrirlas por completo para los vientos de la noche. La suya fue desde entonces la más fresca en el sol bravo de La Manga, y era una dicha hacer la siesta en la penumbra de los dormitorios, y sentarse por la tarde en el pórtico a ver pasar los cargueros de Nueva Orleans....”

Gabriel García Márquez(8)

### 2.5.1. VERANO

El régimen de ventilación es una variable importantísima, clave en el éxito o el fracaso de acondicionamiento natural o mecánico. En climas templados, la ventilación en verano solo será deseable cuando la temperatura exterior sea inferior a la temperatura interior; cuando por medio del movimiento del aire sea posible disipar cargas internas y ganancias solares o cuando sea necesario reducir los niveles de humedad o de contaminación del aire.

De producirse la **ventilación diurna**, debe seleccionarse con especial cuidado el punto de entrada de aire para asegurar la mayor efectividad refrigerante de su movimiento. No solo existen grandes diferencias entre las áreas soleadas y las sombreadas, sino que la exposición a los vientos dominantes, la presencia de vegetación, agua o zonas de alta carga interna pueden hacer variar la temperatura del aire de entrada varios grados.

Un ejemplo interesante al respecto es el Residencial Jaraguá, construido en Brasil por Paulo Mendes da Rocha. En él podemos observar como el diseño de su sección permite establecer corrientes cruzadas en la torre sin forzar el paso de la corriente de aire a través de la cocina (ventilada de forma independiente), evitando de este modo una estancia con gran número de elementos productores de calor. Esta estrategia basada en limitar la ventilación diurna al mínimo imprescindible debe combinarse con la ventilación intensiva cuando se produzca el descenso de las temperaturas.

En edificios de alta inercia térmica, la repetición de este ciclo provocará por sí solo una reducción de la temperatura de sensación interior de varios grados gracias a la acumulación de frigorías en los muros y forjados del edificio y la consecuente reducción de la temperatura media radiante. El potencial refrigerante será mayor cuanto mayor sea el diferencial térmico y mayor la capacidad de almacenamiento térmico.

En clima cálido seco, durante el período estival, será indispensable reducir al mínimo el intercambio con el exterior durante el día y explotar el potencial del efecto refrigerante del movimiento del aire mediante la recirculación interior. Al caer la noche será posible refrigerar el edificio por medio de la ventilación. En el caso de que la temperatura exterior se reduzca en exceso se fomentarán corrientes de aire alejadas de los ocupantes pero incidentes en la inercia térmica interior.

En clima cálido húmedo las estrategias de acondicionamiento tradicionales debido a la imperiosa necesidad de potenciar la evaporación de la sudoración se basan en la **ventilación continua** y en sistemas constructivos ligeros. Únicamente Givoni(9) discrepa de esta teoría recomendando mantener una inercia térmica alta en combinación con un régimen de ventilación nocturna que aproveche los períodos del día más frescos, por reducidos que estos sean.

Debe considerarse en estos casos el riesgo de sobrecalentamiento que esto supone de no respetarse los períodos adecuados de ventilación, ya que el establecimiento de regímenes de ventilación continua provocarían la acumulación de calor, elevando la temperatura de sensación interior por encima de la temperatura exterior del aire.

La **ventilación nocturna** consiste en el establecimiento de corrientes de aire, de forma natural o mecánica, con el objetivo de refrigerar el interior durante la noche aprovechando el descenso de las temperaturas.

Si el movimiento del aire interior se induce por las ventanas o puertas del edificio, en el diseño de las aberturas deben tenerse en cuenta factores que puedan invalidar la estrategia de refrigeración, como la presencia de lluvia, posibles robos, ausencia de intimidad, dependencia del accionamiento de las aberturas por parte del usuario, presencia de zonas de alta carga interna, etc.

La refrigeración nocturna a través de sistemas mecánicos aparece aquí como una interesante alternativa al carecer de los anteriores inconvenientes, requiriendo únicamente la programación del período de refrigeración deseado en función de las condiciones exteriores e interiores.

En edificios de uso diurno dotados de estrategias de refrigeración nocturna, es importante considerar las condiciones higrotérmicas requeridas una vez se reinicia la actividad por la mañana, debido a que podría producirse disconfort si las temperaturas son excesivamente bajas o la humedad relativa del aire demasiado alta, lo cual obligaría al calentamiento de dicho aire o su deshumidificación para contrarrestar una ventilación incontrolada.

### 2.5.2. INVIERNO

En invierno, los niveles de ventilación se reducen al mínimo requerido para el mantenimiento de las condiciones de calidad del aire interior. El sistema de ventilación más habitual en invierno en climas templados es la llamada **ventilación circuns-tancial**. Durante un corto período de tiempo, en horas no demasiado frías del día, la totalidad del volumen interior de aire es sustituido mediante la apertura de las ventanas. Una vez han pasado unos minutos, estas se cierran hasta el día siguiente, reduciéndose paulatinamente la calidad del aire interior. En locales como cocinas o baños la apertura de ventanas irá en función de la producción de humos, olores o vapor.

Este régimen de ventilación lleva aparejado el disconfort térmico en los períodos en los que se realiza la renovación de aire que se mantiene hasta que el mecanismo de acondicionamiento es capaz de calentar de nuevo el aire interior. Por otro lado, al no existir un control del volumen de aire renovado las pérdidas caloríficas suelen ser muy superiores a las estrictamente necesarias.

Como ya se ha comentado anteriormente, el CTE, obliga a la instalación de sistemas de ventilación característicos de climas fríos, en donde la minimización de las pérdidas de calor adquiere especial importancia y hace indispensable la implantación de la **ventilación de caudal constante**, consistente en la minimización del volumen de aire intercambiado con el exterior mediante rejillas autograduables y dispositivos de extracción.

### 2.5.3. ESTRATEGIAS DE PREENFRIAMIENTO Y PRECALENTAMIENTO DEL AIRE

Es posible mediante métodos naturales o mecánicos preacondicionar el aire que accede al interior de los locales para potenciar la refrigeración o reducir las cargas de calefacción.



figura 2.27



figura 2.28

Para conseguirlo debe encontrarse un sumidero en donde poder disipar o captar energía. Los llamados depósitos ambientales, aquellos lugares en donde es posible este intercambio energético, son tres: la bóveda celeste y el sol, cuyo mecanismo de transferencia es la radiación; la atmósfera, que intercambia energía por convección y evaporación; y el terreno, cuyos mecanismos de transferencia son la conducción y la convección.

En la figura 2.27 y 2.28 se observan dos posibles aproximaciones al elemento de captación energético más habitual, el invernadero. En el primer caso se exploran las posibilidades de inclusión de este elemento dentro de un edificio de viviendas de protección oficial, programa caracterizado por un estricto control económico y superficial. En el segundo caso la estrategia se basa en la búsqueda de la máxima economía constructiva con el objetivo de aumentar al máximo la superficie habitable.

En la figura 2.29 observamos en cambio un mecanismo de refrigeración del aire. Este sistema aprovecha el enfriamiento de la superficie vidriada gracias a la evaporación de agua que se produce en su cara exterior para refrigerar el aire interior mediante la transferencia convectiva producida entre la superficie y el aire interior.

Las características de cada una de las posibles estrategias de captación de frío o de calor serán descritas en el capítulo 5.

#### 2.5.4. ESTRATEGIAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Toda estrategia de captación o refrigeración va asociada a sistemas de acumulación que permitan almacenar la energía captada o amortiguar las puntas diurnas o estacionales de captación.

Como se ha explicado anteriormente la inercia térmica no es beneficiosa *per se*. Es muy importante asumir qué soluciones constructivas de inercia térmica elevada almacenan energía.

Si la pretendida refrigeración interior se realiza en períodos de calor, el edificio acumulará calor de forma contraproducente y viceversa.

Puede cuantificarse la energía absorbida de una forma sencilla de la siguiente forma:

$$Q_{cv} = Hc(T_p - T_a)$$

Siendo :

Hc: el coeficiente de convección ( $W/m^2\text{°C}$ )

$T_p$ : temperatura superficial en  $^{\circ}\text{C}$

$T_a$ : temperatura del fluido

Cuando se trata de convección natural el coeficiente de convección depende de la diferencia de temperatura, de la forma del elemento acumulador, su dimensión y su posición.

Si la convección es natural y la superficie es horizontal y de grandes dimensiones, el régimen se supone laminar.

$$Hc = 1,31 (Dt)^{0,33}$$

Siendo :

Dt: el diferencial de temperatura

Si la convección es natural y la superficie es vertical y de grandes dimensiones el régimen se supone turbulento.

$$Hc = 1,52 (Dt)^{0,33}$$

Siendo :

Dt: el diferencial de temperatura

En el caso de la convección forzada:

Para velocidades  $>5\text{m/s}$ ,  $Hc = 7,2v_a + 0,78$

Para velocidades  $<5\text{m/s}$ :  $Hc = 5,6 + 18,6 v_a$



figura 2.29

#### 2.5.4.1. Sistemas indirectos

Existen dos modos de acumulación. Los sistemas indirectos son aquellos que transfieren la energía al interior sin que exista intercambio entre el aire interior y el aire preacondicionado.

El sistema indirecto de acumulación más habitual es la refrigeración estructural. Esta se basa en forzar el paso del aire de forma mecánica por canales de ventilación en contacto con la estructura horizontal del edificio. De esta forma, se fuerza la acumulación de energía que será transmitida *a posteriori* por radiación y convección al espacio interior.

Si la superficie refrigerada se sitúa en la parte alta del local, la convección se realiza de forma natural. Si por el contrario, esta ocupa zonas bajas, pueden generarse piscinas de aire frío o forzarse la recirculación del aire de forma mecánica.

Si se procede a la acumulación de calor en la parte baja del local se inducirán corrientes convectivas naturales. En el caso de situarse esta en zonas altas deberá procederse a la desestratificación del aire caliente por medios mecánicos.

Gracias a la forma indirecta de transmisión de energía es posible emplear un amplio rango de temperaturas y velocidades de circulación de aire mayores. Por otro lado, al no afectar a la humedad relativa

Fig. 2.27. Invernadero. Viviendas de protección oficial para jóvenes. Barcelona. España. López, Rivera. 2007

Fig. 2.28. Invernadero

Fig. 2.29. Sistema de prerrefrigeración del aire. EXPO92. Sevilla. España. N. Grimshaw

interior puede emplearse aire con un alto contenido de humedad de forma controlada para evitar que posibles condensaciones puedan deteriorar la estructura o fomentar el crecimiento de mohos y bacterias en el interior de los canales o conductos.

**El Sistema Termodeck**, por ejemplo, permite habilitar los alvéolos de las losas prefabricadas de hormigón como conducciones del sistema de acondicionamiento del aire (mecánico o artificial).

El aire acondicionado se produce y distribuye de forma convencional. Una vez llega el aire a cada uno de los espacios a acondicionar se introduce en los alvéolos, previamente interconectados formando un serpentín cuyo extremo incorpora un difusor convencional. Gracias a la incorporación de la estructura en la climatización interior se incrementa la estabilidad térmica del edificio, reduciéndose el diferencial de temperatura que deben superar las bombas de calor. El sistema permite la recuperación del 85% de la energía y reducciones de hasta el 60% en la energía requerida.

Las experiencias construidas en los años 80 continúan comportándose de una forma satisfactoria. A pesar de ello, se han detectado una serie de problemas como pueden ser olores y presencia de polvo en el interior de los conductos o problemas de sellado entre los conductos de aire y las losas alveolares. El sistema puede ser empleado en combinación con la ventilación por desplazamiento (*displacement ventilation*), sistemas mixtos o ventilación nocturna.

**Techo de hormigón.** El techo de hormigón con aislamiento exterior es un sistema destinado a climas desérticos basado en la exposición a la radiación nocturna de una cubierta de hormigón (15 cm) protegida por medio de una protección solar de lamas móviles reflectantes. Durante la noche se retiran las lamas para exponer el hormigón a la radiación nocturna y permitir a esta acumular frigorías. Durante el día se aísla la cubierta del exterior por medio de las lamas móviles transmitiéndose las frigorías al interior a través de la losa de hormigón.

**Lechos de grava.** Los lechos de grava fueron otro sistema habitual en los años 70. Estaban normalmente asociados a la acumulación de calor en invernaderos pese a que su uso podía hacerse extensivo a sistemas de refrigeración. El frío ob-

tenido durante la noche era conducido mediante ventiladores hacia algún espacio relleno de grava de aproximadamente 10 cm de diámetro. La energía allí acumulada podía ser recuperada durante el día invirtiendo el flujo de los ventiladores o transmitirse por conducción a través del perímetro del acumulador. El sistema cayó en desuso debido a su limitado potencial y a la gran cantidad de material y espacio que requerían.

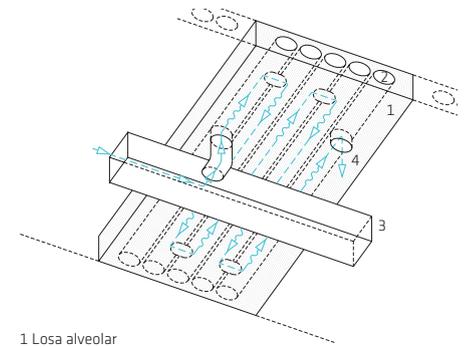
Otra opción de acumulación indirecta todavía en fase experimental es el aprovechamiento de la energía liberada o absorbida por la fluidificación o solidificación de ciertas sustancias cuya temperatura de cambio de fase se sitúa entre los 15 y los 25°C. La implantación de dichas técnicas es dificultosa debido a la inflamabilidad o toxicidad de estas (parafinas y sales hidratadas). Su desarrollo puede permitir reducir considerablemente peso y espesor en la construcción, sin por ello renunciar a las ventajas de la inercia térmica interior.

#### 2.5.4.1. Sistemas directos

Los sistemas directos de acumulación son aquellos que transfieren la energía a través del aire interior.

Existen múltiples estrategias para potenciar el almacenamiento de energía en la inercia térmica interior como pueda ser: reconducir las corrientes de aire hacia paredes, suelos o techos por medio del diseño de las aberturas o maximizar el área expuesta a la corriente evitando elementos aislantes como cielo rasos, suelos técnicos, muebles o alfombras.

Estudios experimentales demuestran que, para sistemas constructivos convencionales, el ciclo diario de temperaturas solo afecta a la capa superficial de los muros (en torno a 5 cm de profundidad). El interior de los paramentos se ve afectado, en cambio, por el ciclo estacional de temperaturas. En el ámbito de la refrigeración, el almacenamiento en la cara inferior del forjado es, por lo general, más eficiente que la refrigeración de suelos o paredes, gracias a la mayor cantidad de superficie expuesta. Por otro lado, al incidir la corriente sobre zonas alejadas de la zona ocupada son admisibles velocidades mayores del aire, permitiendo la distribución de las frigorías por medio del establecimiento de corrientes convectivas naturales en el interior del local.



- 1 Losa alveolar
- 2 Alveolos
- 3 Conducto aire acondicionado
- 4 Difusor

figura 2.30

Otro recurso para el almacenamiento de frigorías son las **piscinas de aire frío**, es decir, la acumulación de aire frío en las cotas inferiores del espacio interior o en espacios exteriores semiconfinados. El aire refrigerado puede mantenerse confinado generándose de esta forma una estancia fresca hacia la cual desplazar las actividades durante los períodos de calor. Una corriente superior de aire no dispersará el aire acumulado si se evita que esta circule a gran velocidad y pueda succionarlo.

En climas húmedos los altos índices de humedad dificultan el confinamiento del aire a bajas temperaturas por lo que la humedad relativa debe ser controlada y disponerse aberturas que permitan la mezcla o la evacuación del aire en caso de superarse los niveles máximos de confort.

En climas moderados pueden conjugarse las necesidades de almacenamiento y ventilación con soluciones mixtas.

Las figuras 2.31 y 2.32 muestran el proyecto de un edificio administrativo en Catania, Italia.

La gran cantidad de energía requerida para la refrigeración del gran volumen de aire contenido en un atrio se esgrime como razón para la sustitución de este espacio único de iluminación/ventilación por una serie de conductos verticales de dimensiones más reducidas. Estos conductos, de forma troncocónica, se plantean como torres de refrigeración adiabática que permiten regular de forma independiente la energía requerida de cada una de las zonas del edificio a la que iluminan y ventilan.

Fig. 2.30. Sistema Termodeck

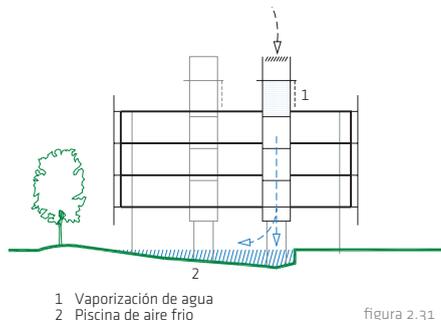


figura 2.31



figura 2.32

El aire captado en la coronación de las torres sería rociado con agua por medio de vaporizadores. Esto generaría una corriente de aire frío en sentido descendente que penetraría en las oficinas o finalizaría su recorrido en los jardines situados en la parte inferior. La planta baja se plantea semienterrada para confinar una piscina de aire frío, generando de esta forma en la base del edificio una zona pública de descanso fresca y sombreada. Con este planteamiento Mario Cucinella preveía reducir a un tercio la energía requerida por edificios similares dotados de atrios.

## 2.5.5. PREVENCIÓN DE CARGAS

### 2.5.4.1. Verano

Todo aporte de calor permitido o no evacuado requerirá su compensación posterior mediante estrategias de refrigeración. Teniendo en cuenta el

reducido potencial de las técnicas de acondicionamiento natural, es vital la reducción de la demanda de frío como paso previo e indispensable al planteamiento de estrategias o componentes de ventilación. Las principales medidas de prevención de cargas en verano son:

**Aislamiento térmico del edificio.** El flujo de calor a través de la envolvente no se detiene mientras la temperatura exterior sea superior a la temperatura interior. Especial cuidado merece el aislamiento de la cubierta ya que la radiación que incide sobre esta duplica a la de cualquier fachada del edificio.

En climas de altos índices de radiación, es recomendable dimensionar el aislamiento en función de la temperatura sol-aire (aquella que se establece entre la temperatura interior y la temperatura superficial exterior), que puede alcanzar en fachadas oscuras durante el verano los 60°C.

**Protección solar** de toda la envolvente frente a la radiación directa y difusa. La protección debe instalarse a cierta distancia de la fachada para evitar que el calentamiento que sufre se transmita al interior a través de la corriente de aire o por radiación. Se evaluará la conveniencia de dotar de inercia térmica a la protección solar de las aberturas ante el riesgo de que esta eleve la temperatura de la corriente de aire si no ha sido convenientemente refrigerada antes de establecerse la ventilación.

Si se controlan posibles (y probables) deslumbramientos, el color es una herramienta nada despreciable de protección solar, pudiendo reducirse a la mitad los aportes de calor si se utilizan colores claros en fachadas soleadas.

**Renovación de aire:** Construir grandes volúmenes interiores convenientemente aislados y protegidos puede permitir mantener el edificio cerrado durante las horas más calurosas del día sin menoscabo del confort térmico interior, eliminando cualquier necesidad de renovación de aire. Cuando esto no sea posible debe reducirse la renovación al mínimo en los períodos más calurosos.

Las cargas internas generadas por aparatos eléctricos, procesos de combustión o una ocupación excesiva pueden poner en riesgo el confort si no son evacuadas de una forma conveniente. En el caso de ser estas inevitables, se hará necesaria la sectorización del espacio en donde sean generadas.

Para establecer un orden de magnitud que demuestre la importancia de este factor es posible, mediante la siguiente ecuación, determinar el volumen de aire de renovación necesario para la evacuación de dichas cargas:

$$V = Q / \rho_c (T_{int} - T_{ext})$$

Siendo:

V: volumen de aire

Q: cargas internas

Rc: calor específico del aire

T int: temperatura interior

T ext: temperatura exterior

Aplicando esta fórmula a un ejemplo observamos que en un despacho de 15 m<sup>2</sup> con un ocupante, una bombilla de 100W y un ordenador de 500W, son necesarias 15 renovaciones hora para mantener una temperatura máxima interior de 26°C, si la temperatura exterior es de 22,5°C.

### 2.5.4.2. Invierno

Las principales medidas de reducción de la demanda de calorías en invierno son:

**Aislamiento térmico** para minimizar el flujo de calor hacia el exterior y elevar la temperatura media radiante de la cara interior de la envolvente (con esta medida se eleva la temperatura radiante a la vez que se disminuye la transferencia de frío por intercambio convectivo al aire interior).

Recordad que una pared aislada con 4 cm de aislamiento térmico reduce entre un 60 y un 75% las pérdidas de calor con respecto a paredes carentes de aislamiento.

**Control de las infiltraciones** para limitar la entrada de aire frío en el interior. Debe tenerse en cuenta que estos, además de elevar la carga térmica necesaria para calefactar el local, suponen un alto riesgo de disconfort al recircular el sistema de acondicionamiento del aire frío.

**Renovación de aire:** La potencia de calefacción requerida asociada a cargas por renovación del aire interior, puede llegar a ser del orden del 50% del total de energía requerida.

El control del volumen de aire de renovación se hace especialmente interesante en escuelas, ofi-

Fig. 2.31 - 32. Torres de refrigeración adiabática para iluminación en ventilación. Edificio administrativo. Catania. Italia. M. Cucinella. 1999

cinas o locales de alta ocupación, en donde la renovación controlada y constante de aire exterior aumenta sensiblemente el confort térmico interior y reduce la carga calorífica requerida.

### 2.5.6. CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

La ventilación natural de los edificios depende habitualmente de factores variables a lo largo del tiempo (horarios de ocupación, dirección e intensidad de los vientos, etc.) por lo que es habitual la utilización de componentes regulables.

Esta regulación es necesaria para ajustar el volumen de aire o para anular el sistema cuando las condiciones exteriores no sean aptas para la ventilación (lluvia, temperatura o humedad, ruido, contaminación, etc.).

#### 2.5.6.1. Estrategias de control

Existen múltiples estrategias de control de los sistemas de ventilación. Según F. Allard (10) pueden diferenciarse las siguientes:

**Sistemas de regulación manuales:** Se aplican a estrategias sencillas de ventilación cuya fuerza generadora sea el efecto chimenea o sistemas de inducción térmicos, mucho más estables y predecibles que todos aquellos que dependan de la acción dinámica del viento.

Son sistemas menos eficientes a nivel energético al requerir la intervención del usuario y producirse su manipulación en función de criterios subjetivos. Por otro lado, al permitir la regulación del sistema de una forma directa e individual, aumenta en gran medida el grado de satisfacción de estos.

En edificios que cuenten con un gran número de usuarios es muy arriesgado encomendar el éxito o el fracaso de la climatización al buen uso del sistema por parte de estos. El esfuerzo colectivo puede resultar inútil si uno solo de los ocupantes decide, por ejemplo, abrir su ventana durante períodos de calor o impedir el paso del aire al abandonar el edificio. Por todo ello, si se implantan sistemas de control manual es capital promover la implicación de los usuarios en el control del sistema. Un mal uso de los componentes de ventilación podría tener efectos contrarios a los deseados. El manual de uso y mantenimiento del edificio debería convertirse en una herramienta informativa y formativa útil a tal efecto.

**Sistemas de regulación automáticos:** La estrategia de ventilación relacionada a sistemas mecánicos puede ir desde el simple control de las renovaciones en función de la temperatura exterior hasta la monitorización por zonas de las condiciones interiores y el trasvase de grandes volúmenes de aire. Dependiendo de los objetivos de la ventilación (mantenimiento de la calidad de aire interior, refrigeración diurna o refrigeración nocturna, etc.) y de las condiciones exteriores, se manipulan las aberturas o los elementos reguladores de las aberturas o los inductores térmicos.

Los sistemas automáticos son altamente recomendables en edificios donde la complejidad de la estrategia de ventilación, la combinación de sistemas naturales mecánicos y artificiales, los distintos usos y ocupaciones, la seguridad, la protección contra el fuego, el ruido, etc., dificultan el control del acondicionamiento. Suele llamarse a los edificios que incorporan sistemas complejos de control edificios inteligentes. Recordar que esta supuesta (y falsa) capacidad de la tecnología de equilibrar cualquier desmán en el diseño, no debería permitir sobrecalentamientos o enfriamientos de parte del edificio, confiando en el transporte y equilibrio de cargas a través de sistemas mecánicos y/o artificiales. Recordemos que el confort térmico es un concepto global y local.

Pese a las grandes posibilidades de ahorro energético que pueden suponer, los costes de instalación y mantenimiento de estos sistemas son elevados. La conveniencia o no de su instalación debe valorarse convenientemente pese a que es posible augurar una inmediata generalización forzada por la creciente tecnificación de los edificios.

**Sistemas de regulación mixtos:** Evidentemente ambos tipos se pueden combinar en función de las necesidades específicas del sistema de acondicionamiento.

#### 2.5.6.2. Sensores

En sistemas de control automatizado los sensores son los encargados de detectar las variaciones de los parámetros ambientales. Están normalmente conectados a una unidad de control que evalúa los datos y envía órdenes a los accionadores.

Los componentes más habituales son (11):



figura 2.33

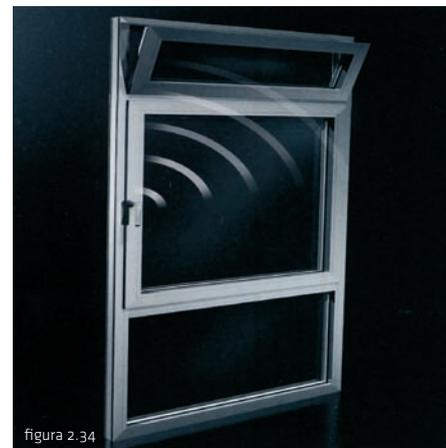


figura 2.34

**Sensores de temperatura:** Los datos que proporcionan permiten valorar cuándo el aire exterior tiene una temperatura apta para permitir su entrada al edificio. Los sensores interiores deben estar situados lejos de las ventanas, allá donde el aire interior está convenientemente mezclado, y protegidos del sol.

**Sensores de dióxido de carbono o de gas mezclado:** Se utilizan sobre todo en invierno, para evaluar la calidad del aire interior.

Fig. 2.33. Rehabilitación energética mediante la adición de protección solar al muro cortina existente. Madrid, España. Junquera, del Diestro  
Fig. 2.34. Modelo de accionador remoto 2005

**Sensores de velocidad y dirección del viento:**

Son utilizados para determinar qué aberturas deben accionarse para promover el recorrido interior del aire deseado o anular la ventilación cuando el viento es demasiado intenso o tiene una dirección inadecuada.

**Detectores de lluvia:** Las aberturas de ventilación no deben permitir la entrada de agua en el edificio. Para evitarlo se utilizan detectores que ordenan el cierre de las ventanas o rejillas en caso de lluvia para generar las corrientes interiores deseadas.

**Sensores de intrusión:** Detectan, de forma previa a su llegada a las aberturas, la presencia de personas o animales.

**Sensores de ganancias solares:** permiten incrementar los niveles de ventilación en caso de radiación solar elevada.

**Sensores de humedad:** se instalan para el control de la humedad del interior o exterior.

**Accionadores:** Son necesarios accionadores para maniobrar de forma automática las aberturas cuando los sensores detecten su conveniencia. Existen dos tipos: de cadena o pistón, ambos accionados por motores eléctricos.

### 2.5.7. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

La ventilación natural está asociada a grandes flujos de aire lo cual puede presentar incompatibilidades con la seguridad de los ocupantes en caso de incendio ante la posibilidad de que dichas corrientes de aire potencien la propagación del humo y dificulten la evacuación de ocupantes.

Por ello debe respetarse la sectorización establecida por la normativa antiincendios en lo que se refiere a las circulaciones de aire que se establecen con las distintas estrategias de ventilación (naturales, mecánicas o artificiales) dotando por ejemplo las comunicaciones entre sectores de incendios de separaciones de cierre automático (electroimanés).

Es recomendable dotar de materiales resistentes al fuego a ventanas, rejillas de ventilación, o cualquier otro tipo de comunicación con el exterior que pueda proporcionar oxígeno extra al fuego para su propagación. Una mayor consideración del *modus operando* respecto de la ventilación natural en

próximas revisiones de la normativa contraincendios facilitaría la implantación de estrategias de ventilación en edificios. La implantación del CTE aporta el necesario cambio conceptual: sustituir la regulación de componentes específicos por una definición de las prestaciones a alcanzar. De esta forma no queda excluida automáticamente toda estrategia, sistema o componente no descrito o regulado en la norma, facilitando la evolución de nuevos componentes o estrategias de ventilación.

### 2.5.8. CONSECUENCIAS DEL RUIDO

En áreas urbanas, el exceso de ruido y la contaminación puede condicionar la elección del sistema de ventilación.

En sistemas de **ventilación natural** es determinante localizar las aberturas en zonas con niveles sonoros tolerables. Cuando esto no es posible existen tres alternativas.

En primer lugar, sustituir la entrada directa de aire por un sistema que, mediante depresión o sobrepresión (natural, inducida o forzada), aspire el aire de otras zonas del edificio.

Una segunda opción consiste en introducir entre el elemento ventilado y el exterior un espacio tapón que actúe como aislante acústico. Es habitual el empleo de atrios con entradas de aire situadas en cubierta con este propósito.

Por último, es posible utilizar componentes que incorporen aislantes acústicos que absorban el ruido previa entrada a los locales. El inconveniente intrínseco de estos elementos son las grandes pérdidas de carga que provocan en la corriente de aire.

Debe estudiarse su conveniencia en estrategias de ventilación natural debido a la reducida diferencia de presión con la que ya de por sí se cuenta.

El desarrollo de ventiladores específicos para la ventilación nocturna (de mayores dimensiones y velocidades reducidas) que puedan mover grandes masas de aire facilitaría la implantación de la ventilación mecánica nocturna en situaciones urbanas.

La **vegetación** puede ser un método alternativo de atenuación. Debe disponerse de forma que no presente obstrucciones a las corrientes dominantes de aire estival y sí, en cambio, a la radiación solar

en verano y a los vientos fríos en invierno. En todo caso una densa pantalla vegetal cercana al emisor es siempre la estrategia más efectiva.

En sistemas de **ventilación mecánica** debe controlarse el ruido provocado por el propio movimiento del aire a través de los conductos, así como posibles ruidos generados por sus componentes (ventiladores, compuertas, etc.). Estos problemas se combaten con materiales aislantes y uniones flexibles entre elementos que eviten la propagación de las vibraciones.

Si los requerimientos de aislamiento son muy estrictos (salas de ensayo o estudios de grabación) se utilizarán silenciadores específicamente diseñados en función del caudal de aire suministrado.

Los puentes acústicos entre las distintas partes del sistema o las disfunciones que se producen entre distintos espacios (despachos, pasillos, atrios, etc.) son los principales obstáculos a resolver.

### 2.5.9. SEGURIDAD

**Robo.** Las ventanas tradicionales en muchas ocasiones no ofrecen seguridad frente a la entrada de intrusos de no resultar inaccesibles o estar permanentemente vigiladas. Este tipo de situaciones acaban por lo general con el cierre permanente de estas imposibilitando la ventilación.

Un ejemplo de hasta qué punto están dificultando la ventilación las exigencias de seguridad en los edificios se observa en la evolución de la persiana tradicional mallorquina. La sección libre entre tablillas se ha venido reduciendo desde los 3 o 4 cm habituales hasta aberturas milimétricas, asemejándose ya más a portillones que a elementos permeables de ventilación.

Los problemas de seguridad relacionados con la ventilación tienen fácil solución si se plantean en fase de proyecto, mediante el estudio del recorrido del aire, el diseño de las aberturas o la instalación de elementos inductores que fuercen la ventilación desde zonas seguras.

**Entrada de lluvia.** En edificios de uso discontinuo cabe la posibilidad de que llueva en ausencia de los ocupantes lo cual es, en muchos casos, un motivo disuasorio suficiente que invalida posibles estrategias de ventilación nocturna. Rejillas de ventilación

o detectores de lluvia coordinados con ventanas motorizadas solventan fácilmente el problema.

## 2.6. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

La modelización cualitativa (visualización de flujos) y cuantitativa (valores de velocidad y presión) es empleada frecuentemente para evaluar los efectos del movimiento del aire en el interior de edificios. Existen tres tipos de aproximaciones.

**1.** Aquellas que a través de modelos a escala y distintos tipos de fluidos determinan los flujos interiores de forma visual o mediante mediciones extrapolables a modelos reales.

**2.** Las que por medio de modelos matemáticos determinan el comportamiento físico teórico del fluido.

**3.** Las que, a través de herramientas informáticas, evalúan los flujos de aire del edificio mediante el análisis del intercambio energético que se produce entre cada una de las pequeñísimas porciones en las que subdividen el volumen de aire interior.

### 2.6.1. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON MODELOS A ESCALA

La modelización de la ventilación mediante el empleo de fluidos tiene precisamente la ventaja de emplear fluidos reales y no “modelizaciones de fluidos” como ocurre en las simulaciones informáticas. Con ello se consigue que todas las ecuaciones referidas a la conservación de la energía estén automáticamente incluidas sin necesidad de aproximaciones matemáticas o la no consideración de factores más o menos despreciables.

**2.6.1.1. Túnel de viento.** La modelización del movimiento del aire en túnel de viento se basa en la introducción en un conducto longitudinal del modelo a escala del edificio y su entorno construido.

Una vez en su interior se induce el movimiento del aire por medio de grandes ventiladores y se registran las trazas marcadas por el desplazamiento del humo de queroseno que inyectan una serie de mangueras situadas en la cabecera del conducto. La evaluación de los efectos que producen sobre el edificio las distintas direcciones de viento se realiza girando la plataforma sobre la que se ha depositado el modelo. La distancia entre las líneas de humo tiene una relación directa con la velocidad,

mientras que la continuidad de estas indica el tipo de flujo que se genera (laminar o turbulento).

Este tipo de técnicas únicamente es capaz de registrar el comportamiento dinámico del aire, ofreciendo datos acerca del modo en que la corriente de aire barre el interior del edificio o de qué forma varían las presiones en la envolvente de este frente a distintas velocidades y direcciones de viento exterior. No es posible simular en cambio corrientes de aire de origen térmico, ni los efectos que produciría esta sobre la temperatura de la envolvente interior del edificio, por lo que no es posible la evaluación directa de estrategias combinadas de ventilación.

Su utilización en el estudio de los flujos interiores se limita a casos sencillos. La vigencia de los estudios de Olgay, publicados en 1963 y realizados en el túnel de viento de baja velocidad del Centro de Investigación Forestal de la Universidad de Princeton, evidencian el abandono de este tipo de experimentos en el estudio de los flujos interiores así como la inexistencia de alternativas eficientes de diseño.

En la actualidad, los túneles de viento son empleados principalmente para determinar el campo de presiones que genera el viento sobre edificios de gran altura. El método habitual consiste en la incorporación en la envolvente del modelo a escala de una serie de sensores capaces de detectar las variaciones de presión que genera la corriente de aire inducida en el interior del túnel. El resultado es una serie de coeficientes adimensionales de presión ( $C_p$ ) que determinan el comportamiento de cada abertura frente a determinada corriente de viento. Posteriormente, se evaluarán por medio de herramientas informáticas cómo afecta la combinación de las variables térmicas, dinámicas y constructivas en el movimiento interior del aire en función de la posición de las ventanas o sus estrategias de apertura.

El principal obstáculo que limita la utilización de estas técnicas es el reducido número de instalaciones existentes y el alto coste que conlleva la construcción de modelos y la ejecución de las pruebas, lo cual las hace inviables como herramientas de diseño en la mayor parte de los casos. Su uso se limita a grandes proyectos o ensayos teóricos cuyo objetivo es la determinación de coeficientes  $C_p$  extrapolables a situaciones comunes en tipologías sencillas.

**2.6.1.2. Piscinas de sales.** Las piscinas de sales son utilizadas para simular el movimiento de aire generado por diferencias de temperatura del aire interior. Se basan en la evaluación de los movimientos que se producen en agua coloreada con sales ante la inducción de variaciones en la densidad en una determinada zona. Esto permite evaluar los movimientos inducidos en la piscina de una forma visual o cuantitativa (la sal se disuelve de una manera lineal, siendo la salinidad del agua un parámetro sencillo de medir).

Desgraciadamente, la utilización de este tipo de sistemas como herramienta de diseño se ve limitada por la complejidad que supone la construcción de la piscina y el modelo, así como la necesidad de renovar frecuentemente grandes cantidades de agua con el objetivo de mantener la concentración de sal en niveles aceptables para la simulación.

Por otro lado, el modelo no refleja la situación real de estrategias más complejas de ventilación que incluyan corrientes cruzadas, elementos radiantes o la inercia térmica, por lo que su aplicación se ve muy limitada.

**2.6.1.3. Piscinas de agua.** De una forma similar a como ocurre en el caso de las piscinas de sales, es posible simular el movimiento del aire mediante la introducción de un modelo a escala en el interior de un tanque de agua en el que las corrientes convectivas son simuladas por medio del calentamiento de áreas concretas del fluido.

La medición se realiza igualmente de forma visual mediante la colocación de una luminaria tras el modelo. De esta forma, los distintos índices de refracción del agua en función de su temperatura generan sombras que revelan las corrientes que se generan en el interior.

Las piscinas de agua permiten simular situaciones de ventilación dinámica inducida por el viento si el modelo es sumergido en un tanque longitudinal en el interior del cual se genera de forma mecánica una corriente continua de agua. De nuevo son simulaciones de utilidad muy discutible durante el proceso de diseño debido a su complejidad constructiva y de análisis.

### 2.6.2. MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos teóricos que describen el movimiento del aire se basan en la dinámica de fluidos, la cual describe por medio de ecuaciones matemáticas los procesos de intercambio de energía que se establecen en fluidos incompresibles.

El teorema de Bernoulli es una de las leyes fundamentales que rigen dichos fenómenos y relaciona el aumento de la velocidad del flujo con la disminución de la presión y viceversa.

Los ingenieros Navier y Stokes fueron los primeros en incluir los efectos de la viscosidad (la resistencia que opone un fluido a deformarse cuando se somete a un esfuerzo de corte) del fluido en las ecuaciones matemáticas. Actualmente el desarrollo de sus teorías ha dado origen a las llamadas ecuaciones Navier-Stokes, ecuaciones básicas para la descripción de los procesos que involucran los fluidos viscosos incompresibles. Desgraciadamente, estas ecuaciones son tan complejas que solo pueden aplicarse a flujos sencillos (laminares). En el momento en que surgen fluctuaciones en la velocidad o remolinos, las ecuaciones pierden su validez, no habiendo sido posible a día de hoy su descripción completa y unívoca. El comportamiento de los flujos turbulentos se realiza mediante la combinación de datos experimentales y modelos matemáticos.

Debido a todos estos factores los modelos matemáticos solo pueden ser empleados en el análisis de estancias sencillas con regímenes de ventilación muy concretos, por lo que tampoco son un sistema válido para el estudio detallado de estrategias de ventilación.

### 2.6.2. SIMULACIONES INFORMÁTICAS

Durante los últimos años, se viene desarrollando un importante trabajo de investigación en el cam-



po de las herramientas informáticas de diseño y predicción de los efectos, térmicos y dinámicos, de la ventilación en el interior de los edificios.

Actualmente los métodos de simulación más extendidos son el uso de programas informáticos combinados con ensayos en túneles de viento. El proceso habitual es iniciar la evaluación del modelo mediante ensayos en túnel de viento con el objetivo de conocer, a grandes rasgos, el mapa de presiones del edificio.

Sobre esta información se decide la estrategia de ventilación y la situación preferente de las aberturas determinando los valores  $C_p$  de cada una de ellas frente a los vientos dominantes. Posteriormente, los flujos interiores y los intercambios energéticos son evaluados en detalle con programas informáticos.

Evidentemente, este tipo de estudios puede únicamente abordarse en proyectos singulares, debido al alto coste y a la necesidad de equipamiento y expertos en el área.

## 2.7. DISTRIBUCIÓN DE FLUJOS

### 2.7.1. A ESCALA TERRITORIAL

El viento se genera por el desplazamiento de grandes masas de aire que tienden a equilibrar las diferencias de presión provocadas por variaciones de temperatura. Existe un régimen general de vientos a nivel macroespacial inducido por diferencias de presión a nivel planetario. Sin embargo, las perturbaciones debidas a la topografía, grandes masas de agua, vegetación, etc. provocan variaciones importantes de este régimen global. A escala microclimática, es necesario contar con datos referentes a observatorios cercanos al emplazamiento, aunque frecuentemente estos serán en gran medida inútiles (en general los únicos registros de velocidad y dirección de viento se realizan en aeropuertos, lugares poco representativos del clima local al emplazarse en grandes áreas despejadas, libres de fenómenos climáticos extremos o imprevisibles) y deberán ser corregidos con cualquier información que sea posible recabar.

Para analizar la distribución de flujos puede ayudar el conocimiento de determinados regímenes de viento prototípicos.

**Vientos de montaña y valle.** El sol calienta de una forma más rápida las laderas que el fondo del valle, lo cual produce unos vientos ascendentes o **anabáticos**. El aire tiende a fluir siguiendo la dirección del eje del valle en sentido ascendente. Es el llamado viento de valle. Al desaparecer el sol y enfriarse rápidamente las cumbres, el aire frío desciende produciendo los llamados vientos **catabáticos** o vientos de montaña, que soplan en dirección contraria al viento diurno.

**Brisas marinas y terrestres.** Dado que el calor específico del agua es mayor que el de la tierra, la tierra eleva su temperatura rápidamente durante las primeras horas del día, mientras la temperatura del mar permanece estable originándose corrientes convectivas, brisas marinas que soplan desde el mar hacia el interior. El alcance de estas depende de la orografía local pero pueden alcanzar decenas de kilómetros en orografías llanas. Durante la noche, al enfriarse la masa continental, son las masas de aire en contacto con el mar las que ascienden, por lo que el viento sopla en dirección contraria y se originan las brisas terrestres; en terminología marina, terral.

### 2.7.2. A ESCALA LOCAL

**Régimen de viento suburbano. La influencia de la topografía y la vegetación**

El viento que se desliza cercano a cotas bajas se ve afectado por el rozamiento del terreno. El comportamiento laminar o turbulento estará determinado por los obstáculos que este encuentre a su paso. Así, el viento al encontrar una colina, es desviado tanto horizontal como verticalmente. Al reducirse la sección de paso, la velocidad del flujo aumenta (efecto Bernoulli).

Un efecto similar de canalización se produce frente a un obstáculo vegetal lo cual hace posible generar barreras de viento, túneles o filtros que permiten manipular o conducir los flujos de aire.

El tamaño y la forma de la barrera, así como la permeabilidad al aire de la especie vegetal utilizada, influyen en la longitud de la zona de sombra producida. En todo caso, la anchura de la barrera debe situarse en torno a 0,1 veces su altura. Las barreras densas y sólidas ofrecen una mayor protección al viento pero la zona de turbulencia generada a sotavento restablece rápidamente la velocidad inicial. Las barreras permeables reducen en menor medida

Fig. 2.35. Túnel de viento

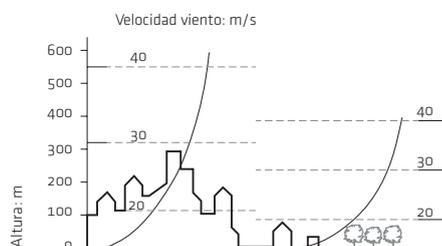


figura 2.36

la velocidad de este, pero generan una menor turbulencia que alarga la zona de sombra.

### 2.7.2.1. Régimen de viento urbano

En áreas de alta densidad edificada la estructura urbana es la que define la dirección, velocidad e incluso el régimen de vientos. El urbanismo debería asumir dentro de los criterios condicionantes de diseño urbano factores tan importantes para el bienestar de los habitantes como puede ser el microclima local en general y el régimen de vientos en particular. Son factores determinantes la anchura de las calles, la continuidad y dirección de la trama o el volumen de las edificaciones. Habitualmente el régimen de viento urbano se caracteriza por una reducción de la velocidad de entre el 70 y 80% respecto a la velocidad de las zonas periféricas. Los períodos de calma se ven aumentados en aproximadamente un 20%.

En muchas ocasiones la trama urbana provoca zonas de calma sin apenas movimiento de aire en las zonas bajas de agrupaciones de edificios altos. En dicha situación es fundamental la utilización de sistemas de inducción térmicos o dinámicos que puedan activar el movimiento del aire.

Durante el verano se genera en las grandes ciudades la llamada **isla de calor**. La gran cantidad de CO<sub>2</sub> aumenta el efecto invernadero elevando la temperatura progresivamente en función de la cercanía con el centro urbano. El gradiente de temperatura genera en este punto una corriente convectiva ascendente que succiona el aire de la periferia.

En climas fríos la trama urbana debe compatibilizar en invierno el acceso solar con la protección frente al viento. La protección a frente los vientos fríos no solo elimina molestias a los usuarios sino

que reduce a menos de la mitad el consumo de calefacción de las áreas protegidas con respecto a las expuestas.

En la figura 3.36 podemos observar una disposición de edificios adecuada para climas fríos, en donde la posición de las primeras edificaciones protege a las demás de vientos fríos al generar una sombra en planta y en sección.

En climas moderados, será necesaria la protección frente a los vientos fríos en invierno y la apertura de la estructura urbana a los vientos frescos estivales. El diseño de la trama urbana permite fomentar una u otra estrategia. Para una edificación de tipología calle corredor formada por edificaciones adosadas típica de ensanche europeo, una disposición continua de las calles paralelas al viento lo canalizará a través de ellas (discontinuidades en las calles evitarán este efecto túnel poco confortable en invierno).

La uniformidad de alturas de un modelo urbano reduce las posibilidades de generación de campos de presiones que fomenten las ventilaciones cruzadas. Al ser las diferencias de presión entre fachadas lo que genera el movimiento de aire, tramas discontinuas en planta y sección inducirán este fenómeno.

En clima cálido húmedo la estructura será lo más abierta posible y con escasa densidad para permitir la máxima exposición de las construcciones frente a múltiples direcciones de viento. En la figura 3.37 podemos observar la incidencia del viento en los edificios en una agrupación adecuada para climas cálidos y húmedos o moderados.

En clima cálido seco, la presencia de radiación obliga a densificar la trama (figura 2.40) para sombrear al máximo calles y patios. El acceso del viento a través de la trama debe hacerse de forma controlada y solo si existe una dirección clara de viento fresco.

### 2.7.2.2. Agrupación de edificios

La forma y volumen del edificio (especialmente su profundidad) así como el tipo de agrupación en el que se inserta, determinan los campos de presiones alrededor de este. Víctor Olgyay expuso en 1963, en su libro *Arquitectura y clima*<sup>(12)</sup>, diversos estudios realizados con diferentes ordenaciones

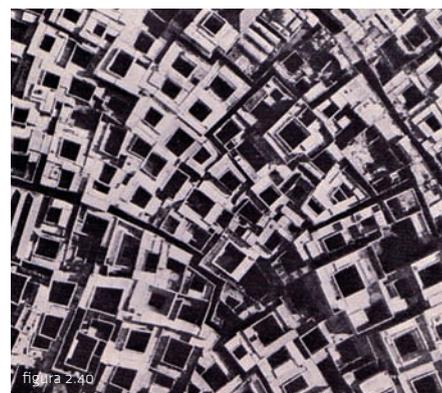
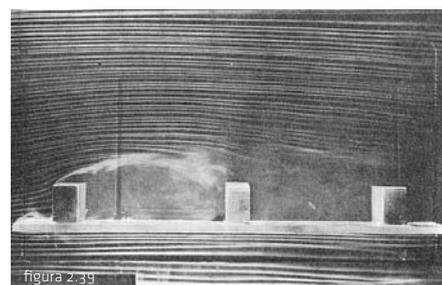
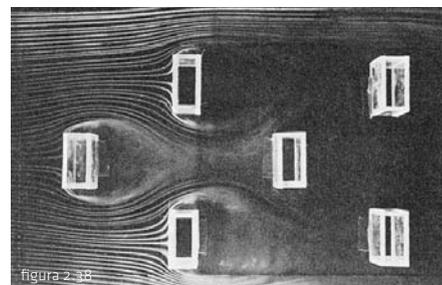
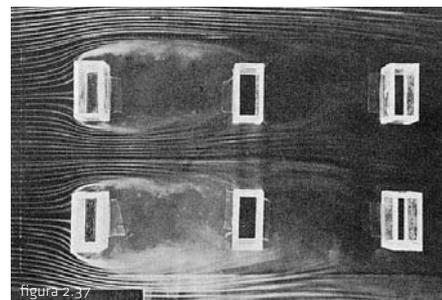


Fig. 2.36. Incidencia del entorno construido en la velocidad del viento

Fig. 2.37 - 2.39. Ensayos en túnel de viento para distintos tipos de agrupaciones de edificios. Olgyay

Fig. 2.40. Marrakech, Marruecos



figura 2.41

de edificios de estructura abierta, distribuciones interiores y disposición de aberturas. Aún hoy, estos ensayos permanecen vigentes. Se describen a continuación algunas de sus conclusiones.

**Distribución de presiones sobre un edificio paralelepípedo:** a medida que aumenta la altura las posibilidades de refrigeración crecen, al aumentar la velocidad del viento por la disminución de la influencia de la orografía del entorno y la reducción en verano de la temperatura del aire al alejarse la corriente de superficies calientes.

La altura del edificio y la forma de la cubierta determinan la sombra de viento producida a sotavento. El viento es canalizado hacia la parte alta del edificio al tratar la corriente de aire de superarlo. De esta forma, la parte inferior del edificio ( $2/3h$ ) ve reducida la presión del viento en favor del tercio superior. A sotavento se produce en la parte alta una zona de presiones negativas que van disminuyendo hacia las plantas inferiores convirtiéndose en una zona de turbulencias. Esta sombra no recuperará la velocidad original hasta una distancia de aproximadamente siete veces la altura del edificio.

**Efecto vórtice descendente:** Es el que se produce cuando un edificio de gran altura sobresale por encima de la trama urbana. Al establecerse grandes diferencias de presión entre la parte superior y la base del edificio (la parte superior se encuentra completamente expuesta mientras la parte inferior se encuentra protegida de las edificaciones), el viento se desvía, creándose dos fuertes corrientes: una ascendente y una descendente. Una vez el flu-

jo alcanza la base se genera una zona de turbulencias. Si frente a este edificio se sitúa otro edificio de baja altura este efecto se intensifica.

**Efecto vacío:** Cuando un edificio de cinco o más plantas está construido sobre pilares o alberga un pasaje, aumenta el efecto vórtice al canalizarse el flujo descendente a través de la abertura.

**Efecto esquina:** Es la zona de turbulencias que se produce en los testeros de edificios de gran altura frente a vientos fuertes. Este efecto se limita a un área cuyo radio no es mayor que la anchura del edificio y se intensifica cuando dos edificios de gran altura se sitúan excesivamente juntos ( $d < 2h$ ).

**Efecto estela:** Efecto similar al anterior intensificado al prolongarse la zona de turbulencias a sotavento del edificio.

**Efecto canal:** Canalización del viento que se produce cercano al suelo en agrupaciones de tipo calle corredor paralelas a la dirección de la corriente de aire.

**Efecto de enlace de presiones:** Se genera cuando el efecto canal adquiere cierta intensidad, succionando el viento que circula sobre los edificios, potenciando flujos descendentes.

**Efecto Venturi:** Gran aumento de la velocidad del viento producido cuando dos edificios o alineaciones de edificios de más de 5 alturas y longitudes superiores a los 100 m se sitúan en ángulo formando un embudo de abertura no mayor que 2 ó 3 veces la altura de estos (ver figura 2.41.).

**Efecto pirámide:** Las formas piramidales ofrecen poca resistencia al viento al dispersarlo en todas direcciones cuando este incide sobre el edificio. Es por ello que la tipología de edificio en grada es frecuentemente utilizada en edificios de gran altura.

**Efecto refugio:** Se produce cuando la propia agrupación de los edificios se protege del viento. Es necesario estudiar la conveniencia de aprovechar o eliminar sus efectos en función del clima del emplazamiento.

El campo de presiones generado alrededor de edificios o agrupaciones más complejas debe ser determinado con modelos informáticos, mediante modelos específicos introducidos en túneles de viento.

En general, cuanto mayor sea el factor de forma de los edificios, mayor potencial tendrán de establecer ventilaciones cruzadas (por la posibilidad de abrir ventanas en múltiples orientaciones y por la generación de un único campo de presiones inducido por el viento).

El ángulo de incidencia del viento es igualmente importante. Si el edificio se dispone perpendicular a la dirección de los vientos dominantes sus fachadas expuestas presentan la máxima presión del viento. Para disposiciones a  $45^\circ$  la diferencia de presión se reduce entre un 50 y un 66%.

## 2.8. EL MOVIMIENTO DEL AIRE A TRAVÉS DE LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS

Una vez se han establecido desde la estructura urbana las premisas necesarias para captar, conducir o desviar las corrientes de aire, es necesario el estudio del volumen del edificio y la distribución de los distintos usos y sus aberturas de forma consecutiva.

### 2.8.1. VIVIENDAS

En los bloques de viviendas el factor organizativo determinante en la permeabilidad de las unidades de vivienda es la elección de la posición y tipología del sistema de accesos. Los bloques con corredor lateral o central cerrado limitan las posibilidades de ventilación cruzada de las unidades de vivienda. En tipologías de corredor lateral abierto la ventilación puede entrar en conflicto con la seguridad o los requerimientos de intimidad.

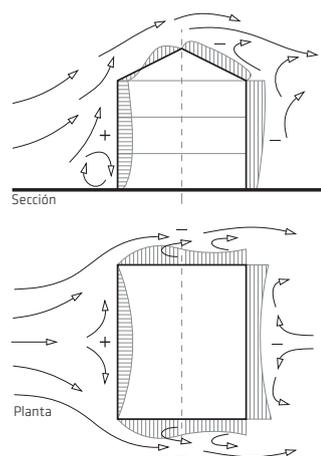


figura 2.42

Fig. 2.41. Propuesta urbanística de aprovechamiento del efecto venturi mediante la disposición de generadores eólicos rotatorios entre edificios. Massena Bruneseau. París. Francia. Sauerbruch Hutton. 2007

Fig. 2.42. Campo de presiones generado por el viento frente a un edificio paralelepípedo tipo

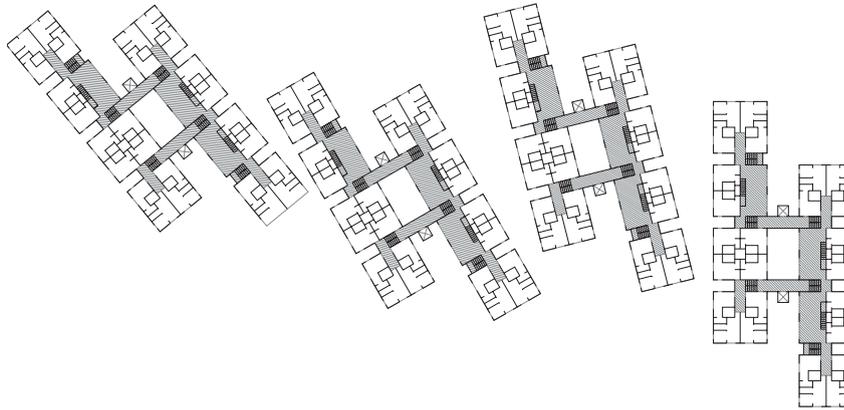


figura 2.43

El tipo de agrupación más favorable desde el punto de vista de la ventilación es el bloque lineal con núcleo de acceso central ya que permite la distribución de viviendas pasantes abiertas a fachadas opuestas. La tipología en torre se beneficia de su posición expuesta en todas direcciones, si bien esta condición no es suficiente para asegurar una buena ventilación.

En el proyecto de **viviendas Mhada**, Bombay, de Charles Correa, los bloques agrupados en torres de cuatro viviendas por planta y acceso mediante corredor, permiten a cada unidad abrirse al menos a dos fachadas y asegurar una diferencia de presión suficiente para generar una ventilación adecuada. La colocación de la escalera abierta entre bloques permite el paso del aire entre edificios. Estos cuentan con un espacio comunitario en las plantas 4ª y 8ª que habilita un lugar de estancia y relación de los habitantes del edificio en zonas expuestas a la brisa.

**L'Unité d'Habitation** de Le Corbusier es un ejemplo interesante del empleo de agrupación en dúplex con corredor central: Con un corredor cada tres plantas y una vivienda distribuida en dos alturas consigue reducir la superficie destinada a circulación manteniendo la ventilación cruzada de todas unidades.

Alison y Peter Smithson optan en el concurso ganador del **Golden Lane** por una calle elevada cada tres plantas. Con esta tipología, además de viviendas pasantes, se obtiene un espacio público sombreado en cotas expuestas al viento, evitando largos y oscuros corredores.

Fig. 2.43. Conjunto Mhada. Bombay. India. Charles Correa. 1999

Fig. 2.44. Sección de l'Unité d'habitation. Marsella. Francia. Le Corbusier. 1947-1952

Fig. 2.45. Sección del bloque Golden Lane. Londres. Inglaterra. Peter + Allison Smithson. 1952

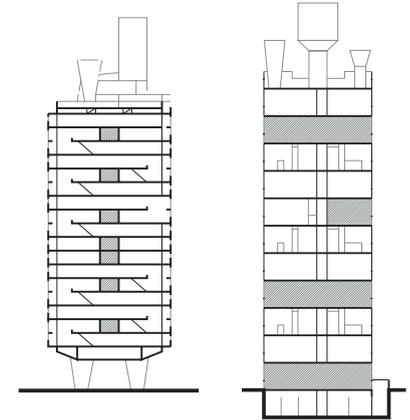


figura 2.44

figura 2.45

La distribución interior de cada una de las unidades de vivienda es otro factor determinante en la ventilación. Esta en ningún caso debe coartar el movimiento del aire. Aquellos espacios en donde se genere calor, olores o vapor de agua, como baños o cocinas, deben colocarse a sotavento, actuando estos como salidas del aire. Si no fuera posible deben situarse al margen de los flujos principales de aire que atraviesen el edificio y ventilar de forma independiente. Las zonas de uso diurno se situarán expuestas a barlovento, ya que es durante el día cuando mayores son las necesidades de refrigeración. Las particiones interiores y el mobiliario deben colocarse de tal forma que no presenten obstrucciones. Las camas en los dormitorios se situarán en zonas poco expuestas de las estancias de manera que sea posible mantener la refrigeración nocturna sin comprometer el confort.

### 2.8.2. OFICINAS

Los edificios de oficinas deben igualmente distribuirse de forma que permitan la circulación del aire, siendo preferibles para alcanzar tal objetivo distribuciones abiertas con particiones que no alcancen el cielo raso. En oficinas compartimentadas son preferibles las distribuciones a través de corredor lateral que aquellas que dispongan oficinas a ambos lados del edificio (al implicar a dos espacios en el establecimiento de corrientes cruzadas). La gran cantidad de aparatos electrónicos hacen de la evacuación de las cargas internas un factor clave en el acondicionamiento interior.

### 2.8.3. HOSPITALES

La reducción de un edificio a un organigrama y la alienación del entorno circundante son denominador común en la mayor parte de los edificios hospitalarios de reciente construcción. Es posible que la dimensión y complejidad de estos edificios dificulten estrategias de ventilación natural. Existen en cambio multitud de ejemplos de equipamientos hospitalarios en países de menores recursos económicos en donde la ventilación natural sigue siendo el factor clave de refrigeración.

En el caso del proyecto del **hospital de Doha** (Catar), obra de Alison y Peter Smithson, el argumento principal del proyecto es la protección solar y la ventilación dentro de una estructura que permita un sencillo crecimiento. El conjunto se articula por medio de tres bloques longitudinales que liberan entre ellos estrechos patios. La banda central es ocupada por las habitaciones de los enfermos abiertas a los patios. Las consultas y espacios de servicios ocupan los bloques exteriores interceptando la radiación y sombreando los patios y habitaciones de los internos. Los pequeños huecos permiten la ventilación controlando a su vez el exeso de iluminación y radiación solar. La cubierta ventilada evita la radiación directa sobre el edificio. Una implantación adecuada permite que el viento fresco del norte recorra longitudinalmente el hospital y que la brisa del oeste que sopla por las tardes atraviese los patios y las galerías.

#### 2.8.4. EDIFICIOS EDUCATIVOS

Los estrictos módulos económicos de la administración pública frecuentemente obligan a la construcción de escuelas compactas en las que las aulas se ordenan invariablemente a ambos lados de un corredor central. Esto fuerza a iluminar y ventilar estas a través de una única fachada.

Existen modelos de organización alternativos con mucho mayor potencial para la refrigeración natural.

En la **escuela de Hunstaton**, obra de Alison y Peter Smithson, gracias a la formalización de patios y a la multiplicación de los núcleos verticales (sombreados en gris) abren la totalidad de las aulas a dos fachadas, lo que facilita la ventilación cruzada y una iluminación homogénea.

La **escuela de Munkergards** en Copenhague, proyectada por Arne Jacobsen, presenta un sistema de ordenación similar a partir de pequeños patios. Las aulas se alinean orientadas al sur mientras la fachada norte se protege del frío gracias a la ubicación de los espacios de servicio. Entre las aulas se intercalan los corredores que circulan perpendiculares a estas.

Las escuelas construidas en California y Puerto Rico por Richard Neutra como la **escuela Corona** (1935) o la **escuela Kester** (1951), que serán expuestas en el capítulo 3, son prototípicas en cuanto a las posibilidades de ventilación que ofrecen las tipologías basadas en aulas ordenadas a lo largo de un corredor lateral abierto o cerrado.

#### 2.8.5. GRANDES SUPERFICIES

En los recintos de gran superficie como hipermercados, recintos feriales, palacios de deportes, etc. la necesidad de reducir las pendientes de la cubierta para evitar grandes volúmenes interiores dificultan el desplazamiento natural del aire caliente hacia posibles aberturas de extracción. La planeidad de la cubierta dificulta igualmente la formación de diferenciales de presión exterior entre partes de esta que pudieran activar corrientes de aire. Por todo ello para habilitar la ventilación natural suele ser recomendable la instalación de inductores. En la figura 2.50 se muestra un prototipo de gran superficie en la que la ventilación natural se habilita mediante la manipulación de la cubierta para facilitar la conducción del aire caliente interior hacia las aberturas coronadas por inductores de extracción.

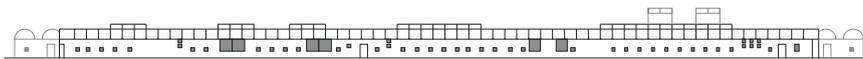
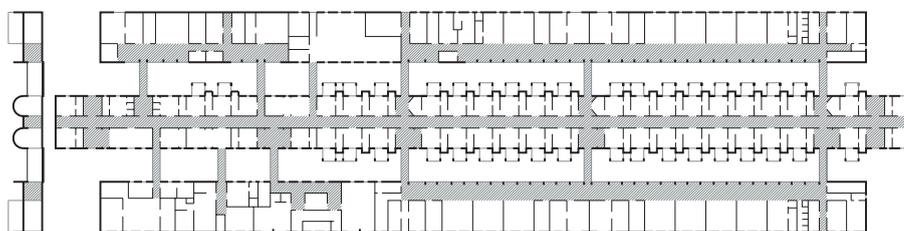


figura 2.46

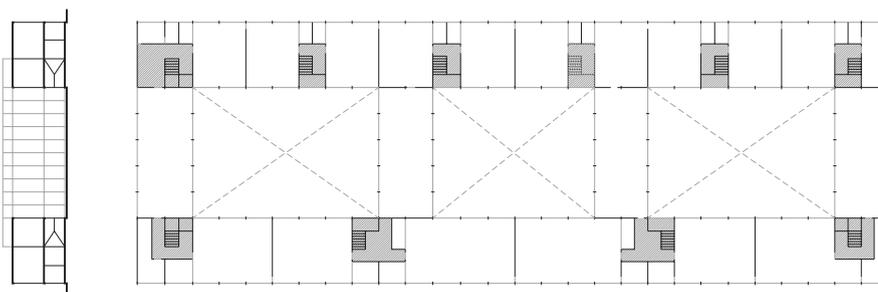


figura 2.47



figura 2.48



figura 2.49

Fig. 2.46. Concurso para el hospital de Doha. Catar. Alison + Peter Smithson. 1953. Fig. 2.47. Escuela secundaria moderna de Hunstaton. Inglaterra. Alison + Peter Smithson. 1950-1954  
Fig. 2.48 - 2.49. Escuela Munkergards. Copenhague. Dinamarca. Arne Jacobsen. 1951-1958

## 2.9. ABERTURAS EN LA ENVOLVENTE

Tradicionalmente las aberturas satisfacen requerimientos de iluminación y ventilación. La iluminación requiere transparencia, mientras que la ventilación precisa permeabilidad. El empleo de componentes independientes para resolver los requerimientos de iluminación y ventilación de una forma separada puede mejorar en algunos casos la eficacia de las aberturas.

Liberar las aberturas de ventilación de la complejidad que comporta el movimiento de pesados paños de vidrio puede permitir direccionar o controlar flujos de aire de una forma mucho más sencilla.

Las figuras 2.66, 2.67 y 2.68 muestran tres ejemplos de dicha reflexión.

En climas templados o cálidos, su diseño no debe realizarse desde la perspectiva de climas fríos, en donde el contacto con el exterior se reduce en muchos casos al contacto visual y la ventilación se confía a pequeñas aberturas o rejillas, sino que deben abordarse desde una perspectiva mediterránea, caracterizada por límites difusos, rica en espacios intermedios en donde los huecos no se dimensionan únicamente para cumplir los requisitos mínimos de ventilación sino que tienen vital importancia en la comunicación entre interior y exterior.

A continuación se describirán los patrones de flujo que generan los distintos tipos de aberturas según sus dimensiones, tipo y posición, así como algunos métodos de análisis y predimensionado.

### 2.9.1. POSICIÓN RELATIVA

Si la fuerza generadora del movimiento interior del aire es la acción dinámica del viento, la posición de la abertura de entrada tiene una gran influencia en el volumen de renovación, mientras que la posición de la salida es menos determinante. Las aberturas situadas en zonas de sobrepresión actuarán como entradas de aire. Las aberturas situadas en zonas de sombra o depresión actuarán como salidas. La posición relativa de las aberturas en el cerramiento determina el flujo principal que atraviesa el local. Estas deben situarse preferiblemente de manera que el flujo barra de forma diagonal (en planta y en sección) la totalidad de la estancia, evitándose zonas de estancamiento del aire (la velocidad del aire en las zonas adyacentes al flujo principal es en torno a ocho veces menor a la velocidad de este).

La distribución del flujo en sección es función de la altura de las aberturas. Es recomendable, en edificios de varias plantas o grandes volúmenes, que las entradas de aire se sitúen a una cota inferior a la de las aberturas de salida, para evitar conflictos entre ventilación cruzada y ventilación por diferencia de temperaturas.

**Situación centrada.** Es la que mejor barrido del local genera. Se produce un descenso en la altura del flujo principal una vez este ha traspasado el antepecho. Este efecto puede ser evitado añadiendo un alero en la parte inferior de la abertura.

**Ventana baja.** Las ventanas bajas son especialmente útiles cuando se pretende provocar el enfriamiento directo de los ocupantes. Tras superar la abertura el flujo de aire desciende adosándose al suelo.

**Ventana alta.** Este tipo de aberturas genera el llamado **efecto coanda**. Cuando una corriente se proyecta sobre una superficie de forma sensiblemente paralela a esta, se produce un fenómeno de adhesión del flujo, que potencia el enfriamiento de la superficie. Si se desea, este efecto puede ser eliminado con elementos proyectantes que direccionen el aire hacia la zona inferior o mediante la disposición de obstáculos a dicha corriente adosados a la superficie.

El efecto coanda es especialmente interesante en ventanas altas ya que permite la utilización de corrientes de elevada velocidad y temperaturas reducidas al mantenerse el flujo principal alejado de la zona ocupada mientras reduce su velocidad y se calienta refrigerando las superficies del local.

Por otro lado, aberturas de entrada y salida altas pueden generar una ventilación insuficiente a velocidades de viento bajas, dada su limitada capacidad de succión del aire situado en la parte baja de la estancia.

**Ventana lateral.** En las ventanas laterales se produce un efecto similar al anteriormente descrito, pudiendo quedar el flujo incidente adosado a la pared hasta que es absorbido por las aberturas practicadas como salidas de aire. Si la ventana se sitúa alejada del eje de simetría del edificio y no está adosada a la pared interior, la refrigeración de las paredes se ve incrementada. Si el viento incide perpendicular a la fachada, este es desviado

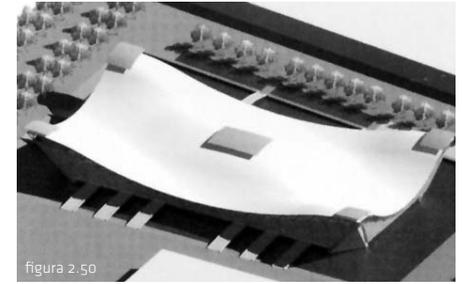


figura 2.50

hacia los laterales del edificio en donde encuentra las aberturas. Una vez ha superado la ventana, el flujo mantiene la dirección del viento gracias al efecto de inercia e incide sobre la pared en ángulo, generando flujos turbulentos que incrementan el coeficiente convectivo entre la corriente y la masa interior antes de adosarse la corriente a la pared.

### 2.9.2. DIMENSIONES RELATIVAS

Los sucesivos estudios en torno a la relación entre flujo y dimensiones relativas de ventanas tratan de determinar las velocidades medias previstas ante distintas configuraciones de ventanas.

**Givoni**, entre 1962 y 1968, realizó ensayos en túnel de viento para verificar las características del flujo interior. Dichos estudios concluyen que la velocidad interior no es directamente proporcional a la medida de las ventanas, sugiriendo que sus efectos sobre la velocidad varían a razón de la raíz cuadrada de su superficie (13).

En 1978 determina la velocidad media del aire en habitaciones cuadradas con aberturas iguales:

$$V = 0.45 (1 - e^{-3.48x}) V_r$$

Siendo:

V: velocidad media

x: relación entre superficie de ventana y superficie de pared

V<sub>r</sub>: velocidad del viento exterior (no hace referencia al ángulo de incidencia del viento).

Givoni también analizó la relación entre el flujo y la dimensión relativas de las aberturas de entrada y la de salida concluyendo que la menor de las aberturas es la que determina el volumen del aire que atraviesa un espacio (relaciones de 1:3 entre entrada y salida ofrecen resultados similares a las generadas por relaciones 1:1).

Fig. 2.50. Prototipo de gran superficie comercial ventilada de forma natural

Las velocidades máximas en cambio, sí sufren variaciones en función de las dimensiones de las aberturas de entrada y salida de aire. Una entrada de menor dimensión que la salida produce velocidades interiores más elevadas. **Olgay**<sup>(14)</sup> recomienda la utilización de grandes aberturas en regímenes de ventilación nocturna con el objetivo de obtener el máximo caudal de aire. Si el objetivo es la refrigeración de los ocupantes, la variable fundamental será la velocidad del aire, por lo que se recomiendan entradas pequeñas situadas frente a las zonas de estancia.

### 2.9.3. FORMA Y PROPORCIÓN

Las ventanas cuadradas no suelen afectar de forma sustancial a la dirección del flujo o su velocidad excepto la zona exterior cercana a la ventana en donde el flujo incrementa su velocidad antes de acceder al interior.

**Ventanas de proporción vertical.** Ejercen una gran influencia en la posición en planta del flujo, pudiendo este ser manipulado mediante elementos proyectantes.

**Ventanas de proporción horizontal.** Ejercen influencia en la cota del flujo principal a pesar de que son poco versátiles. Este tipo de aberturas es la que induce la entrada de un mayor volumen de aire mostrándose efectiva incluso con direcciones de viento de reducido ángulo de incidencia.

### 2.9.4. SISTEMA DE APERTURA

El sistema de apertura condiciona en gran medida el flujo interior y su versatilidad. El campo de los herrajes está en clara expansión, lo que posibilita la combinación de varios tipos de apertura (oscilobatiente, batiente-corredera, etc.) y multiplica las posibilidades de las aberturas como componente manipulador de la corriente interior.

En la figura 2.52 es posible observar en los talleres de la Bauhaus uno de los primeros ejemplos de diseño de mecanismos que permite la manipulación de grandes aberturas.

**Ventanas de guillotina doble.** Permiten la selección de la cota de acceso del flujo principal, pudiendo generar corrientes altas (cuando la velocidad o la temperatura del aire puedan ser molestos o se pretenda el enfriamiento estructural) o bajas (cuando se requiera la refrigeración de los ocupantes).

No tienen influencia en la dirección horizontal del flujo interior. Pese a sus interesantes aplicaciones en la refrigeración natural, es difícil encontrar en España (a excepción de la isla de Menorca) este tipo de ventanas, tan habituales en la cultura tradicional anglosajona y del norte de Europa.

**Ventanas correderas.** Permiten únicamente graduar la superficie de abertura deseada.

**Ventanas batientes.** Si disponen de algún método que gradúe su ángulo de apertura (lo cual no suele ser habitual) pueden utilizarse para direccionar el flujo. Si se abren hacia el exterior pueden canalizar e introducir el aire al alterar el campo de presiones de la fachada, potenciando las diferencias de presión entre las distintas aberturas.

**Ventanas pivotantes de eje vertical.** Direccionan horizontalmente el flujo.

**Ventanas pivotantes de eje horizontal.** Direccionan verticalmente el flujo de aire.

**Ventanas de lamas.** Son muy utilizadas en estrategias de ventilación ya que son fácilmente motorizables. Permiten direccionar verticalmente el flujo y regular el volumen de aire deseado.

**Ventanas abatibles.** Si son de eje inferior y su apertura es hacia el interior dirigen el flujo hacia arriba. Si la apertura es hacia el exterior, el flujo se dirige hacia abajo. Si el eje se sitúa en la parte superior actúan de forma inversa.

**Ventanas en cubiertas inclinadas.** A pesar de que este tipo de ventanas se instalan habitualmente con el objetivo de iluminar los espacios situados bajo la cubierta, pueden asumir un importante papel en su ventilación y refrigeración. El flujo que generan está condicionado por la inclinación de la vertiente. Si esta es reducida ( $<20^\circ$ ) la ventana se situará en una zona de flujo turbulento por lo que el aire puede entrar en cualquier dirección e incluso provocar succiones. Si la inclinación es importante ( $>20^\circ$ ) tendrá el mismo comportamiento que una abertura sobre un plano vertical<sup>(15)</sup>.

**Rejillas de ventilación.** Para ser efectivas en estrategias de refrigeración natural estas deben tener grandes dimensiones (mayor a las necesarias en el caso de las ventanas) que puedan, mediante

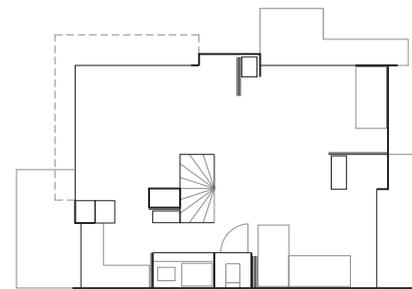
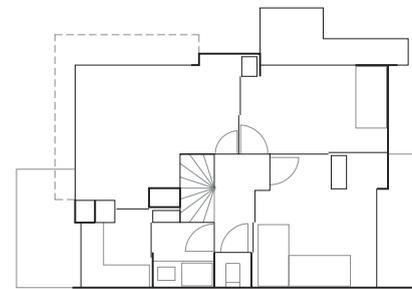


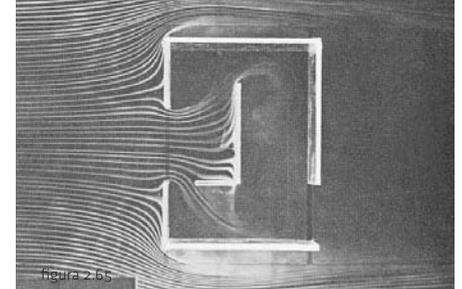
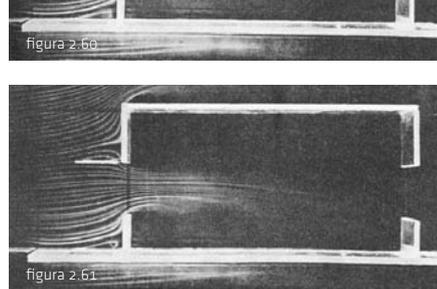
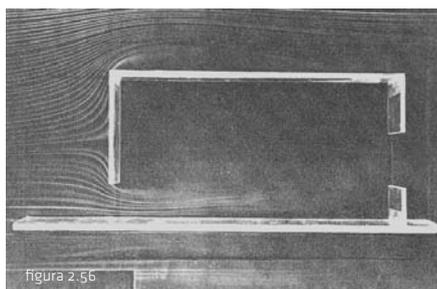
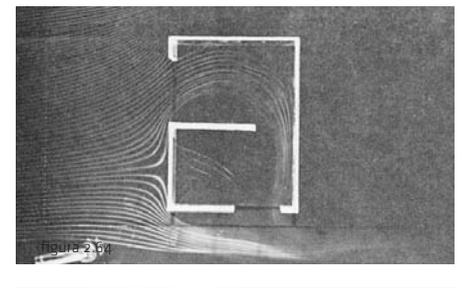
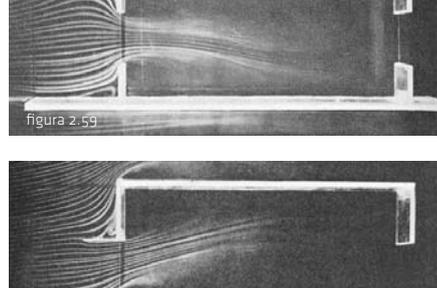
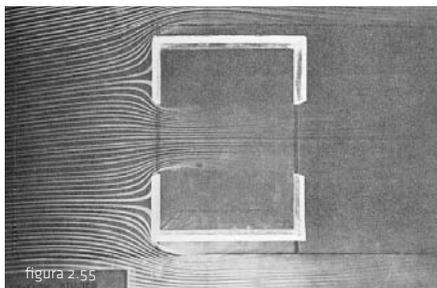
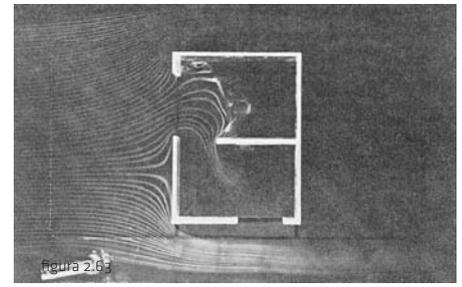
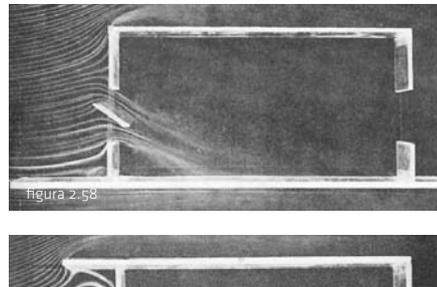
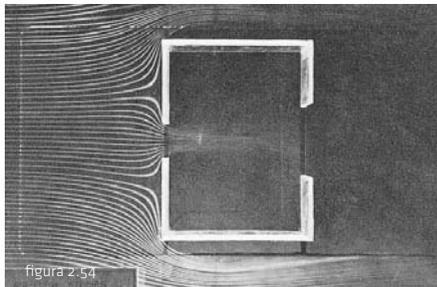
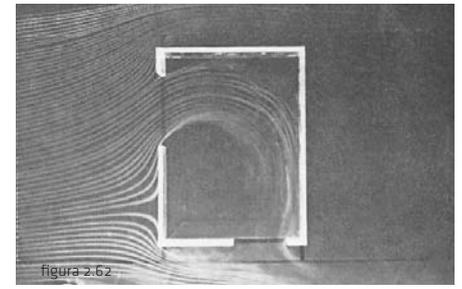
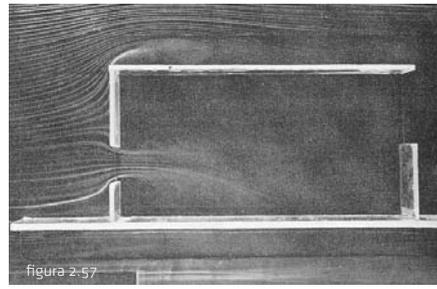
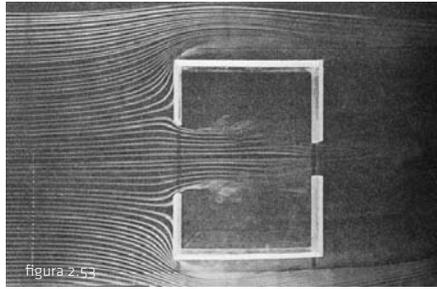
figura 2.51



figura 2.52

Fig. 2.51. Casa Schröder. Utrecht, Holanda. Reijnders, 1924

Fig. 2.52. Sistema de apertura de ventanas en los talleres de la Bauhaus. Dessau, Alemania. Walter Gropius, 1919



#### Ensayos en túnel de viento. Olgay.

**Fig. 2.53.** Flujo generado por entrada de gran tamaño y salida de menor dimensión. Se incrementa la velocidad en el exterior **Fig. 2.54.** Flujo generado por entrada de pequeño tamaño y salida de grandes dimensiones Incremento de velocidad al traspasar la abertura. **Fig. 2.55.** Flujo generado por aberturas iguales. Se produce un flujo adosado al suelo. Se obtienen mayores velocidades interiores que en ensayos anteriores **Fig. 2.56.** Flujo generado por abertura en la parte inferior. Se produce un flujo adosado al suelo **Fig. 2.57.** Flujo generado por abertura de entrada centrada. Esta desvía inicialmente el flujo hacia abajo **Fig. 2.58.** Flujo generado por ventana pivotante dirigida hacia abajo **Fig. 2.59.** Flujo generado por voladizo. Este recoge las corrientes de aire aumentando el flujo **Fig. 2.60.** Flujo generado por alero adosado a muro. Dirige el flujo hacia abajo **Fig. 2.61.** Flujo generado por alero separado del muro. Equilibra las presiones introduciendo el flujo en la zona ocupada **Fig. 2.62.** Modelo sin subdivisiones El flujo penetra formando un ángulo, trazando una curva hasta que se adosa a la pared **Fig. 2.63.** Modelo con subdivisión interior. Se produce una importante reducción de flujo. Zonas no ventiladas **Fig. 2.64.** Modelo con subdivisión. Se produce una menor reducción de flujo Zonas no ventiladas **Fig. 2.65.** Modelo con subdivisión enfrentada al flujo incidente. Se produce una importante reducción de la velocidad interior

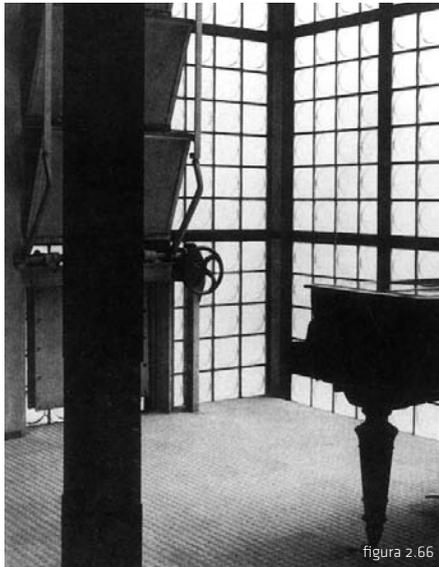


figura 2.66



figura 2.67



figura 2.68

la forma de la lama, direccionar el flujo. Las rejillas regulables permiten manipular el volumen de aire que pasa a través de ellas. Son componentes fácilmente motorizables y automatizables.

**Aireadores.** Consisten en aberturas de pequeña sección que permiten la entrada o la salida de un reducido caudal de aire destinado a mantener la calidad del aire interior. Existen múltiples productos comercializados que van desde las simples aberturas fijas hasta aireadores regulables (en función de la humedad o la velocidad del viento exterior) o aireadores insonorizados. Son componentes relacionados con la renovación del aire, no con la refrigeración. En función de la presión de viento incidente las dos pestañas interiores se abren o cierran manteniendo constante el volumen de aire que accede al interior.

**Elementos de protección exterior.** Existe una clara diferencia entre los elementos de protección solar que se insertan en el telar del hueco y aquellos que se proyectan hacia el exterior. En el primer caso se caracterizan por una reducción del flujo que puede llegar a ser importante, por ejemplo, en el caso de rejillas o mosquiteras. Es recomendable instalar este tipo de elementos alejados del hueco de la ventana para minimizar su efecto.

Las protecciones solares no producen cambios de dirección excepto en el caso de las protecciones de lamas orientables o persianas correderas.

Los elementos proyectantes afectan en mayor medida al volumen de aire que accede al interior y pueden alterar el flujo y la dirección de la corriente. Son especialmente recomendables en casos de ventilación simple ya que pueden inducir diferencias de presión entre las distintas ventanas de una misma fachada.

Los voladizos de cubierta incrementan el flujo al interceptar las corrientes de aire que tratan de superar el edificio, dirigiéndolas hacia las aberturas. Los voladizos situados sobre las ventanas no incrementan el flujo pero reconducen la corriente del aire hacia la parte de arriba. Este efecto puede ser eliminado si el elemento macizo se separa ligeramente de la fachada al equilibrarse las presiones. La proyección del antepecho hacia el exterior elimina el descenso que se produce en el flujo principal una vez ha atravesado el telar de la abertura.

## 2.9.5. ÁNGULO DE INCIDENCIA DEL VIENTO

No es necesario que el viento incida de forma perpendicular a la fachada para inducir corrientes interiores de aire: se pueden emplear de forma eficiente huecos como entrada de aire con incidencia del viento, oblicua de hasta 60°. La influencia de el ángulo de incidencia se ve reflejada en la figura 2.16.

## 2.10. CIRCULACIÓN DEL AIRE EN EL INTERIOR DE LOS LOCALES

### 2.10.1. VENTILACIÓN NATURAL

Determinar los flujos interiores provocados por la ventilación natural es complejo ya que estos dependen de gran número de factores: número, tipo y localización de las aberturas, dirección e intensidad del viento, presencia de sistemas de inducción, forma del local, subdivisiones interiores, mobiliario, etc.

La distribución de flujos interiores únicamente es evaluable *a priori* y con precisión a través de complejos programas basados en la dinámica de fluidos. Una aproximación aceptable a la espera de un mayor desarrollo de herramientas informáticas puede conseguirse a través de tipologías básicas evaluadas en túneles de viento.

Para asegurar la circulación de aire interior se debe fomentar que el flujo circule sin obstáculos (particiones o muebles) ya que estos reducen de forma muy considerable la velocidad. Es recomendable por lo tanto, que estos se dispongan en la dirección de la corriente de aire.

En la Casa Schröder (figura 2.52) podemos observar como el gran número de particiones móviles y la disposición perimetral de los muebles habilita la circulación del aire frente a cualquier dirección de viento exterior.

Las conexiones entre los distintos locales actúan a modo de cuello de botella al ser habitualmente de dimensiones reducidas. En estos puntos se produce una contracción del flujo aumentando la velocidad de este y generándose turbulencias. En este tipo de supuestos, para aumentar el volumen de aire circulante será mucho más efectivo incrementar sus dimensiones antes que actuar sobre el tamaño de las ventanas.

Separación de funciones. Iluminación-ventilación:

Fig. 2.66. Maison de Verre. París. Francia. Pierre Chareau. 1928-1932

Fig. 2.67. Hansaviertel. Berlín. Arne Jacobsen. 1955-1957 Fig. 2.68. Exutorio de atrio vidriado

El flujo principal de aire que atraviesa un local conectando dos aberturas tiene una “sección” cercana a la dimensión de las aberturas. En el volumen de aire que queda al margen de este flujo principal se produce una zona de turbulencias de muy baja velocidad (un 12% de la velocidad del flujo principal) y, por lo tanto, escasamente ventilada y refrigerada. Por esta razón, es preferible la multiplicación de entradas y/o salidas de aire que permitan el establecimiento de múltiples corrientes y eliminen cualquier zona no ventilada.

### 2.10.2. VENTILACIÓN MECÁNICA

Los sistemas de ventilación mecánica en general multiplican las velocidades obtenidas por medio de la ventilación natural. Por ello deben estudiarse detenidamente la disposición de los recirculadores o las entradas y salidas de aire (en el caso de sistemas por conductos) ya que sus bulbos de velocidad pueden afectar al confort de forma negativa si se producen velocidades excesivas dentro de zonas de ocupación.

En edificios de gran profundidad o intrincada distribución, la resistencia ofrecida al paso del aire dificulta el establecimiento de corrientes cruzadas, generándose grandes zonas escasamente ventiladas alejadas del flujo principal. La ventilación mecánica puede con escasa inversión ofrecer una respuesta efectiva a este problema.

Al igual que en el caso de la ventilación natural es preferible estrategias de refrigeración que promuevan la multiplicación de corrientes lentas al establecimiento de un único flujo de gran velocidad, el cual únicamente generará en el interior del local un estrecho canal de ventilación.

**Ventiladores de sobremesa o suelo.** Su carácter móvil proporciona una gran flexibilidad de uso, permitiendo incluso su utilización como inductor doméstico de corrientes nocturnas, al incrementar el volumen de aire inyectado en el interior del edificio ante la ausencia de viento.

**Ventiladores de techo.** El gran diámetro de sus aspas les permite movilizar un gran volumen de aire a una velocidad de giro reducida disminuyendo los niveles de ruido.

Se recomienda una separación del techo mayor a 30 cm, para facilitar el bucle del aire.

En verano su posición debe evitar zonas de acumulación de aire caliente ya que provocarían su reintroducción en áreas ocupadas.

En invierno, por el contrario, es posible la utilización de ventiladores a modo de desestratificadores en estancias de gran altura (la velocidad debe reducirse al mínimo para evitar el discomfort).

**Recirculadores.** En el caso de existir acondicionamiento artificial, los ventiladores tienen la capacidad de distribuir el aire de una manera homogénea evitando temperaturas y velocidades excesivas de impulsión, habitualmente necesarias para barrer por completo el local.

En el caso de existir algún tipo de elemento pasivo de captación es de gran utilidad hacer recircular el aire caliente para una mejor distribución de la energía obtenida y evitar sobrecalentamientos en la zona de captación. De igual modo los ventiladores pueden emplearse para potenciar el intercambio convectivo con elementos acumuladores (forjados, láminas de agua, lecho de grava, etc.) o fomentar la refrigeración por evaporación.

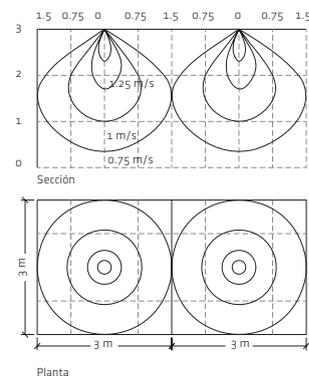


figura 2.69

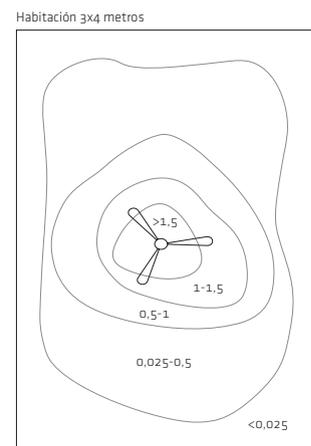


figura 2.70

Fig. 2.69. Velocidad y área de influencia del movimiento interior del aire generado por ventiladores de techo  
Fig. 2.70. Velocidad del aire generada por un ventilador de techo en una habitación tipo

## NOTAS

1. Neila, Fco. Javier - Bedoya, César. *Técnicas arquitectónicas de acondicionamiento ambiental*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 1997. Pág. 94
2. Neila, Fco. Javier - Bedoya, César. *Op. cit.* Pág. 42
3. Rulfes, Pedro. *Difusión de aire en locales*. Editorial CEAC. Barcelona, 1999. Pág. 17
4. López de Asiain, de Luxán. *Arquitectura y clima en Andalucía*. Consejería de Obras públicas y Transportes. Sevilla, 1997. Pág. 66
5. Chávez del Valle. *Zona variable de confort térmico*. Tesis Doctoral UPC. Barcelona, 2002
6. Chávez del Valle. César. *Op. cit.* Pág. 69
7. International Energy Agency. Anex 35. Hybvent. 1988-2002. *Classification of Hybrid ventilation Concepts*. P. Wouters
8. García Márquez, Gabriel. *El amor en los tiempos del cólera*. Grupo Norma Editorial. Santa Fe de Bogotá, 2000. Pág. 36
9. Givoni, Baruch. *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold. Londres, 1998. Pág. 401
10. Allard, Francis (Editor). *Natural ventilation in Buildings*. James&James. Londres, 1998. Pág. 214
11. Allard, Francis (Editor). Cesar. *Op. cit.* Pág. 211
12. Olgay Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial GG. Barcelona, 1998
13. Givoni, Baruch. Cesar. *Op. cit.* Pág. 99
14. Olgay Víctor. Cesar. *Op. cit.*
15. Allard, Francis (Editor). Cesar. *Op. cit.* Pág. 63
16. Allard, Francis (Editor). Cesar. *Op. cit.* Pág. 229

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO

- La manipulación de la velocidad del aire en climas moderados puede ser por sí sola capaz de eliminar la necesidad de acondicionamiento artificial al influir de forma importante en la temperatura de sensación.
- Los sistemas de ventilación natural, al utilizar como materia prima aire a una temperatura similar al aire exterior, no presentan problemas de corrientes frías o disconfort local, con lo cual las velocidades admisibles pueden ser sensiblemente mayores a las prescritas en sistemas o estrategias de aire acondicionado.
- El preenfriamiento del aire permite potenciar el efecto refrigerante de la corriente de aire al reducir la temperatura de esta. Esta ligera reducción de temperatura puede ser suficiente para habilitar estrategias de ventilación en períodos en los que la temperatura del aire exterior no las haría recomendables.
- El limitado potencial refrigerante del movimiento del aire en comparación con sistemas de acondicionamiento artificial obliga a un riguroso control de los aportes de calor, en todo caso previo a cualquier estrategia de prerrefrigeración.
- En la mayoría de los casos el método más efectivo de refrigeración natural coincide con la estrategia más sencilla. Gran parte del efecto refrigerante de la ventilación se consigue con un buen criterio de implantación, dotando a los espacios de una abertura de entrada y otra de salida y un correcto régimen de ventilación del edificio (complementado con la protección solar en períodos de sobrecalentamiento y la disposición de la inercia térmica en el interior del edificio).
- Será prioritario por lo tanto, dotar a todo local de una abertura de entrada y otra de salida, ambas de dimensión suficiente y abiertas a zonas que generen el máximo diferencial de presión posible.
- Las estrategias de ventilación mecánica pueden asumir un papel complementario a la ventilación natural asegurando el movimiento del aire o potenciándolo en gran medida cuando la refrigeración sea más efectiva.
- La ventilación acondicionada puede, en ocasiones, resultar imprescindible. Pese a ello debe estudiarse de una manera lógica el período de funcionamiento y las temperaturas de confort (en algunos casos las temperaturas exigidas en invierno son consideradas excesivas en verano y viceversa  $-20^{\circ}\text{C}$  verano;  $24$  invierno).
- La combinación de sistemas de acondicionamiento artificial con estrategias de ventilación natural o mecánica puede reducir en gran medida el período de funcionamiento de aquellos y minorar el salto térmico requerido con el consecuente ahorro energético. Según palabras de Jaime López de Asiain: "lo que normalmente se denomina aire acondicionado debería constituir una técnica de base mucho más amplia donde ingeniería, urbanismo, arquitectura e interiorismo formasen, interrelacionados, los pilares de la climatización".

### 3. EL MOVIMIENTO DEL AIRE A TRAVÉS DE LA HISTORIA DE LA ARQUITECTURA

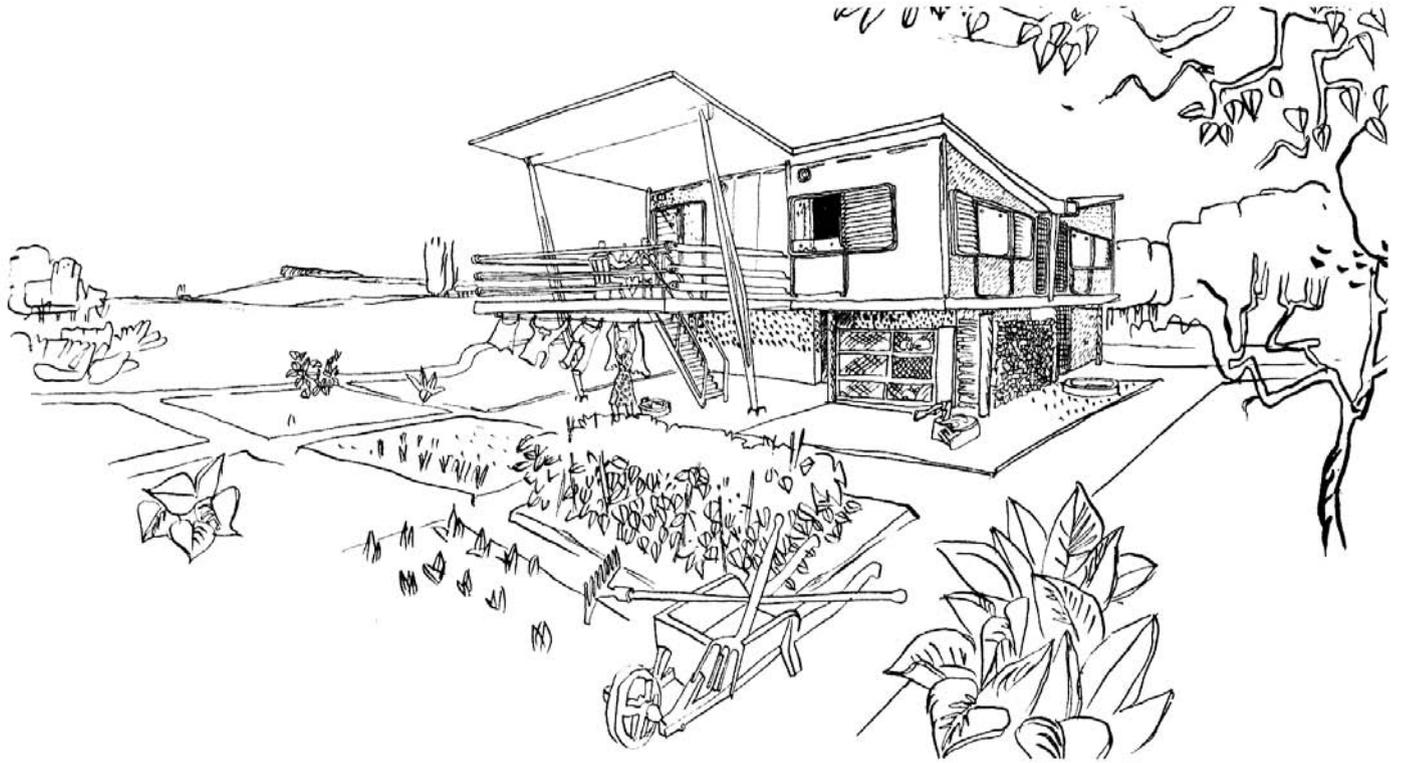


Fig. 3.1. Casa desmontable 8x8. Pierre Jenneret. 1941

“El manantial principal de la vida era el miedo. “Mi casa era un castillo” muestra cómo esa emoción se adhiere al hombre a lo largo de su historia. La casa más confortable era la que recordaba ligeramente el sentimiento de alivio y seguridad sentido por el animal y por su antepasado al entrar en la reclusión de la cueva.

Solo el arquitecto contemporáneo se ha dado cuenta de que este período de miedo ha pasado, los elementos ya no son dueños o enemigos: son amigos y siervos y el exterior es nuestro campo de juegos. La casa se abre al jardín y, si tiene que ser confortable, debe ser capaz de proveernos artificialmente con un clima apropiado sin perder el sentimiento de amplitud y apertura. Nuestra habilidad, recién adquirida, para crear nuestro propio clima no debe separarnos del control natural de los elementos.

Ellos nos sirven admirablemente en su vida domesticada, fluyendo a lo largo de tuberías, conductos y cables, pero la vida sería insoportable si solo estuviéramos rodeados de siervos. Insistir en que ventanas de ventilación, ventanas de iluminación, chimeneas o estanques se han quedado obsoletos, gracias a nuestros conductos y tuberías, es meramente repetir la consigna moderna que es una verdad a medias.

La ventana abierta, el rayo de sol furtivo, rayos y truenos, la llama chisporroteante, la cama debajo de las estrellas, son experiencias emocionantes que no deben ser eliminadas de nuestra vida diaria. Nuestras casas deben admitir los elementos como amigos”.

Rudolf Schindler<sup>(1)</sup>.

### 3.1 REINO ANIMAL

Una de las necesidades primarias, comunes a seres humanos y animales, es la búsqueda de refugio o la construcción de cobijo frente a las condiciones climáticas cuando estas le son adversas. Dicha construcción debe ser capaz por sí misma de restablecer unas condiciones mínimas de habitabilidad. Las **termitas africanas**, por ejemplo, utilizan desde hace miles de años las corrientes de aire generadas en el interior del hormiguero como sistema de refrigeración del aire interior. Esto les permite mantener unas condiciones de temperatura asumibles por la colonia a pesar de los grandes diferenciales térmicos existentes en la sabana.

Un termitero es una especie de montículo de tierra de hasta 3 m de altura a modo de chimenea, perforado por multitud de galerías por las que circulan el aire y los insectos. La colonia se sitúa en la parte más alejada de la superficie, atemperada por la gruesa capa de tierra que la protege.

Durante el día la radiación caliente el termitero, elevando la temperatura del aire contenido en las galerías perimetrales e induciendo su extracción. La depresión que ello genera succiona el aire fresco desde las zonas más profundas, refrigerando el termitero en su tránsito hacia el exterior. Conductos situados en la parte inferior del termitero habilitan la entrada de aire exterior cerrando el circuito.

Durante la noche el proceso es inverso. La radiación nocturna enfría la tierra y galerías cercanas al exterior refrigerando el aire y forzando con ello su descenso hacia las zonas habitadas de la colonia, mientras las galerías inferiores equilibran la presión interior al actuar como conductos de extracción.



figura 3.2

Fig. 3.2. Clima continental. EE. UU. Tipi Sioux

Fig. 3.3. Sistema de refrigeración y extracción de aire de un termitero

Los **perros de las praderas** son roedores que habitan en el sur de EE. UU., construyen sus madrigueras excavadas bajo la superficie en busca de la estabilidad térmica que ofrece el subsuelo. La orientación de sus dos accesos con respecto a la dirección dominante de los vientos es tal que uno de ellos se encuentra siempre encarado a barlovento mientras el otro se abre a sotavento. De esta forma se activa la ventilación cruzada que refrigera permanentemente la madriguera.

### 3.2. VIVIENDAS PRIMITIVAS

El hombre paleolítico no tenía aún capacidad constructiva por lo que las cavernas, constituyeron su primer refugio. Los primeros vestigios encontrados datan del período de Neardental (40.000-30.000 aC).

Debido a su condición inicial de cazador recolector, el ser humano se vio obligado a desplazar permanentemente su hábitat. Los primeros asentamientos se localizaron principalmente en las terrazas de los ríos o en lugares próximos a abrevaderos naturales. Aún hoy existen comunidades que mantienen este modo de vida seminómada. En ellas pueden encontrarse ejemplos evolucionados de estos tipos primigenios. Su estrategia constructiva frente al movimiento del aire varía en función del clima y de los materiales disponibles.

**Tienda** (clima cálido seco). Las tiendas tuaregs están construidas a partir de tiras de pelo de cabra cosidas y tensadas por medio de una estructura de postes de madera y cables. La superposición de dos capas de pieles separadas entre sí forma una cámara de aire ventilada que protege el interior de las altas temperaturas diurnas y del frío nocturno. La ventilación interior únicamente se permite cuando la temperatura del aire exterior es adecuada, es decir, durante las horas posteriores a la salida del sol. Durante el resto de la jornada, debido a las altas temperaturas diurnas y las bajas temperaturas nocturnas, la tienda permanece cerrada, limitándose la renovación de aire a la que se produce a través de los poros del tejido.

**Tipi indio** (clima continental, estepa). Vivienda nómada utilizada por los indios americanos en sus migraciones en busca de pastos. Se construye superponiendo capas de pieles sobre una estructura troncocónica de largueros de madera. El tipi tiene dos únicas aberturas: el acceso y un pliegue supe-

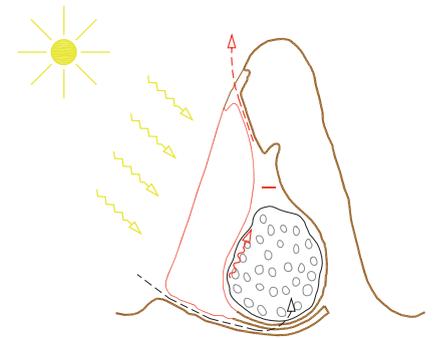


figura 3.3

rior practicable desde el suelo, dotado de 2 grandes alerones. En épocas de temperatura moderada, la aberturas se abren orientando los alerones superiores para regular la entrada de aire y ventilar o refrigerar el interior. En períodos calurosos la membrana exterior de pieles puede ser retirada parcialmente permitiendo mayores ratios de ventilación. En invierno se incrementa el aislamiento mediante sucesivas capas de pieles. De esta forma, la envolvente permanece completamente cerrada reduciendo al mínimo el intercambio de aire con el exterior y evacuando el exceso de humedad gracias a la permeabilidad al vapor de agua de la membrana.

**Viviendas enterradas** (clima desértico). En las áreas desérticas de Túnez (Matmata) o Libia (Gharain), las viviendas se excavan en la piedra arenisca -el espacio interior se encuentra enterrado a una profundidad de entre 7 y 10 metros- con el objetivo de atemperar el espacio interior y protegerse de las tormentas de arena.

La iluminación y la ventilación se obtienen a través de patios comunicados con el exterior mediante túneles en pendiente. Estos túneles tienen la capacidad de refrigerar el aire que contienen, aumentando su densidad y conduciéndolo hasta la parte inferior del patio en donde queda acumulado.

**Cubierta de ramas** (clima cálido húmedo). La construcción responde claramente a las necesidades de protección solar y máxima exposición a las corrientes de aire. Consiste en una cubierta vegetal a modo de parasol bajo la cual se cuelgan hamacas,

un ingenioso elemento que permite suspender al individuo en el aire envuelto únicamente por un tejido trenzado, totalmente permeable, consiguiéndose de esta forma la máxima exposición del cuerpo al intercambio convectivo.

**Iglú** (clima ártico). El iglú ofrece protección a los esquimales con los únicos recursos que ofrece su hábitat: hielo y pieles. En climas fríos, la estrategia frente al intercambio convectivo es conceptualmente opuesta a la adoptada en climas moderados o cálidos. Por ello, la sección y la orientación del iglú están específicamente diseñadas para evitar la entrada del aire polar y mantener absolutamente inmóvil el aire interior.

La entrada se produce de forma sesgada, y siempre protegida por un muro encarado al viento que desvía la corriente de aire por encima de la construcción. Una doble capa de pieles actúa a modo de puerta. El domo principal es de aproximadamente 3 m de altura y 4,5 m de diámetro. Su forma y su posición elevada mantienen confinado el aire caliente. Este está situado tras un túnel de acceso levemente enterrado con el objetivo de limitar el paso del aire frío y facilitar su acumulación en este lugar. Una envoltura de pieles configura una cámara de aire que separa la cúpula de hielo del espacio interior. El suelo se cubre con ramas y musgo. De esta forma se evita que la radiación fría incida sobre los ocupantes y que el calor generado por la lámpara de aceite funda los bloques de hielo.

### 3.3 SUMER

Las primeras estructuras urbanas aparecieron en el llamado creciente fértil, entre los ríos Tigris y Éufrates (3200 aC), en el delta del Nilo (2900 aC) y en el valle del Indo (2200 aC). Los sumerios fundaron en la alta Mesopotamia la más antigua de las civilizaciones. Con ella la ciudad nace como un nuevo producto social fruto de la asociación de la agricultura y la ganadería sobre la base del sedentarismo. La Mesopotamia sumeria se adelantó en muchos siglos a las siguientes grandes civilizaciones antiguas. Los tipos y formas creados por los sumerios siguieron siendo determinantes hasta el helenismo. La búsqueda de refugio continuó siendo premisa básica y ya en estos primeros estadios de civilización se encuentran vestigios y referencias a estrategias y componentes destinados a atenuar las condiciones climáticas del entorno. El más importante por su valía cultural y su persistencia es el **patio**. A partir de su aparición se

convierte en una invariante en todo el Mediterráneo. La casa patio es el resultado de la densificación de la trama urbana, de una determinada relación entre familia y sociedad e, indudablemente, de una adaptación climática de la edificación al medio. El patio proporciona protección solar y regulación lumínica, ventilación durante el día y la noche (en combinación con la calle, sótanos, jardines u otros patios), refrigeración de los espacios mediante el confinamiento de aire frío, la refrigeración evaporativa o la radiación nocturna espacial.

Las viviendas eran construidas con gruesos muros de tapial sin apenas huecos (a excepción de las puertas). El patio disponía de un primitivo toldo para protegerlo del sol en verano actuando como dispositivo de control lumínico y térmico. La circulación de personas se producía con frecuencia alrededor de un pórtico de madera que proporcionaba sombra y acceso a las habitaciones de la planta primera. La variedad de espacios cerrados, abiertos, cubiertos o descubiertos hacían posible el desplazamiento de la vida familiar, facilitando la elección de los lugares más frescos o cálidos en función de la estación.

### 3.4. EL ANTIGUO EGIPTO

Egipto se estructura a lo largo del Nilo, que lo atraviesa a lo largo de más de 1000 kilómetros habilitando una estrecha banda fértil en la planicie desértica. Su cultura floreció entorno al año 3000 y perduró hasta el 30 aC. Las ciudades se ubicaron en las zonas de inundación, como las plazas fuertes, mercados o palacios de los príncipes locales.

Cuando lo permitía la topografía, las calles seguían el eje N-S. Esta es la dirección de los vientos dominantes que soplan en todo el valle del Nilo al canalizarse las brisas procedentes del mar y recorrer cientos de kilómetros tierra adentro.

En ausencia de brisa, la ventilación e iluminación se reducía al mínimo para evitar la entrada de calor y el agua estaba generalizada como mecanismo de refrigeración en forma de canales o pequeños estanques.

La zonificación social en las ciudades también respondía a criterios climáticos. Los palacios de las clases altas estaban siempre en espaciosas casas patio al norte de la ciudad y enfrentadas por lo tanto a la brisa. La gran masa de población vivía al sur, en chozas de barro dispuestas en densas estruc-

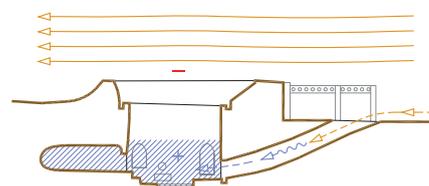


figura 3.4



figura 3.5

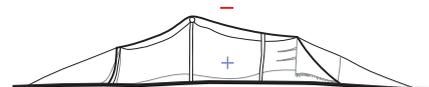


figura 3.6



figura 3.7

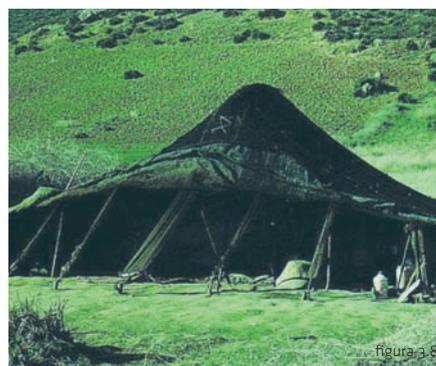


figura 3.8

Fig. 3.4. Clima desértico. Matmata (Túnez), Gharian (Libia)  
Fig. 3.5 - 3.7. Clima frío. Polo Norte. Iglú(z)  
Fig. 3.6 - 3.8. Clima cálido seco. Palestina. Tienda

turas urbanas (las dimensiones de las viviendas eran de entre 4 y 9 m de ancho y hasta 30 m de profundidad).

En la tumba del faraón Neb-Amun (1300 aC), en Tebas, aparecen representados lo que probablemente sea el primer ejemplo de componente de control ambiental basado en la inducción del movimiento interior del aire: los **captadores de viento**. Estos se configuraban en Egipto a modo de viseras o pequeños pliegues de la cubierta que forzaban a las brisas a acceder al interior de las viviendas siendo esta conducida hasta las distintas plantas por medio de conductos verticales de fábrica abiertos a las distintas estancias. La corriente de aire era anulada por medio de trampillas en invierno.

### 3.5. CRETA

La primera civilización urbana del mundo insular nace en el mar Egeo, concretamente en Creta y las islas Cícladas (2600-2000 aC). La estructura de la ciudad era una mezcla de planificación y crecimiento orgánico en torno al palacio, centro económico, político y social. Las ciudades cretenses eran núcleos fortificados construidos sobre una ladera y cercanas a la costa y al puerto. Esta implantación protegía a las ciudades del calor de las llanuras costeras, de las tempestades y de los ataques procedentes del mar. Los palacios cretenses se articulaban en torno a pequeños patios que, manteniendo la indispensable protección solar, permitían la circulación del aire necesaria para refrigerar el interior.

**El Palacio de Beycesultan** (1800 aC) se construyó sobre un curioso sistema de cimentación en donde las primeras hiladas yacen sobre un lecho de troncos colocados de forma perpendicular a los muros de fachada. Estos troncos sobresalían de esta alineación convirtiéndose en el componente más bajo de un pasadizo subterráneo. Este costoso sistema se supone que fue concebido como parte de las conducciones de un primitivo sistema de climatización por aire.

En la ciudad, las viviendas de una o dos alturas, se estructuraban en torno a un sistema laberíntico característico de toda la arquitectura minoica. En la planta inferior se distribuían las estancias, manteniendo el segundo piso cubierto pero libre de cualquier fachada, permeable al paso del viento. Este espacio era utilizado en verano como estancia



figura 3.9

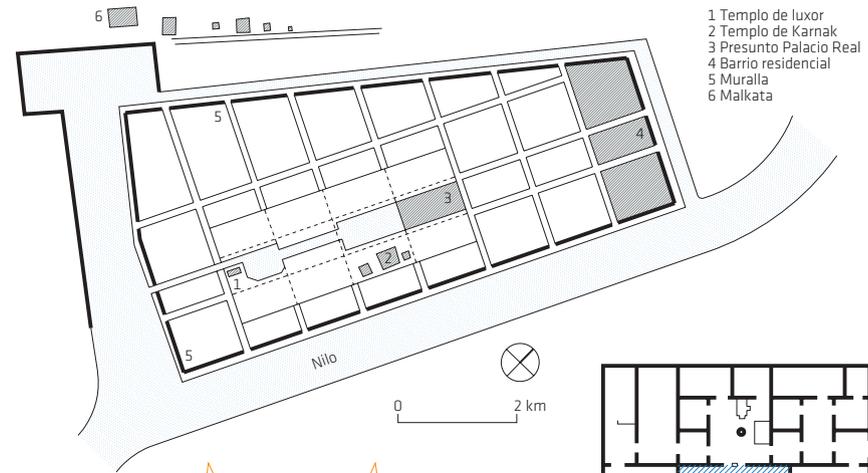


figura 3.10

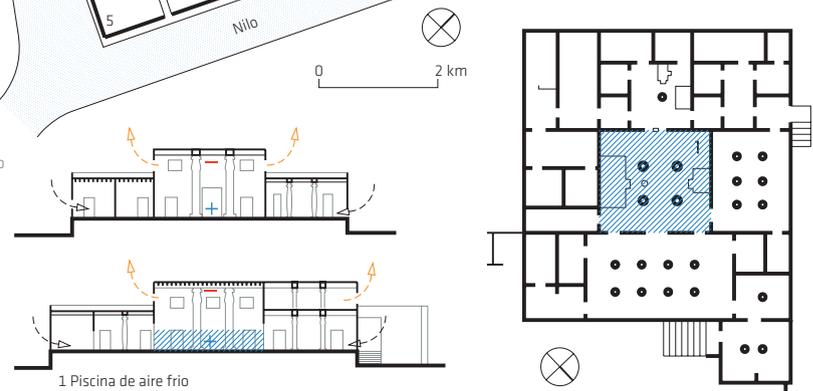


figura 3.11

Fig. 3.9. Papiro egipcio British Museum. Captadores de viento. 1314.1197 aC

Fig. 3.10. Planta de la ciudad de Tebas. Egipto. 1500 aC

Fig. 3.11. Casa patio egipcia. 1500 aC

y dormitorio. Para las habitaciones principales de la planta baja se buscaba una situación encarada hacia el viento del este en verano. Se evitaban las ventanas a norte (direcciones de viento frío en invierno) a no ser que estas estuvieran protegidas por la falda de una montaña o edificaciones vecinas. Cuando la estructura urbana se densificaba, la distribución interior agrupaba las estancias en torno a pequeños patios de luces.

### 3.6. GRECIA

La ciudad de la antigua Grecia, en su período clásico (s.V aC-IV aC), fue proyectada según los principios del derecho solar: leyes urbanísticas que aseguraban un correcto soleamiento y exposición a las brisas de todas las viviendas. Estas, eran entendidas como normas comunes, necesarias para la construcción de una sociedad democrática. La trama urbana estaba regulada por una retícula sobre la cual se insertaban los barrios y los distintos usos. Los barrios residenciales estaban formados por una densa agrupación de viviendas entre medianeras organizadas de una forma similar alrededor de un patio interior. La vivienda ocupaba el límite norte de la parcela liberando el patio al sur y facilitando de esta forma el soleamiento y las corrientes cruzadas. Un pórtico protegía la vivienda del sol estival permitiendo su acceso en invierno.

### 3.7. ROMA

A partir del siglo III Roma se consolidó como la potencia mediterránea, importando a todos los territorios colonizados su urbanismo y tipos constructivos. La *domus* representa un modelo de arquitectura doméstica de las clases altas. Su corazón seguía siendo un espacio vacío, el **atrio**: patio rodeado por pórticos de madera abierto únicamente a través de un orificio central de iluminación, ventilación y recogida de agua. Los espacios interiores son estancias de reducido tamaño sin ventanas a la calle y por lo tanto débilmente ventilados e iluminados a través de los atrios. La vivienda en atrio evolucionó paulatinamente hacia tipologías más complejas por medio de la unión de varias viviendas o la sucesión de atrios y patios.

La finca agraria romana dio origen a las **villas**, segundas residencias de las clases altas. En ellas, la sucesión de patios finaliza habitualmente en el huerto.

"...a través del comedor, o *tablinum*, se divisa según las horas del día, un jardín. En las casas antiguas es más huerto que jardín, y en él se combinan las especies productivas con las plantas ornamentales, frutales, parras, hierbas aromáticas, adelfas, rosales y laureles. En las noches de verano, el *ta-*

*blinum* acariciado por las corrientes entre el atrio y huerto era el espacio más fresco de la casa".

José Pérez de Lama (3)

La Villa Adriana de Tívoli fue construida entre los años 118 y 138 dC. Las numerosas construcciones albergaban la administración del gobierno y cumplían la función de residencia del emperador. El conjunto estaba concebido para su uso en verano y aplicaba de forma integrada gran número de mecanismos de refrigeración natural. Gran parte de las estancias estaban rodeadas de estanques que proporcionaban aire refrigerado por medio de corrientes cruzadas. En torno al llamado teatro acuático, se extendían una serie de galerías subterráneas alrededor de un gran estanque. Las galerías refrigeraban el aire de forma conductiva y convectiva, el estanque hacía lo propio mediante la evaporación de agua. Este lugar fue concebido para pasear y descansar durante las horas más calurosas del día. La densificación en las ciudades del imperio y la aparición del proletariado urbano provocaron la especulación del suelo y una importante escasez de viviendas. La casa atrio se mantuvo como vivienda para las clases altas mientras se crearon las llamadas casas de alquiler o *insulae* para albergar grandes masas de población. Esta tipología se genera por el crecimiento en altura de agrupaciones

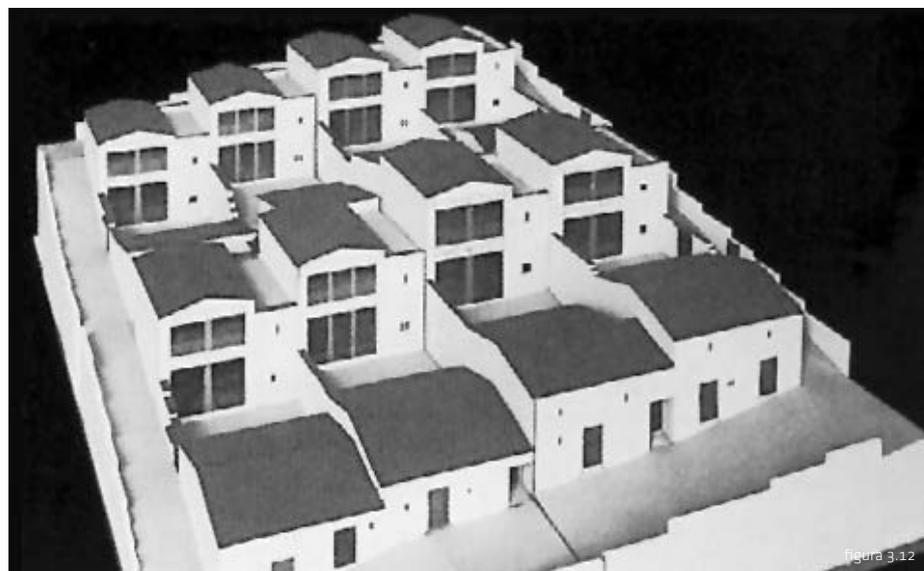


figura 3.12



figura 3.13

Fig. 3.12. Reconstrucción de la trama urbana de la polis griega. S. V aC  
Fig. 3.13. Maqueta de templo primitivo griego. Obsérvese la abertura frontal para la evacuación del aire caliente generado en la cubierta. S. VIII aC



figura 3.14

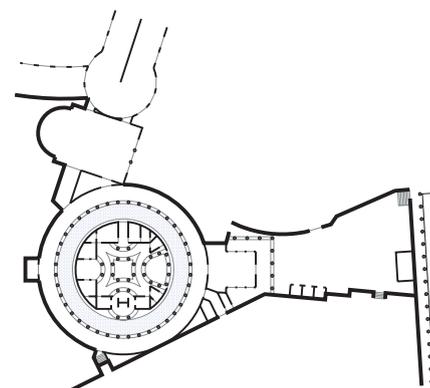


figura 3.15

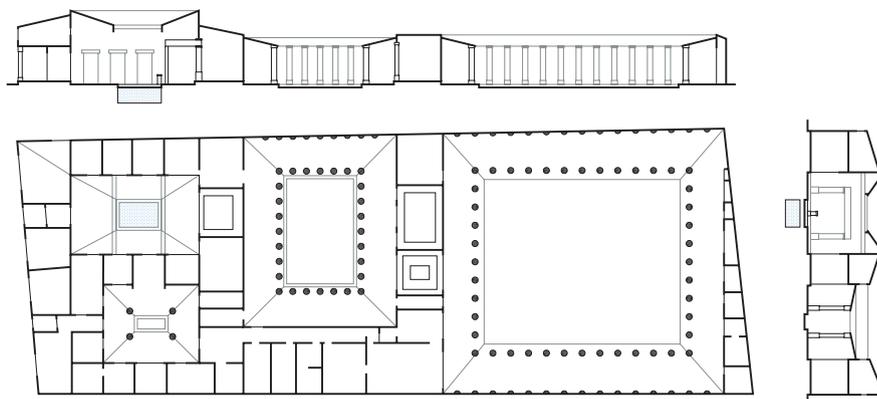


figura 3.16



figura 3.17

de casas atrio, elemento que acaba convirtiéndose en patinillo de ventilación. Los ejemplos más interesantes se construyeron en Ostia gracias al establecimiento de normativas imperiales que trataron de controlar el hacinamiento y los frecuentes desplomes.

Las necesidades de control ambiental también eran consideradas en los edificios públicos. El Foro de Trajano (110 dC) en Roma, albergaba cerca de 150 tiendas, bibliotecas, salas de reunión y oficinas distribuidas en cinco plantas. El conjunto estaba

estructurado por calles interiores abovedadas protegidas del sol pero bien iluminadas y ventiladas por medio de corrientes cruzadas generadas por medio del diseño de la sección.

### 3.8. ARQUITECTURA ISLÁMICA

En la cultura árabe, la naturaleza representa un lugar inhóspito, el desierto, al cual el hombre ha sido condenado por el pecado original. El jardín, por el contrario, es considerado como una representación del paraíso. Toda su arquitectura popular emplea sabiamente sombra, agua, ventilación y protección

solar con el objetivo de atenuar las duras condiciones del desierto.

La estructura de las ciudades presenta siempre una gran densidad, con calles estrechas a menudo cubiertas con chamizos o telas para protegerlas de la intensa radiación solar. Las viviendas se estructuran alrededor de patios y sin apenas aberturas a la calle. La **celosía** es uno de elementos más característicos. Consiste en una protección solar permeable colocada frente a los huecos u ocupando muros enteros. Su objetivo es detener la radiación,

Fig. 3.14 - 3.15. Villa Adriana. Roma (118 -138 dC). Fig. 3.16. Pompeya. Casa de Manandro. S.I aC  
Fig. 3.17. Pompeya. Casa del Fauno. S.II aC

filtrar la luz y permitir el paso del aire manteniendo la intimidad de sus ocupantes (característica importante en una sociedad que excluía a las mujeres de cualquier actividad social). Suele construirse con pequeños balaustres de madera o piedra local dispuestos siguiendo un patrón decorativo de intrincada geometría. En ocasiones envuelve completamente los balcones permitiendo a los habitantes de las casas asomarse a un espacio exterior expuesto a cualquier corriente de aire que puedan canalizar las calles (**Rowshan**).

En Egipto estos balcones reciben el nombre de *muschrabiya* cuya raíz significa “beber”, nombre derivado de la antigua costumbre de colocar en ellos cántaros de arcilla con el objetivo de refrescar el agua y refrigerar la corriente de aire que accede al interior.

“El detalle constructivo más representativo del edificio quizás sean las bellas celosías de las ventanas, que aparte de gran utilidad como detalle medio ambiental ya que ventilan e iluminan el templo, representan aspectos importantes de nuestra cultura, ya que son la geometrización de la naturaleza y además complementan la metáfora del bosque filtrando la luz del sol de igual manera en que lo harían las hojas de los árboles”.

Mezquita de Córdoba. Ibn-Arabí (2).

Los primeros textos que hacen referencia al uso de captadores de viento datan de inscripciones asirias del siglo XIII aC. El viento reduce en gran medida su velocidad en el interior de la ciudad, es calentado por las superficies calientes y frecuentemente contiene gran cantidad de polvo en suspensión.

Los captadores de viento son componentes ideales para captar las corrientes de aire que circulan sobre la ciudad e introducir las en el interior de las viviendas. Pueden construirse directamente sobre la cubierta o elevarse por encima de esta, orientándose hacia una o varias direcciones de viento. Están normalmente aparejados con algún sistema de refrigeración adiabática que reduce la temperatura del aire, aumenta su humedad y filtra el polvo en suspensión.

En la región de Sindh (Paquistán) los **captadores** son altamente efectivos para interceptar las brisas que proceden del mar. Las temperaturas durante el día rondan los 56°C, descendiendo hasta 42°C al

atardecer, coincidiendo con la llegada de la brisa, momento en el que se activa la circulación de aire a través de la vivienda.

Tienen aproximadamente 1 m<sup>2</sup> de superficie y entre 1,5 y 2,5 m de altura y su situación es replanteada de una forma muy precisa para evitar posibles sombras de viento provocadas por otras edificaciones o captadores.

Están contruidos con madera y barro sobre aberturas practicadas en el forjado que comunican directamente con las habitaciones o transportan el aire hacia los pisos inferiores mediante conductos.

La dimensión del conducto es en función de la temperatura del aire, si la temperatura es baja tienen grandes dimensiones y provocan velocidades lentas en el interior del conducto. En el caso de que la temperatura del aire sea elevada se estrecha para refrigerar este por medio del intercambio conductivo con el perímetro del conducto. Entre diciembre y febrero las entradas de aire se cierran mediante trampillas situadas en la boca del tubo, anulando el sistema.

La inclinación del captador y la orientación diagonal de la torre reconducen el flujo sin generar turbulencias en la corriente de aire.

Los captadores son también característicos en construcciones habituales en los palacios del golfo pérsico, Irán o Egipto consistentes en grandes conductos o **malkaf**, adosados a los muros que ascienden varios metros por encima de la cubierta con el objetivo de reconducir las brisas al interior de la vivienda o ser utilizados en parejas o grupos de cuatro para refrigerar depósitos de agua o estancias de almacenamiento de alimentos. Están normalmente asociados a sistemas de refrigeración conductiva o evaporativa (gruesos muros, espacios enterrados, fuentes, recipientes porosos o vegetación) y a sistemas de extracción (aberturas de la calle, patios o elementos de extracción como amplias torres (**suksheika**)).

La mayor efectividad del captador se consigue con vientos que soplan diagonales a este. Cuando las condiciones del viento no son las adecuadas (periodos fríos o excesivamente calurosos) el sistema es anulado mediante postigos, o es trasformado, en el caso del malkaf, en un sistema de extracción por diferencia de temperaturas dotado de inductores

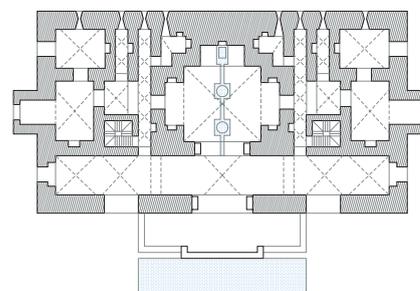
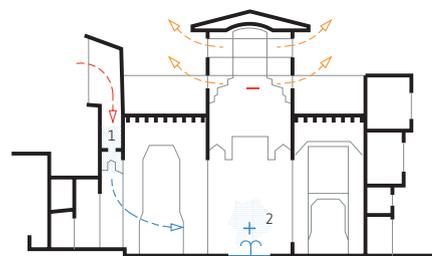


figura 3.18



1 Recipientes de agua porosos  
2 Vaporización de agua

figura 3.19



figura 3.20



figura 3.21

Fig. 3.18. Palacio de Zisa. Palermo. Italia. S. XIII Fig. 3.19 - 3.20. Malkaf y suksheika Muhibb Al-Din Muwaggi. El Cairo. Egipto Fig. 3.21. Captadores unidireccionales. Sindh. Arabia Saudí

térmicos al cerrarse gran parte de las aberturas del shuksheika.

El Palacio de Zisa fue construido durante la dominación musulmana de la ciudad de Palermo durante el s. XIII. El edificio es un buen ejemplo de cómo las estrategias de protección solar, ventilación y acumulación de energía pueden condicionar forma y sistema constructivo.

La orientación del edificio responde a los vientos dominantes de la zona.

Un primer espacio porticado con grandes arcos ocupa la totalidad de la fachada actuando como captador de brisas e introduciendo estas en el interior del edificio.

La corriente de aire es forzada a atravesar la construcción incidiendo en su recorrido por los gruesos muros interiores.

Las aberturas destinadas a la salida del aire son reducidas lo cual permite acelerar el flujo y multiplicar el efecto refrigerante sobre los ocupantes.

La reducida proporción entre espacio útil y espacio construido no parece justificarse en la falta de recursos constructivos de la arquitectura árabe sino en una voluntad de sobredimensionar la masa interior y conseguir un edificio estable y capaz de almacenar el frío generado por las corrientes nocturnas. El agua es, de nuevo, utilizada como recurso de refrigeración. Los jardines que rodean el edificio incluyen un estanque frente a la fachada principal cuya función es refrescar la brisa antes de que esta sea inducida a acceder al interior.

### 3.9. CHINA Y JAPÓN

Por razones de defensa y control de las finanzas, las ciudades europeas de la edad media abandonan el estricto trazado regulador de las ciudades del mundo antiguo, colmatando cada vez más en el interior de las murallas, dejando de lado los condicionantes higiénicos y las necesidades de soleamiento o de ventilación. En sus viviendas viven y trabajan gran cantidad de personas compartiendo el espacio interior con los animales. La ventilación y la iluminación se reducen a pequeños huecos abiertos en los muros. En gran parte de Asia, debido a la inestabilidad fronteriza, existe un proceso similar de densificación y feudalización. A pesar de ello,

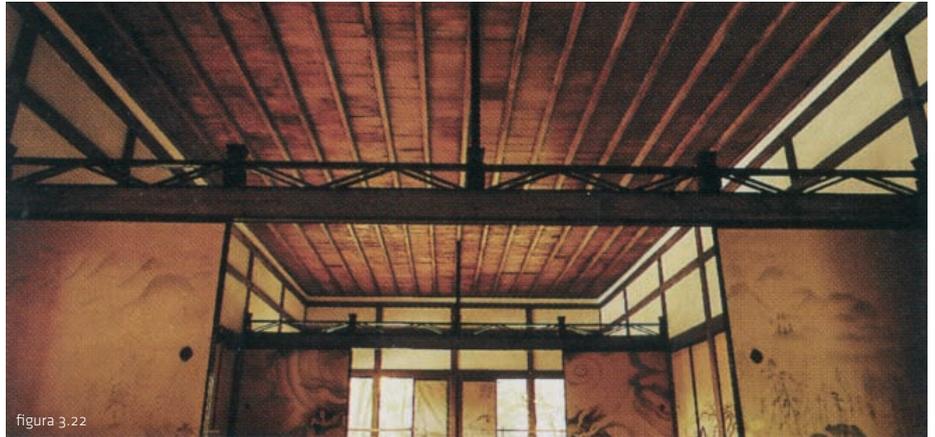


Fig 3.22 - 3.25. Palacio Katsura. Tokio, Japón. 1615-1658

surgen algunas tipologías de interés en el ámbito de la refrigeración natural.

Las **pagodas** son construcciones que albergaban usos religiosos, defensivos o funerarios. Fueron construidas de ladrillo o madera, con planta normalmente octogonal y una altura de entre 7 y 13 plantas. Al elevarse sobre el nivel del suelo y abrirse en todas direcciones, la refrigeración de las estancias era sencilla y efectiva. La Pagoda de Sakyamuni (1056 dC) tiene 67 m de altura y una base de 30 m. Es el edificio en pie más antiguo de China y el edificio de madera más alto del mundo.

Los **pabellones** fueron construidos inicialmente como representaciones de poder local. Son grandes cubiertas que protegen de la radiación solar y de las lluvias, a la vez que permanecen completamente permeables al paso del aire. Suelen estar construidos junto a grandes láminas de agua que facilitan el preenfriamiento del aire que circula por su interior.

La tradición constructiva japonesa está fuertemente influenciada por la filosofía sintoísta y algunas sectas budistas. Su ideario animista se traduce en una apertura del edificio y la difusión de los límites de este sacrificando en muchas ocasiones la intimidad y confort invernal de los ocupantes en pos de un mayor contacto con el entorno. Esto hace a la vivienda tradicional japonesa una tipología muy adecuada desde el punto de vista de la ventilación y refrigeración natural.

La tipología doméstica tradicional más extendida se denomina **Minka**. Pese a las variaciones regionales en función de la zona climática en la que esta se inserta, habitualmente era construida en su mayor parte de madera, con cubierta de tejas, juncos o cortezas.

La estructura del edificio está formada por una malla de postes, modulada por el Kiwari, en función de múltiplos de las medidas del tatami (180x90cm) sobre los que se sustenta el entramado de la cubierta.

Esta disposición libera la fachada y los muros divisorios de la función sustentante. Los cerramientos están formados por grandes paneles correderos, pantallas con celosías o muros divisorios que no alcanzan el techo.



figura 3.26

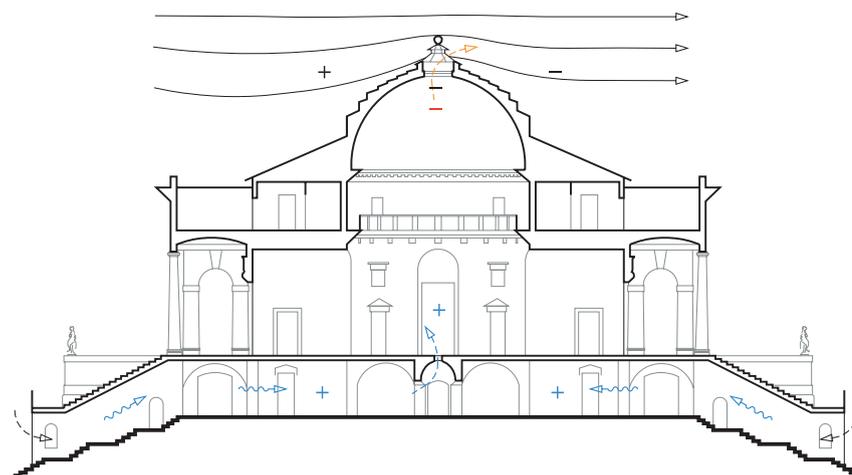


figura 3.27



figura 3.28



figura 3.29

Fig. 3.26 - 3.29. Andrea Palladio, Villa Rotonda, Vicenza, Italia, 1566

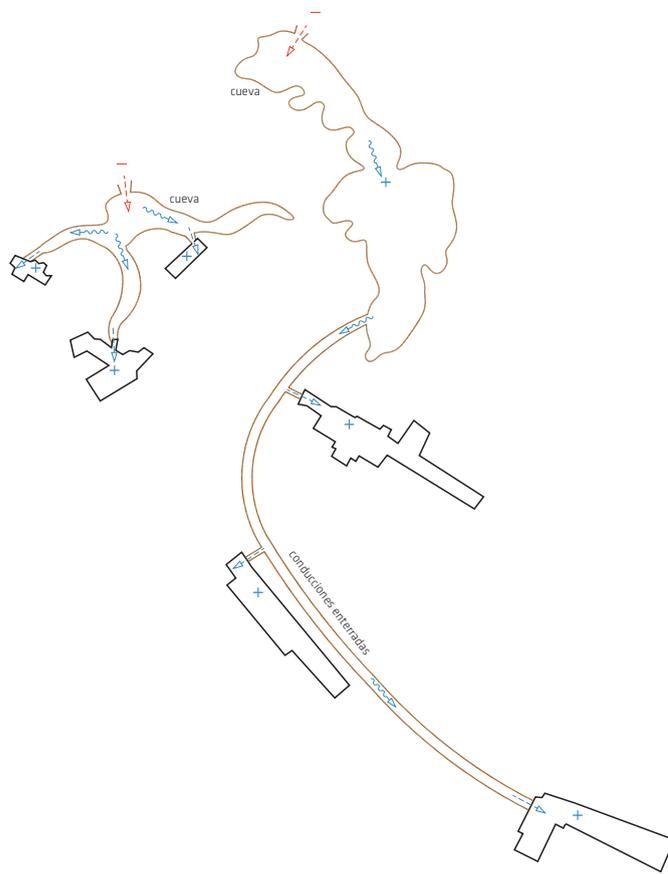


figura 3.30



figura 3.31

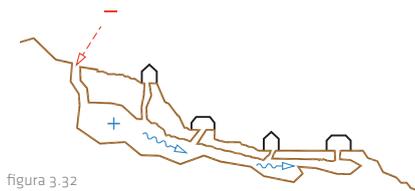


figura 3.32

Fig. 3.30 - 3.31. Esquemas de funcionamiento del sistema de refrigeración. Villas de Costozza. Italia. S. XVI

Fig. 3.32. Carcere dei venti. Villas de costazza. Italia. S. XVI

Entre los elementos de control ambiental estival cabe destacar las galerías que frecuentemente cuentan con esteras que completan la protección solar; la cámara de aire ventilada situada bajo la cubierta o los enanos sobre los que se eleva la vivienda para permitir las infiltraciones de aire cuando en verano el tatami es sustituido por finas esteras de caña.

Los palacios y jardines japoneses tienen su época de máximo esplendor durante el período Edo (1615-1868). El Palacio Katsura (Tokio, 1615-1658) está considerado como su ejemplo más representativo e influyente. A él hacen referencia no solo arquitectos orientales, sino gran parte de los padres de la arquitectura moderna (Bruno Taut, Walter Gropius, Frank Lloyd Wright o Richard Neutra).

Los tres edificios principales de esta villa imperial y las numerosas casas de té que se reparten por los jardines fueron diseñados para proporcionar una armoniosa fusión del espacio interior con el jardín circundante. Este efecto se consigue mediante la utilización de un reducido número de materiales extraídos del entorno local así como la anulación de cualquier tipo de simetría o jerarquía compositiva. La permeabilidad de las construcciones está reforzada por gran número de espacios de transición entre el interior y el exterior, así como una envolvente exterior y unas particiones interiores ricas en filtros y elementos móviles.

### 3.10. EL RENACIMIENTO

La ciudad renacentista representa un retorno a la planificación. El humanismo centra su interés en la recuperación de los trazados geométricos del mundo antiguo. Sus propuestas repudian la ciudad histórica por ser fruto de una evolución incontrolada o del azar.

La ciudad ideal renacentista deriva de las estructuras y reglas dictadas por Vitrubio expuestas en sus *Diez libros de arquitectura* (4), referidas más a la búsqueda de un ideal estético que a un rigor higienista. El principio generador del perímetro y estructura interior alega una supuesta defensa frente a los vientos (sin distinguir si estos son beneficiosos o perjudiciales en el emplazamiento de la nueva fundación). La ciudad ideal adquiere forma octogonal enfrentando cada uno de sus paños de muralla a una dirección del viento.

Fuera del ámbito del urbanismo destacan algunos humanistas interesados en la recuperación de la antigüedad romana, no como copia de modelos existentes sino como reinterpretación en clave de modernidad. Entre todos ellos cabe resaltar a Andrea Palladio como último gran teórico del renacimiento cuya influencia se extenderá hasta finales del siglo XIX.

El Palacio Picollini o la Basílica de Vicenza son buenos ejemplos de protección solar por medio de la construcción de un espacio porticado de circulación perimetral, pero es quizás la Villa Rotonda su obra más interesante desde el punto de vista de la refrigeración natural. Este edificio de planta central fue construido en 1566 en lo alto de una colina expuesta a los vientos locales. La gran sala se abre al exterior en sus cuatro lados por medio de grandes puertas protegidas de la radiación solar por profundos pórticos.

En verano las brisas procedentes de cualquier dirección la atraviesan refrescando el espacio interior. Durante las horas más calurosas del verano, y con las vidrieras cerradas, la extracción inducida por la linterna de la cúpula succiona el aire fresco de los sótanos que ocupan el basamento del edificio. El aire se introduce en la sala a través de la losa perforada que ocupa el centro de la sala.

Muy cerca de Vicenza se construye lo que posiblemente sea el ejemplo más interesante de aprovechamiento de los recursos naturales de enfriamiento del renacimiento: Las Villas de Costozza. El propio Palladio las describe en sus *Cuatro libros de arquitectura*:

“... Casi del mismo modo, la noble familia Trento de Vicenza refrescaba las estancias de su villa en Cos-tozza durante el verano ya que existiendo ciertas enormes cavernas en las montañas del entorno llamadas Covoli por los habitantes del lugar y eran antiguas canteras de piedra sobre las cuales creo que Vitrubio habla en su segundo libro refiriéndose a los tipos de piedra, cuando dice que en la Marca Trivigiana existe un tipo de piedra que se corta con una sierra como si fuera madera de cuyas minas mana un viento fresquísimo. Estos caballeros llevan hasta sus casas dichos vientos a través de conductos enterrados a los que llaman Ventidotti, y con conductos similares conducen el aire fresco hasta las habitaciones. Las tuberías pueden ser abiertas o cerradas por los habitantes proporcionando una mayor o menor cantidad de aire en función de la estación... Debido a esta grandísima comodidad este lugar es maravilloso.

Mucho más digno de ser gozado y visto es la cárcel del viento, que es una estancia enterrada construida por el excelentísimo señor Francesco Trento en la por él llamada villa Eolia, en donde desembocan muchos de estos conductos de viento; en donde para ser honrada conforme a su nombre indica no ha reparado en gastos ni diligencia.”

A. Palladio. (5)

El sistema aprovecha la reducción de temperatura que se genera al descender el aire a través de las galerías. El viento accede por aberturas situadas en cotas altas, enfriándose al entrar en contacto con las paredes, aumentando su densidad e iniciando su descenso a través de las grutas y las galerías.

La reducción de temperatura y la velocidad del aire obtenida es proporcional a la diferencia de cotas de la villa con respecto a las entradas de aire. Mediciones tomadas en la villa Eolia, muestran reducciones de temperatura de hasta 13 °C en la boca del los ventidotti, calentándose el aire en su recorrido hasta la villa apenas 2 °C.

La dirección de la corriente se invierte en invierno al estar el aire de las canteras a mayor temperatura que el aire exterior y evacuar por las aberturas superiores. Rejillas regulables impiden en dicha estación la succión del aire de las villas a la vez que permiten regular el volumen de aire frío en verano. En las villa Ca'Molina, da Schio y Garzadori, las cuevas conectan directamente con la vivienda. En las Villas Eolia, de Buoni Fancuilli y Trento, el aire se transporta a través de conductos de longitudes variables (entre 100 y 400 m), convenientemente enterrados para mantener fresco el aire en su recorrido descendente hacia las villas.

### 3.11. PERSIA

La expansión musulmana alcanza su cenit en el s. XVI. Dentro de sus vastas fronteras destacan por su vigor y solidez el imperio otomano, el mongol y el persa.

En 1598, Sah Abbas decide convertir Isfahan en nueva capital del imperio persa. Para ello transformará la zona de jardines y campos comprendida entre el río Zayanda y la ciudad amurallada. De esta época datan los monumentos más famosos de la ciudad: el Masjid-i-Shah, la mezquita de Lutfullah, el Hasht Bihisht o el Ali'Qapu.



figura 3.33



figura 3.34

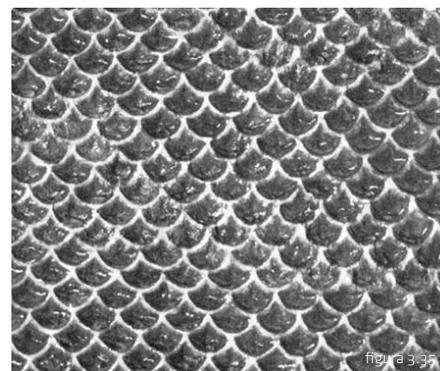


figura 3.35

Fig. 3.33. Chihil Sutun. Isfahan, Irán. S. XVI Fig. 3.34. Trono del emperador Akbar. Jardines de Shalamar Bagh. Cachemira, India Fig. 3.35. Chadar, Jardines de Shalamar Bagh. Cachemira, India. S. XV



figura 3.36

El Ali'Qapu se eleva unos 30 m de altura en el este del Madain. Este pabellón-puerta fue construido en múltiples fases entre los años 1598 y 1668. El elemento más característico de este edificio es el pórtico o talar, una logia sombreada utilizada en verano para las recepciones del monarca, sala de banquetes o mirador. La estructura de madera de gran ligereza se antepone al edificio a modo de protección solar y captador de brisas, introduciendo el aire y refrescando el interior.

Otras construcciones similares dentro del conjunto del Ali'Qapu son el pabellón denominado Chihil Sutun o de las 40 columnas, que fue construido frente a una gran lámina de agua que humedecía y refrigeraba el aire antes de atravesar el edificio o el pabellón del jardín de Hasht Bihisht, que consta de cuatro estancias octogonales a doble altura que dejan entre sí un espacio cubierto por cúpulas y abierto en sus cuatro direcciones. Los canales y las fuentes rodean y se introducen en el edificio refrigerándolo.

### 3.12. MONGOLIA

El imperio mongol dominó gran parte de Asia central entre los siglos XII y XVI estableciendo su capital en Agra en 1526. Fue allí en donde sus



figura 3.37

construcciones y jardines alcanzaron su máximo esplendor, siendo el agua y la sombra los elementos protagonistas.

Destaca como estrategia de refrigeración el **chadar**. Este es un tipo de cascada escalonada y abujardada utilizada por mongoles y árabes para potenciar el intercambio energético entre el agua y el aire fomentando con ello la evaporación y la refrigeración de las corrientes de aire, además de proporcionar un vistoso juego de reflejos.

Destaca la construcción el Fuerte Rojo al este de la ciudad: un enorme complejo de edificios protegidos por una muralla perimetral. En su interior abundan los pabellones de un solo piso rodeados de jardines, estanques y chadares conectados por canales que frecuentemente acceden al interior de las construcciones.

En el pabellón de audiencias, las profundas columnatas protegen el interior de la radiación solar, mientras las celosías envuelven las habitaciones permitiendo el paso de las corrientes de aire.

Entre 1570 y 1658 fue construido en el interior del fuerte el Shahi Hamman. Este es un conjunto de



figura 3.38

salas y habitaciones octogonales conectadas por corredores con apenas unas pocas celosías abiertas a la fachada del río.

Cada una de las estancias estaba dotada de un primitivo sistema de refrigeración adiabática basado en la conducción de agua desde los depósitos de cubierta hasta fuentes o estanques construidos en el interior de las habitaciones.

El Palacio de los vientos fue construido en Jaipur en 1799 por el Maharajá Sawai Pratap Singh. El elemento más característico del conjunto es la contundente fachada urbana de 5 plantas y forma piramidal que se eleva por encima de las cubiertas del palacio. Una serie de pasarelas dan acceso a pequeños balcones envueltos por celosías de piedra. La única finalidad de esta pantalla permeable de más de 20 metros de altura es ofrecer a las mujeres del harem real una atalaya desde la cual observar la vida urbana sin ser vistas, en un lugar fresco y expuesto a las brisas que circulan por encima de los edificios de la ciudad.

### 3.13. LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

En el siglo XVIII los procesos industriales a gran escala y el ferrocarril revolucionan la actitud de la

Fig. 3.36. Chadar y lámina de agua. Fuerte Rojo. Agra. India. s. XVI

Fig. 3.37. Pabellón en el lago. Udaipur. India. S. XVII

Fig. 3.38. Palacio de los vientos. Jaipur. India. S. XVIII

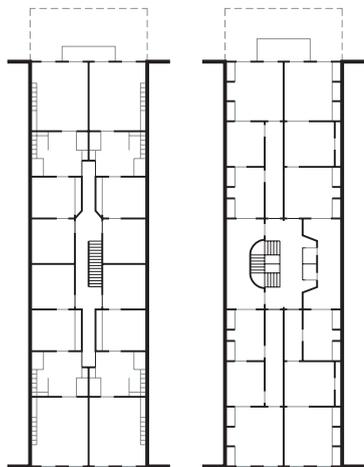


figura 3.39

sociedad frente al medio natural. Proliferan fábricas, minas y aglomeraciones urbanas sin planificar en donde trabajan y habitan grandes masas de trabajadores alojados en pésimas condiciones higiénicas.

Como consecuencia de esta situación se promueve, principalmente en Gran Bretaña, la redacción de normativas y la investigación de nuevas tecnologías que permitan mejorar las condiciones de salubridad de las viviendas y los establecimientos industriales.

La iluminación artificial, la ventilación mecánica y la calefacción de aire o agua marcan el inicio de mecanización de los edificios, pese a que la introducción de nuevos artefactos y redes de conductos aún tardarían mucho tiempo en ser aceptados por los arquitectos, sumidos en discusiones estilísticas.

Se continuaron aplicando estrategias de ventilación natural en la planificación de edificios industriales pese a que la aparición de gran cantidad de elementos contaminantes generados por la iluminación a gas impulsa el desarrollo de los primeros sistemas de ventilación mecánica.

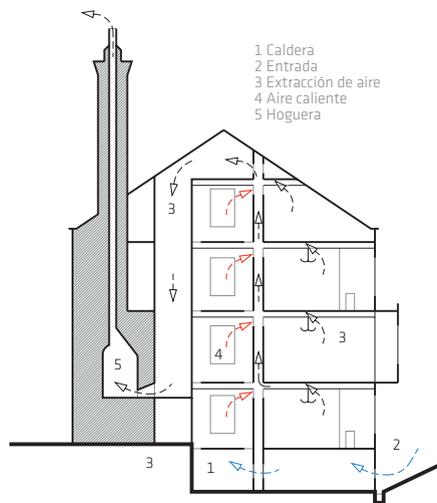


figura 3.40

La inexistencia de una fuerza motriz obliga a depender de la inducción generada por el calentamiento del aire mediante hogueras encendidas en plenums conectados a los conductos. La capacidad de extracción era muy reducida y su implantación dificultosa debido a los grandes espacios que requerían las conducciones, el gran consumo de leña y la necesidad de un continuo mantenimiento.

El ingeniero **John Hayward** fue uno de los primeros en abordar la implantación de la ventilación mecánica en el ámbito doméstico. En 1872 construyó su propia casa, la Octagon House. El sistema de iluminación de la vivienda incorporaba una lámpara que encerraba la llama en el interior de una bola de cristal con ventilación independiente. De esta forma se evitaba que el gas se mezclara con el aire interior. El aire exterior era introducido por el sótano y calentado por una caldera. Desde este punto ascendía por diferencia de temperaturas por el interior del vestíbulo conectando con las habitaciones. La salida del aire viciado se producía por unas rejillas instaladas sobre la araña de gas y era acumulado en la cámara de aire del ático.

Desde allí, y gracias a la succión provocada por la gran chimenea de la cocina, se forzaba al aire

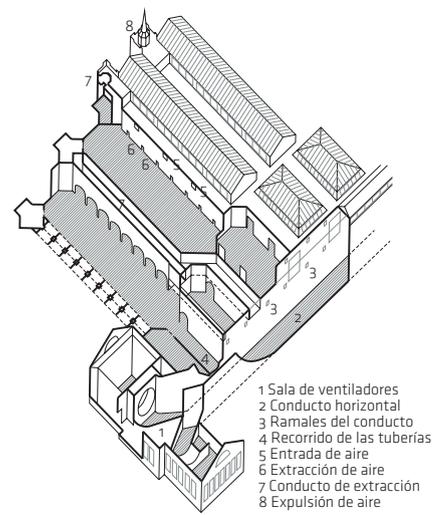


figura 3.41

a descender de nuevo a la planta baja para ser posteriormente evacuado por la chimenea. Lamentablemente, para poder asegurar el correcto funcionamiento del sistema las ventanas no eran practicables, evitando de este modo que la introducción de corrientes exteriores de aire pudieran afectar al control del sistema.

La alternativa a estos rudimentarios sistemas eran los primeros motores de vapor. Sus grandes dimensiones y su alto coste limitaban su instalación a grandes edificios públicos. Uno de los primeros ejemplos construidos con esta tecnología fue el Royal Victoria Hospital de Belfast, de **Henman y Coopey**. Este edificio fue proyectado tras el fracaso en la climatización de su anterior proyecto, el Birmingham General Hospital, construido según la clásica tipología de pabellones y ventilación por plenums.

En el Royal Victoria Hospital el sistema de acondicionamiento del aire fue la premisa determinante de la tipología edificatoria. El sistema de plenums requería un edificio compacto que minimizase las pérdidas de calor y redujera la longitud de los conductos.

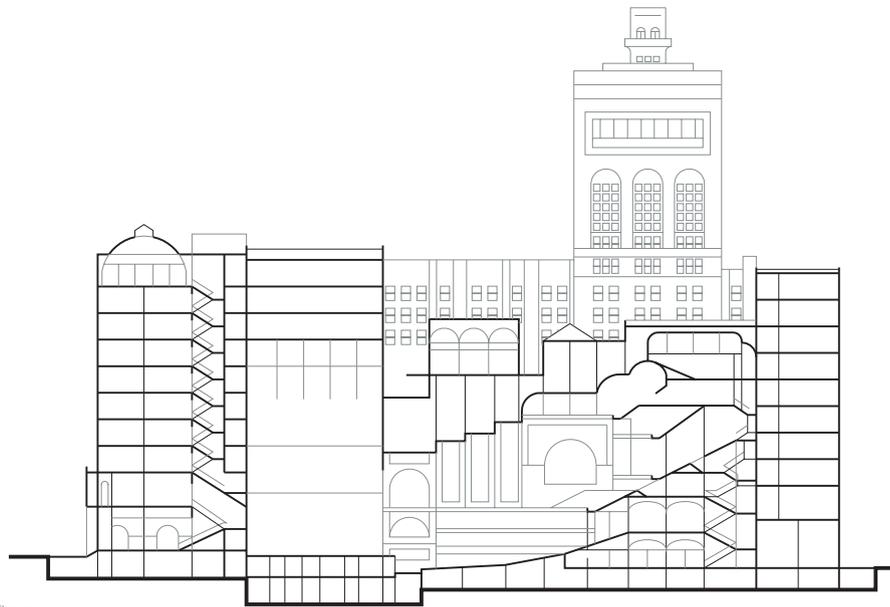


figura 3.42

En este caso, el conducto estaba formado por un túnel de ladrillo y pavimento de hormigón de 1,50 m de largo, 2,70 m de ancho y una profundidad variable de entre 1,80 y 6 m. El aire circulaba a baja velocidad inducido por dos ventiladores movidos por máquinas de vapor.

Desde el conducto principal se alimentaba a los conductos de distribución y los montantes verticales, los cuales introducían el aire por la parte alta de la habitación. La extracción se producía a través de rejillas bajas y una serie de conductos horizontales conectados a su vez a chimeneas de extracción vertical.

La Escuela de Arte de Glasgow, obra de **Charles Rennie Mackintosh** en 1897, es otro de los primeros ejemplos de implantación de sistemas mecánicos de ventilación.

Reiner Branham<sup>(6)</sup> destaca la importancia del sistema de acondicionamiento en el planteamiento del edificio al sostener que la riqueza espacial del proyecto, así como la profusión de grandes ven-

tales y lucernarios orientados al norte, solo hubiera sido posible en un clima frío como el de Glasgow, mediante la instalación de los incipientes sistemas mecánicos de acondicionamiento.

En los planos del edificio se observa la posición de los conductos y las entradas y salidas de aire integradas en el revestimiento de madera.

Actualmente el sistema de calefacción ha sido sustituido por radiadores convencionales que han producido innumerables conflictos y distorsiones del diseño original.

La irrupción de nuevas tecnologías (estructura de acero y hormigón, aparatos elevadores, ventiladores eléctricos, etc.), la aparición de la clase media y el despegue del capitalismo como motor económico abrieron a finales del siglo XIX nuevas expectativas para la arquitectura estadounidense en el momento en que esta empezaba a desechar las formas tradicionales, sustituyendo los antiguos métodos de mimesis por un diseño pragmático y funcional.

**Sullivan**, a la cabeza de la escuela de Chicago, fue uno de los primeros arquitectos en tomar conciencia de la nueva situación desde una perspectiva global. El auditorio de Chicago proyectado junto a Adler en 1887 es claro ejemplo de ello. El proyecto consistía en el diseño de una nueva tipología de edificio de usos múltiples que ocupaba media manzana en la retícula de la ciudad. Un gran teatro era rodeado por edificaciones de once plantas de altura en donde se distribuían oficinas, comercios y un hotel.

La posición central del teatro en la manzana solo fue posible gracias a la existencia de alternativas a la iluminación y ventilación natural. Los requerimientos estructurales, acústicos y de acondicionamiento térmico se asumieron con naturalidad y sin ocultarse, convirtiéndose en un nuevo modo de expresión formal.

La climatización era activada por ventiladores de 3 m de diámetro que succionaban el aire desde la parte alta del edificio. El gran volumen del auditorio se acondicionaba impulsando el aire desde el escenario y la parte alta del patio de butacas. La extracción del aire se producía a través de rejillas situadas bajo los asientos.

**Frank Lloyd Wright** se integró al estudio de Sullivan a principios en 1890, pero pronto se alejó estilísticamente de este así como de la otra corriente arquitectónica del momento, el racionalismo impulsado por la Bauhaus.

Su primera obra reconocida por la crítica arquitectónica fue el edificio Larkin construido en Buffalo en 1904. Según Reyner Banham<sup>(7)</sup> la contundente implantación del edificio solo fue posible gracias a la aparición del acondicionamiento artificial.

“El edificio Larkin fue un simple acantilado de ladrillos sellado herméticamente (uno de los primeros edificios con “aire acondicionado” del país), para mantener el espacio interior libre de los gases tóxicos del humo de los trenes de la línea Nueva York central que corría a su lado.

Hasta que el contrato fue asignado a Paul Mueller, y el modelo de yeso del edificio estuvo completo sobre la gran mesa en el centro de la sala de dibujo de Oak Park, recién conseguí la articulación que finalmente quería. La solución, que había estado pen-

Fig. 3.42. Auditorio de Chicago. Sullivan y Adler. EE. UU. 1887-1889

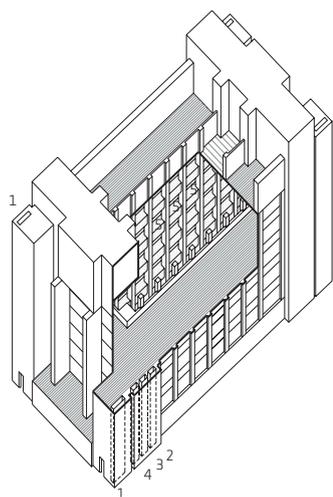
diente, surgió como un chispazo. Tomé el próximo tren para Búfalo para tratar y conseguir que la Larkin Company reconociera que costaba 30.000 dólares más construir las torres de escaleras separadas del bloque central, no solo como torres independientes de circulación y escape, sino también como tomas de aire para el sistema de ventilación.”

Reyner Bahnam.(6)

El aire era aspirado desde las zonas altas por encima del tráfico ferroviario y las industrias y conducido hacia abajo a través de amplios conductos que circulaban tras las paredes ciegas de las torres laterales.

En el sótano el aire era limpiado y calentado (en 1909 se incorporó un sistema de enfriamiento) siendo conducido a través de conductos de fábrica hasta los antepechos de los balcones, desde donde era introducido en el atrio. La extracción se producía entre los huecos practicados en los muros de la fábrica (desde zonas cercanas al pavimento en invierno y desde la parte superior del atrio en verano) y evacuado a través de los conductos de ladrillo.

El edificio se plantea como una máquina sellada de condiciones ambientales fijas, el primer ejemplo de



- 1 Toma de aire exterior
- 2 Distribución de aire templado
- 3 Aire viciado y expulsión
- 4 Conducto para instalaciones
- 5 Rejillas de salida de aire emplado bajo el borde de las galerías

figura 3.43

lo que años después denominará Le Corbusier: “La casa de respiración exacta”.

Los principios tayloristas condicionaron en gran medida el diseño. El espacio único eliminaba la individualidad de los empleados limitando su intimidad y sometiéndolos a una constante supervisión. Los puestos de trabajo, estrictamente ordenados, no permitían ni siquiera el desplazamiento de los asientos. Los empleados quedaban aislados una vez traspasaban las puertas del edificio siendo el ambiente lumínico y térmico controlado a partir de ese momento de forma artificial.

Sería injusto colocar a Wright, el arquitecto organicista por excelencia, como abanderado o precursor de la separación entre el usuario y su entorno. La hermeticidad del edificio Larkin fue condición impuesta por el cliente y un entorno contaminado. Por lo general, en los proyectos de Wright el equipamiento mecánico es modesto y el acondicionamiento artificial se limita a complementar las estrategias naturales.

La Casa Robie es uno de los proyectos prototípicos de las llamadas casas de la pradera. En ellas Wright



figura 3.44

rompe con la organización en planta y en sección derivada de la yuxtaposición de espacios cerrados, promoviendo la llamada “rotura de la caja”.

La planta se convierte en una sucesión de espacios abiertos y conectados entre sí. Esta difuminación de los límites se traslada a la fachada, potenciando una mayor relación con el exterior y con ello, un mayor acceso solar y permeabilidad del edificio.

En verano los grandes aleros protegen las aberturas y crean espacios de transición sombreados. El bajo cubierta está ventilado a través de conductos específicos situados en la chimenea para evitar así la acumulación de aire caliente de las estancias. En invierno la gran ventana-mirador complementa con ganancias solares el calor generado y acumulado en la gran chimenea.

En la Casa Baker la disposición de ventanas responde a la estrategia de refrigeración estival. La ventilación por presión dinámica del viento y por diferencia de temperatura permite la evacuación del aire caliente acumulado y la refrigeración de la cubierta al forzar el movimiento del aire de forma tangencial a esta. Cabe reseñar que la única fun-



figura 3.45

Fig. 3.43 - 3.44. Edificio Larkin. Buffalo. EE. UU. Frank Lloyd Wright. 1904  
Fig. 3.45. Casa Solar. Casa H. Jacobs. Wisconsin. EE. UU. Frank Lloyd Wright. 1943

ción de la galería superior es la de permitir la manipulación de estas pequeñas ventanas.

En la cooperativa Homesteads, por el contrario, se opta por ataludar el terreno para proteger la vivienda de los fuertes cambios de temperatura. La ventilación se produce a través de ventanas altas, fomentándose de esta forma en verano una corriente superior de aire y una piscina de aire frío inferior generada por las frigorías procedentes del terreno que quedan acumuladas en la parte inferior del espacio habitable una vez son transmitidas al interior.

Otro aspecto a destacar en los proyectos de Wright es la gran cantidad de aberturas practicables, lo cual permite una gran flexibilidad a la hora de activar múltiples corrientes cruzadas o graduar el tipo de flujo y caudal requerido. La tendencia actual de la arquitectura rica en vidrios fijos busca desmaterializar la abertura mediante la eliminación de la carpintería. Wright en cambio, en la casa **H.F. Johnson**, por ejemplo, diseñó ventanas y puertas divididas en múltiples paños, la mayor parte de ellos practicables y repartidos por todo el edificio. De esta forma no es difícil ventilar independientemente las estancias o establecer distintos flujos en función de la ocupación, la dirección del viento o la época del año.

### 3.14. EL MOVIMIENTO MODERNO

La búsqueda de la máxima eficiencia y racionalidad de los procesos industriales acabó extendiéndose a la arquitectura tras las dos guerras mundiales, en una época marcada por la reconstrucción de Europa y la imperiosa necesidad de construir miles de viviendas en el mínimo tiempo posible.

Se inicia un período que llevó a la reconsideración del hábitat en todas sus escalas (tipos de agrupación, racionalización de las unidades, procesos constructivos o evolución tecnológica de las instalaciones).

El bloque lineal aislado orientado según su eje este-oeste con viviendas abiertas a fachadas opuestas se promueve como sistema de agrupación ideal, que asegura la iluminación y la ventilación de todas las unidades de vivienda.

Se estudian minuciosamente los ángulos solares para determinar así la separación mínima (y máxima) de las alineaciones de bloques.

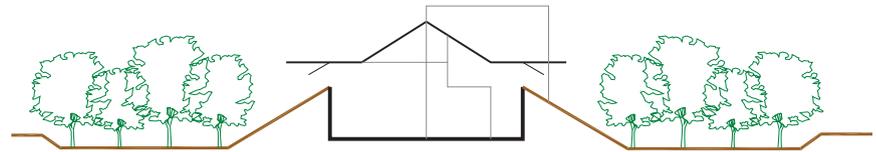


figura 3.46

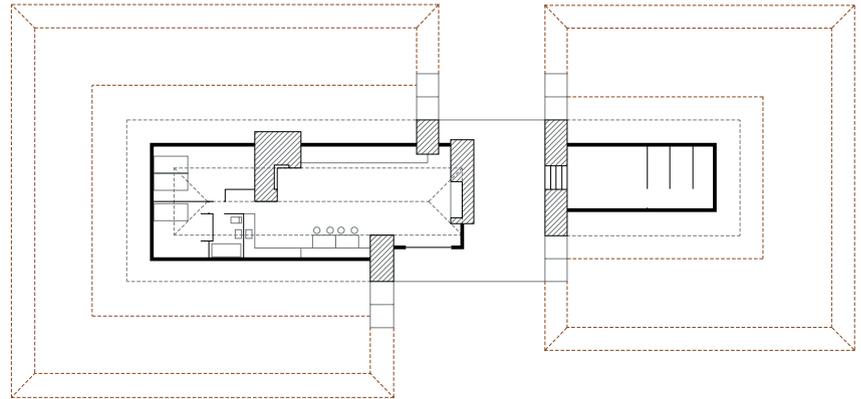


figura 3.47

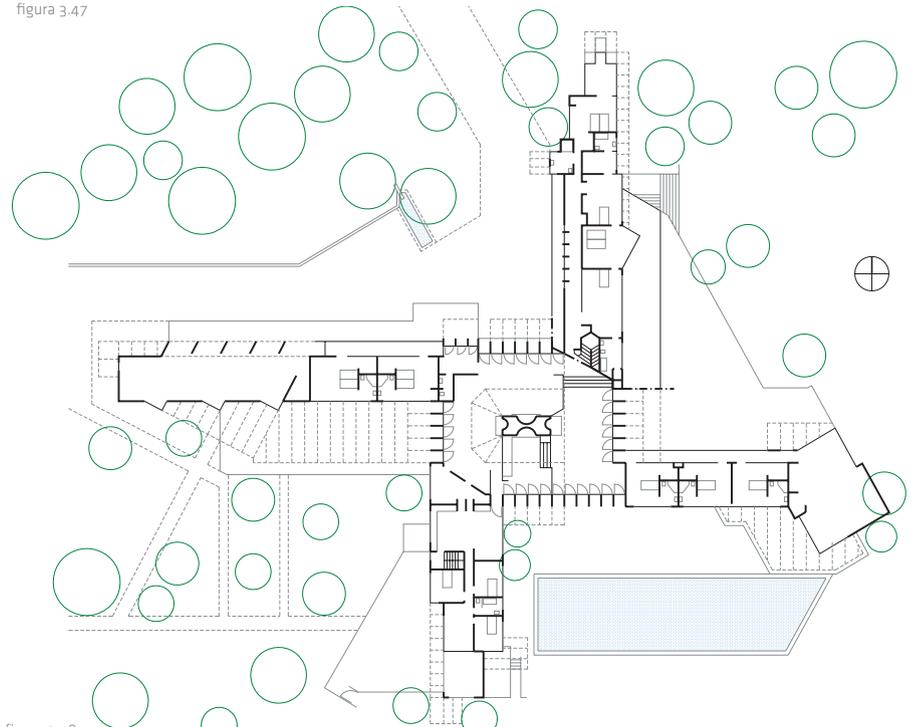


figura 3.48

**Fig. 3.46 - 3.47.** Cooperativa Homesteads. Detroit, Michigan. Frank Lloyd Wright. 1942  
**Fig. 3.48.** Casa H. F. Johnson, Windpoint. Wisconsin, EE. UU. Frank Lloyd Wright. 1937

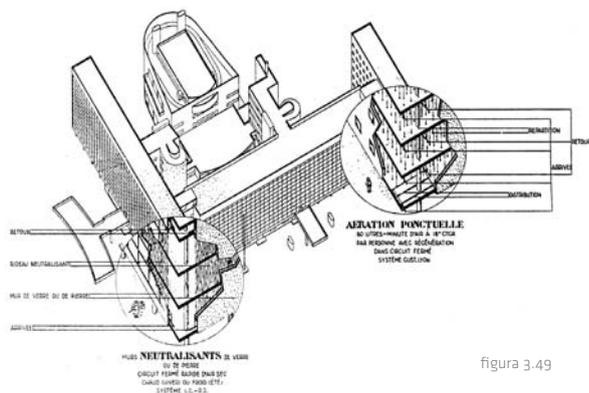


figura 3.49

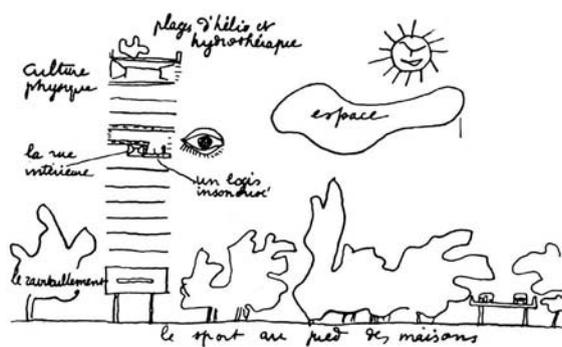


figura 3.50



esquema de un 4<sup>o</sup> sur le plan

figura 3.51

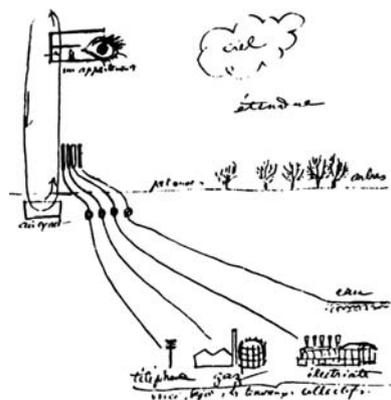


figura 3.52

Arquitectos como **Walter Gropius** desde la Bauhaus o **Alexander Klein** contribuyeron a la difusión del ideario higienista en Europa y, tras la segunda guerra mundial, en Estados Unidos, adoptando con frecuencia posturas de confrontación con la naturaleza y obviando cualquier tipo de variante edificatoria regional.

El movimiento moderno marca el inicio de dos visiones de la arquitectura divergentes: por un lado aquellas que, siguiendo la filosofía positivista de confianza ciega en la tecnología, apuestan por un distanciamiento del entorno cada vez mayor, dejando el confort térmico en manos de los sistemas artificiales. Por otro lado, aquellas posturas arquitectónicas que continuaron valorando el contacto con el entorno y las ventajas psicológicas y ambientales que ello comporta.

La técnica y la naturaleza serán temas recurrentes en **Le Corbusier**, tanto en su sentido más sublime como fuerza creadora opuesta a la obra del hombre, como en un sentido más social, regenerador de la moral de este.

Ábalos y Herreros<sup>(8)</sup> destacan la importancia del cambio conceptual que supone la aparición del muro cortina de vidrio promovido por Le Corbusier. La reducción del muro masivo tradicional al cerramiento continuo de vidrio plantea un cambio radical en la percepción del espacio interior y nuevas posibilidades de expresión formal. La pérdida de capacidad de regulación térmica en este tipo de fachadas, fuerza paralelamente la aparición y el desarrollo de nuevas técnicas de acondicionamiento artificial.

En 1925, con el proyecto de rascacielos cruciforme del Plan Voisin, Le Corbusier inicia una investiga-

ción en torno al potencial del cerramiento continuo de vidrio.

El llamado **muro neutralizante** pretendía el ideal racionalista de universalidad, un edificio indiferente al clima y su orientación. Estaba formado por dos hojas de vidrio entre las cuales circularía "aire puro a temperatura constante y humedad regulada"<sup>(9)</sup>. El objetivo de la llamada "casa de respiración exacta" era mantener el interior del edificio a una temperatura constante de 18°C mediante la interposición de dicho colchón térmico.

"En estos momentos de difusión de técnicas científicas internacionales yo propongo: una casa única para todos los países... El hogar ruso, el parisino, en Suez o Buenos Aires. El trasatlántico de lujo que cruza el ecuador estará herméticamente cerrado. En invierno hace calor dentro, en verano fresco, lo

Fig. 3.49. Palacio de los Soviets. Moscú. URSS. Le Corbusier. 1928. Fig. 3.50. Propuesta de muro neutralizante. Le Corbusier. 1925. Fig. 3.51 - 3.52. Esquema de la *unité d'habitation*. Marsella. Francia. 1946. Confrontado al esquema conceptual del muro neutralizante (1925)

cual significa que en todo momento hay aire limpio en el interior, exactamente a 18°C... un buen día esta verdad aparece: una ventana hecha para dar luz, y no para ventilar! Para ventilar empleemos los aparatos de ventilación; es mecánica, es física.”

Le Corbusier<sup>(10)</sup>

El muro neutralizante fue de nuevo planteado en el concurso no ganado de la asamblea de las naciones de Ginebra (1927) y en el proyecto del Centrosoyuz en Moscú (1928), en donde no fue construido en este caso por razones económicas y técnicas.

Pese a que **Le Corbusier** abandonó esta línea de investigación tendiendo hacia modelos más sencillos y más acordes con la tecnología disponible, quedó a partir de ese momento planteado el concepto de doble piel, adelantándose muchas décadas a los complejos sistemas de doble muro cortina actuales. Con el desarrollo de estos sistemas, se ha podido comprobar (como no podía ser de otra forma en la primera conceptualización de una idea tan compleja) la ingenuidad técnica de la solución al no tener en cuenta consideraciones tales como la pérdida de calor por transmisión del vidrio exterior, la protección solar o las turbulencias generadas por el propio movimiento del aire en el interior de la cámara.

El primer proyecto construido con fachada continua de vidrio fue el pabellón suizo en la ciudad universitaria de París (1930-1932). El edificio alojaba a la comunidad de estudiantes suizos, ofreciendo al campus una serie de espacios comunes de relación universitaria.

Se resuelve por medio de un paralelepípedo elevado sobre pilotis orientado según su eje este-oeste. Un volumen de forma más libre articula el programa de servicios comunes en planta baja. La escalera y el ascensor se alojan en un cuerpo adosado a la fachada norte. Las habitaciones se abren completamente a la fachada sur quedando los espacios de circulación en la fachada norte, resuelta con muchas menos aberturas.

La fachada vítrea de las habitaciones abandona el sistema de doble hoja como canalizador sellado de aire acondicionado. En esta ocasión cada habitación consta de ventanas para proveer de la necesaria ventilación. Pese a la simplificación técnica, el sistema sigue adoleciendo de graves problemas de sobrecalentamiento.

La solución definitiva llega en 1938 en el proyecto de rascacielos lenticular para la ciudad de Argel mediante la incorporación del *brise-soleil*. Con él se abandona la línea de investigación basada en la mecanización del ambiente interior retomándose los caminos del acondicionamiento natural.

El **brise-soleil** es, en esencia, un cambio de escala de la celosía tradicional mediterránea. Consiste en una serie de profundas pantallas de hormigón construidas a cierta distancia de la hoja de vidrio, que la protege del sol en verano, permitiendo en cambio el soleamiento interior en invierno. Este elemento no coarta la permeabilidad de la fachada a las brisas y permite la incorporación a la vivienda de un espacio exterior habitable.

La potencia formal de este elemento traerá consigo algunos conflictos. Al convertirse en el elemento ordenador de la fachada su modulación no siempre responde a las recomendaciones de la geometría solar, convirtiéndose en poco efectivo al oeste y redundante en la fachada norte.

Por otro lado, si bien la radiación directa puede no alcanza el vidrio, la radiación interceptada calienta la protección solar, elevando la temperatura del aire que circula a través del edificio.

La Unité d'Habitation de Marsella (1946 -1952) fue un prototipo de vivienda social revolucionario. El planteamiento urbanístico se basa en la concentración de viviendas en bloques de volumen rectangular elevados sobre pilotis como contraposición al crecimiento extensivo de bloques bajos. Se pretende reducir el impacto de la edificación en el territorio proporcionando a todas las viviendas un fácil acceso al sol y a las brisas.

Un corredor central cada tres plantas da acceso a los dúplex. Esta ingeniosa organización consigue reducir la superficie de los espacios de acceso a la vez que permite que cada unidad se abra a las dos fachadas principales del bloque. La ventilación está asegurada por la propia forma e implantación del edificio, por el tipo de unidad (que permite abrir ventanas a dos fachadas con muy distinta presión de viento) y por la ventilación por diferencia de temperaturas (que se establece gracias a la comunicación en sección de los espacios del dúplex).

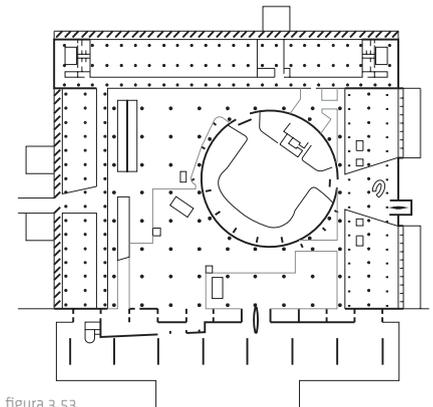


figura 3.53



figura 3.54



figura 3.55

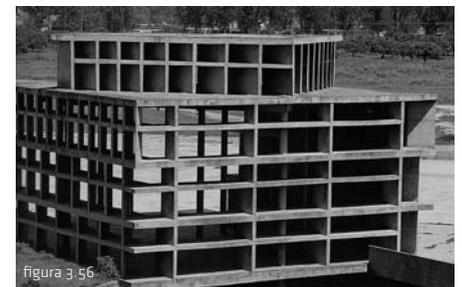


figura 3.56

Fig. 3.53 - 3.54. Palacio de la Asamblea. Chandigarh. India. Le Corbusier. 1953-1961. Fig. 3.55. Palacio de Justicia. Chandigarh. India. Le Corbusier. 1951-1955  
Fig. 3.56. Torre de los vientos. Chandigarh. India. Espacio exterior de meditación. Le Corbusier. 1961

Las fachadas, orientadas a este y a oeste, están protegidas del sol estival (con escaso éxito) por medio del *brise-soleil*.

La ciudad de Chandigarh fue construida a partir de 1950 como la nueva capital del Punjab indú.

Es el único proyecto urbanístico a gran escala construido por Le Corbusier. Si bien conceptualmente sigue –al igual que la ciudad para 3.000.000 de habitantes y la Ville Radieuse– íntimamente ligada a la figura del automóvil, la formalización de sus edificios es radicalmente distinta a las propuestas precedentes.

El escaso nivel de desarrollo de la industria india obligó a un diseño condicionado por la capacitación de los obreros y las técnicas constructivas locales. Ante la imposibilidad de instalación de aire acondicionado una de las premisas básicas fue el acondicionamiento natural de los edificios. Como consecuencia de ello todos los edificios de Chandigarh, desde su implantación, pasando por su estructura interior, hasta la formalización de sus detalles constructivos, están indiscutiblemente influenciados por el clima local.

Así lo corrobora Kenneth Frampton<sup>(11)</sup> al describir cómo los enormes edificios del conjunto capitolino se estructuran mediante el empleo de sistemas tectónicos basados en principios climáticos perfeccionados por Le Corbusier en la India: el parasol,

la doble cubierta, las chimeneas, la bóveda hiperbólica y, por supuesto, el *brise-soleil*. Todos estos elementos se explotan formalmente creando loggias, galerías, cavidades o pórticos. Los distintos tipos de pantallas de hormigón se oradan formalizándose empotradas, adosadas o suspendidas y enriqueciendo en gran medida la rigidez del planteamiento inicial.

Como complemento a la sombra y las brisas Le Corbusier emplea profusamente el agua como estrategia autóctona de refrigeración, exhibiendo en muchos casos el recorrido y vertido de esta en las láminas de agua que sitúa frente a los edificios. El Tribunal de Justicia es un paralelepípedo construido bajo lo que Frampton llama el *hall de brisas*: un enorme captador de viento que delimita un espacio permeable protegido del sol y las lluvias monzónicas.

El Palacio de la Asamblea se organiza por medio de tres bloques que rodean el hemiciclo. Un pórtico ocupa la cuarta fachada y es el encargado de captar las brisas en verano. De esta forma la envolvente de la sala de asambleas y sus espacios exteriores de relación y estancia quedan perfectamente protegida de la radiación y las lluvias.

La propia forma de cono truncado de la sala de asambleas activa la ventilación natural por diferencia de temperaturas asegurando la refrigeración en caso de ausencia de viento.

El Secretariado es un paralelepípedo de 254 m de longitud encarado a las brisas y formado por la unión de seis edificios de oficinas unificados por medio de un *brise-soleil* continuo. Existe un único módulo de ventana en todo el edificio dividido en dos partes que van de suelo a techo.

La primera, el *ondulatoire*, es un vidrio fijo de 27x366 cm que permite la entrada de la luz natural. El *aérateur* en cambio, de 43x366 cm, consiste en un panel metálico abatible instalado frente a una mosquitera de cobre que permite la ventilación de la estancia. La abertura del *aérateur* puede graduarse entre 1 mm y 23 cm para ajustar el flujo de aire deseado.

Como todos los edificios construidos por él en el país, la Villa Shodhan situada en Ahmedabad, está perfectamente adaptada a las condiciones climáticas de calor y humedad indias.

Le Corbusier estudió las miniaturas de los palacios mongoles para diseñar las terrazas a varios niveles y las galerías individuales frente a cada dormitorio. Se ha llegado a establecer también un paralelismo entre la Villa Shodhan y la villa tradicional hindú. Ambas presentan una distribución irregular y abierta de las estancias. Los espacios a doble altura situados tras la pantalla encuentran sus homólogos en los patios frescos columnados tradicionales del país.

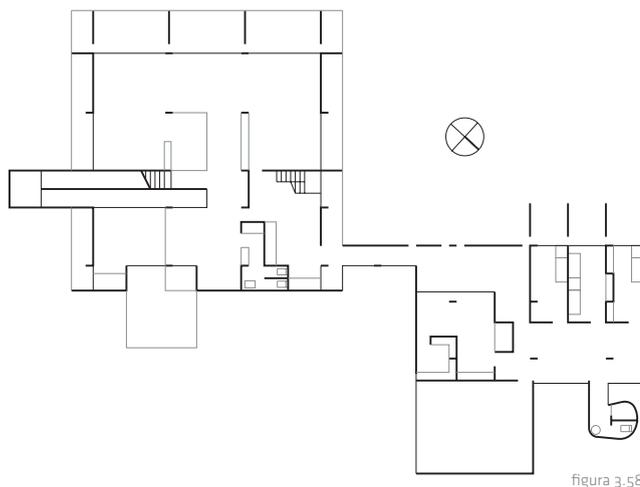
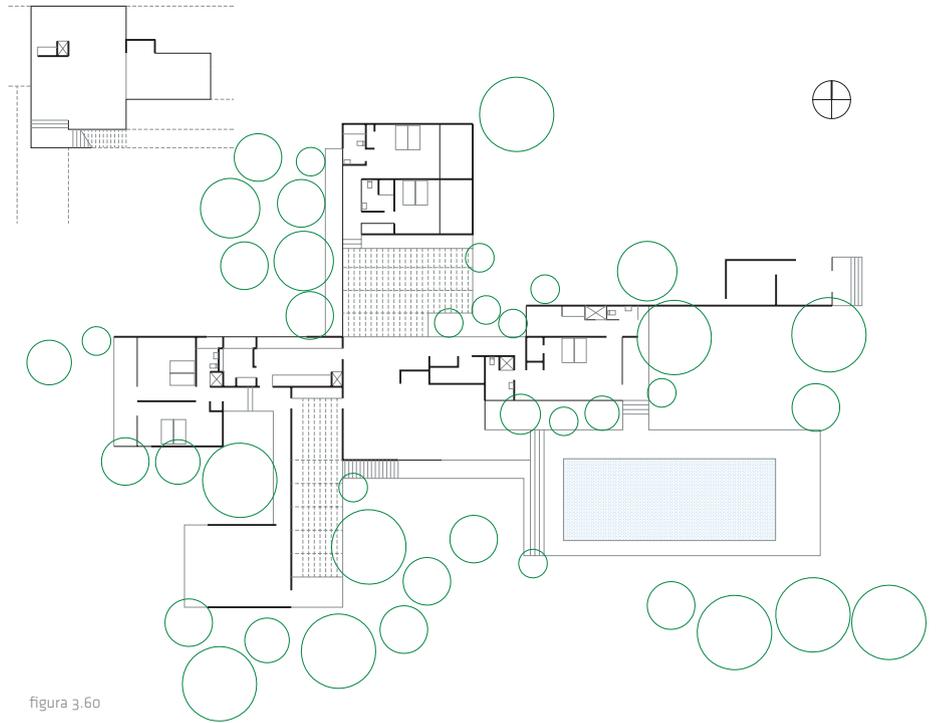


Fig. 3.57 - 3.58. Villa Shodhan. Ahmedabad. India. Le Corbusier. 1956



**Fig. 3.59.** Benedict and Nancy Freedman House. California. EE. UU. Richard Neutra. 1949  
**Fig. 3.60 - 3.62.** Edgar J. Kaufmann House. California. EE. UU. Richard Neutra. 1946



figura 3.63

Argumentándose en Le Corbusier o la arquitectura de **Richard Neutra**, el crítico Kennet Frampton<sup>(12)</sup> justifica su oposición al extendido rechazo del Estilo internacional por su pretensión de universalidad. Según el autor, tras la aparente homogeneidad se ocultan una gran cantidad de alteraciones estilísticas en función de las variantes y climas locales.

Richard Neutra estuvo poco interesado por las tendencias de la moda arquitectónica. A lo largo de toda su obra el objetivo fundamental de Neutra fue siempre conseguir el bienestar físico y psicológico de las personas que ocupaban sus edificios.

Levantó gran parte de sus edificios en California, desde donde influyó a toda una generación de arquitectos a partir de la construcción de la casa Lowel (1927-1929). Su arquitectura está muy ligada a la reflexión acerca de los nuevos métodos de producción industrial y al sistema constructivo estadounidense, basado más en la construcción seca y el montaje que en la arquitectura muraria propia de las tradiciones europeas.

La relación de sus edificios con la naturaleza no fue nunca de oposición o contraste. Gracias a las bonanzas del clima mediterráneo californiano, Neutra buscó en todo momento la integración con el entorno por medio de la vegetación, el agua, los patios y múltiples espacios de transición, con un lenguaje inequívocamente contemporáneo.

La llamada Kaufman Desert House construida en Palm Springs (1946-1947) es una de las obras más reconocidas del autor. La planta, estructurada en cuatro pabellones dispuestos en aspa, se abre al paisaje en todas direcciones.

La relación con el exterior puede establecerse desde cada una de las piezas de forma directa o a través de espacios de transición sombreados y refrigerados por la vegetación o el agua. De esta forma se permite la apertura selectiva de las estancias en función de las condiciones exteriores.

La planta superior es ocupada por un pabellón que, gracias a un sistema de lamas de aluminio, permite abrir completamente la estancia a las brisas manteniendo la protección solar, o protegerla en el caso de que se produzcan tormentas de arena.



figura 3.64



figura 3.65

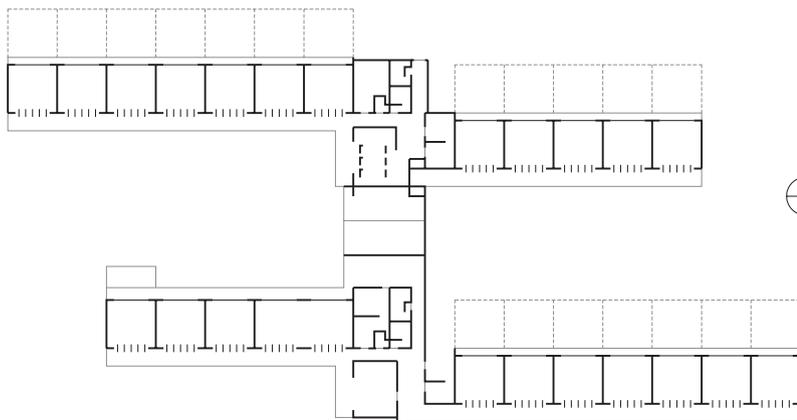


figura 3.66

**Fig. 3.63.** Bekey Factory. Los Angeles. EE. UU. Richard Neutra. 1946  
**Fig. 3.64.** Prototipos de escuelas rurales. Puerto Rico. EE. UU. 1943 - 1945  
**Fig. 3.65.** Escuela Corona. Los Ángeles. EE. UU. Richard Neutra. 1935 **Fig. 3.66.** Escuela Kester, Los Ángeles. EE. UU. Richard Neutra. 1951

En este caso, la dureza del clima desértico obliga a Neutra a pensar en un sistema mixto de climatización. Las grandes aberturas y el alto factor de forma de la vivienda fomentan la ventilación natural. En épocas de temperaturas extremas la refrigeración obtenida a través de patios vegetados se complementa con un sistema de suelo radiante.

Cabe remarcar que la obra de Richard Neutra no está exenta de ciertas “contradicciones energéticas”. La arquitectura de grandes paños de vidrio obtiene gran permeabilidad al aire pero provoca a cambio la entrada de gran cantidad de radiación –cuando menos difusa– en la vivienda. El estudiado diseño de las aberturas de ventilación como el de la casa Tremaine (1947-1949), en la cual las corrientes que inciden directamente sobre los forjados de hormigón para permitir la acumulación de energía mediante refrigeración nocturna, o las frecuentes cubiertas estanque situadas frente a grandes ventanales, revelan un interés por los sistemas de acondicionamiento pasivo.

Sorprendentemente, en estas mismas viviendas Neutra instala con frecuencia sistemas de suelo radiante en las terrazas. Esta situación aparentemente incongruente pudo ser producto del reducido coste de la energía en EE. UU. En todo caso, gracias a dicha circunstancia, es posible aventurar que el uso de sistemas pasivos no se justifica en criterios de ahorro energético (traducido en dólares) sino que dichas soluciones se encaminan a la obtención de una mayor habitabilidad.

Entre 1943 y 1945 Neutra fue nombrado director del plan del Departamento de Estado que pretendía luchar contra el hambre y el subdesarrollo en Puerto Rico, por aquel entonces recientemente convertido en protectorado de EEUU. Allí coordinó el diseño de cerca de 150 escuelas rurales y otros tantos hospitales. Durante dicho período el reto del autor fue la adaptación de su arquitectura al clima y tradiciones locales, así como la estandarización y la racionalización de los métodos de construcción empleados.

Las escuelas constituían versiones depuradas de sus primeros prototipos de edificios públicos ensayados en los años 30, en los que cada aula estaba iluminada y ventilada por dos de sus fachadas y se abría completamente a un patio para permitir el desarrollo de las clases al aire libre.

La mayoría de ellas fueron construidas en obra de fábrica con el objetivo de minimizar costes de mantenimiento con un cuidadoso control de la protección solar, la ventilación cruzada y la iluminación natural. Todos los edificios proyectados son de planta estrecha y alargada, con grandes aleros y frecuentemente cerrados únicamente por medio de celosías móviles y persianas.

Las conclusiones de sus investigaciones en Puerto Rico se exponen en el libro *The Architecture of Social Concern in Regions of Mild Climate*, escrito tras su retorno a EE. UU.

**Kahn** recibe en 1959 el encargo de realizar la cancellería de Estados Unidos en Luanda, Angola. Las directrices del Departamento de Estado recomendaban reflejar en sus edificios las condiciones locales de los países en los que eran implantadas sus embajadas.

El edificio se concibe como un volumen de dos plantas protegido del clima desértico por una segunda piel que lo envuelve completamente. El centro del edificio se vacía para albergar el pórtico de entrada, los espacios de circulación y una gran escalera. Las distintas dependencias se reparten a ambos lados del eje de simetría. Este vaciado central junto con la construcción de los muros que delimitan la corona exterior permite desdibujar y manipular los límites del edificio a través de sugerentes espacios de transición y evitando en todo momento una relación directa del espacio interior con el entorno.

La construcción de un muro perforado frente a las fachadas exteriores permite la iluminación indirecta que elimina el deslumbramiento producido por la intensa luz.

La ventilación se produce siempre a través de los espacios de transición profusamente perforados para permitir la entrada del aire.

La cubierta es el elemento formal más característico del edificio. Esta se utiliza para restablecer el carácter unitario del conjunto a la vez que sombrea el espacio inferior. Construida con perfiles en “U” fijados sobre grandes vigas protege de la radiación permitiendo su refrigeración y la evacuación del aire caliente.

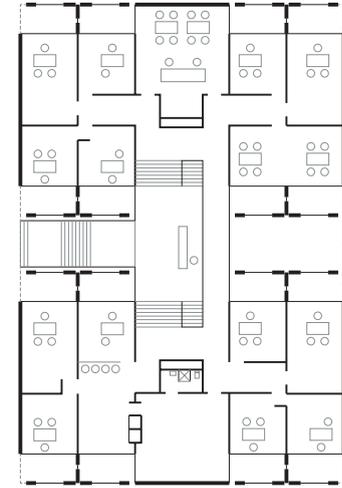


figura 3.67

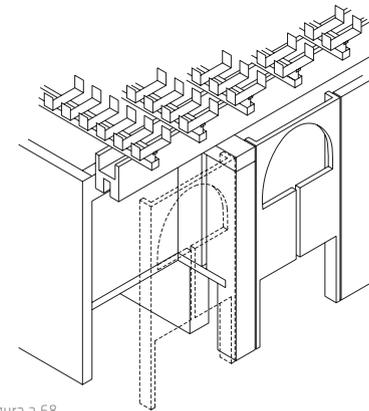


figura 3.68

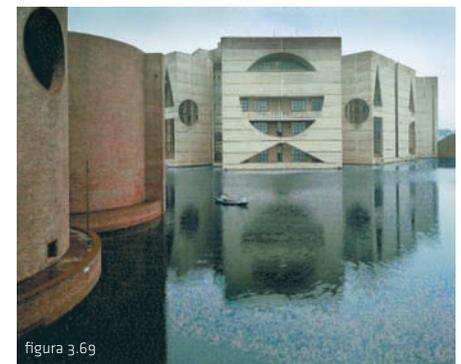


figura 3.69

Fig. 3.67 - 3.68. Embajada en Luanda, Angola. Louis Kahn. 1959-1961

Fig. 3.69. Asamblea nacional de Bangladesh, Bangladesh. Louis Kahn. 1974



figura 3.70

"He observado algunos edificios conscientes del calor generado en las cubiertas... Estos cuentan con grandes separaciones entre el forjado y las cubiertas... pequeñas aberturas visibles desde el exterior a través de las cuales la brisa puede entrar y ventilar el espacio entre el forjado y la cubierta plana. Y he pensado en lo maravilloso que sería separar los problemas generados por el sol y la lluvia. Se me ocurrió construir una protección exclusivamente para el sol y otra puramente para la lluvia. Las coloqué separadas seis pies... La protección solar actúa como aislamiento por lo cual puedo eliminar completamente el aislamiento de la cubierta pluvial".

Kahn<sup>(13)</sup>.

Louis Kahn proyectó, al igual que Le Corbusier varios edificios en el subcontinente Indio. Entre 1965 y 1974 construye el palacio de la Asamblea de Dacca (Bangladesh), considerada su última gran obra. El proyecto explora de nuevo la idea de la construcción de un edificio dentro de otro como respuesta al clima subtropical, caracterizado por la fuerte radiación solar y los vientos y lluvias monzónicas.

El edificio está estructurado por una pieza central de volumen circular que alberga la asamblea y una serie de volúmenes de menor dimensión que se ordenan alrededor de este, generando un espacio intersticial sombreado de estancia y circulación. Las fachadas ciegas se perforan con grandes aberturas

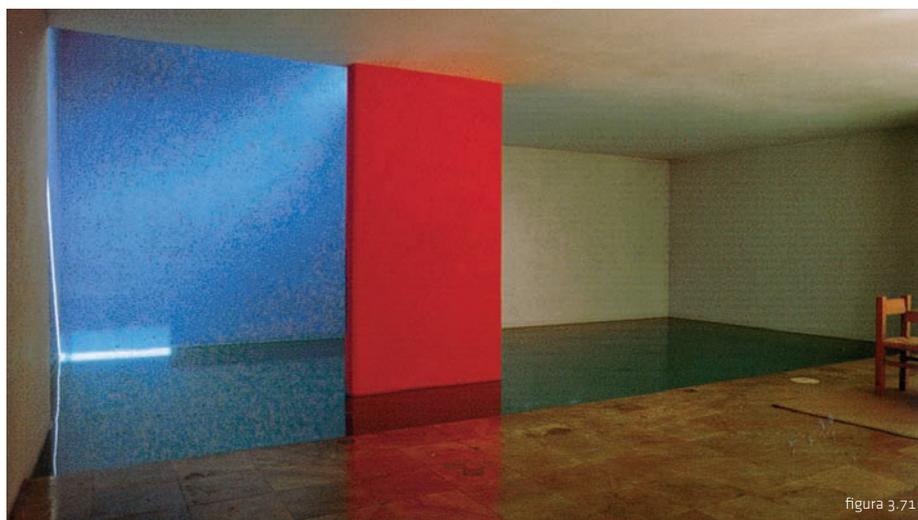


figura 3.71

de formas geométricas puras para permitir el paso del aire a través de todo el edificio. El éxito de esta estrategia queda demostrado ante la ausencia de aire acondicionado en todo el complejo.

### 3.15. REGIONALISMO CRÍTICO

Regionalismo crítico es el término con el que bautizó el crítico Kenneth Frampton<sup>(14)</sup> a aquellas escuelas que fueron capaces de adaptar los principios de racionalidad del movimiento moderno a la tradición y clima particular de sus regiones.

En Cataluña este fenómeno de revisión produce piezas de arquitectura doméstica de especial interés. Destacan arquitectos como **José Antonio Coderch**, **Antonio Bonet** o **Josep María Sostres**. Su arquitectura, además de ser absolutamente de vanguardia, está cargada de referencias a la tradición constructiva mediterránea. Conceptos extraídos de la arquitectura popular como la luz, la intimidad, la protección solar o la ventilación, son reinterpretados e incorporados a su vocabulario con completa naturalidad.

En el ámbito internacional esta corriente coincide con los arquitectos de la llamada tercera generación. Estos rechazan el concepto de la vivienda como máquina de habitar, recuperando los valores y los condicionantes locales del lugar en el que construyen; su tradición cultural y constructiva.

Entre estos autores interesa destacar la obra de los arquitectos Luis Barragán (México), Raúl Villanueva (Venezuela), Paulo Mendes da Rocha (Brasil), Charles Correa (India) o Hassan Fathy (Egipto).

**Luis Barragán** fue gran admirador de la arquitectura popular mediterránea, sobre todo aquella de Andalucía, del Egeo Griego y del norte de África.

Su arquitectura, que parte de los tipos y formas populares, va depurándose hasta llegar a sus famosos volúmenes abstractos de planos de "color texturado".

A lo largo de esta evolución estética no pierde la esencia de sus referencias populares. Sus edificios y jardines son ricos en sombras, vegetación, láminas de agua y fuentes que dulcifican el duro clima mexicano.

La envolvente siempre tamiza o refleja la luz antes de entrar en el espacio interior, abriendo aberturas, persianas o celosías por donde pueda acceder el aire fresco del jardín. La construcción de gruesos muros y volúmenes interiores generosos aísla el interior del calor. Todos estos aspectos son cómplices a la hora de conseguir una arquitectura que infunda paz, destinada a sentir y pensar<sup>(15)</sup>.

Fig. 3.70. Celosía tras estanque. Capilla de Tlalpan. México. Luis Barragán. 1952-1955  
Fig. 3.71. Casa Gilardi. Tacubaya. México. Luis Barragán. 1978

**Raúl Villanueva** es el mayor exponente de la adaptación de los preceptos de la arquitectura moderna a la tradición autóctona y colonial venezolana, buscando la integración de las artes plásticas en la arquitectura, con una voluntad de resolución a través del proyecto arquitectónico de los problemas de confort propios del clima tropical.

Villanueva es conocido internacionalmente por su proyecto de ordenación de la Ciudad Universitaria de Caracas, de la cual es autor de gran parte de sus edificios (1944-1970). El conjunto asume el ideario moderno de edificios exentos y organización abierta a la vez que incorpora elementos propios de climas cálidos como patios, plazas o vegetación. Destacan sobre todo la definición de los espacios peatonales entre edificios. Estos, protegidos de la radiación solar mediante pérgolas y celosías, asumen la función de transición entre interior y exterior con el objetivo de fomentar la estancia y la relación de la comunidad universitaria. Unificados

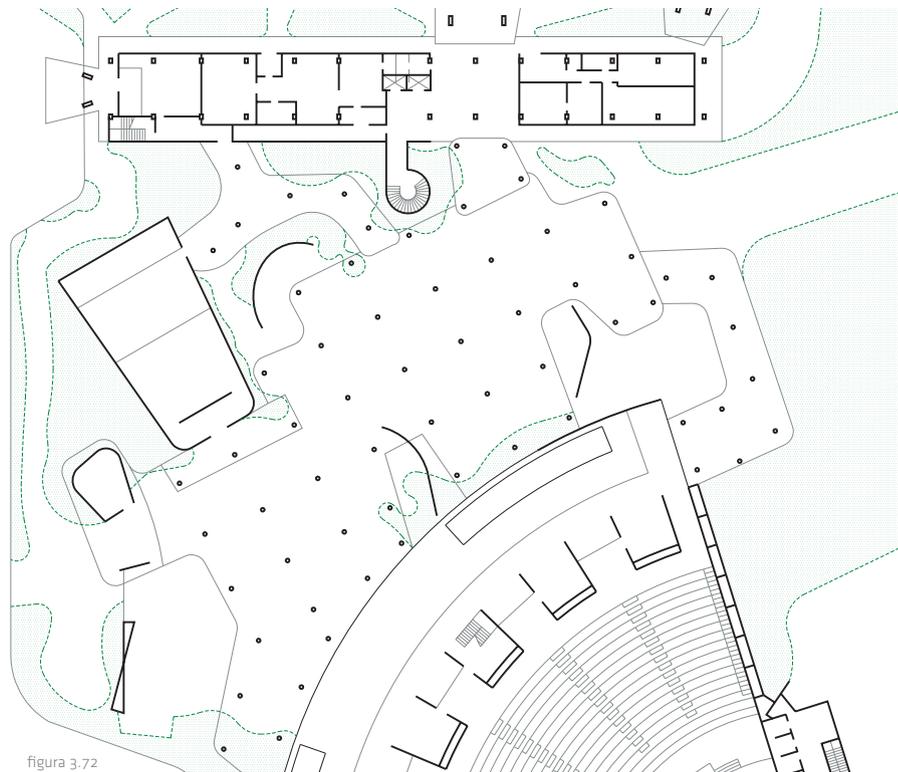


figura 3.72

**Fig. 3.72.** Universidad de Caracas, Venezuela. Conjunto central. Raúl Villanueva. 1952/1953

**Fig. 3.73 - 3.75.** Universidad de Caracas, Venezuela. Recorridos cubiertos, Raúl Villanueva. 1952/1953

a través del hormigón, actúan como elemento ordenador de todo el conjunto marcando recorridos, cubriendo plazas, rodeando patios y estanques o extendiéndose para remarcar los accesos. La ausencia de fachadas en estos enormes porches y la inserción de abundante vegetación y láminas de agua fomentan los mecanismos de refrigeración y con ello su habitabilidad y su disfrute.

**Paulo Mendes da Rocha** aplica en Brasil los fundamentos del regionalismo crítico con un lenguaje personal y brutalista, heredero de las últimas obras de Le Corbusier, de Oscar Niemeyer o de Joao Vilanova Artigues.

Su arquitectura se caracteriza por la contundencia de volúmenes horizontales y simples de hormigón frecuentemente elevados sobre el terreno que liberan bajo la construcción grandes espacios sombreados.

La radicalidad y contundencia formal de sus planteamientos no relega a un segundo plano los condicionantes de iluminación y refrigeración natural conseguida a partir de un proceso de sustracción y oradado de fachadas, suelos y techos.

El barrido interior del aire queda asegurado en todo momento gracias a la exposición del volumen a las brisas, a las grandes aberturas y a las distribuciones no compartimentadas, con paramentos y carpinterías permeables.

La exuberante vegetación y las láminas de agua apoyan el efecto refrigerante de la ventilación mientras la inercia térmica del hormigón permite la acumulación de frigerias y el aislamiento del calor exterior. Todos estos conceptos se aplican de un modo similar en programas residenciales, culturales o educativos.



figura 3.73



figura 3.74



figura 3.75



figura 3.76

La **escuela infantil de San Bernardo** es básicamente una gran cubierta protectora bajo la cual se mezclan los espacios de juego y relación con los espacios semiabiertos de las aulas y actividades comunes. La implantación del edificio aprovecha el desnivel del terreno para captar las brisas que circulan libremente por el interior tras forzar su refrigeración adiabática.

La necesidad de reclamar la aplicación de criterios y técnicas constructivas locales en países en vías de desarrollo es en cierto modo una paradoja.

La pérdida de la tradición constructiva de las grandes masas de población desplazadas a ciudades como Lima, México o El Cairo y la sustitución de estas por subproductos industrializados de bajo coste provoca un deterioro del hábitat, tanto más patente cuanto más severo es el clima.

Una vez que la situación económica lo hace posible y las poblaciones se consolidan, la falta de referentes provoca en muchos casos la construcción de viviendas inhabitables. Las técnicas refrigerativas basadas en el movimiento del aire se fundamentan más en la aplicación de criterios que en la utilización de determinados materiales por lo que su aplicación es fácilmente "recuperable".

Hassán Fathy y Charles Correa son los principales valedores de esta teoría que no inventa o importa nuevas técnicas sino que incide en la recuperación de los fundamentos "olvidados" de la arquitectura popular.

Sus experiencias constructivas demuestran que mecanismos de refrigeración basados en el movimiento de aire permiten habitar climas tan exigentes como el egipcio o el indio sin necesidad de alta tecnología.

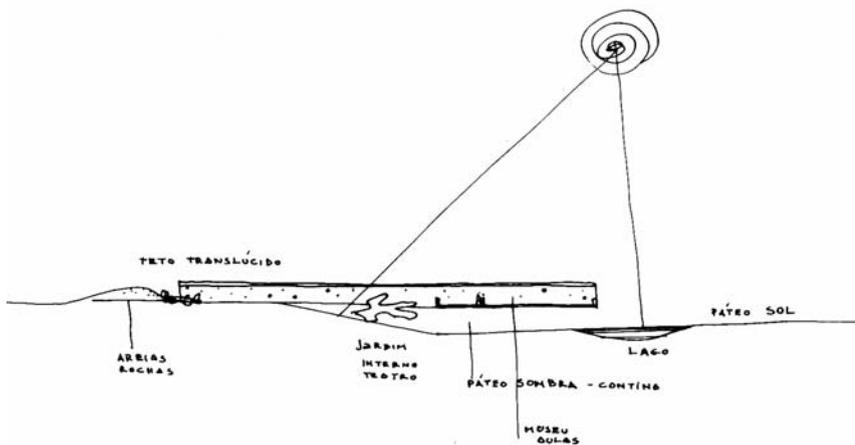


figura 3.77

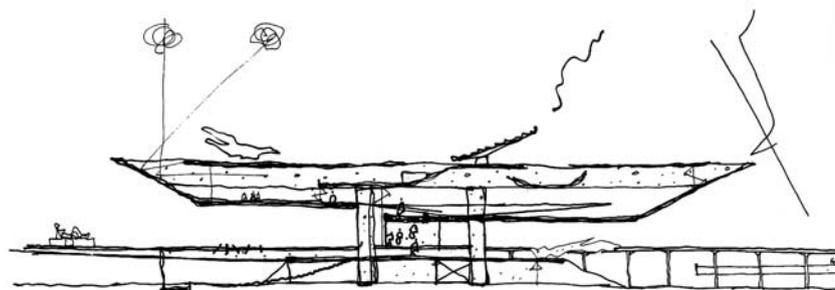


figura 3.78

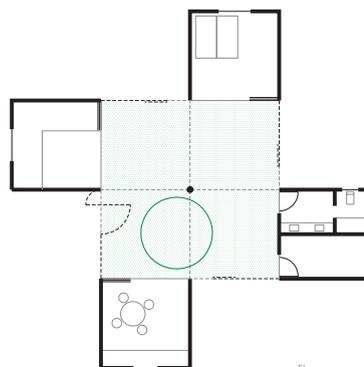


figura 3.79

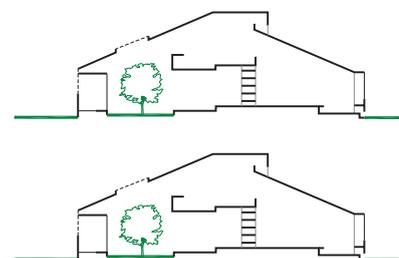


figura 3.80

Fig. 3.76 - 3.77. Centro de educación infantil. San Bernardo de Campo. Brasil. Paulo Mendes da Rocha. 1972

Fig. 3.78. Museo de arte contemporáneo. Sao Paulo. Brasil. Paulo Mendes da Rocha. 1975

Fig. 3.79. Sen House. Calcuta. India. Charles Correa. 1959-1961. Fig. 3.80. Casa Tubo. Ahmedabad. India. Charles Correa. 1961-1962



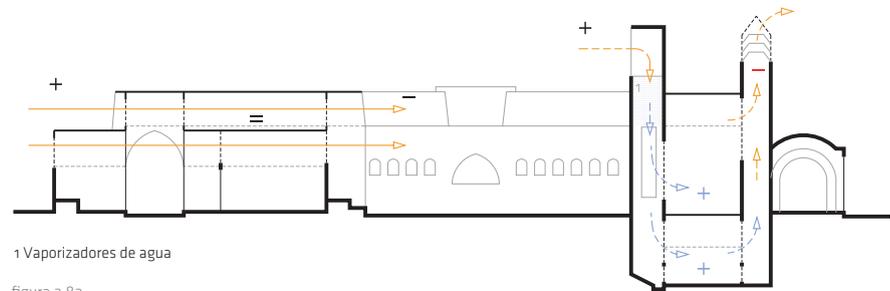
Es necesario aprender de dichas experiencias y trasladarlas a países desarrollados de climas templados en donde una mal entendida evolución del bienestar, errores de diseño o patrones de uso erróneo han sustituido estrategias de acondicionamiento natural por sistemas de acondicionamiento artificial del todo prescindibles en gran parte de los casos.

**Charles Correa** es un interesante contrapunto asiático a la arquitectura elitista y supuestamente ecológica de las grandes multinacionales cuyas respuestas al clima local están invariablemente basadas en un gran despliegue de alta tecnología a costa de grandes costes y consumo de recursos.

“En países del tercer mundo, como la India, no es posible malgastar la energía necesaria para construir –y acondicionar– una torre de cristal en un clima tropical. Esto es, por supuesto, una ventaja ya que significa que el edificio por sí mismo, a través de su forma, crea los “controles” que necesitan los usuarios. Dicha respuesta requiere mucho más que el estudio de los ángulos solares, debe involucrar la sección, la planta, la envolvente, en suma, el corazón del edificio.”

Charles Correa<sup>(16)</sup>.

Correa sostiene que la arquitectura debe ser reflejo del uso que hacen de ella sus ocupantes a la vez que recuerda que la relación que se establece con la forma construida en los climas cálidos nada tiene que ver con el uso que de ella se hace en climas más fríos. En la India, donde las suaves temperaturas permiten prácticamente la vida al exterior, la construcción más repetida es el chatri: una cubierta o pabellón abierto como única protección.



La agregación y la manipulación de este tipo es el germen de sus proyectos iniciales como el Memorial Mahatma Gandhi en Ahmedbad. En él, una malla ordenadora de pabellones piramidales va alojando el programa. Las omisiones en la trama generan patios. El movimiento del aire es libre bajo los espacios sombreados o es canalizado por paneles o muros.

La Sehn House se organiza por medio de una pérgola que cubre el espacio central. Este es rodeado por cerramientos permeables y cuatro volúmenes construidos que albergan el resto del programa habitable. De esta forma el espacio común de estancia es barrido por las corrientes de aire de cualquier dirección.

La Tube House es un prototipo de vivienda adosada de bajo coste. Las unidades se desarrollan a partir de un volumen interior libre de muros divisorios que van creando, a través de desniveles, distintos espacios de uso polivalente. El único espacio compartimentado es el cuarto higiénico.

Las aberturas están estudiadas para permitir la privacidad y la seguridad sin por ello comprometer la ventilación cruzada por presión dinámica del viento o por diferencia de temperatura.

**Hassán Fathy** se manifiesta igualmente convencido de la necesidad de una arquitectura social basada en los condicionantes culturales y climáticos en las que esta se ubica. Fathy se declara en contra de la importación inconsciente e irresponsable de formas y tecnologías de países desarrollados. La importación de modelos arquitectónicos genera una arquitectura ajena al contexto que impide su adap-

tación al medio y la apropiación por parte de sus usuarios. La importación de tecnología o métodos constructivos propios de países industrializados no solo no genera riqueza ni proporciona trabajo a los operarios y artesanos locales, sino que dificulta el mantenimiento del edificio y sus probables reparaciones o ampliaciones, creando una fuerte dependencia durante toda la vida útil de este.

Gracias a un interesante trabajo en esta dirección actualiza y reinterpreta gran parte de los componentes y sistemas tradicionales de acondicionamiento natural de clima cálido seco.

La nueva comunidad de New Bariz es un interesante ejemplo de su trabajo. En 1966 el gobierno egipcio estudia la implantación de nuevas poblaciones cercanas a las principales reservas de agua. El proyecto de New Bariz preveía la construcción de viviendas para 250 familias con sus correspondientes infraestructuras y equipamientos. Fathy, tras un estudio de los asentamientos típicos del clima desértico, optó por un urbanismo de alta densidad para proveer de sombra a edificios y calles.

Los esquemas tipológicos de las viviendas autoconstruidas se originaban a partir de pequeños patios porticados con gran riqueza de espacios interiores y exteriores de uso flexible en función de la época del año. Tanto en las viviendas como en los edificios públicos Fathy incluye múltiples sistemas de refrigeración pasiva.

En el edificio destinado al mercado local, el esquema organizativo está íntimamente ligado al desarrollo de la sección, donde una serie de captadores inducen al aire fresco y libre de arena a atravesar el

Fig. 3.81 - 3.82. Mercado de New Bariz. Egipto. Hassán Fathy. 1966

edificio refrigerando el interior y a sus ocupantes a la vez que actúa como contundente elemento formal que remarca el carácter público del edificio.

El interior está estructurado en pequeños cubículos distribuidos a través de un corredor central. Las aberturas son pequeñas, a excepción de las grandes celosías superiores encargadas de permitir el barrido longitudinal del viento.

Los espacios de almacenamiento se entierran para protegerlos de las altas temperaturas mientras un sistema de inductores de viento (1 captador y 1 extractor) dotados de mecanismos de refrigeración adiabática son los responsables de la refrigeración de los alimentos allí depositados.

“Se colgaban esteras en el interior y se mantenían húmedas por medio de una bomba manual situada en la planta baja. Periódicamente, se bombeaba de vuelta el agua no evaporada para humedecer de nuevo las esteras.

Este sistema se ha demostrado efectivo en la conservación de alimentos incluso mientras la temperatura exterior era de 46°C a la sombra”.

Hassán Fathy(17)

### 3.16. POSTMODERNISMO. LA CRISIS ENERGÉTICA

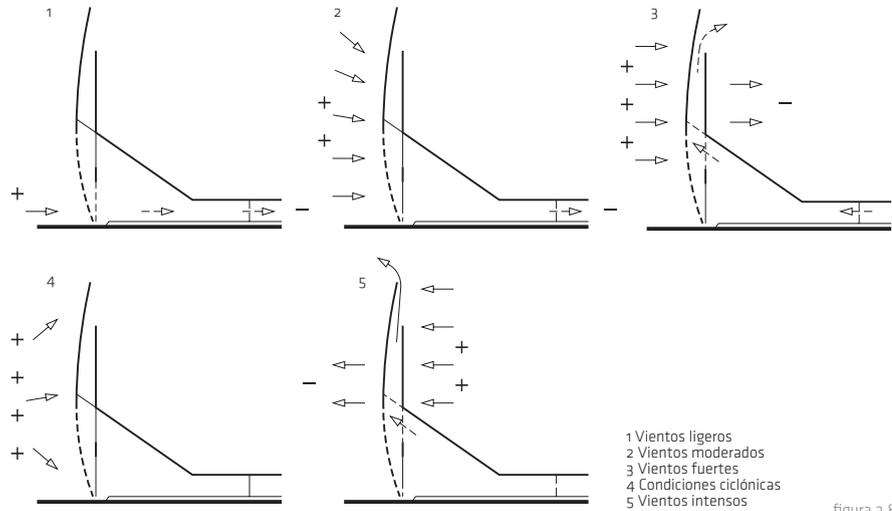
Hasta 1920 en EE. UU. y 1960 en Europa, prácticamente todos los edificios estaban ventilados de forma natural y la refrigeración era encomendada a la protección solar y la ventilación cruzada.

Las nuevas posibilidades abiertas con el acondicionamiento artificial, junto con el desconcierto que provoca la crisis de los valores del movimiento moderno, inician una nueva etapa: el Postmodernismo.

El aire acondicionado y la iluminación artificial liberaron a la planta de la necesidad de edificios con altos factores de forma, a costa de un mayor consumo energético y una menor habitabilidad.

Los edificios se sellan para permitir el control artificial del ambiente interior, desligando totalmente al individuo de su entorno.

El interés del proyecto se traslada a la fachada y la estructura de vidrio se impone en cualquier situa-



- 1 Vientos ligeros
- 2 Vientos moderados
- 3 Vientos fuertes
- 4 Condiciones ciclónicas
- 5 Vientos intensos

figura 3.83

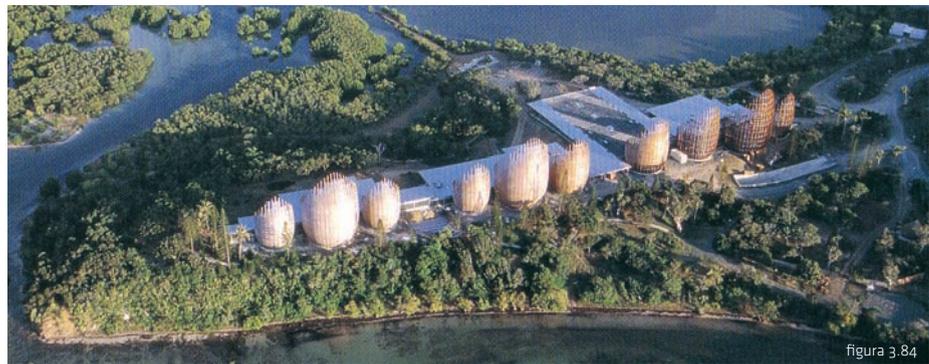


figura 3.84



figura 3.85



figura 3.86

Fig. 3.83 - 3.86. Centro cultural Jean Marie Tjibaou. Noumea. Nueva Caledonia. Renzo Piano. 1991-1998

ción y clima. Ya es técnicamente posible la construcción de cualquier tipo de edificio y encomendar a los sistemas de acondicionamiento artificial el restablecimiento de las condiciones de confort.

La crisis petrolífera de 1973 demuestra la total dependencia de gran parte del volumen edificado del suministro de energía. Muchos países inician políticas encaminadas a la contención y reducción del consumo energético con soluciones basadas en aislar térmicamente y sellar aún más los edificios. Desgraciadamente, cierta reducción en los consumos vino acompañada de nuevos problemas causados sobre todo por el incremento de condensaciones, lo cual provocó la proliferación de bacterias en el interior. Fue el llamado **“síndrome del edificio enfermo”** que aumentó el malestar de los usuarios ante la imposición de trabajar en un medio insano, artificial y totalmente alienado del exterior.

El equipo inglés **Shord Ford & Associated** constituye una excepción al “fachadismo” imperante. Inician a principio de los años setenta investigaciones en torno a la ventilación natural e inducida en edificios educativos, fabriles o administrativos concebida como una recuperación, hasta cierto punto exhibicionista, de técnicas tradicionales de ventilación natural.

Las chimeneas de ventilación estructuran en muchos casos sus proyectos, convirtiéndose en el rasgo formal más característico. En la rehabilitación del edificio de oficinas Temple Way House de Bristol (1992-1993) proponen lo que podemos considerar el germen de la doble fachada tan de moda actualmente en Europa.

El edificio original es un paralelepípedo de 95 m de largo por 5 plantas de altura, construido con estructura y cerramientos de hormigón prefabricado.

La fachada principal se abre a una vía de intenso tráfico mientras que la fachada trasera linda con un jardín interior de manzana.

La reforma consiste en la instalación de una serie de chimeneas de vidrio frente a la alineación vertical de ventanas. Los paneles de hormigón se aíslan por su cara interior. El calor generado por efecto invernadero al incidir los rayos solares en los paneles de fachada provoca el ascenso de una columna

de aire que genera una succión del aire interior que es sustituido por aire fresco procedente del jardín. Con esta inteligente rehabilitación se dota al edificio de refrigeración natural eludiendo a la vez el ruido y la polución del entorno.

En uno de sus últimos trabajos acometen el difícil reto del acondicionar de forma natural un teatro (tipología caracterizada por unas cargas internas tan importantes como variables en cortos espacios de tiempo). En el Contact Theatre de Manchester (1993-1999), los conductos verticales de ventilación fueron diseñados desde las primeras fases del proyecto por un equipo pluridisciplinar formado por arquitectos e ingenieros en busca de la máxima eficiencia. El diseño fue paso a paso comprobado por medio de la modelización interior y la evaluación del campo de presiones generado por el edificio y su entorno construido.

El edificio se sitúa frente a una calle de intenso tráfico por lo que la entrada de aire se efectúa de forma indirecta a través de una calle peatonal.

Desde esta, el aire accede al plenum situado bajo la platea, refrescando su masa térmica antes de acceder al patio de butacas. Cinco torres de 4 m<sup>2</sup> son las encargadas de succionar el aire caliente de la sala, apoyadas por ventiladores de baja velocidad para asegurar en cualquier circunstancia el confort térmico interior y potenciar la ventilación nocturna cuando el teatro se encuentra vacío.

En el interior de los conductos se han dispuesto elementos de absorción acústica para eliminar el ruido procedente del exterior.

Los elementos inductores de coronación en forma de “H” responden de una forma equilibrada a todas las direcciones de viento con una adecuada protección ante la entrada de la lluvia. Un sistema de control informatizado acciona ventiladores y ventanas en función de las condiciones climáticas exteriores o de ocupación del teatro.

### 3.17. HIGH TECH

A partir de los años 50 un grupo de arquitectos liderados por Norman Foster, Michael Hopkins, Richard Rogers y Renzo Piano, explotan al máximo las posibilidades de aplicación de la tecnología y los procesos industriales en la edificación.



figura 3.87



figura 3.88



figura 3.89

Fig. 3.87. Captadores de viento. Centro de información. Parque de Kakadu. Australia. Glenn Murcutt. 1992-1994

Fig. 3.88. Resaltes en fachada y ventilación nocturna. Arthur and Yvonne Education Centre. Riversdale West Cambewara. Australia. Glenn Murcutt. 1999

Fig. 3.89. Marika House. Yirrkala. Australia. G. Murcutt. 1994

A pesar de entender como única vía de modernidad la aplicación de la máxima racionalidad y poseer una fe ciega en la tecnología, la arquitectura High Tech acaba asumiendo en muchas ocasiones el mismo papel escenográfico de muchas arquitecturas postmodernas. Esta tendencia al alarde y a la espectacularidad se mantiene incluso en sencillos programas de vivienda a costa de un altísimo coste económico y ecológico en todas sus realizaciones.

Surge en la década de los 90 la llamada **Eco High Tech**. En unos años donde la “arquitectura verde” vende, todo es ecológico y la arquitectura High Tech trata de desligarse de sus connotaciones más duras, inhumanas y destructoras<sup>(18)</sup>.

El **Comerzbank**, construido por Norman Foster en Frankfurt (1997), es actualmente el edificio más alto de Europa y uno de los primeros rascacielos en incorporar estrategias de ventilación natural.

Las altas presiones de viento que sufren las fachadas de los edificios en altura dificultan la ventilación natural. La introducción en el centro del edificio de tres atrios de doce alturas permite la apertura de ventanas a un espacio intermedio de presión controlada. Mediante la sectorización del atrio se evita el exceso de tiro que produciría un único vacío que ocupase toda la altura del edificio.

Los atrios cuentan con ventanas de apertura automatizada que permiten la renovación del aire o la refrigeración nocturna cuando el edificio está vacío y las temperatura exterior o el viento lo permiten.

El sistema de ventilación natural es accionado por los ocupantes (una luz verde instalada en las ventanas indica cuándo se dan unas condiciones adecuadas para la ventilación natural). Cuando esto ocurre, el sistema de refrigeración artificial se para automáticamente (parece difícil de creer que el usuario accionará habitualmente un sistema de ventilación natural cuyo fin es únicamente reducir los consumos del edificio, si ello ni siquiera le aporta la satisfacción de abrir una ventana al atrio interior).

**Renzo Piano** ha aplicado el concepto de ahorro energético en muchos de sus edificios siendo el más destacado, en lo que se refiere a la ventilación natural, el Centro Tjibaou en Nueva Caledonia (1991-1998).

El edificio se sitúa en lo alto de un promontorio entre el océano y una laguna. Está estructurado por una espina central de circulación a la que se adosan las distintas salas de exposición y servicios anexos. Cada una de estas salas circulares de exposición se prolonga en altura por medio de una estructura de acero cubierta en ambas caras por un entablillado de madera. El espacio vertical que liberan entre ellas se conecta a las salas y es empleado como conducto vertical de extracción. Las salas disponen de ventanas para permitir, a través de la espina de distribución, la ventilación cruzada.

En ausencia de viento la ventilación se produce por efecto chimenea. La forma inclinada de la cubierta de las salas conduce el aire caliente hacia las aberturas superiores que conectan con el conducto vertical de extracción. Con vientos moderados la apertura de ventanas en ambas fachadas permite la ventilación cruzada.

La zona está batida en ocasiones por fuertes vientos procedentes del océano. Cuando esto ocurre, la ventilación cruzada provoca velocidades excesivas en el interior. La separación de las tablillas permite al viento atravesar el captador provocando un campo de presiones negativas que succionan el aire del conducto vertical activando el movimiento interior del aire.

“Los excesos” de este tipo de planteamientos por parte de la “Ecohightech” se revelan al descubrir que el 90% de los días la fuerza del viento en Noumea es moderada, siendo la ventilación cruzada la estrategia de ventilación habitualmente empleada.

### 3.18. LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Como consecuencia de la crisis energética y de un creciente sentimiento de desconfianza ante las consecuencias de un desarrollo tecnológico descontrolado, se formulan las primeras alternativas ecológicas centradas sobre todo en recuperar la consideración del entorno como un ambiente a revalorizar y permitir la reapertura del edificio a su entorno. Se retorna a los sistemas de ventilación natural y surge un nuevo concepto nacido de la combinación de todo tipo de sistemas de acondicionamiento. Estos permiten el aprovechamiento gratuito de las condiciones exteriores siempre que estas sean favorables, explotando las posibilidades de los sistemas mecánicos cuando las fuerzas na-

turales no son capaces de inducir el movimiento de aire requerido. El acondicionamiento artificial del aire exterior actúa únicamente como sistema de apoyo cuando de forma natural o mecánica no es posible alcanzar las condiciones de confort interior. Todo ello conlleva una importante reducción de los costes de implantación y explotación así como indudables ventajas psicológicas a los ocupantes de los edificios.

El cambio conceptual con respecto a la High Tech es importante. La tecnología no se considera como el principal argumento generador de valores arquitectónicos (utilizando las energías naturales a modo de parche que justifique la “etiqueta verde”). El peso de la balanza se invierte al recuperar la tecnología su papel en la potenciación de los recursos energéticos gratuitos que ofrece el entorno.

Las obras de Thomas Herzog y Glenn Murcutt ejemplifican perfectamente este nuevo enfoque entre arquitectura y tecnología.

**Thomas Herzog** es posiblemente uno de los arquitectos que más ha destacado en el estudio de la relación entre arquitectura, medio ambiente y tecnología en el ámbito de lo que podría denominarse una arquitectura de concepción ecológica.

En toda su obra construida, Herzog ha demostrado especial interés en la envolvente de los edificios como el elemento clave que determina las interacciones de la construcción y sus ocupantes con el entorno.

Es especialmente interesante la voluntad de desarrollo de sistemas edificatorios avanzados concebidos para dar respuesta a las barreras que dificultan el paso de una edificación supuestamente inteligente (en que la tecnología es un vigilante, corrector de errores conceptuales graves) al concepto de edificación energéticamente consciente (en la que los sistemas edificatorios son desarrollados con el objetivo específico de potenciar los aportes energéticos gratuitos que ofrece el entorno).

Gran parte de sus investigaciones se han centrado en cuestiones tales como sistemas de fachada versátiles (protección solar, componente de ventilación y aislamiento térmico), paneles de fachada de alta inercia térmica para sistemas constructivos ligeros, fachadas vegetales, etc.

La obra de **Glenn Murcutt** se fundamenta en la interacción de tres principales referencias: el movimiento moderno, la tradición constructiva australiana –agrícola e industrial– y una profunda relación con el entorno natural en el que edifica sus construcciones. Los trabajos de Murcutt suponen la confluencia de las teorías racionalistas, con la sencillez y confortabilidad de los refugios y cobertizos de los nómadas aborígenes. A menudo la construcción se realiza mediante técnicas heredadas de la tradición local, y con mano de obra y materiales de la región, como madera, piedra, ladrillo, chapa, hormigón o vidrio.

En la casa Marika Alderton, Murcutt se enfrenta al reto de construir para una familia aborigen en una zona de clima tropical alejada de cualquier núcleo de población. La vivienda se prefabrica enteramente en Sidney, elevada sobre el terreno. Sobre la estructura metálica se monta una cubierta inclinada de paneles nervados de acero galvanizado coronada por extractores de aire multidireccionales. Las fachadas se construyen sin ningún tipo de acristalamiento. Los paneles pivotan o se levantan convirtiendo la vivienda en un pabellón abierto. Al cerrar los paneles, la vivienda sigue ventilando a través de la deliberada separación de todos los elementos constructivos o los paneles de fachada permeables.

## NOTAS

1. Neila, Fco. Javier - Bedoya, César. *Técnicas arquitectónicas de acondicionamiento ambiental*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 1997. Pág. 94
2. Kostof, Spiro. *Historia de la arquitectura*. Alianza Forma. Madrid, 1988. Pág. 171
3. Pérez de Lama, José. *Biografía del patio mediterráneo*. Tesis Doctoral ETSAS. Sevilla, 1996. Pág. 51
4. Vitruvio Poilon, Marco Lucio. *Los diez libros de arquitectura*. Editorial Iberia. Barcelona, 1997. Libro I, capítulos VIII, IX y X
5. Palladio, Andrea. *Los cuatro libros de arquitectura*. Altafulla. Barcelona, 1987. Libro I, capítulo XXVII
6. Banham, Reyner. *Arquitectura del entorno bien climatizado*. Ediciones Infinito. Buenos Aires, 1975. Pág. 91
7. Banham, Reyner. *Arquitectura del entorno bien climatizado*. Ediciones Infinito. Buenos Aires, 1975. Pág. 94
8. Ábalos-Herreros. *Técnica y Arquitectura en la ciudad contemporánea*. Editorial Nerea. Madrid, 1992. Pág. 99
9. Banham, Reyner. *Arquitectura del entorno bien climatizado*. Ediciones Infinito. Buenos Aires, 1975. Pág. 175
10. Le Corbusier. Conferencia celebrada en Buenos Aires. 5-10-1929
11. Frampton, Kenneth. *Le Corbusier*. Thames & Hudson. Londres, 1995. Pág. 189

-  Aire calefactado de forma natural
-  Aire calefactado de forma artificial
-  Aire refrigerado de forma natural
-  Aire refrigerado de forma artificial
-  Depresión de origen dinámico (viento)
-  Presión positiva de origen dinámico (viento)
-  Depresión de origen térmico (aire caliente)
-  Presión positiva de origen térmico (aire frío)
-  Viento exterior
-  Corriente interior de aire
-  Radiación
-  Convección

# 4. ESTRATEGIAS Y COMPONENTES INDUCTORES DEL MOVIMIENTO DEL AIRE INTERIOR

## 4.1. VENTILACIÓN NATURAL

### 4.1.1. POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

- 4.1.1.1. Patio como piscina de aire refrigerado
- 4.1.1.2. Patio como elemento de extracción
- 4.1.1.3. Atrio
- 4.1.1.4. Patinillo
- 4.1.1.5. Conducto vertical
- 4.1.1.6. Exutorio
- 4.1.1.7. Aireador de cubierta
- 4.1.1.8. Forma de la cubierta
- 4.1.1.9. Compartimentación de espacios en planta y sección
- 4.1.1.10. Infiltraciones

### 4.1.2. INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

- 4.1.2.1. Chimenea térmica solar
- 4.1.2.2. Invernadero
- 4.1.2.3. Muro trombe
- 4.1.2.4. Doble carpintería, hoja interior ventilada
- 4.1.2.5. Torre de refrigeración
- 4.1.2.6. Sistemas radiantes de calefacción o refrigeración

### 4.1.3. POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

- 4.1.3.1. Ventana
- 4.1.3.2. Doble carpintería, ambas hojas ventiladas
- 4.1.3.3. Persiana
- 4.1.3.4. Permeabilidad de los cerramientos
- 4.1.3.5. Ventana aireada
- 4.1.3.6. Rejilla de ventilación exterior
- 4.1.3.7. Túnel de viento
- 4.1.3.8. Compartimentación interior

### 4.1.4. INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

- 4.1.4.1. Resaltes, balcones, voladizos
- 4.1.4.2. Captador unidireccional / multidireccional
- 4.1.4.3. Extractor unidireccional / multidireccional

## 4.2. VENTILACIÓN MECÁNICA

- 4.2. Inyector / extractor

## 4.3. SISTEMAS MIXTOS

- 4.3. Ventilación natural / mecánica/ acondicionada

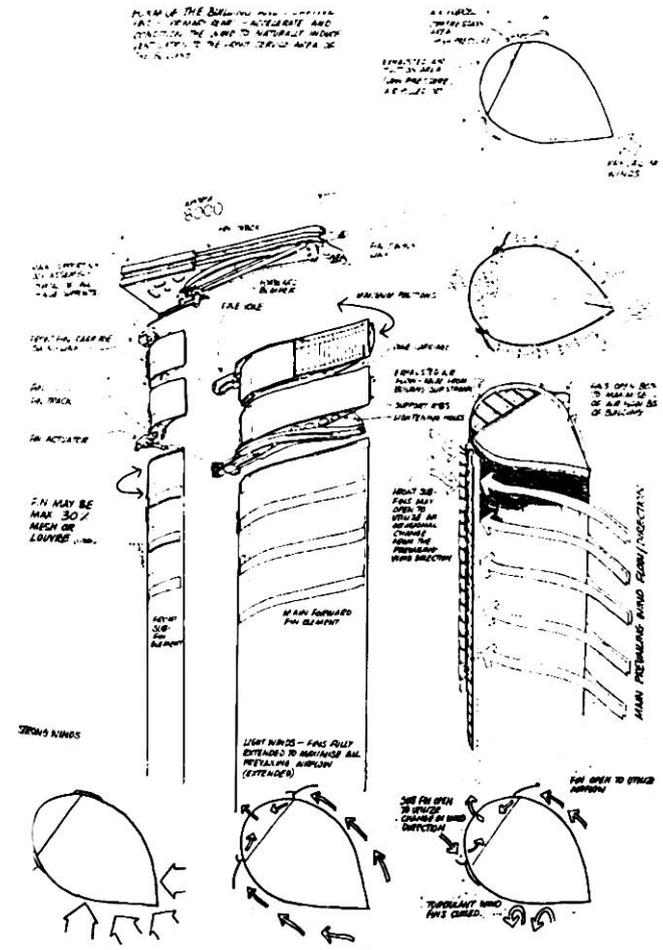


Fig. 4.1. Prototipo de captadores de viento móvil para edificios en altura. Ken Yeang

### 4.1.1.1 PATIO COMO PISCINA DE AIRE REFRIGERADO

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido-seco

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Se basa en el “vertido” y almacenamiento de aire frío en el interior de un patio para su utilización posterior como materia prima de ventilación y refrigeración del espacio interior.

El mecanismo generador del movimiento del aire se activa por la noche y se basa en la diferencia de densidades entre el aire caliente interior y el aire refrigerado del patio procedente de la cubierta.

El clima cálido seco se caracteriza por grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche debido a la permeabilidad atmosférica a la radiación. Por la noche la radiación fría procedente de las capas altas de la atmósfera refrigera la cubierta y la capa de aire en contacto con ella. Una leve inclinación de las terrazas o las vertientes provoca el descenso del aire frío, más denso, y su vertido al interior del patio, permaneciendo este confinado en la parte baja hasta que eleva su temperatura o es distribuido por el interior del edificio.

Para evitar que la radiación solar caliente el aire frío del patio o el viento lo succione, son preferibles proporciones de patio que primen la altura y reduzcan su superficie en planta. Con el mismo objetivo se recomienda cubrir el patio durante el día.

#### Arquitectura tradicional Souka. Marruecos. S. XIX

Viviendas familiares fortificadas del sur de Marruecos, que pueden darse tanto en el interior de los poblados amurallados (*qsar*) como situarse en el exterior de forma aislada. Este tipo de edificios responden a una tipología de planta cuadrangular con estancias perimetrales en sus cuatro lados y pozos centrales de luz y ventilación cuadrados y de reducidas dimensiones (entre 1 y 2,5 metros de lado). El exterior apenas está oradado por pequeños huecos en los muros situados en las zonas altas. El conjunto está normalmente flanqueado por cuatro torres.

La tipología edificatoria responde perfectamente al clima desértico en el que se implanta. Los gruesos muros de tapial retardan la entrada del calor hasta que la noche los enfría antes de que el calor acceda al interior. La ventilación se activa entre el patio, que contiene el aire fresco captado durante la noche gracias al perfil escalonado de la cubierta y los pequeños huecos de fachada.

En la sección puede apreciarse las posibilidades de refrigeración que permiten la creación de un circuito de aire que conecte dos patios a través de los espacios habitados.

Durante el día el patio soleado actúa como elemento de extracción, provocando presiones negativas interiores e introduciendo el aire procedente del segundo patio (que ha acumulado aire frío durante la noche) en el interior de las estancias, refrigerándolas(1).

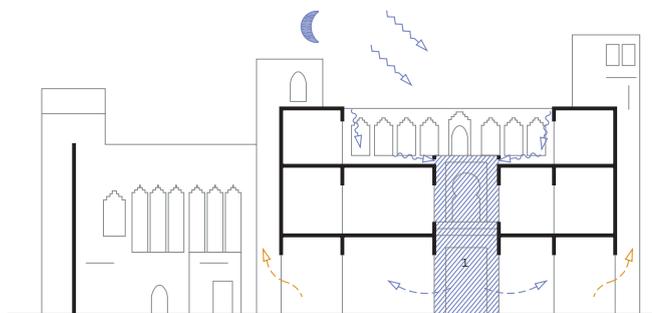


figura 4.2

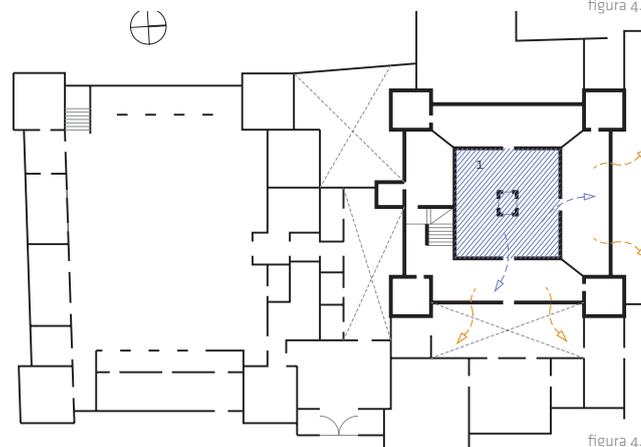


figura 4.3



figura 4.4

figura 4.5

Souka. Marruecos. S XIX:

Fig 4.2. Tighremt. Fig 4.3. Dar Imratel. Fig. 4.4 - 4.5. Ait Sous

### 4.1.1.2. PATIO COMO ELEMENTO DE EXTRACCIÓN

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido seco, cálido húmedo moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

En patios con amplia área soleada la radiación incide en las paredes o el suelo de estos. La energía acumulada en los paramentos eleva a su vez, por convección, la temperatura del aire en contacto con suelo y muros, generándose una corriente ascendente que succiona el aire de las estancias abiertas al patio.

La proporción del patio debe permitir el acceso solar, por lo que se primará su superficie en planta en relación a su altura.

La efectividad del sistema puede reforzarse incrementando la inercia térmica de los muros, pudiendo de esta forma mantenerse el tiro tras el ocaso.

Es posible potenciar la refrigeración de la corriente de aire que circula a través del edificio mediante la sustitución del aire evacuado por aire prerrefrigerado procedente de sótanos, jardines o fuentes.

En cualquier caso, debe asegurarse el aporte de aire en la parte inferior del patio mediante una conexión permanente desde un espacio fresco que asegure el tiro aún en el caso de que las ventanas permanezcan cerradas.

Las ventilaciones que se proyecten entre las estancias abiertas al patio y estancias a sotavento del edificio pueden presentar problemas al equilibrarse las diferencias de presión entre dos zonas de presión negativa (la primera térmica y la segunda dinámica).

**Viviendas Space Block Hanoi Model.** Hanoi. Vietnam. Kazuhiro Kojima /CAT. 2003

El objetivo del edificio es el de construir un modelo de bloque de viviendas válido para áreas de alta densidad, refrigerado exclusivamente de forma natural. El modelo pretende presentarse como alternativa a las viviendas típicas de la ciudad de Hanoi. Estas sufren un deterioro progresivo en su habitabilidad producto de la densificación y la ocupación de los patios con habitaciones en parcelas de fachada estrecha y hasta 100 metros de profundidad edificable.

En el modelo construido se alcanzan ratios de porosidad del 50% mediante patios interconectados, cuya proporción y grado de apertura responde a las pautas dictadas por la modelización informática de los flujos de aire.

Las viviendas van ocupando los intersticios que habilitan los patios proyectándose hacia estos mediante espacios semipúblicos y privados profusamente utilizados para distintas actividades.

Numerosos patios se cubren con un forjado protegido de la radiación mediante una cobertura de lamas, habilitando un espacio común de estancia en cotas expuestas a las brisas.

Los cerramientos de fachadas interiores se basan prácticamente en su totalidad en persianas de vidrio o aluminio(2).



figura 4.6

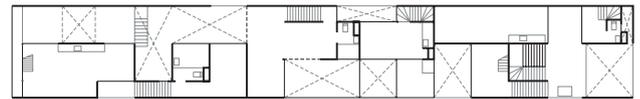


figura 4.7



figura 4.8

figura 4.9

Fig.4.6 - 4.9. Viviendas Space Block. Hanoi. Vietnam. Kazuhiro Kojima /CAT. 2003

### 4.1.1.3. ATRIO

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: frío, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Patio interior con cubierta de vidrio que genera un espacio atemperado de relación y distribución a través del cual ventilar e iluminar el interior.

En invierno el atrio se calienta de forma natural por efecto invernadero y la ventilación se limita a los mínimos requeridos para asegurar la calidad del aire interior.

En verano la radiación directa interceptada por la protección solar situada bajo la cobertura de vidrio calienta el aire de las cotas superiores. Al habilitarse su evacuación mediante aberturas situadas en la coronación del atrio, se activa la ventilación.

El dimensionado de la superficie vidriada en la cobertura debe realizarse acorde con las necesidades de calefacción requeridas.

Las aberturas de extracción serán practicadas a sotavento. De tener estas una dimensión insuficiente puede producirse una acumulación de aire caliente excesiva, corriendo el peligro de introducirse este por las ventanas abiertas al atrio en los pisos superiores.

La extracción en las últimas plantas puede verse dificultada dada la escasa diferencia de altura de estas con respecto al punto de extracción. Por este motivo es recomendable prolongar el volumen del atrio por encima de la última planta o incluir elementos inductores de presión dinámica de viento que aumenten la presión negativa en las aberturas de salida.

En los atrios de pequeñas dimensiones, debe considerarse en el diseño la fricción que se establece entre la corriente del aire y la fachada interior, así como los obstáculos que suponen los elementos salientes.

**Centro escolar.** Guillena del Aljarafe. Sevilla. Jaime López de Asiain, Pilar Alberich. 1991

El edificio se organiza alrededor de un atrio-jardín lineal cubierto por una montera. Las aulas se organizan en dos plantas conectadas entre sí por medios niveles. Las aulas de permanencia ocupan la fachada sur y reciben el máximo de soleamiento en invierno, quedando protegidas del mismo en verano por medio de partesoles estudiados a tal efecto. La ventilación natural está asegurada por medio de la ventilación cruzada entre el exterior y el atrio central a través de las aberturas de las aulas y las aberturas de la montera.

La cobertura de vidrio permite el soleamiento en invierno. Durante el verano unos toldos interceptan la radiación calentando el aire de la montera, que es extraído por las aberturas practicadas a tal efecto, succionando el aire de las aulas y habilitando la ventilación en ausencia de viento. Obsérvese la limitada proporción de vidrio en la cobertura del atrio con respecto a la superficie a calefactar y ventilar adecuada para un clima de alta radiación solar(3).

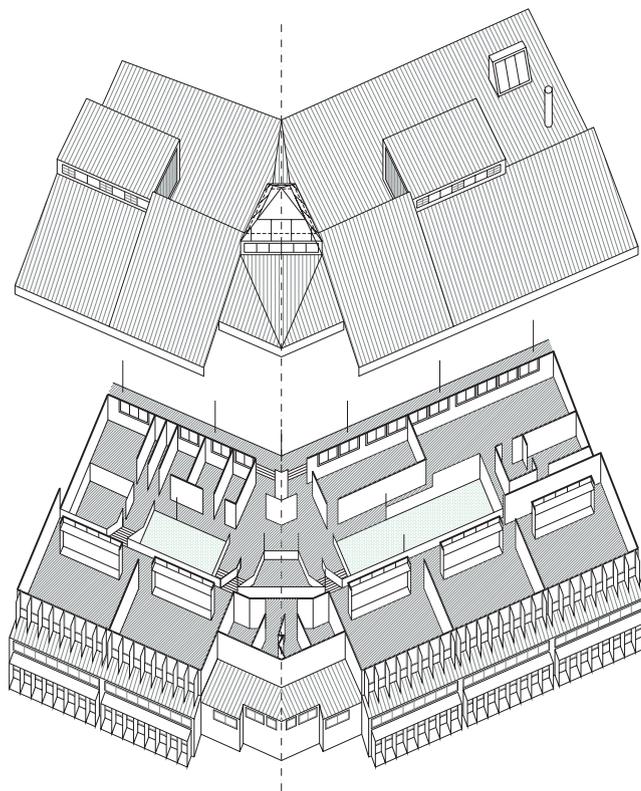


figura 4.10



figura 4.11



figura 4.12

Fig. 4.10 - 4.12. Escuelas. Mairena y Guillena. Sevilla. Jaime López de Asiain, Pilar Alberich. 1996

#### 4.1.1.4. PATINILLO

##### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: todos

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Extracción inducida por la diferencia de densidad del aire en el interior de un espacio de pequeña dimensión y gran altura.

Es indispensable para la activación de la extracción el aporte de aire en la parte inferior del espacio por medio de aberturas o conductos (preferentemente en zonas de presión positiva dotadas de sombra o vegetación).

La salida del aire, por el contrario, debe situarse en zonas de cubierta afectadas por presiones negativas, pudiendo la extracción estar apoyada por inductores térmicos o dinámicos que incrementen los diferenciales de presión y con ello el volumen de aire.

En edificios de gran altura deben prevenirse grandes diferencias de presión que generen velocidades de aire excesivas producidas por aberturas incontroladas en la parte inferior y superior del espacio ventilado. Esto es posible mediante la sectorización del espacio vertical (limitando con ello la magnitud de las presiones), instalando aberturas regulables de flujo constante o eliminando el efecto chimenea mediante puertas giratorias o vestíbulos de independencia.

**Inland Revenue Offices.** Nottingham, Reino Unido

Mickael Hopkins. 1994

El sistema de refrigeración del conjunto de oficinas se basa en un sistema de ventilación natural asistida puntualmente por sistemas mecánicos, combinado con elementos estructurales de gran masa expuestos a las corrientes de aire interiores.

El sistema de ventilación natural funciona de una forma similar a un sistema de ventilación híbrida que siguiera los criterios del Documento Básico HS3 del Código técnico de la edificación.

El aire accede a las oficinas a través de las rejillas instaladas en la fachada o es inyectada por el sistema de aire acondicionado. La evacuación del aire de los cubículos se produce a través de rejillas situadas en las puertas. Los pasillos actúan como canales de ventilación conduciendo el aire hacia los núcleos verticales de escaleras gracias a la succión generada en ellos. La gran altura y el carácter vidriado de los elementos de comunicación vertical tienen doble función: la de remarcar formalmente los espacios verticales de comunicación y la de obtener diferenciales de presión suficientes y forzar con ello la extracción del aire de forma natural. De no generarse la extracción necesaria, el sistema de climatización inyecta aire exterior en las oficinas produciendo una sobrepresión interior que fuerza la circulación de este.

En verano, la eficacia de la refrigeración se ve incrementada por el régimen de ventilación nocturna habilitado por sistemas mecánicos y la intencionada exposición de la inercia térmica de los forjados a los flujos generados(4).

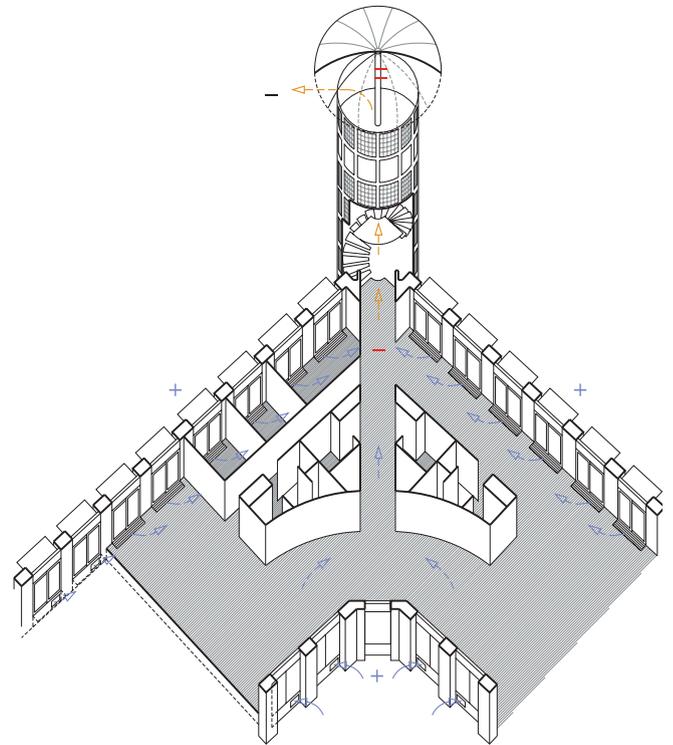


figura 4.13



figura 4.14

Fig. 4.13 - 4.14. Inland Revenue Offices. Nottingham. Inglaterra. Michael Hopkins. 1994

#### 4.1.1.5. CONDUCTO VERTICAL

##### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: todos

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Ventilación a través de un conducto vertical, activada por la diferencia de densidades del aire en el interior de este.

La capacidad de succión aumenta con la altura y el diferencial de temperatura.

Es imprescindible un aporte de aire en el interior del local ventilado a través las aberturas practicadas en la parte baja de los paramentos. De no existir tales aberturas la extracción se limitará a las infiltraciones producidas en carpinterías y cerramientos reduciéndose en gran medida el volumen de aire extraído.

Cualquier sistema de ventilación natural a través de conductos requiere secciones mucho mayores que aquellos dotados de inductores mecánicos debido a los reducidos diferenciales de presión y a las pérdidas de carga. Por ello, el conducto debe ser rectilíneo y liso e incorporar inductores térmicos o dinámicos.

Los inductores de presión dinámica del viento presentarán ranuras o aberturas practicadas en la coronación, preferiblemente paralelas a la dirección del viento dominante para evitar inversiones de flujo provocadas por el acceso del viento al interior. Los inductores por diferencia de temperatura se basan habitualmente en el efecto invernadero o el calentamiento producido por la radiación solar en la coronación del conducto o en elementos vidriados que pueda este incorporar.

La facilidad de motorización hace a estos componentes especialmente interesantes, pudiendo regularse la extracción sin la intervención del usuario, mejorando con ello la eficiencia del sistema.

En climas fríos deben evitarse conductos exteriores largos ya que, de no estar estos convenientemente aislados, se incrementa el riesgo de condensaciones en el interior.

##### Montfort University. Leicester. Reino Unido. Shord Ford. 1993

El edificio basa su estrategia de ahorro energético en la reducción de pérdidas de energía por medio de un planteamiento muy compacto, el aislamiento térmico y la exposición de la inercia térmica interior. La reducción del perímetro de fachada es posible gracias al desplazamiento de los espacios de circulación al interior, iluminados por medio del escalonamiento de la sección.

Para ventilar y generar corrientes cruzadas en las aulas se instalan en la parte superior del atrio chimeneas de extracción de aire dotadas de inductores multidireccionales. El aire caliente es conducido hasta ellas gracias al diseño de la sección y la pendiente de las cubiertas.

Para asegurar en todo momento el mínimo caudal de renovación (que podría verse comprometida en el caso de permanecer las aulas cerradas) se dota a este espacio de entradas de aire por medio de perforaciones en la parte inferior de las fachadas(3).

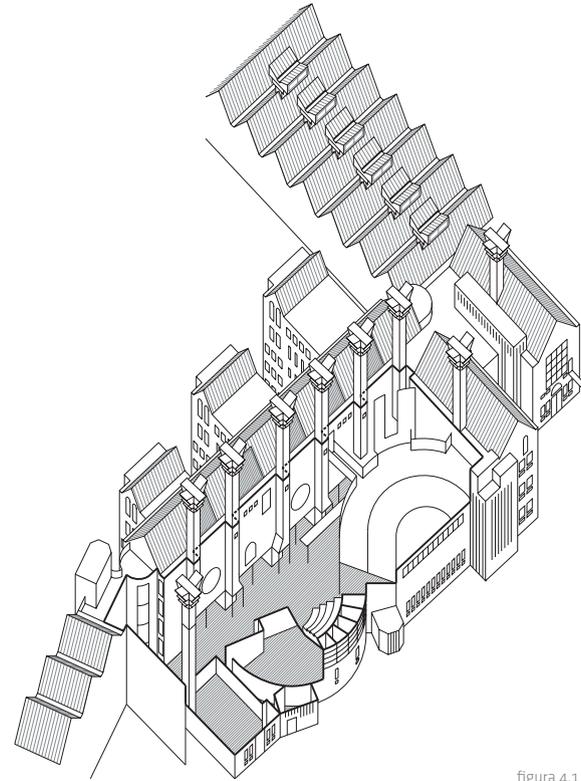


figura 4.15



figura 4.16



figura 4.17

Fig. 4.15 - 4.17. Montfort University. Leicester. Inglaterra. Shord Ford & Partners. 1989-1993

### 4.1.1.6. EXUTORIO

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Ventilación a través de aberturas de ventilación de cubierta para la evacuación del aire caliente allí acumulado. La extracción del aire genera succiones capaces de inducir la entrada de aire a través de aberturas situadas en la parte inferior.

Dadas sus grandes dimensiones es posible su implicación en el establecimiento de corrientes cruzadas, pudiendo generar un buen barrido interior al implicar a la sección en el movimiento del aire.

La separación de las funciones de iluminación y ventilación simplifica y abarata las aberturas al prescindir de pesados elementos móviles de vidrio, facilitando la motorización de las aberturas y la programación del régimen de ventilación. Ello redonda en la efectividad del control climático y el ahorro energético.

Los exutorios deben abrirse necesariamente a zonas de presión negativa de la cubierta para evitar que la entrada de aire exterior pueda romper la estratificación interior del aire caliente, reintroduciendo este en áreas ocupadas. Es por ello recomendable que cuando no sea posible asegurar que los exutorios se comportarán como salidas de aire (debido a la forma de la cubierta o la imprevisibilidad en la dirección y velocidad del viento) se doten estos de inductores de presión dinámica o detectores de viento que cierren los exutorios frente a condiciones de viento desaconsejables para el confort térmico interior.

#### Edificio de oficinas en la Postdamer Platz, Berlín, Alemania.

Richard Rogers. 2001

El edificio, de planta cuadrada, alberga un atrio a través del cual se iluminan y ventilan las oficinas que a él se abren. La ventilación se ve limitada debido a la ausencia de ventilación cruzada. Para potenciar la efectividad de la ventilación simple, las oficinas son de escasa profundidad y cuentan con ventanas dobles.

La cobertura y la fachada sureste del atrio son de vidrio con el objetivo de potenciar la captación durante el invierno.

En verano, la extracción a través de los exutorios potenciada por el calentamiento de la protección solar situada bajo la cubierta induce la entrada de aire. Rejillas de ventilación situadas bajo las escaleras de podio sobre el que se eleva el edificio son empleadas como entradas de aire para asegurar la aportación continua de aire exterior. Esto provoca un aporte indeseado de aire caliente en verano al recibir estas la radiación solar durante gran parte del día.

En el gráfico de la sección puede observarse el peligro existente de acceso de aire caliente por estratificación en la parte superior del atrio en el momento en que el viento genere succiones sobre la fachada exterior de las oficinas(4).

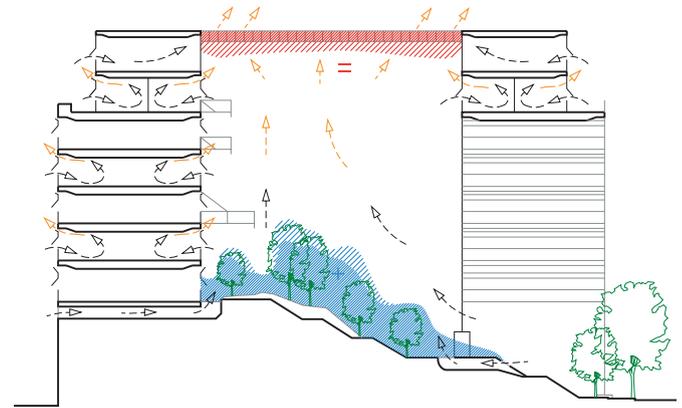


figura 4.18



figura 4.19

figura 4.20

Fig. 4.18 - 4.20. Edificio en la Postdamer Platz . Berlín, Alemania. Richard Rogers. 2001

#### 4.1.1.7. AIREADOR DE CUBIERTA

##### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido seco

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Ventilación a través de pequeñas aberturas en la cubierta activada por diferencias de presión entre el interior y el exterior.

Es estrategia habitual en las zonas más calurosas del clima desértico en donde la relación de los espacios interiores con el exterior se reduce al mínimo durante la mayor parte del día debido al fuerte gradiente térmico.

La estrategia de ventilación que inducen los aireadores es la siguiente: mientras el aire interior permanece a menor temperatura que el exterior, no se activa la extracción debido a la mayor densidad del aire confinado. El efecto del viento es mínimo dadas las reducidas dimensiones de los aireadores por lo que no existe peligro de dispersión del aire interior.

En cambio, si la temperatura interior se eleva por encima de la exterior, el aire caliente asciende evacuándose por la abertura practicada en el techo hasta que las temperaturas se equilibran.

Este aire es sustituido por aire que accede por pequeñas aberturas o infiltraciones abiertas a calles sombreadas o jardines.

Este tipo de aberturas suelen practicarse en espacios de gran volumen e inercia térmica, capaces de mantener el espacio interior fresco durante el día, estratificando en su parte superior el aire que pueda ser calentado por las cargas internas.

Al llegar la noche, la temperatura descende drásticamente y el espacio se abre a las brisas nocturnas para su refrigeración y la acumulación de frigorías en la masa interior del edificio.

##### Mercado de New Bariz. Egipto. Hassán Fathy. 1966

El mercado se encuentra dentro del plan de desarrollo de la ciudad de New Bariz, población fundada para fomentar nuevos asentamientos junto a las principales reservas de agua del país.

Al igual que el resto de edificios públicos del conjunto, Fathy pretende alcanzar la refrigeración del mercado mediante el empleo de sistemas constructivos tradicionales y la revisión tipológica de todos los recursos pasivos de refrigeración natural.

Las cúpulas rebajadas de los cubículos del mercado presentan un orificio superior para evacuar pequeñas cantidades de aire procedentes de cargas internas producidas durante el día, mientras el calor exterior fuerza a buscar refugio en el interior. La forma de la cubierta conduce lentamente durante el día el aire caliente a los orificios de extracción mientras el resto de aberturas permanecen cerradas.

Durante la noche es posible habilitar la ventilación cruzada para refrigerar el espacio interior. La repetición del ciclo refrigera la parte interior de los muros de adobe reduciendo la temperatura radiante y mejorando con ello el confort interior diurno(s).

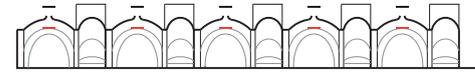


figura 4.21

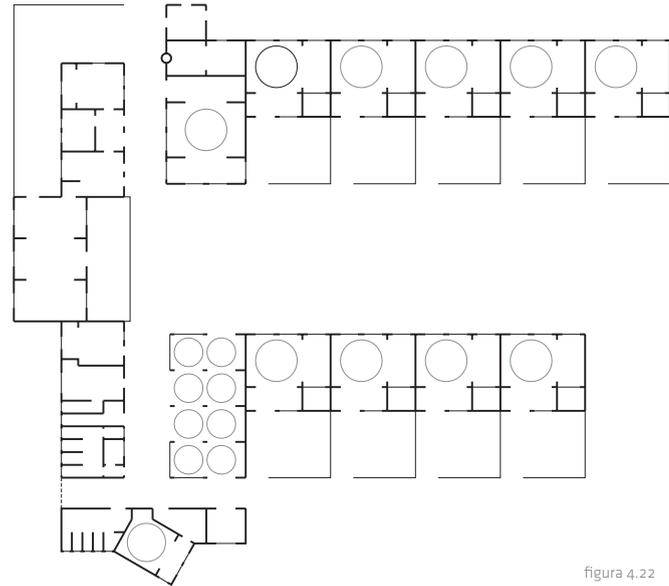


figura 4.22



figura 4.23

Fig. 4.21 - 4.23. Mercado de New Bariz. Egipto. Hassan Fathy. 1966

### 4.1.1.8. FORMA DE LA CUBIERTA

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

La forma de la cubierta permite conducir al aire caliente en su recorrido interior ascendente hacia las aberturas de extracción, alejándolo de las zonas ocupadas. La corriente se activa por la evacuación del aire caliente y su sustitución por aire a una temperatura menor procedente de cotas inferiores. La capacidad de evacuación de aire caliente dependerá de la forma e inclinación de la cubierta y obviamente del diferencial térmico.

El diseño de la sección debe evitar la formación de bolsas de aire caliente en los espacios ocupados y fomentar su evacuación.

En grandes superficies como hipermercados, recintos feriales, palacios de deportes, etc., la necesidad de reducir pendientes de la cubierta (para evitar grandes alturas o volúmenes interiores) dificulta el desplazamiento del aire caliente hacia las aberturas de extracción.

La planeidad de la cubierta dificulta igualmente la formación de diferenciales de presión de viento entre las distintas partes de esta. Por todo ello suele ser recomendable en este tipo de edificios la instalación de inductores de extracción -térmicos o dinámicos-.

Debe tenerse en cuenta que la forma de la cubierta o el entorno inmediato del edificio determinan el campo de presiones de este, condicionando consecuentemente la posición y el tipo de las aberturas. Estas deben estudiarse en detalle para evitar que presiones de viento positivas impidan la extracción o incluso inviertan el flujo esperado en ausencia de viento.

**Lloyd's Register of Shipping.** Hampshire, Inglaterra.

Richard Rogers. 2000

El proyecto, no construido, está formado por un conjunto de seis pabellones de una o dos plantas unidos entre sí en forma de abanico y rodeados de terreno forestal.

La formalización de la cubierta es de gran importancia para el correcto funcionamiento de la circulación natural del aire. Esta se eleva en la fachada trasera para fomentar la estratificación del aire caliente durante el verano y conducirlo hacia las ventanas practicadas en la parte superior.

En la fachada opuesta, una marquesina se prolonga hacia el espacio verde cumpliendo la función de captador de aire fresco prerrefrigerado por la vegetación y el agua e introduciéndolo en el interior del edificio. Durante el invierno el aire caliente asciende acumulándose en la parte superior de la cubierta desde donde es introducido en los recuperadores de calor para el precalentamiento del aire exterior antes de ser evacuado(4).

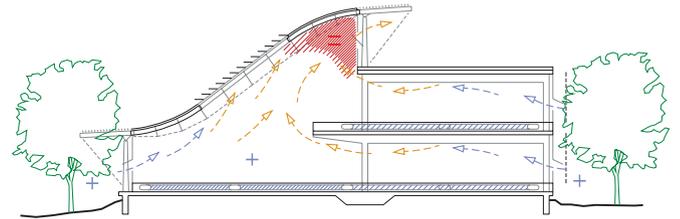


figura 4.24

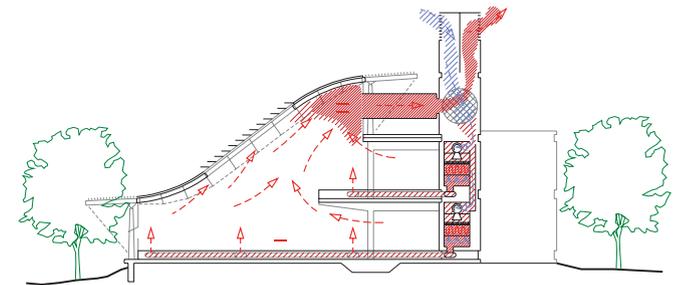


figura 4.25

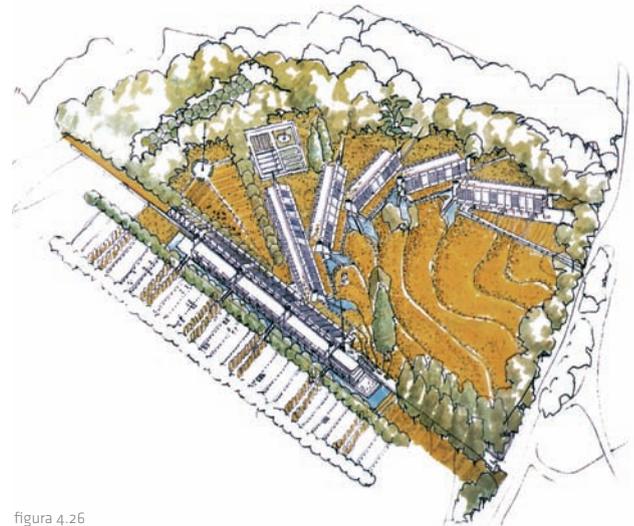


figura 4.26

Fig. 4.24 - 4.26. Sede central de Lloyd's Register of Shipping, Hampshire, Inglaterra. Richard Rogers. 1993-2000

### 4.1.1.9. COMPARTIMENTACIÓN EN PLANTA Y SECCIÓN

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido húmedo, cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Para potenciar los flujos de aire en el interior de las edificaciones es muy importante el diseño de tipologías abiertas que permitan la difusión de la energía refrigerada del edificio y la circulación del aire a una velocidad suficiente para reducir la temperatura de sensación de los ocupantes.

Si existen elementos con suficiente masa en el interior, el calor podrá distribuirse de forma natural y acumularse de manera efectiva en los muros y forjados de la edificación.

Las plantas y secciones abiertas permiten en verano la estratificación pudiendo generar piscinas de aire frío en zonas bajas o acumular el aire caliente lejos de las zonas de ocupación para su posterior evacuación.

Cuando otro tipo de requerimientos (sectorización contra incendios, intimidad, ruidos, etc.) obligan a compartimentar el edificio, es necesario el estudio de la captación de brisas y la refrigeración de cada una de las partes de forma independiente o a recurrir a sistemas mecánicos que mantenga la sectorización del edificio en caso de producirse un incendio.

#### **Parek House.** Ahmedabad. India. Charles Correa. 1968

La vivienda forma parte de una serie de proyectos en los que el autor explora las posibilidades del movimiento del aire como generador de forma arquitectónica, el modo en la que la consideración de las corrientes interiores de aire, la refrigeración del edificio y sus ocupantes puede integrarse en el listado de inputs que acaba conformando el proyecto arquitectónico. El resultado es un edificio de volumetría contundente y gran atractivo formal.

La casa Parek parte de un paralelepípedo rectangular de tres crujías que va modelándose y oradándose para habilitar la circulación interior del aire, inducida tanto por diferencia de temperaturas como por la acción del viento.

La zona habilitada para la estación estival es un espacio de tres alturas y sección piramidal que conduce el aire caliente a la parte alta y las aberturas de cubierta, generando un espacio fresco de gran volumen en el corazón de la vivienda destinado a los cálidos días monzónicos. Por la noche o durante el invierno, la temperatura desciende y las actividades pueden desplazarse al exterior, en las múltiples terrazas y balcones situados bajo la cubierta de lamas que protege de la radiación solar la totalidad del volumen construido.

Una serie de vaciados a distintas alturas permiten la abertura de ventanas en la dirección del eje menor desde espacios sombreados habilitando diferenciales de presión que inducen la ventilación cruzada cualquiera que sea la dirección del viento(6).

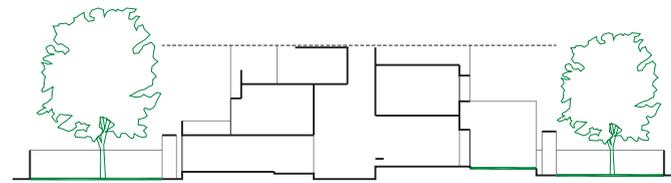


figura 4.27

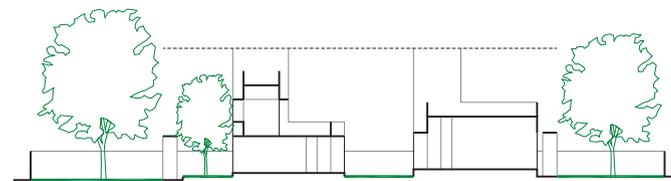


figura 4.28

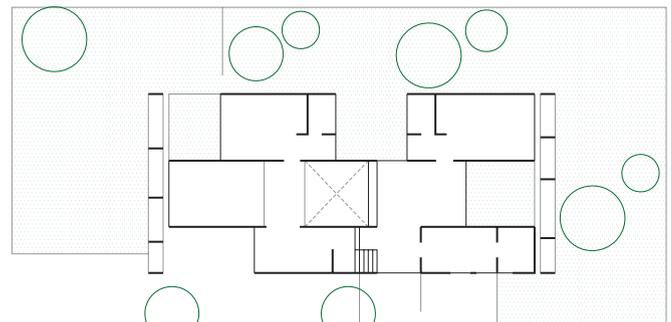


figura 4.29



figura 4.30



figura 4.31

Fig. 4.27 - 4.31. Parek house. Ahmedabad. India. Charles Correa. 1968

#### 4.1.1.10. INFILTRACIONES

##### VENTILACIÓN NATURAL

POR DIFERENCIA DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido húmedo

##### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Ventilación natural que se establece a través de las discontinuidades existentes en el sistema constructivo debido a gradientes de presión entre el interior y el exterior provocadas por diferencias de temperatura.

El control de las infiltraciones puede convertirse en un factor clave de ahorro energético en climas fríos o en una eficiente estrategia de refrigeración en climas cálidos o moderados.

Debe evaluarse la conveniencia de potenciar o anular este fenómeno en función del clima local. En regiones en donde se combinan altos niveles de humedad y temperaturas elevadas todos los recursos para fomentar el movimiento del aire son pocos. La arquitectura popular de estas regiones ha desarrollado sistemas constructivos permeables basados normalmente en envolventes vegetales (esteras, ramas de bambú, palmera, cañas o distintos tipos de hierbas).

En verano se retiran con facilidad partes del cerramiento para incrementar los niveles de ventilación. En invierno, en cambio, se superpone un mayor número de capas para reducir la entrada de aire. En época de lluvias las dilataciones que producen el humedecimiento de las fibras vegetales cierran los intersticios, impermeabilizando la envolvente e impidiendo la entrada de agua.

El climas tropicales este tipo constructivo tiene la ventaja de eliminar la inercia térmica evitando de este modo la acumulación de calor y el incremento de la temperatura radiante interior.

**Escuela.** Rudrapur, Bangladesh. Anna Heringer. 2005

Proyecto de colaboración entre artesanos de Austria, Alemania y Bangladesh con el objetivo de potenciar la recuperación de técnicas y materiales tradicionales que vienen siendo sustituidos paulatinamente por componentes industrializados de chapa galvanizada o sistemas constructivos basados en el hormigón. La escuela en su planta inferior está construida mediante muros de adobe y alberga espacios cerrados para grupos. La planta superior está destinada a trabajos en grupo y se construye enteramente de bambú unido con cuerda de yute(7).

**Orfanato.** Ban Tha Song Yang, Tailandia. Skotte, Rintala, 2009

En este caso el programa de dormitorios se disgrega en pequeños pabellones dispuestos en abanico, multiplicando con ello la permeabilidad del espacio interior frente a cualquier dirección de viento y cualquier diferencia de presión de origen térmico que se produzca. La estructura interna y el pavimento elevado se construye con madera, mientras que los cerramientos de bambú se construyen según los patrones de la tradición local. Unas planchas de acero galvanizado conforman la cubierta permanentemente ventilada(8).

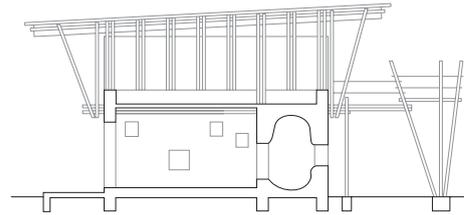


figura 4.32



figura 4.33

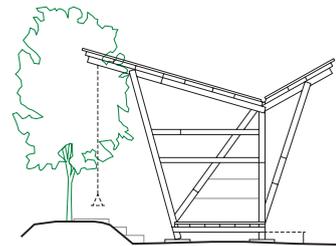


figura 4.34



figura 4.35

figura 4.36

Fig. 4.32 - 4.33. Escuela . Rudrapur, Bangladesh. Anna Heringer. 2005

Fig. 4.34 - 4.36. Orfanato. Skotte, Rintala. Tailandia. Ban Tha Song Yang. 2009

### 4.1.2.1. CHIMENEA TÉRMICA SOLAR

#### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: frío, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Extracción natural forzada por el calentamiento del aire en el interior de un conducto vertical. Al aumentar la diferencia de temperatura entre el aire contenido en el interior del conducto y el aire exterior es posible aumentar el caudal de extracción potenciando la renovación de aire e incluso la incorporación del sistema a estrategias de refrigeración.

El calentamiento se produce de forma habitual por efecto invernadero o mediante recuperadores de calor, pudiendo producirse en cualquier zona del conducto excepto en la coronación de la chimenea. Calentar el aire en este punto provoca frecuentemente la sustitución del aire precalentado por el inductor térmico por aire exterior, anulándose la succión del aire interior al oponer esta mayor resistencia dada su mayor distancia y mayor número de pérdidas de carga. Para evitar este efecto debe prolongarse la chimenea por encima del elemento calefactor al menos 1,5 m.

En climas con altos índices de nubosidad es habitual la incorporación de ventiladores con el objetivo de mantener el movimiento del aire cuando no exista radiación solar directa. Dichos ventiladores no deben situarse en el extremo superior del conducto (por las mismas razones argumentadas anteriormente).

La efectividad del sistema puede mejorarse con la incorporación en el interior de la chimenea de elementos constructivos de alta inercia térmica. Esta solución permite mantener durante unas horas la extracción cuando el sol deja de incidir en el captador.

**Edificio de viviendas EMV.** Madrid. España. AUIA. 2003

Las chimeneas de inducción térmica permiten la ventilación natural en áreas urbanas al ser capaces de inducir depresiones suficientes para forzar la entrada de aire desde zonas limpias y silenciosas evitando aberturas a zonas contaminadas o ruidosas.

El edificio está constituido por viviendas dúplex pasantes, abiertas al patio interior de manzana (Este) y a una avenida de intenso tráfico (Oeste). Para habilitar la ventilación cruzada, se construyen al oeste una serie de chimeneas solares que permiten durante la noche mantener la ventilación cruzada sin necesidad de abrir las ventanas, evitando con ello la entrada de ruido.

Un sistema programado de apertura permite almacenar durante la tarde energía en la inercia térmica interior de las chimeneas, que es liberada al anochecer al abrirse las aberturas de la coronación, activando la ventilación cuando esta es más efectiva gracias al descenso de las temperaturas exteriores. Las corrientes activadas inciden sobre la inercia térmica de paredes y forjados reduciendo su temperatura hasta 3°C.

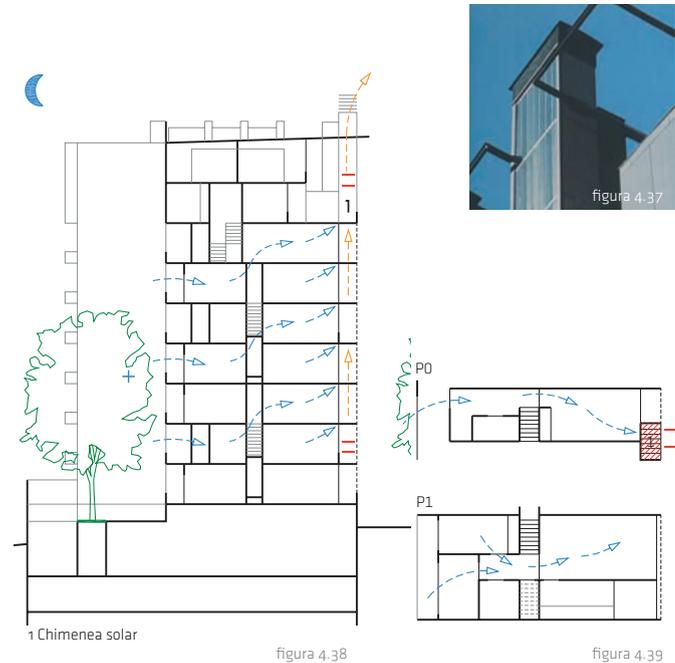


Fig. 4.37 - 4.40. Edificio de viviendas EMV. Chimeneas de extracción. Madrid. AUIA. 2003

## 4.1.2.2. INVERNADERO

### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: frío, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Consiste básicamente en un espacio acristalado, permeable a la radiación solar, de dimensión suficiente para convertirse en una estancia de uso temporal y captador energético del edificio (por lo que requerirá los imprescindibles mecanismos de distribución de la energía y su almacenamiento en la inercia térmica del interior de la vivienda).

Se recomienda en nuestra latitud ( $40^{\circ}$ ) una proporción entre la superficie acristalada al sur y la superficie a calefactar de un 35%.

En invierno, la radiación solar atraviesa el cristal, siendo absorbida por las superficies opacas de la habitación. Este calentamiento es transmitido al aire, generando leves corrientes convectivas entre el invernadero y los espacios contiguos (es recomendable potenciar la distribución de energía con ventiladores).

Por la noche, el invernadero se enfría rápidamente por lo que es imprescindible cerrar toda comunicación con él.

No es conveniente dotar de inercia térmica al invernadero para evitar que el calor de las primeras horas de la mañana se invierta en el calentamiento de esta. La inercia térmica en cambio debe situarse en el interior de los espacios contiguos.

En verano el aire caliente debe evacuarse rápidamente, manteniéndolo alejado de los ocupantes y sin mezclarse con el aire de los espacios contiguos. Para ello es imprescindible una protección opaca a la radiación solar y que al menos un 30% de la superficie acristalada superior sea móvil. Si la protección solar se sitúa en la cara interior del vidrio separada unos centímetros de este se genera un canal en cuyo interior es calentado el aire. Al ascender este y conducirse hacia las aberturas de la parte superior es posible generar succiones capaces de promover la extracción del aire interior de forma similar a una chimenea solar.

#### Parque de la Ciencia. Gelsenkirchen, Alemania. Kiessen. 1995

El edificio se estructura mediante una tipología en peine a cuya espina central se adosa un invernadero que genera una galería interior a la cual se abren laboratorios y comercios que son calefactados gracias a esta de forma natural.

En verano la carpintería inferior se eleva a la vez que se protege con stores interiores todo el invernadero.

La protección solar provoca el calentamiento del aire que asciende conducido por la propia inclinación de la fachada y es evacuado por las aberturas de la parte superior.

Frente al edificio una laguna artificial potencia la refrigeración evaporativa del aire que circulará por el interior del edificio(9).

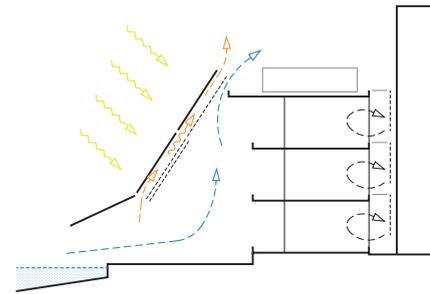


figura 4.41

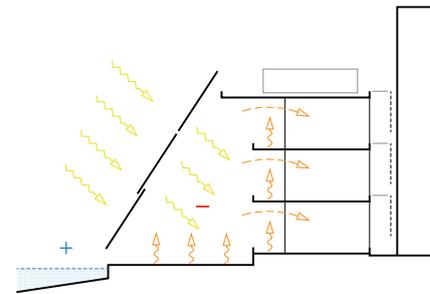


figura 4.42



figura 4.43

### 4.1.2.3. MURO TROMBE

#### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: frío y moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Sistema de captación solar por efecto invernadero en el interior de una cámara capaz de generar extracción de aire interior o corrientes convectivas que distribuyen la energía captada en su interior.

En invierno, los rayos solares atraviesan el revestimiento transparente exterior e inciden en un muro, preferentemente oscuro, construido unos centímetros tras él. El muro, al calentarse, cede energía por convección al aire. Las aberturas en la parte superior e inferior del muro establecen una corriente entre la cámara y la estancia contigua provocada por la diferencia de presiones existente entre ambas (si el muro no está aislado térmicamente una pequeña parte de la energía, entorno al 10%, se transmite por conducción al interior del edificio).

Al dejar de incidir el sol, la circulación del aire se mantiene aún varias horas gracias a la energía acumulada por el muro.

Por la noche, al enfriarse el muro, el flujo se invierte, por lo que la circulación del aire debe anularse por medio de trampillas para evitar pérdidas de calor.

En verano, el muro trombe puede utilizarse como sistema de extracción si en su parte superior se abre al exterior y se cierran las aberturas superiores que comunican la estancia con la cámara de aire.

Puede ser recomendable mantener cerrada la cámara durante el día, acumulando calor en el muro y abriendo las trampillas superiores únicamente por la noche, activando la circulación de aire coincidiendo con las horas de menor temperatura exterior.

Si el sistema va a ser empleado como calefactor en invierno y extractor en verano, es conveniente aislar el muro por la cara interior manteniendo de este modo la inercia del sistema pero anulando la transmisión de calor por conducción al interior en las épocas de calor. En nuestra latitud (40°) se recomienda una proporción entre la superficie acristalada orientada al sur y la superficie a calefactar de un 20%.

**Gimnasio escolar.** Barberà del Vallès. España. H Arquitectes. 2009

Prisma compacto pautado por el orden estructural de los pórticos de madera laminada junto a cuyo revestimiento interior y exterior conforman la fachada. Dicho intersticio genera una cámara que es calentada por el efecto invernadero al revestirse su cara exterior mediante placas de policarbonato. Una malla de simple torsión envuelve el edificio protegiendo el revestimiento y permitiendo en la fachada sur el crecimiento de plantas trepadoras que anulen la captación solar durante el verano<sup>(10)</sup>.

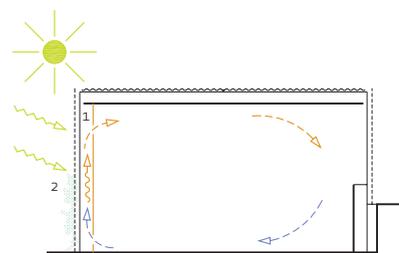
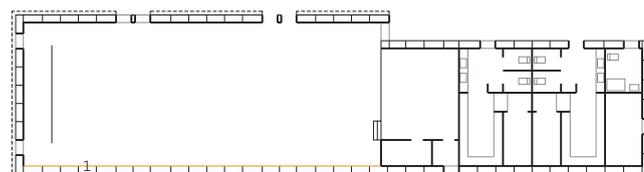


figura 4.44



figura 4.45



1 Muro Trombe  
2 Vegetación de hoja caduca

figura 4.46



figura 4.47

Fig. 4.45 - 4.47. Gimnasio escolar. Barberà del Vallès. España. H Arquitectes. 2009

#### 4.1.2.5. DOBLE CARPINTERÍA. HOJA INTERIOR VENTILADA

##### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: frío

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Sistemas desarrollados con el objetivo de permitir la ventilación natural en edificios en altura situados en climas fríos, en donde la presión del viento dificulta la apertura de ventanas. En ellos la captación solar y el precalentamiento del aire prevalecen sobre los requerimientos de refrigeración. Son sistemas complejos de alto coste que aportan ahorros energéticos limitados en climas moderados (entre el 2% y el 4%), comparados con una fachada simple por lo que su instalación debe estar sólidamente justificada<sup>(11)</sup>.

En verano la ventilación se induce por el calentamiento del aire en el interior de la cámara, generándose una corriente ascendente que succiona el aire del interior de los locales. Para que esto ocurra, algún elemento opaco en el interior de la cámara debe interceptar la radiación solar (antepechos, protección solar, etc). El volumen de aire extraído de los locales es función de la diferencia de temperatura obtenida, la altura del edificio, la presión del viento en la coronación y la fricción de la columna de aire con los límites de la cámara. Es importante evitar que se generen zonas de presión positiva en la parte alta del edificio, lo cual dificultaría la salida del aire e introduciría aire caliente en las plantas superiores. Para prevenir este efecto se debe prolongar la fachada por encima del último piso o subdividir el conducto en tramos. En invierno la doble fachada puede ser utilizada para el precalentamiento del aire inyectando en su interior el aire exterior y succionándolo desde las distintas plantas (debe evitarse en todo momento que los aportes por radiación sean menores que las pérdidas generadas por la alta conductividad del vidrio).

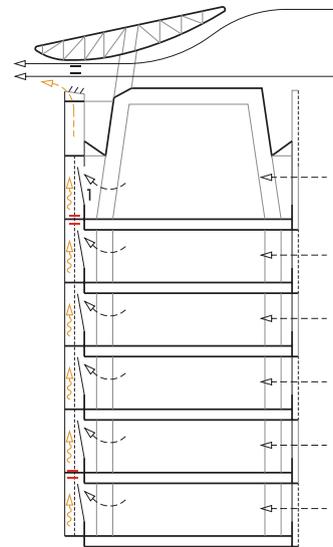
**Sede de la GSW.** Berlín. Alemania. Sauerbruch, Hutton. 1990

Fachada construida con un muro cortina doble de un 1 m de profundidad que incorpora en su interior estores plegables.

En invierno la protección solar es retirada y el sol calienta el interior de las oficinas. En verano esta se despliega calentando el interior de la cámara y generando corrientes ascendentes que succionan el aire del interior de las oficinas. Las ventanas, de eje horizontal inferior, se proyectan hacia la cámara permitiendo la extracción sin que el aire caliente penetre en el interior.

El edificio está coronado por un inductor unidireccional de fuerte presencia formal construido por medio de una subestructura de acero revestida por una lámina textil. Este evita sobrecalentamientos en la cubierta a la vez que genera una zona de fuertes presiones negativas que potencia la succión del aire contenido en la cámara.

La ventilación del espacio interior se obtiene de forma natural un 70% del año, estimándose ahorros energéticos de en torno al 37% con respecto a oficinas climatizadas de forma convencional<sup>(12)</sup>.



1 Doble carpintería. Hoja interior ventilada

figura 4.48



figura 4.49

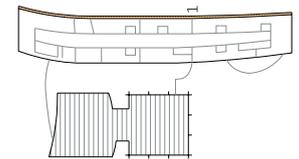


figura 4.50



figura 4.51

Fig. 4.49 - 4.51. Sede de GSW. Berlín. Alemania. Sauerbruch, Hutton. 1990

### 4.1.2.5. TORRE DE REFRIGERACIÓN ADIABÁTICA

#### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Movimiento de aire inducido por refrigeración adiabática en la parte superior de un espacio, o la coronación de un conducto vertical.

La refrigeración puede producirse por la presencia de vegetación, láminas de agua, fuentes o vaporizadores.

El aire cede la energía necesaria para la evaporación del agua reduciendo su temperatura y aumentando su humedad relativa. Como consecuencia del aumento de densidad que ello conlleva, desciende hacia los espacios habitados. La velocidad de la corriente de aire puede potenciarse de forma mecánica o mediante la orientación de los vaporizadores.

Este tipo de sistemas pueden aplicarse en atrios, construcciones en altura que se eleven por encima del edificio para captar corrientes de aire; o elementos exentos que suministren aire fresco a un espacio exterior semiconfinado.

**Acondicionamiento del Bulevar C-91.** B. Tato, J.L. Vallejo. Madrid, España. 2007

La propuesta pretende el acondicionamiento natural del Bulevar principal del ensanche de Vallecas por medio de una serie de pabellones cilíndricos desmontables y reciclables que actúan como soporte de actividades urbanas al exterior.

Dichos pabellones son capaces mediante refrigeración adiabática de generar en su interior un microclima fresco, emulando el efecto de una cobertura vegetal durante los años en que los árboles plantados a lo largo del Bulevar completan su proceso de crecimiento. En el momento en que la cobertura natural tenga el porte adecuado, los pabellones serán desmontados y reinstalados en cualquier otro espacio público de reciente creación.

La estructura cilíndrica es rodeada por una envolvente vegetal a base de trepadoras que crecen desde las distintas plataformas horizontales.

En la coronación de estos "árboles de aire", unos captadores de viento orientables introducen aire en el interior de las torres mientras es succionado por un ventilador (accionado por medio de paneles solares fotovoltaicos) que fuerza a la corriente de aire a atravesar una nube de agua atomizada. El aire se carga de humedad y reduce su temperatura alrededor de 8°C durante los primeros metros de caída hacia los espacios ocupados.

Una grada perimetral permite mantener el aire fresco confinado el mayor tiempo posible formando una piscina de aire frío.

El sistema entra en funcionamiento cuando un sensor de temperatura detecta temperaturas superiores a 27°C, siendo especialmente eficaz gracias a las altas temperaturas y la baja humedad relativa<sup>(13)</sup>.

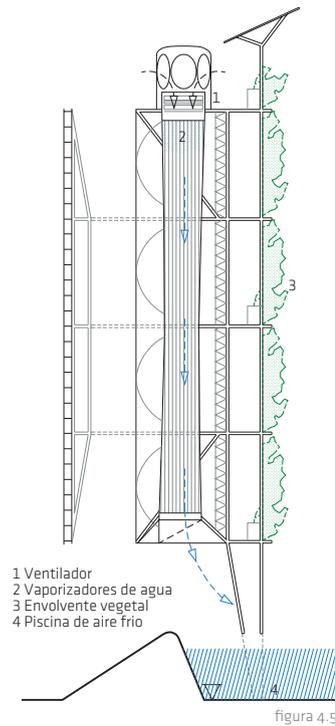


figura 4-52



figura 4-53



figura 4-54



figura 4-55



figura 4-56

Fig. 4-53 - 4-56. Acondicionamiento del Bulevar C-91. B. Tato, J. L. Vallejo. Madrid, España. 2007

## 4.1.2.6. SISTEMAS RADIANTES DE CALEFACCIÓN /REFRIGERACIÓN

### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

CLIMA: cálido seco, moderado, frío

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Movimiento natural del aire inducido por variaciones en su densidad provocadas por sistemas radiantes de calefacción o refrigeración. Dichos sistemas, a pesar de ser elementos eminentemente radiantes pueden generar corrientes convectivas lentas que apoyen la estrategia radiante de calefacción o refrigeración. Su reducido rango de temperaturas de trabajo permite incorporar focos fríos o calientes de origen natural.

**Suelo radiante.** Serpentin de tubería plástica embebido en el material pétreo por el que circula habitualmente agua caliente a una temperatura de entre 30 y 40°C (obteniéndose temperaturas superficiales de entre 24 y 26 °C). El sistema puede utilizarse para la refrigeración en verano si se recircula agua fría. La instalación reduce considerablemente su efectividad con el uso de acabados aislantes (maderas o moqueta). Es un sistema adecuado en locales de gran volumen al limitar la altura de la zona calefactada. En verano, debido a la situación del elemento radiante no es factible la inducción natural de corrientes frías. Su posición facilita en cambio la formación de piscinas de aire frío en el caso de recircularse agua fría.

**Pared radiante.** Funciona de forma similar al sistema anterior permitiendo un mayor equilibrio vertical de la radiación recibida, pese a que debido a la menor sensibilidad térmica lateral del ser humano la temperatura del emisor debe ser algo mayor. De emplearse como panel radiante frío, no genera corrientes convectivas frías de no situarse en la parte alta del local.

**Techos radiantes o ventilación por desplazamiento.** La radiación de los paneles y las corrientes convectivas que generan asumen las labores de refrigeración reduciendo el volumen de aire inyectado al mínimo requerido para el mantenimiento de la calidad del aire. Debe prevenirse la condensación superficial en los emisores por lo que su temperatura no es nunca inferior a los 15°C.

**Bree Office.** Londres, Reino Unido. Fielden Clegg, 1996

El edificio combina la ventilación natural con sistemas inducidos de extracción de aire por medio de chimeneas solares.

En verano la refrigeración es controlada mediante la manipulación de las ventanas. Al desocuparse el edificio por la noche se promueve la refrigeración nocturna por medio de la ventilación intensiva activada por ventiladores.

Los forjados de sección sinusoidal y las placas de cielo raso limitan un conducto habilitado como canal de ventilación que actúa como panel radiante.

El aire accede al edificio por pequeñas aberturas en la fachada o procedente de conductos enterrados, siendo conducido a través de los forjados hasta su inyección en el interior. La extracción se fuerza a través de las chimeneas solares en la fachada sur.

En invierno la renovación de aire se reduce al mínimo, siendo el aire exterior precalentado por las chimeneas solares y el sistema de calefacción radiante embebido en los forjados(14).

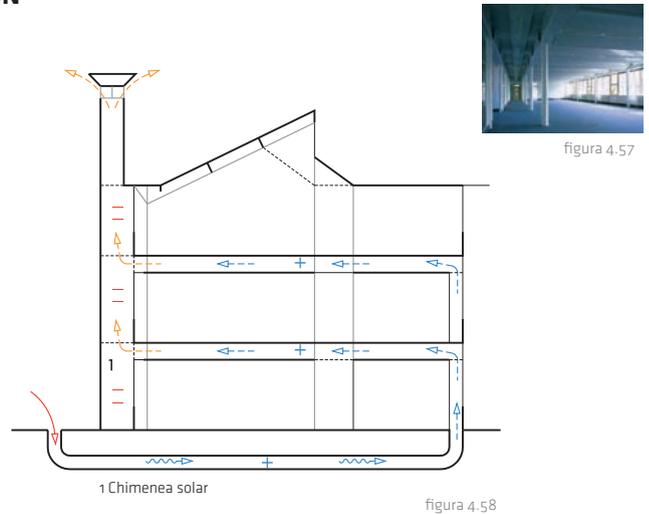


Fig. 4.58 - 4.59. Bree Office. Londres, Reino Unido. Fielden Clegg, 1996

### 4.1.3.1. VENTANA

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

El tipo de abertura, así como sus dimensiones y posición relativa son determinantes a la hora de manipular el flujo interior de aire.

**De Guillotina.** Permiten la selección de la cota de acceso del flujo, pudiendo generar corrientes altas (cuando la velocidad o la temperatura del aire puedan ser molestos o se pretenda el enfriamiento estructural) o bajas (cuando se requiera la refrigeración de los ocupantes).

**Correderas.** Permiten graduar la abertura deseada. Son poco versátiles a la hora de manipular la corriente de aire.

**Batientes.** Si disponen de algún método que gradúe su apertura (lo cual no suele ser habitual) pueden utilizarse para direccionar el flujo. Si se abren hacia el exterior pueden canalizar e introducir el aire alterando el campo de presiones en fachada.

**Pivotantes de eje vertical.** Direccionan horizontalmente el flujo.

**Pivotantes de eje horizontal.** Direccionan verticalmente el flujo.

**De lamas.** Son muy utilizadas en estrategias de ventilación ya que son fácilmente motorizables permitiendo direccionar el flujo verticalmente y regular el volumen de aire deseado.

**Abatibles.** Si el eje es inferior y su apertura es hacia el interior dirigen el flujo hacia arriba. Si la abertura es hacia el exterior, el flujo se dirige hacia abajo. Si el eje se sitúa en la parte superior actúan de forma inversa.

**En cubiertas inclinadas.** El flujo que generan está condicionado por la inclinación de la vertiente. Si esta es reducida ( $<20^\circ$ ) la ventana se situará en una zona de flujo turbulento, por lo que el aire puede entrar en cualquier dirección e incluso provocar succiones. Si la inclinación es importante ( $>20^\circ$ ) tendrá el mismo comportamiento que una abertura abierta en un plano vertical.

#### Casa Mendes da Rocha. Paulo Mendes da Rocha.

Sao Paulo, Brasil. 1960

La vivienda se sitúa expuesta al viento urbano, rodeada de vegetación sobre una pequeña colina. Un paralelepípedo cuadrado de hormigón se eleva sobre el terreno abriendo completamente dos de sus fachadas al paso del aire fresco del jardín.

La distribución interior permeable no entorpece el paso del aire. Los elementos estructurales permanecen expuestos a las corrientes. Las ventanas pivotantes dirigen el flujo de aire hacia el techo. Su propia geometría las hace bascular y las mantiene abiertas.

La carpintería de acero no ocupa la totalidad del perímetro de la abertura, quedando los vidrios separados, lo cual permite mantener la ventilación aún cuando las ventanas permanecen cerradas (diseño conceptualmente opuesto a las ventanas de climas fríos).



figura 4.60



figura 4.61

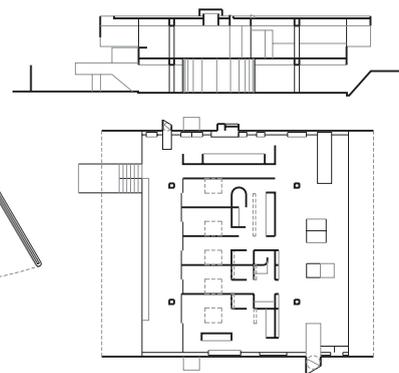


figura 4.62



figura 4.63

Fig. 4.60 - 4.63. Casa Mendes da Rocha. Paulo Mendes da Rocha. Sao Paulo, Brasil. 1960

### 4.1.3.2. DOBLE CARPINTERÍA. AMBAS HOJAS VENTILADAS

#### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: frío

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Fachadas desarrolladas para permitir la ventilación natural controlada de edificios de gran altura en donde la fuerte presión del viento dificulta o impide la apertura de ventanas.

Son sistemas muy complejos y de alto coste. La ventilación se produce gracias a la reducción de presión dinámica del viento y/o a la corriente ascendente generada por el calentamiento del aire en el interior de la cámara.

La hoja exterior protege de las altas presiones de viento dejando pasar el aire por aberturas dimensionadas en función de la velocidad de los vientos dominantes y de la posición relativa de la fachada en el edificio (altura y orientación).

La cámara entre las dos hojas de vidrio puede envolver por completo el edificio, estar únicamente conectada en columnas verticales que actúan a modo de chimeneas o estar construida por módulos independientes (*boxwindows*).

En invierno la doble fachada puede aprovechar el calentamiento que se produce en el interior de la cámara al incidir los rayos solares sobre la protección solar o los antepechos para el precalentamiento del aire de renovación.

En verano la protección solar evita la entrada de radiación mientras que el aire caliente es evacuado por la parte superior de la cámara de aire o por las rendijas practicadas en la hoja exterior.

La hoja interior es normalmente manipulable por el usuario. El tipo de abertura interior y la existencia o no de aberturas para la salida del aire condicionarán la distribución de los flujos interiores.

#### Rascacielos en la Postdamer Platz. Berlín. Hans Kollhoff. 2000

El rascacielos de Hans Kollhoff destaca en su entorno por su sistema tradicional de cerramientos murarios. Su perfil escalonado aprovecha el llamado efecto pirámide, al ofrecer poca resistencia al viento y dispersarlo en todas direcciones. Las aberturas están formadas por cajones prefabricados de madera dotados de dos hojas de carpintería separadas 22 cm entre ellas. La cámara de aire cuenta con una persiana de lamas plegables que intercepta los rayos solares calentando el aire contenido en ella.

La ventilación se produce a través de una rendija longitudinal de 6 cm practicada en la hoja exterior por la que accede el aire y otra abertura manipulable por el ocupante en la parte superior de la hoja interior. En invierno, para un mejor aprovechamiento del efecto invernadero, un motor gradúa la sección de la abertura exterior.

En verano una o ambas hojas pueden abrirse(15).

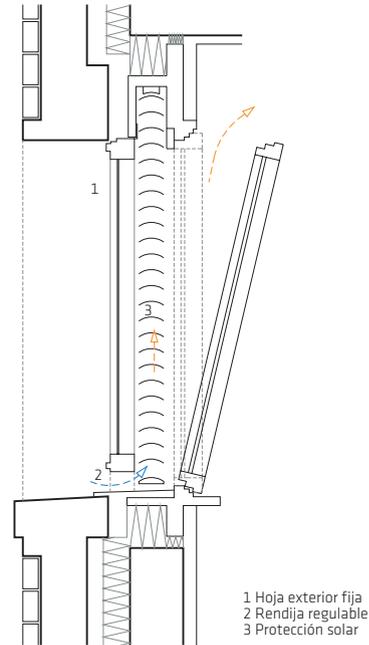


figura 4.64



figura 4.65



figura 4.66

### 4.1.3.3. PERSIANAS

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

La persiana es un mecanismo muy versátil que permite el control solar sin menoscabo de la ventilación.

Otras funciones secundarias no desdeñables son: el control de la iluminación interior o la creación de una cámara de aire entre la carpintería y el exterior que reduce las pérdidas por convección.

Las persianas no alteran la dirección del flujo entrante, excepto en el caso de que estén dotadas de lamas orientables. Tienen en cambio influencia en el volumen de aire que accede al interior, que varía en función de su porosidad.

**De librillo de tablilla fija.** Consiste en la inserción de tablillas horizontales en un marco rígido. Según su modo de apertura pueden ser fijas, correderas, batientes o proyectantes.

**De librillo de tablilla móvil.** En este caso la tablilla puede orientarse (modificando el ángulo de entrada de la corriente del aire).

**Enrollable de lamas.** Reduce al mínimo la ocupación en fachada pudiendo ser retirada fácilmente cuando la protección solar no es necesaria. Apenas permite el paso de aire entre sus lamas.

Una interesante evolución de esta tipología es la persiana de doble tambor que permite la apertura de la parte superior o inferior de la persiana en función del flujo de aire que se desee inducir.

**Enrollable de cuerda.** Con las mismas ventajas que las enrollables permite, además, cuando está desplegada y proyectada hacia el exterior, una eficaz protección solar, la visión lateral y el acceso del aire exterior.

**Proyectante.** Para facilitar la visión de la calle o aumentar la superficie de ventilación, pueden instalarse persianas de librillo o enrollables con la parte inferior proyectante.

**Apilables o venecianas.** Lamas de madera colgadas mediante un sistema de cordones que permite su apilado en la parte superior de la carpintería. Al igual que las persianas enrollables de cuerda su utilización se ve condicionada por el vaivén producido por el viento al incidir sobre ella.

**Centro social de Hostalets.** Barcelona, España. Enric Miralles, Carmen Pinós. 1992

El solar se sitúa en la periferia de la ciudad de Barcelona. Una sala de actividades sociales para 300 personas es el germen del edificio. Salas, talleres, bar, terraza y rampas rodean esta definiendo la forma final del conjunto. La protección solar de los espacios orientados al sur revisten la planta baja y la planta primera. Están formadas por persianas de librillo abatibles de eje horizontal que al levantarse gracias a las guías laterales conforman un alero que mantiene la protección solar de las salas<sup>(16)</sup>.



figura 4.67

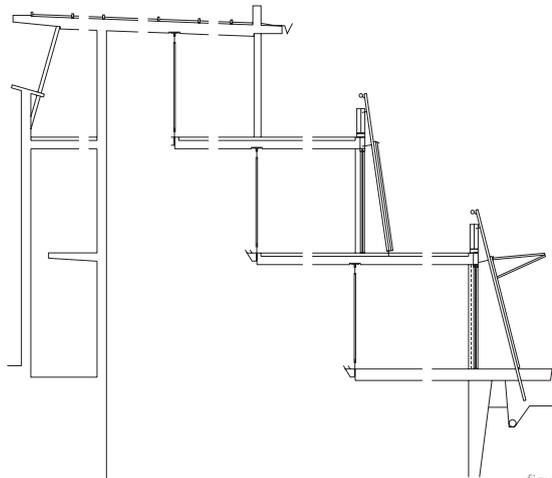


figura 4.68



figura 3.69

Fig. 4.67 - 4.69. Centro Cívico Hostalets. Barcelona. Enric Miralles, Carme Pinós. 1992

#### 4.1.3.4. PERMEABILIDAD DE LOS CERRAMIENTOS

##### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: cálido seco, cálido húmedo, moderado

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

La arquitectura popular radicada en climas de fuerte insolación, se torna permeable en función de las posibilidades de refrigeración que ofrece el entorno. Las soluciones constructivas varían desde pequeños huecos abiertos en los muros, propios de climas desérticos, hasta la total permeabilidad del sistema constructivo en climas cálidos y húmedos.

En climas caracterizados por grandes diferenciales térmicos, en donde el aire exterior está gran parte del día lejos de las condiciones de confort interior, pequeños huecos en los muros permiten limitar el volumen de aire intercambiado con el exterior al mínimo necesario para mantener la calidad del aire interior o generar embudos con rápidas corrientes que exploten el poder refrigerante de la velocidad del aire al incidir sobre los ocupantes.

En climas cálidos con altos contenidos de humedad ambiental se precisan grandes caudales de aire, por lo que no es suficiente el grado de apertura que puedan aportar puertas y ventanas. Por ello para la refrigeración natural se requieren cerramientos permeables que puedan canalizar el acceso de cualquier presión de viento que incida en el edificio.

Las celosías, por ejemplo, son muros perforados mediante muy diversos patrones que protegen el interior de la radiación directa permitiendo el paso del aire.

El rendimiento de la protección mejora si la celosía es dotada de superficies reflectantes y carece de inercia térmica. De esta forma se evita el calentamiento de esta y con ello el de la corriente de aire que circula a través de la protección solar.

##### Museo de Naga. Sudán. David Chipperfield. 2008

Naga fue un centro religioso aproximadamente entre el año 300 aC. y el año 700 dC. Las ruinas de los templos se encuentran situadas en un paisaje desde entonces inalterado a excepción de un pozo y alguna pequeña construcción temporal. El edificio se construye con el objetivo de albergar los restos arqueológicos extraídos en las campañas de excavación en un recinto protegido de posibles robos, la lluvia, el sol y las tormentas de arena.

Los muros exteriores se construyen con hormigón de áridos locales. Las placas de cubierta son de hormigón prefabricado. El sistema constructivo ordena una secuencia que parte del pórtico de acceso, una rampa flanqueada por espacios de almacén y servicio, unas salas de exposición y una galería con vistas. La secuencia abierta de espacios, la ausencia de vidrio y la disposición de las placas de cubierta generan un edificio cerrado pero totalmente permeable(17).

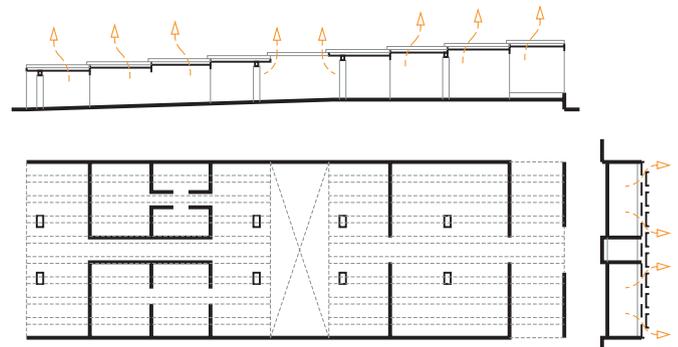


figura 4.70 - 4.71



figura 4.72



figura 4.73



figura 4.74

Fig. 4.70 - 4.74. Museo de Naga. Sudán. David Chipperfield. 2008

### 4.1.3.5. VENTANA AIREADA

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: frío

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

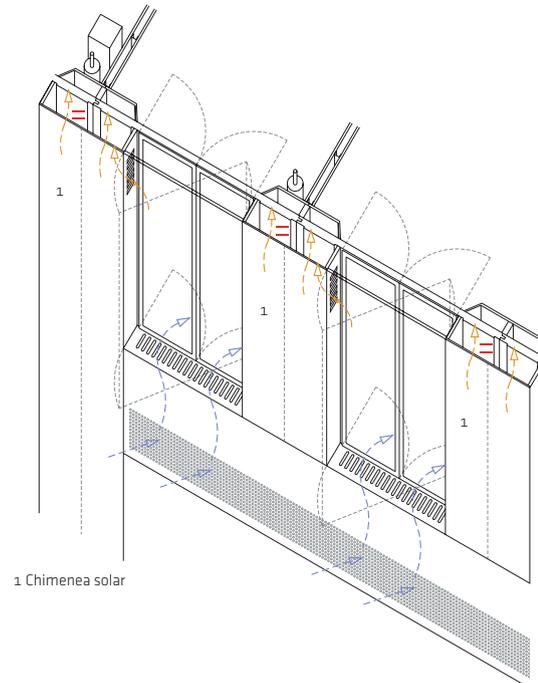
Ventilación a través de rejillas integradas en las carpinterías para la infiltración de aire inducida por la presión del viento, diferencias de temperatura o sistemas mecánicos. Son elementos habituales en climas fríos en donde es necesario reducir al mínimo la renovación del aire, para evitar pérdidas energéticas excesivas provocadas por la apertura de ventanas. Existen múltiples tipos estandarizados que van desde los modelos más sencillos con rejillas graduables o caudales constantes, hasta modelos que incluyen cierres motorizados, ventiladores o sensores de contaminación, temperatura o humedad. Cabe reseñar que este tipo de sistemas no han sido concebidos para aportar grandes caudales por lo que deben dimensionarse de forma muy generosa si pretenden ser utilizados como mecanismo de refrigeración: un aireador tipo de 90 mm renueva un caudal de 50 m<sup>3</sup>/h por metro lineal; una ventilación cruzada aporta como mínimo entre 10 y 15 renovaciones por hora.

**Rejillas de caudal constante.** Permiten el acceso de un volumen de aire constante (entre 80 y 120 m<sup>3</sup>/h por metro lineal) independientemente de cuales sean condiciones exteriores. En ausencia de diferencias de presión las lengüetas interiores permanecen abiertas. A medida que la presión aumenta las lengüetas se cierran paulatinamente, manteniendo constante el volumen de aire mediante la reducción de la sección de paso. El tiempo de respuesta de las lengüetas es lento, pudiendo provocar disconfort por el acceso de aire frío a zonas ocupadas. En caso de requerirse una regulación precisa, es posible dotar al mecanismo de un sistema motorizado que controle de forma automática el grado de apertura de la rejilla.

**Rejillas isofónicas.** En áreas urbanas el tráfico dificulta la apertura de ventanas. Las rejillas isofónicas permiten aislamientos de entre 35 y 40 DBa con caudal regulable manual o mecánicamente. La reducción de caudal que provoca el recorrido tortuoso al que se fuerza a la corriente de aire y las pérdidas de carga que producen un interior poroso, recomiendan la colocación de ventiladores que aseguren la renovación del aire interior. Estos permiten inyectar hasta 560 m<sup>3</sup>/h por metro lineal.

**Jessop West.** Sheffield. Reino Unido. Sauerbruch Hutton. 2008

La fachada fue construida con una piel de acero inoxidable y vidrio (transparente, coloreado y serigrafiado). Los paneles de acero inoxidable se perforan y actúan a modo de aireador. El aire antes de ser introducido en el interior puede ser calentado por el efecto invernadero producido en la cámara de aire existente entre ambas hojas de vidrio. La doble fachada integra una chimenea solar que facilita la extracción de aire interior<sup>(18)</sup>.



1 Chimenea solar

figura 4.75



figura 4.76

figura 4.77

Fig. 4-75 - 4-77. Jessop West, Universidad de Sheffield. Inglaterra. Sauerbruch Hutton. 2008

### 4.1.3.6. REJILLA DE VENTILACIÓN EXTERIOR

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Ventilación a través de rejillas instaladas en fachada e inducida por la presión dinámica del viento, diferenciales de temperatura entre el interior y el exterior o por medio de sistemas mecánicos integrados en estas.

En verano es un componente especialmente útil en estrategias de ventilación nocturna ya que, al evitar la necesidad de abrir ventanas, la ventilación puede mantenerse mientras los ocupantes duermen o el edificio permanece desocupado, sin que exista riesgo de robo, entrada de animales o daños causados por la lluvia.

En invierno, las rejillas móviles (motorizadas o manuales) permiten una fácil regulación del volumen de aire de renovación.

Al igual que ocurre con las ventanas aireadas, el caudal de aire obtenido con respecto a una ventana se reduce, dependiendo del tipo de lama instalado entre un 30 y en 70% por lo que para asegurar la eficiencia de la refrigeración deben dimensionarse con criterio, en función del caudal de aire que certifiquen los ensayos a los que se haya sometido el producto.

**Gimnasio Las Maravillas.** Madrid. España.

Alejandro de la Sota.1962

La construcción resuelve un programa de aulas, gimnasio y vestuarios en un complicado solar de fuerte pendiente.

El edificio se estructura a partir del diseño de la sección. Una serie de vigas puente salvan la luz existente entre la calle y el muro de contención, liberando el espacio necesario para la cancha de juegos. El cordón superior de la viga prolonga el patio de juegos existente en la cota superior, mientras que el cordón inferior marca la disposición de los pupitres en las aulas que ocupan el espacio entre vigas puente.

Mediante ventanas altas abiertas a la calle se ilumina el interior y se permite el acceso solar.

Se consigue mantener la ventilación cruzada del gimnasio a pesar de disponerse de una única fachada. La entrada de aire se realiza a través de rejillas de ventilación situadas en el zócalo del edificio. La salida de aire se produce por la cota superior a través de canales de ventilación que conectan el techo de la galería de espectadores con el exterior.

La forma de la cubierta acompaña el recorrido del aire caliente en su ascensión. En verano la corriente de aire barre la pista y las gradas incidiendo directamente sobre jugadores y espectadores, pudiéndose abrir las ventanas superiores al sur para aumentar los niveles de ventilación y evacuar el aire caliente allí acumulado(19).

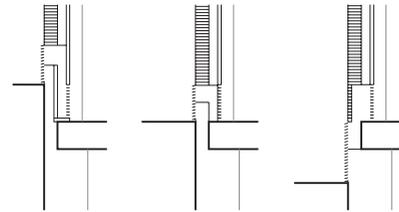


figura 4.78



figura 4.79

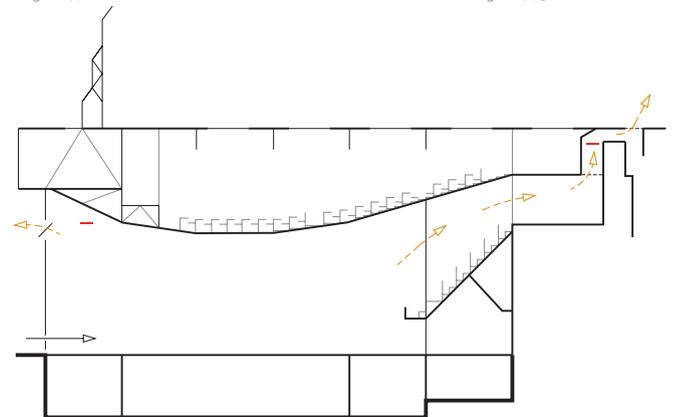


figura 4.80



figura 4.81

### 4.1.3.7. TÚNEL DE VIENTO

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: cálido húmedo, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Propuesta arquitectónica en la que la propia distribución o fragmentación de la volumetría del edificio fomenta el establecimiento de las corrientes que lo atraviesan. Esta es una estrategia especialmente interesante en clima cálido húmedo, en donde el movimiento del aire representa la principal estrategia de refrigeración.

El volumen construido debe repartirse selectivamente con el objetivo de captar los vientos frescos y cerrarse a la vez a las direcciones de viento cálido. El viento incidente fomentará sobre las fachadas un campo de presiones irregular que potenciará el establecimiento de dichas corrientes de aire.

Otra posible estrategia de implantación es la de generar "embudos" que conduzcan el viento exterior al interior del edificio. Las corrientes captadas aumentarán su velocidad al atravesar el corazón del edificio y disminuir la sección de paso.

Es imprescindible la apertura de generosas salidas de aire sin las cuales no será efectiva la captación de las corrientes.

En climas fríos son recomendables tipologías más cerradas que compatibilicen la protección frente a los vientos fríos con la refrigeración en verano.

**Loggia house.** Santa Mónica. EE. UU. Whitney R. Smith, 1945

Dentro del programa Case Study Houses el autor ensaya nuevas formas de habitar un clima moderado como el de California. El estudio de posibles alternativas al clásico patrón de uso de la vivienda elimina una serie de piezas del programa que considera superfluas tales como espacios de circulación, recibidor, hall, etc. De esta forma, una serie de cubos de ladrillo albergan los espacios de servicio y las habitaciones, rodeando al espacio común ajardinado de estancia, dejando entre ellos lugar suficiente para canalizar corrientes cruzadas frente a cualquier dirección de viento<sup>(20)</sup>.

**La casa que crece.** Berlín, Alemania. Martin Wagner. 1932

Tipología compacta de proporción cuadrada en donde los espacios se sitúan en las esquinas, abiertos a dos fachadas. El vacío central es ocupado por la sala de estar y el comedor abierto a sus cuatro fachadas.

De esta forma la casa contiene un pasaje abierto y sombreado comunicado con el exterior por medio de grandes ventanales que canalizan el viento. En invierno el corazón de la vivienda queda protegido del frío por las demás estancias.

Obsérvense las claras diferencias entre los modelos expuestos. El primero diseñado para clima moderado de alta radiación solar y el segundo diseñado para un clima frío y de baja radiación.

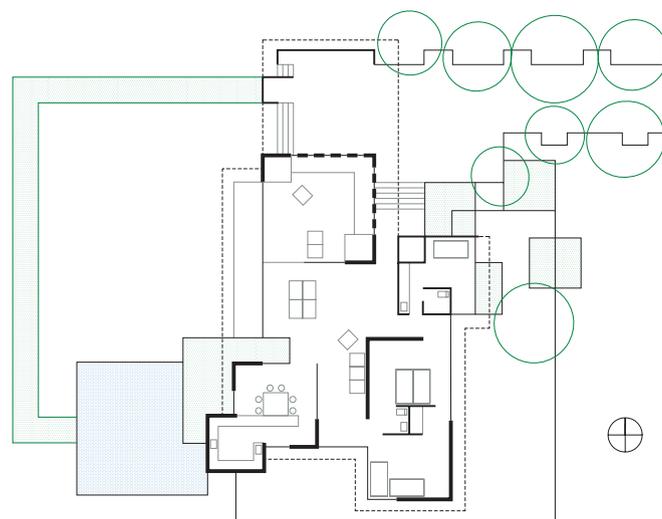


figura 4.82

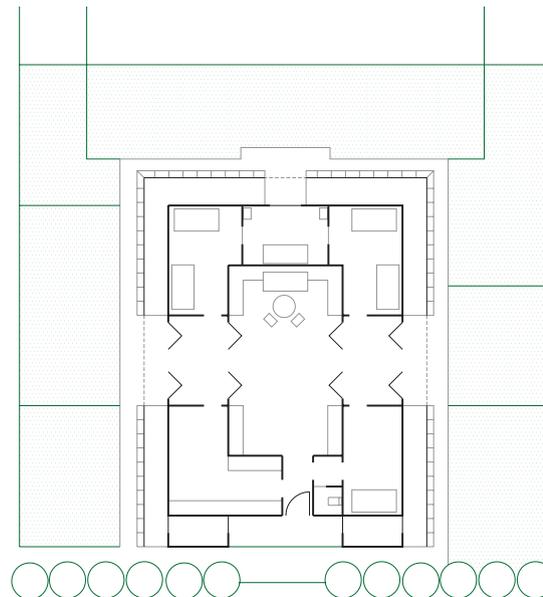


figura 4.83

Fig. 4.82. Loggia House. Santa Mónica. EE. UU. Whitney R. Smith. 1945  
Fig. 4.83. La casa que crece. Berlín. Martin Wagner. 1932

### 4.1.3.8. COMPARTIMENTACIÓN INTERIOR

#### VENTILACIÓN NATURAL

POR PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Circulación del aire a través del espacio interior facilitada por la no compartimentación del espacio o la permeabilidad de los paramentos divisorios.

Cuando se pretende el establecimiento de ventilaciones cruzadas, es muy importante el diseño de las aberturas previstas para el paso del aire entre los distintos recintos. Si estas son de reducidas dimensiones en comparación con las aberturas de fachada actuarán a modo de cuello de botella, siendo la de menor tamaño la que determina el flujo a través de todo el local.

La posición de los muebles o los tabiques pueden ser determinantes. Si se sitúan de forma perpendicular a la dirección del flujo, por ejemplo, reducen en gran medida el movimiento de aire interior.

En verano, la partición de espacios por medio de paneles móviles puede permitir direccionar el flujo en función de necesidades específicas. En este sentido, las cortinas pueden emplearse de una forma efectiva para sectorizar el espacio a climatizar. Si bien las pérdidas de calor debidas al escaso aislamiento que aportan y las fugas que se producen en su perímetro reducen su efectividad, la capacidad de limitar el bucle convectivo las convierte en un componente interesante para reducir el volumen de aire a calefactar o refrigerar.

Debe tenerse en cuenta que implicar la sección en el barrido de las corrientes de aire es igualmente importante. Con ello es posible evitar estratificaciones a la vez que se evita que el área ventilada se limite al canal que se establece entre las aberturas de acceso y de salida.

#### Casa NA. Sou Fujimoto. Tokio, Japón. 2009

Casa para dos personas construida en un denso distrito residencial de la capital japonesa.

El radical planteamiento funcional rompe con la estructura clásica de cajas cerradas superpuestas en pisos, proponiendo una asociación libre en planta y en sección comunicadas por cortos tramos de escalera, eliminando el concepto de estancia cerrada e independiente.

Unas losas delgadas, con estructura metálica de vigas de acero de 65 mm de canto, flotan libremente sobre pequeños pilares metálicos de 55 mm de lado. Apenas existen cerramientos interiores, de esta forma, los pequeños espacios se expanden debido a su continuidad con los espacios adyacentes y el aire circula libremente en planta y sección<sup>(21)</sup>.

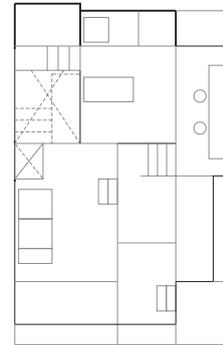


figura 4.84

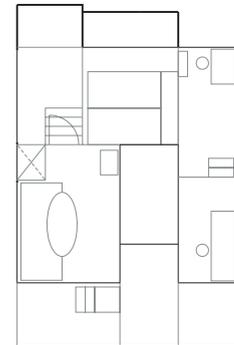


figura 4.85

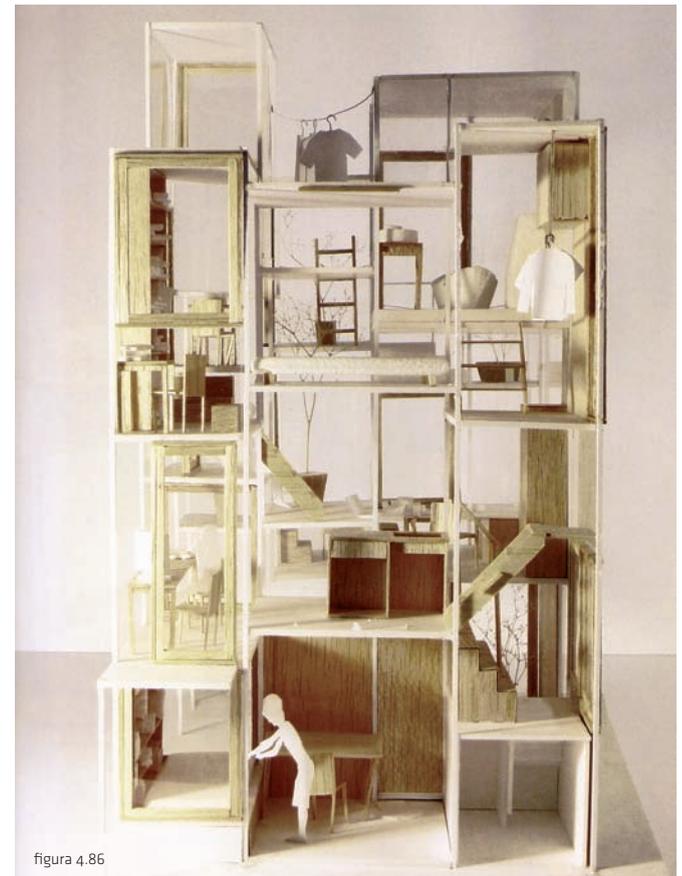


figura 4.86

#### 4.1.4.1. RESALTES, BALCONES, VOLADIZOS

##### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

La ventilación por presión dinámica de viento se produce siempre y cuando exista una diferencia de presión entre las aberturas de entrada y salida provocada por el distinto modo en el ángulo e intensidad con el que incide el viento sobre la envolvente del edificio.

La utilización de elementos salientes en fachadas y cubiertas puede utilizarse por lo tanto como herramienta para desviar las corrientes de aire o generar diferenciales de presión.

Los elementos proyectantes pueden alterar el flujo y la dirección de la corriente. Son especialmente recomendables en casos de ventilación simple ya que pueden inducir diferencias de presión entre las distintas ventanas de una misma fachada. Será recomendable por lo tanto no colocar resaltes en todas la aberturas sino instalarlos alternativamente en las entradas o salidas de aire.

Los voladizos de cubierta incrementan el flujo que accede al interior al interceptar las corrientes de aire que tratan de superar el edificio a modo de embudo dirigiéndolas hacia las aberturas.

La fragmentación de la cubierta es otro mecanismo capaz de crear depresiones en las zonas adyacentes a esta, y por tanto succiones en el interior que potencien la extracción. Es importante el estudio del mapa de presiones que se producen en la cubierta para evitar la generación de corrientes interiores inesperadas por la apertura de ventanas en zonas erróneas invalidando con ello la estrategia de ventilación.

##### Edificio Cube. Guadalajara, México. Carne Pinos. 2005

El proyecto nace de la voluntad de generar un bloque de oficinas refrigerado e iluminado de forma natural en un edificio de pretendida singularidad. Con dicha estrategia la ventilación natural y la reducción de cargas internas han hecho posible la eliminación de sistemas artificiales de climatización.

Para ello se distribuye toda la superficie construable de oficinas en altura y elevada sobre el nivel de suelo en tres paquetes alrededor de un vacío central descubierto.

Tres núcleos de hormigón como única estructura albergan los servicios y los núcleos de comunicaciones, liberando el resto del espacio para oficinas de planta libre abiertas a múltiples orientaciones. Dicha condición (alejada de tipologías prismáticas de bloque en altura) permite el barrido del viento exterior y la generación de corrientes cruzadas forzadas por la diferencia de presiones existente entre la fachada exterior expuesta y las aberturas protegidas que se abren al vacío central del edificio.

Las oficinas se revisten de una protección solar de lamas de madera que protegen el muro cortina en su perímetro exterior(22).

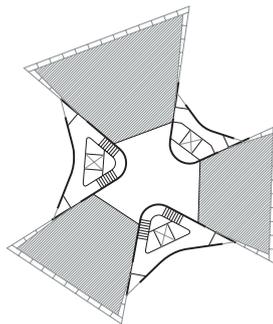


figura 4.87

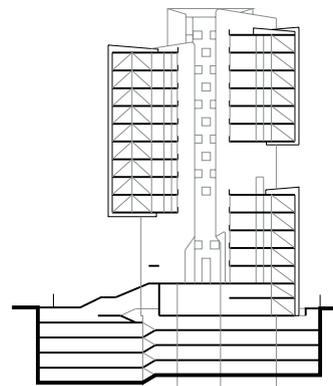


figura 4.88



figura 4.89

figura 4.90

Fig. 4.87 - 4.90. Edificio Cube. Guadalajara, México. Carne Pinos. 2005

#### 4.1.4.2. CAPTADOR UNIDIRECCIONAL / MULTIDIRECCIONAL

##### VENTILACIÓN NATURAL

INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: cálido seco, cálido húmedo, moderado

##### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Componente de ventilación encargado de conducir el viento que circula sobre las edificaciones hacia el interior de estas.

La corriente de aire aumenta su velocidad con la altura al reducirse las turbulencias generadas por la topografía, las edificaciones o la vegetación.

Las condiciones del aire como materia prima de ventilación mejoran al disminuir su temperatura, la presencia de elementos contaminantes y partículas en suspensión.

El diseño específico del captador dependerá de la severidad del clima, el régimen de vientos, las tradiciones locales o disponibilidad de sistemas industrializados, pudiendo ser desde pequeñas prolongaciones de la cubierta que desvían el aire hacia aberturas, hasta altas estructuras que se elevan varios metros por encima de los edificios.

Los captadores unidireccionales se instalan en el caso de existir una dirección predominante de vientos frescos aptos para la refrigeración. Los captadores multidireccionales serán capaces en cambio de conducir vientos de cualquier dirección, que circulen por encima de las edificaciones, hasta el interior de estas por medio de bocas múltiples o elementos giratorios.

Deben evitarse las direcciones de viento cálido en verano y permitir anular la captación durante períodos fríos.

##### Facultad de Humanidades y Ciencias. Doha, Catar.

Kazuhiro Kojima, Kazuko Akamatsu. 2004

Edificio ubicado en una zona suburbana de la capital de Catar, a orillas del golfo Pérsico, inscrita en la ampliación de la ciudad de la educación. No existe una trama urbana ni referentes cercanos al edificio caracterizado por la intensa luz y la crudeza del clima desértico. Es por ello que el proyecto se conforma como un volumen paralelepípedo contundente del que solo sobresalen las torres multidireccionales de captación de viento.

La protección solar que ofrece la doble piel se extiende a la cubierta remarcando el carácter introspectivo del conjunto.

Las salas de conferencias, aulas y demás parte del programa se reparten en paquetes por el interior del perímetro de fachada liberando generosos espacios de circulación y relación, patios no superpuestos recubiertos con celosías que permiten en todo momento un interior protegido de la radiación solar y permanentemente ventilado.

Las torres de captación de viento que actúan como contrapunto vertical a la horizontalidad del conjunto son el principal recurso formal del edificio, ventilando la planta semisótano al atravesarlo<sup>(23)</sup>.

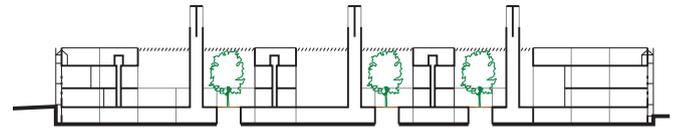


figura 4.91



figura 4.92

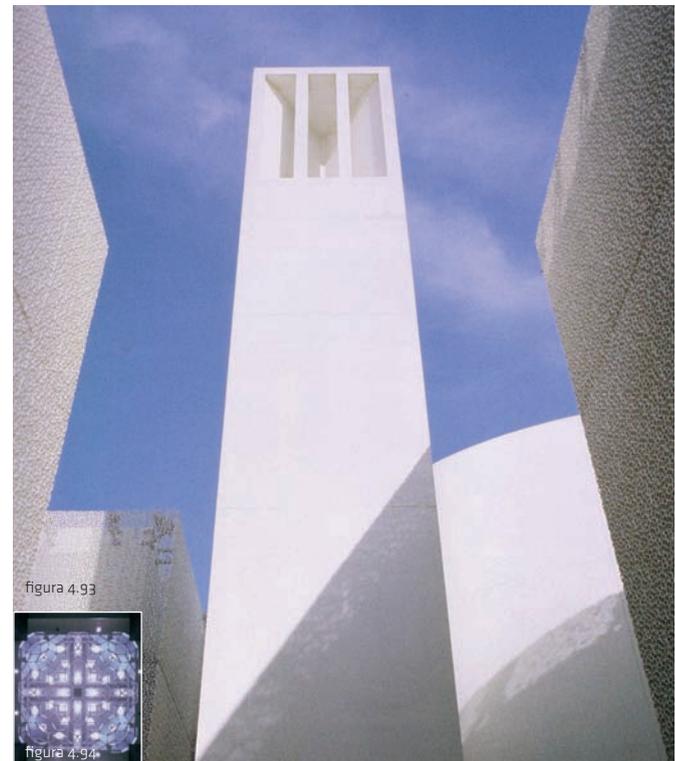


figura 4.93

figura 4.94

Fig. 4.91 - 4.94. Facultad de Humanidades y Ciencias. Doha, Catar. Kazuhiro Kojima, Kazuko Akamatsu. 2004

### 4.1.4.3. EXTRACTOR UNIDIRECCIONAL / MULTIDIRECCIONAL

#### VENTILACIÓN NATURAL

##### INDUCTORES DE PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Elementos capaces de forzar el incremento de las succiones en zonas exteriores cercanas a las aberturas o en la cabecera de conductos verticales, al desviar la trayectoria del viento, o inducir su paso por canales abiertos entre las aberturas de cubierta y el componente inductor. Su funcionamiento se basa en el teorema de Bernoulli (la presión de un fluido en movimiento decrece a medida que su velocidad aumenta).

Los extractores unidireccionales son aquellos que solo activan la ventilación frente a determinadas direcciones de viento, bien por ser estas las corrientes dominantes o con el objetivo de evitar activar la extracción frente a direcciones de viento cálido.

Los extractores multidireccionales son inductores de extracción que aseguran la succión del aire interior frente a cualquier dirección del viento. Son habituales como coronación de conductos verticales de ventilación o sobre patios para aumentar el volumen de aire succionado. Existen numerosos productos industrializados que aseguran volúmenes de evacuación de entre 50 y 1000 m<sup>3</sup>/h.

#### Hall 26. Recinto ferial. Hannover. Alemania. Thomas Herzog

EL Hall 26 es uno de los pabellones perteneciente al recinto ferial de Hannover. En él, la manipulación de la sección conduce el aire interior hacia las aberturas, situadas en la parte superior de la cubierta, allí donde el edificio concentra las mayores presiones negativas. La extracción se encuentra reforzada por inductores unidireccionales. Al forzarse el paso del aire entre el inductor y la cubierta aumenta su velocidad reduciendo su presión y potenciando las succiones. La apertura de las distintas aberturas está automatizada en función la dirección del viento.

La necesidad de liberar el suelo para maximizar el espacio de exposición fuerza habitualmente en los recintos feriales a impulsar el aire frío de climatización desde zonas altas, lo cual obliga a emplear temperaturas reducidas y velocidades de impulsión elevadas. En este caso, la impulsión del aire se produce a través de conductos de vidrio contruados a 3 m. de altura que impulsan el aire hacia abajo sin obstaculizar el espacio expositivo ni impedir la lectura diáfana del recinto.

La combinación de técnicas naturales y artificiales permite reducir el volumen de aire acondicionado limitando el número de conductos de impulsión (1 cada 75 m).

La reducción de consumos se sitúa en torno a un 50% con respecto a edificios similares dotados de sistemas de acondicionamiento artificial convencionales(24).

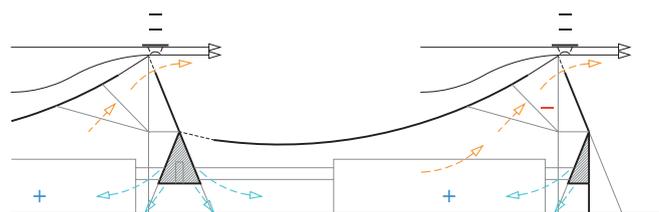


figura 4.95



figura 4.96

figura 4.97

Fig. 4.95 - 4.97. Inductor de extracción. Palacio de Exposiciones de Hannover. Alemania. Thomas Herzog

## 4.2. EXTRACTOR / INYECTOR

### VENTILACIÓN MECÁNICA

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Sistema basado en la utilización de algún componente mecánico para forzar la extracción o inyección de aire exterior.

Habitualmente se encuentran asociados a mecanismos de renovación para el mantenimiento de la calidad interior del aire y no a mecanismos de refrigeración. Pese a ello estos tienen la capacidad, si son considerados de una forma integrada con el resto de estrategias de acondicionamiento, de jugar un importante papel en la reducción de consumos de refrigeración. Su utilización puede estar motivada por la existencia de una red de conductos, por la inexistencia o variabilidad de fuerzas de inducción naturales o por requerimientos de control del sistema de climatización.

Existen tres tipos básicos:

Los sistemas de inyección se basan en la introducción de aire en el local, siendo la sobrepresión generada la encargada de provocar la salida del aire por los huecos, rendijas o conductos de extracción.

Los sistemas de extracción, por el contrario, fuerzan la salida del aire interior generando depresiones capaces de inducir la entrada de aire desde zonas exteriores frescas y libres de polución.

La ventilación equilibrada combina la impulsión y extracción simultánea del aire de modo directo o a través de una red de conductos evitando sobrepresiones o depresiones dobles en el interior.

**The Milenium Dome.** Londres. (Inglaterra). R. Rogers. 1996-1999

La cúpula es el espacio cubierto más grande del mundo con 320 m de diámetro y 50 m de altura.

El edificio cuenta con un sistema mixto de ventilación.

Durante el verano, si las condiciones exteriores son favorables para el confort térmico interior, se abren 36 aberturas repartidas por toda la cúpula, induciéndose la ventilación por efecto chimenea potenciada por el efecto Bernouilli que provoca en ellas la propia cúpula. El aire exterior es introducido por las aberturas inferiores practicadas en los cerramientos laterales.

Si la ventilación natural no ofrece el caudal suficiente o no tiene la temperatura adecuada, la temperatura interior aumenta. En ese momento 12 ventiladores instalados en los mástiles extraen un volumen de 540 m<sup>3</sup>/s provocando una depresión en el espacio interior que es equilibrada por la impulsión de aire acondicionado y/o las aberturas e infiltraciones de aire exterior.

La regulación del sistema se efectúa de forma automática mediante la manipulación de los caudales introducidos (de aire exterior o aire acondicionado) en función de las condiciones exteriores (la reducción del volumen de aire acondicionado provoca el consiguiente aumento del aire exterior y viceversa)(25).

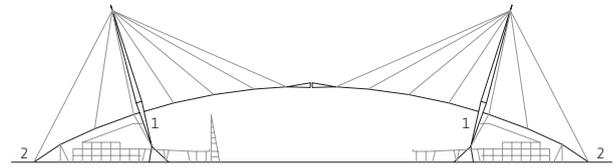
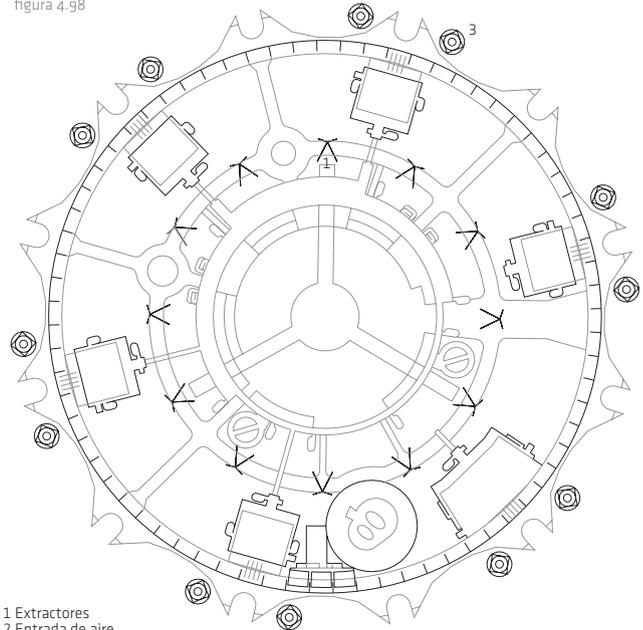


figura 4.98



- 1 Extractores
- 2 Entrada de aire
- 3 Equipos de refrigeración

figura 4.99



figura 4.100



figura 4.101

Fig. 4.98 - 4.101. The Milenium Dome. Londres. Inglaterra. Richard Rogers. 1996-1999

### 4.3. SISTEMAS MIXTOS

#### VENTILACIÓN NATURAL/MECÁNICA/ACONDICIONADA

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En general, no es posible obtener la cobertura total mediante sistemas de acondicionamiento natural o bien usos específicos de los espacios o condiciones climáticas extremas aconsejan acudir a sistemas de acondicionamiento artificial. A pesar de ello, la consideración de la refrigeración natural y mecánica en el diseño de sistemas de acondicionamiento artificial de aire puede reducir al mínimo los períodos de funcionamiento y el salto térmico que estos deben alcanzar, reduciendo con ello el consumo energético.

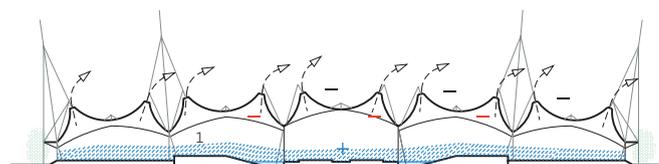
En la actualidad se emplean principalmente sistemas basados en bombas de calor con sistemas aire-agua en los que una o varias máquinas enfrían el fluido refrigerante que es transportado hasta los emisores o *fan-coils*. Allí mediante un intercambiador se refrigera o calefacta el aire de la estancia a acondicionar y se mezcla con aire procedente del exterior.

Los sistemas mixtos son sistemas de acondicionamiento que combinan sistemas naturales y sistemas artificiales en función de las condiciones exteriores gracias a mecanismos de regulación que permiten la máxima eficiencia con un consumo energético mínimo. Pueden llevar aparejados cualquier mecanismo de prerefrigeración o precalentamiento del aire como puedan ser recuperadores de calor, refrigeradores por evaporación, conductos enterrados, etc.

**El Palenque.** Sevilla. España. José Miguel de Prada. 1992

Durante el día las altas temperaturas y la reducida humedad recomiendan la refrigeración adiabática. Fuentes, estanques y agua vaporizada refrigeran el aire interior. Los cerramientos vegetales y la sección semienterrada mantienen el aire fresco en el interior conformando una piscina de aire frío. La forma de la cubierta conduce el aire calentado por las cargas internas hacia el vértice de los conos, desde donde este es evacuado. La extracción es reforzada por el efecto Bernouilli que provoca la fragmentación de la cubierta y por ventiladores en los días de calma.

Por la noche las temperaturas descienden hasta los 22°C y la humedad alcanza el 90%. La refrigeración se induce entonces forzando el paso del aire a través de la masa de hormigón de las gradas y el pavimento acumulando frigorías para la siguiente jornada. Al mismo tiempo las fuentes se ponen en funcionamiento recirculando y enfriando el agua de los estanques. El sistema de acondicionamiento artificial de aire entra en funcionamiento únicamente cuando las altas temperaturas o la celebración de espectáculos hacen insuficientes las estrategias de refrigeración natural. El sistema refrigera el aire interior de forma artificial apoyado por un intercambiador que extrae las frigorías acumuladas por las láminas de agua durante la noche(26).



1 Vaporizadores de agua y piscina de aire frío

figura 4.102

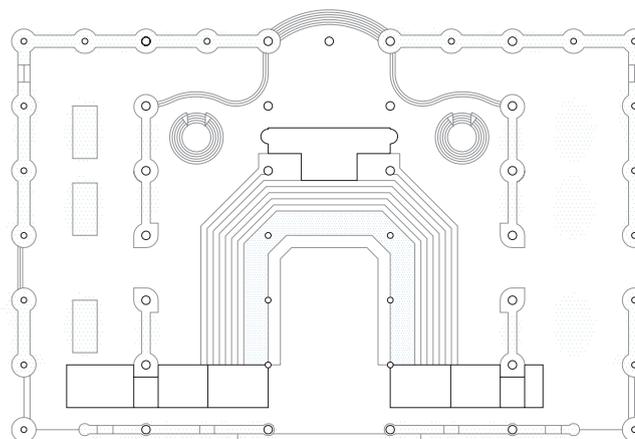


figura 4.103



figura 4.105

Fig. 4.102 - 4.105. El Palenque. De Prada. Sevilla. España.1992

## NOTAS

1. Soriano, Vicente. *Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El oasis de Skoura*. Fundación Caja de arquitectos. Madrid, 2008
2. Kazuhiro, Kojima/CAT. GG. Barcelona 2009
3. Yannas, Simos (editor). *Design Educational Buildings*. European Commission. DGXII for Science, Research and Development
4. Powell, Kenneth. *Richard Rogers 1,2*. Kenneth. Phaidon. Londres, 1999
5. J.M. Richards. *Hassan Fathy*. Concept Media. Londres. 1985
6. Correa, Charles. *Charles Correa*. Thames & Hudson. Londres, 1996
7. *Arquitectura Viva* nº 133
8. *Arquitectura Viva* nº 133
9. Lloyd, Jones. *Arquitectura y Entorno*. H. Blume. Barcelona, 2002
10. *Domus* nº 933. 01/02
11. Schittich, Christian. *Pieles nuevas*. Edición Detail. Munich, 2003
12. Daniels, Klaus. *Low tech light tech building in the information age*. Basel, 1999
13. Tato/Vallejo/García-Setien. *Monoespacios*. COAM. Madrid, 2006
14. J. Owen Lewis. *A Green Vitruvius*. James & James. Londres, 1999
15. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag. Munich, 1996
16. *El Croquis* nº 30+49+50. Enric Miralles. 2002
17. *El Croquis* nº 150 David Chipperfield
18. *Sauerbuch & Hutton*. 2G nº 52. Barcelona 2009
19. de la Sota, Alejandro. *Alejandro de la Sota*. Ediciones Pronaos. Madrid, 1989
20. Susanne Klinkha. *Case Study Building Program*. Taschen. Köhl, 2002
21. *Sou Fujimoto*. 2G nº 50. Barcelona 2009
22. *X Bienal de Arquitectura y Urbanismo*. Ministerio de la Vivienda. Madrid, 2009
23. Kazuhiro Kojima. 2G nº 43. Barcelona 2009
24. Eckert Anja. *Modell Kronsberg*. Comisión Europea. Proyecto nº NNE5/1999/140. Hannover, 2000
25. *Richard Rogers*. PHAIDON. Nueva York. 2006
26. *Arquitectura y Clima en Andalucía*. Junta de Andalucía. Sevilla 1997



## 5. PRETRATAMIENTO DEL AIRE - MINORACIÓN DE LA DEMANDA

### 5.1. PREENFRIAMIENTO

#### 5.1.1. A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS CONVECTIVAS

- 5.1.1.1. Conductos enterrados
- 5.1.1.2. Refrigeración nocturna

#### 5.1.2. A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS EVAPORATIVAS

- 5.1.2.1. Agua. Sistemas directos
- 5.1.2.2. Vegetación
- 5.1.2.3. Agua. Sistemas indirectos

### 5.2. PRECALENTAMIENTO

#### 5.2.1. ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN PASIVA

- 5.2.1.1. Invernadero

#### 5.2.2. ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN ACTIVA

- 5.2.2.1. Colectores solares

### 5.3. MINORACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

#### 5.3.1. PREVENCIÓN DE CARGAS



Fig. 5.1. Casa E. Aguilar. Guadalajara. México. Luis Barragán. 1928



### 5.1.1.1. CONDUCTOS ENTERRADOS

#### PREENFRIAMIENTO

A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS CONVECTIVAS

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema consiste en la instalación de una batería de conductos a cierta profundidad para, por medios mecánicos, forzar el paso de aire a través de ellos para la refrigeración o calefacción del mismo.

La efectividad del sistema se ve incrementada a medida que se incrementa la superficie de contacto entre conductos y terreno.

A mayor profundidad se obtendrán menores temperaturas; en cambio, el aumento de la presión ejercida sobre el tubo obligará a la utilización de espesores mayores y por lo tanto de menor conductividad térmica y mayor coste. En climas secos existe la posibilidad de emplear materiales porosos que multipliquen la eficiencia del sistema gracias al enfriamiento evaporativo.

Normalmente se utilizan tubos de acero (galvanizado o inoxidable), hormigón (en masa o centrifugado), cerámicos o plásticos (PVC o Polietileno).

El terreno en contacto con los conductos debe ser lo más difusivo posible y estar correctamente compactado, evitándose microbolsas de aire que aislen al tubo del medio que lo envuelve. La arena es el material idóneo.

Si no es posible alcanzar profundidades adecuadas y se dispone de grandes cantidades de agua, es igualmente efectivo enterrar los conductos cerca de la superficie manteniendo el terreno constantemente húmedo. Una capa de cantos rodados sobre la arena evita el calentamiento provocado por la radiación solar. Es recomendable impermeabilizar el terreno bajo los conductos para controlar el consumo de agua.

**Edificio de Viviendas.** Móstoles. España  
Larrea-Gómez-Prieto. 2009

Durante el invierno el aire de renovación accede al subsuelo del edificio mediante 10 entradas de aire situadas junto a la fachada norte. A través de una galería el aire desciende a siete metros de profundidad y circula entre 35 y 40 metros por un serpentín de 45 conductos horizontales hasta llegar a dos unidades de tratamiento de aire (UTAS), donde, si las calorías obtenidas del subsuelo no fueran suficientes, se calefacta antes de ser distribuido por las 92 viviendas. La extracción del aire se produce gracias a la sobrepresión generada en el interior del apartamento y el apoyo de unas chimeneas solares construidas en la cabecera de los conductos de extracción.

Durante las noches de verano y los períodos de entretiempo la disposición pasante de las viviendas habilita la ventilación cruzada.

Por último, durante los días de verano el aire es prerefrigerado por los conductos enterrados reduciendo o eliminando el salto térmico que deben aportar las UTAS(1).

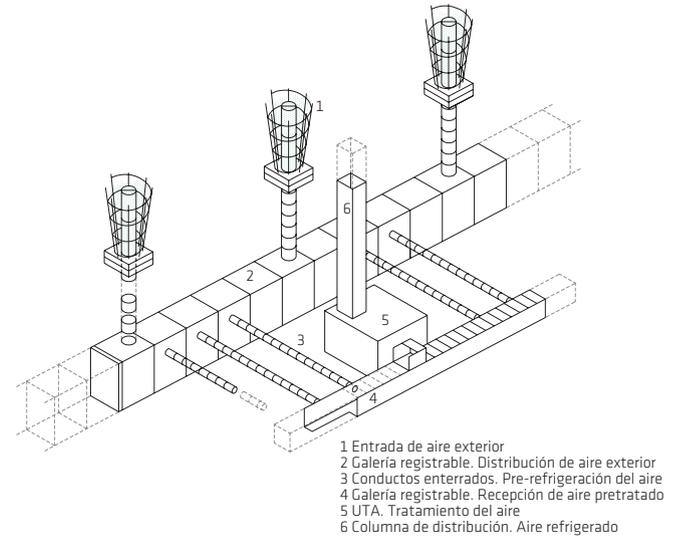


figura 5.2

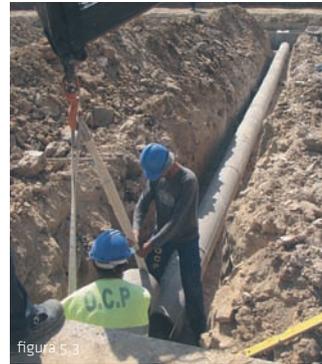


figura 5.3



figura 5.4



figura 5.5

Fig. 5.2 - 5.5. Edificio de Viviendas. Móstoles. España. Larrea-Gómez-Prieto. 2009

### 5.1.1.2. REFRIGERACIÓN NOCTURNA

#### PREENFRIAMIENTO

A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS CONVECTIVAS

CLIMA: cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

La refrigeración nocturna es uno de los sistemas más efectivos de refrigeración en clima moderado. Consiste en el aprovechamiento del descenso de las temperaturas nocturnas para la ventilación intensiva del edificio. La orientación de los huecos de entrada hacia los vientos dominantes y la apertura de huecos de salida a sotavento habilitan la ventilación cruzada.

Tan importante como el enfriamiento del aire interior, es la acumulación de las frigorías obtenidas en la masa del edificio. Para un correcto enfriamiento, las ventanas o elementos mecánicos que puedan forzar la entrada de aire deben situarse cerca de las paredes o techos para, de esta forma, permitir a la corriente de aire frío intercambiar energía con la masa del edificio.

Si no se cuenta de una forma regular con la presencia de viento, los ventiladores son muy útiles para mantener la circulación interior del aire. Con un simple temporizador es posible maximizar la eficacia de la ventilación forzando la entrada del aire solo en los períodos más frescos de la noche.

Debe tenerse en cuenta el recorrido de las corrientes de aire frío para evitar que estas incidan de forma directa sobre los ocupantes a la vez que se trata de multiplicar el número de corrientes que barren el espacio interior e inciden sobre paredes y muros para evitar zonas no refrigeradas. Del mismo modo es necesario el control de la humedad exterior para evitar la introducción en el edificio de aire saturado fuera de las condiciones de confort.

#### Proyecto Previ. Lima. Perú. C. Correa. 1969-1973

Proyecto fruto del concurso de vivienda promovido por el gobierno de Perú y la ONU. El proyecto apuesta por un modelo extensivo de baja densidad, crujía estrecha y gran longitud perforado por gran número de pequeños patios.

Las viviendas, autoconstruídas y proyectadas para un crecimiento progresivo, se alinean según el eje NNESSSE, orientación óptima para el asoleo y la captación de brisas.

Durante el día la vivienda puede permanecer cerrada refrigerada y ventilada a través de los pequeños patios con vegetación y cubiertos con lamas para la protección solar.

En períodos de calma los patios actúan como efectivos elementos de extracción.

Durante la noche se activa la refrigeración nocturna al acceder el aire a la vivienda captado por los porches de entrada o los captadores, atravesándola completamente gracias a la estructura no compartimentada(2).



figura 5.6

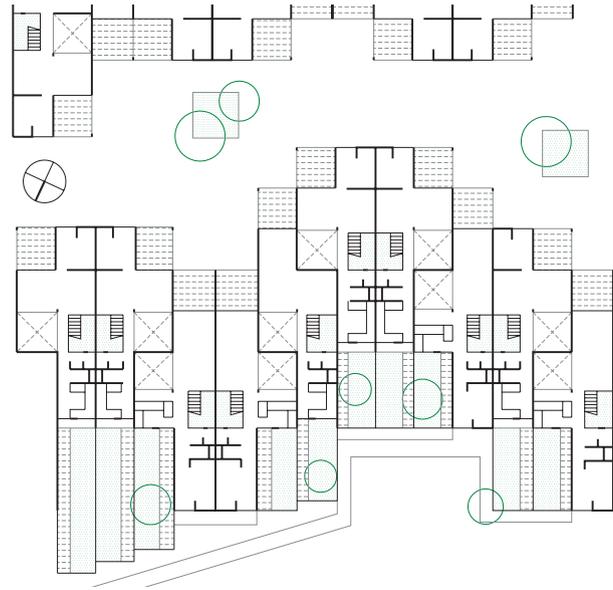


figura 5.7

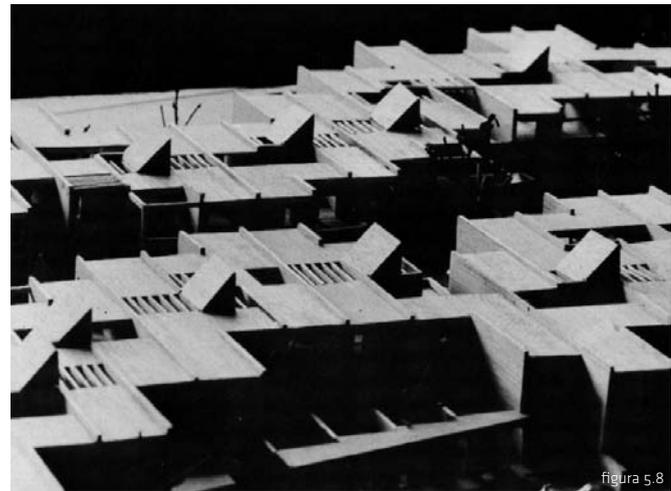


figura 5.8

Fig. 5.6 - 5.8. Proyecto Levi. Lima. Perú. Charles Correa. 1969-1973

### 5.1.2.1. AGUA. SISTEMAS DIRECTOS

#### PREENFRIAMIENTO

A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS EVAPORATIVAS

CLIMA: cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Los sistemas de refrigeración evaporativos aprovechan la energía requerida para la evaporación del agua contenida en el aire como sumidero de calor la evaporación de un solo gramo de agua reduce la temperatura de un metro cúbico de aire 2,2 °C).

Los sistemas evaporativos directos son aquellos en los que la refrigeración del aire provoca un incremento de humedad relativa en el aire interior, la cantidad de frigorías aportadas por la estrategia, por lo tanto, estará condicionada por el nivel máximo de humedad relativa tolerable. La cantidad de calor disipado dependerá también de la velocidad del aire y de la diferencia entre la presión de vapor del agua y la presión de vapor del aire (a menor humedad mayor capacidad de evaporación). Los valores oscilan entre 150 y 200 Wm<sup>2</sup> (cálculos basados en las condiciones climáticas medias de verano (2)).

Los principales sistemas son los siguientes:

**Muros o pavimentos húmedos.** Consiste en la irrigación de dichos elementos a la vez que se fuerza la incidencia de corrientes de aire sobre ellos.

**Láminas de agua.** La tasa de evaporación y por tanto la refrigeración obtenida dependerá de su exposición a las corrientes. Evidentemente es preferible primar su superficie frente a la profundidad.

**Fuentes, saltos de agua.** Aumentan la superficie de transferencia entre el aire y el agua, incrementando la tasa de agua evaporada y en consecuencia la refrigeración obtenida.

**Micronizadores.** Los micronizadores proyectan un cono de pequeñas gotas de agua que quedan suspendidas en el aire multiplicando la tasa de evaporación. La posición de los vaporizadores debe situarse de tal forma que no intersecten sus conos ni incidan sobre la envolvente del local o los ocupantes ya que podría producirse la condensación y la precipitación de gotas de agua. No son sistemas aconsejables en el caso de existir aguas duras ya que estas podrían obstruir rápidamente los micronizadores.

**Humidificadores mecánicos.** Consiste en la colocación de ventiladores frente a un tejido poroso que se mantiene constantemente saturado de agua.

#### Casa Weizmann. Jerusalén. Israel. E. Mendelshon. 1937

El programa de la vivienda se estructura alrededor de un patio ocupado prácticamente en su totalidad por la piscina, dejando apenas el espacio necesario para un pórtico sombreado de circulación al que se abren los espacios habitados. El aire es captado por el porche de acceso y refrigerado por evaporación antes de acceder al interior de la vivienda. Por la noche las habitaciones situadas en la planta piso quedan elevadas y expuestas a las brisas nocturnas(3).

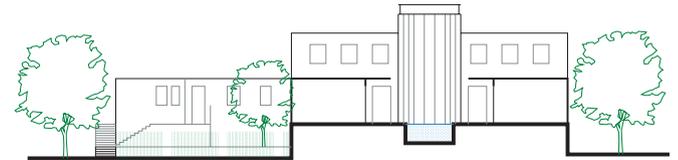


figura 5.9

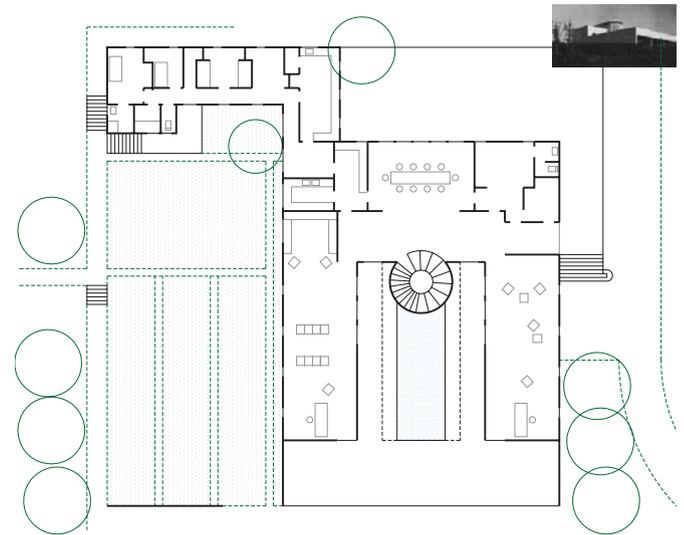


figura 5.10 - 5.11

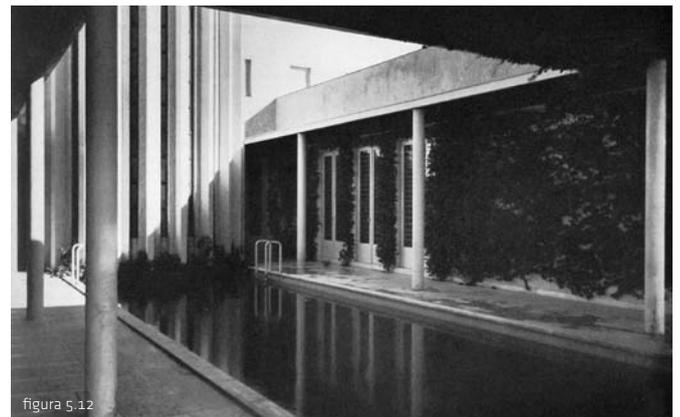


figura 5.12

Fig. 5.9 - 5.12. Casa Weizmann. Jerusalén. Israel. Mendelsohn. 1936 -1937

## 5.1.2.2. VEGETACIÓN

### PREENFRIAMIENTO

A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS EVAPORATIVAS

CLIMA: cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

La reducción de la temperatura del aire por parte de la vegetación se debe al efecto combinado del sombreado y la evapotranspiración de árboles y plantas (un árbol es capaz de evaporar en torno a 1400 gr. de agua al día en verano).

El efecto de un árbol aislado o un grupo de estos no es perceptible si no se encuentran lo suficientemente confinados y aislados de posibles corrientes que puedan dispersar rápidamente el aire refrigerado. Es necesario por el contrario fomentar la caída del aire frío a cotas inferiores dentro de espacios de límites contenidos para favorecer su almacenamiento.

En las grandes masas vegetales en cambio, la reducción de la temperatura del aire por evapotranspiración es considerable, siendo posible mediante la plantación de setos o especies frondosas, crear canales que conduzcan el aire refrigerado hasta las construcciones.

Las reducciones habituales en el contexto de un parque urbano están en torno a los 2-3°C. Como consecuencia, se produce un aumento de la humedad relativa de hasta un 20%.

La cantidad de agua evapotranspirada depende de las especies plantadas, las características climáticas locales y a la proximidad de agua en el terreno (los estomas se cierran a medida que aumenta la radiación solar y se abren al disminuir la humedad del terreno).

**Greenbelt.** Santa Mónica. EE. UU. Ralph Rapson. 1945

El prototipo de vivienda y forma parte de las investigaciones de Ralph Rapson acerca de posibles vías de evolución de los modos de vida familiar enmarcadas dentro del programa Case Study Houses.

La vivienda es una especie de pabellón semiabierto rodeado de vegetación que se introduce en la vivienda por medio de un jardín interior que separa dos zonas cerradas y climatizadas. Una destinada a los espacios diurnos y la otra a las habitaciones. El carácter del jardín varía en función de la época del año y de las preferencias de los habitantes, pudiendo transformarse incluso en un invernadero para el cultivo de autoabastecimiento.

La fachada se fija a la estructura de madera o metal y está formada por paneles opacos o transparentes, fijos o móviles, en función de los requerimientos del usuario y los condicionantes climáticos del emplazamiento.

La cubierta se construye con paneles nervados de metal pintados de blanco para favorecer la reflexión de los rayos solares.

El jardín interior se protege de la radiación solar con vidrios escamoteables y toldos(4).

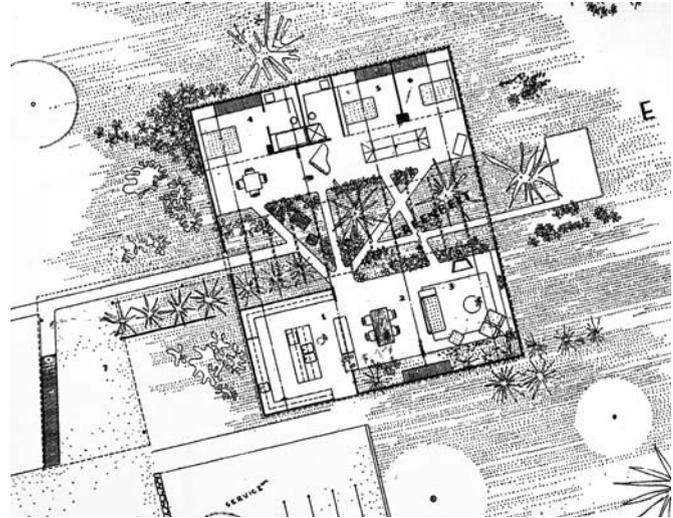


figura 5.13

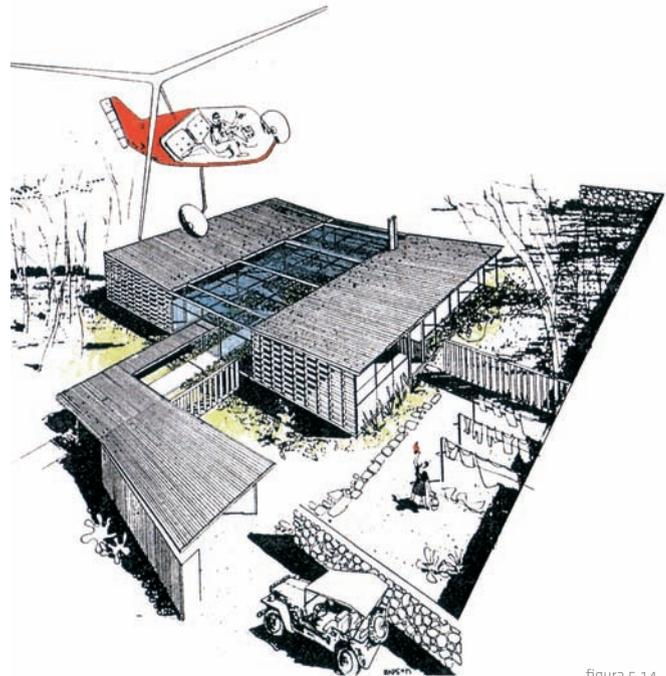


figura 5.14

Fig. 5.13 - 5.14. Greenbelt. Santa Mónica. EE. UU. Ralph Rapson. 1945

### 5.1.2.3. AGUA. SISTEMAS INDIRECTOS

#### PREENFRIAMIENTO

A TRAVÉS DE ESTRATEGIAS EVAPORATIVAS

**CLIMA:** cálido seco, moderado

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

En los sistemas de evaporación indirectos el intercambio de energía se produce sin que el circuito de refrigeración y el aire interior se mezclen, por lo que la cantidad de vapor de agua contenido en el aire interior se mantiene constante. El mecanismo de transferencia entre ambos circuitos (convectivo o radiante) así como su eficiencia dependerá del sistema utilizado.

**Cubiertas Estanque.** En climas secos, el agua contenida en la cubierta es enfriada por convección, radiación y evaporación. Si el forjado no está aislado térmicamente, el frío se transmite al interior generando corrientes convectivas. En piscinas sombreadas situadas en cubierta, la temperatura del agua se encuentra cercana a la temperatura de bulbo húmedo, presentando la cara inferior del forjado una temperatura apenas 2°C superior a la temperatura del agua.

**Aspersores de techo.** Consiste en la instalación de una red de aspersores en la cubierta del edificio. El agua al evaporarse refrigerará la cobertura. Este sistema conlleva menos riesgos de humedades que el anterior, multiplicando en cambio el consumo de agua. Fue empleado en la cubierta textil del Palenque (recinto de espectáculos de la Exposición Universal de Sevilla en 1992).

**Cortinas de agua.** El sistema consiste en hacer fluir por una pared o techo no aislado, una corriente continua de agua. El enfriamiento del paramento se produce al evaporarse el agua convirtiendo el cerramiento en un radiador frío que, por convección, es capaz de crear lentas corrientes frías en el interior del local. Esta estrategia de refrigeración fue empleada en el pabellón del Reino Unido durante la Exposición Universal de Sevilla en 1992.

**Mr. and Mrs. Corwin Hansch House.** Claremont, California. EE. UU. Richard Neutra. 1955(s)

Se trata de una pequeña casa situada sobre un promontorio de las colinas de Sierra Madre. La implantación de la vivienda se encuentra condicionada por el trazado de la carretera de acceso y la presencia de dos grandes olivos en el solar. Ello obliga a dividir la vivienda en dos niveles, situando la zona de estar y la cocina abiertas a una gran terraza sobre una planta dedicada totalmente a albergar los dormitorios. El techo de la planta baja está cubierto permanentemente por una lámina de agua que actúa como protección solar gracias a la enorme inercia térmica que supone y cuya evaporación refrigera la losa de hormigón inferior, convirtiendo esta en verano, en un elemento radiante frío sobre el piso inferior. La lámina de agua permite además preenfriar la corriente de aire que accede al interior de la planta superior.

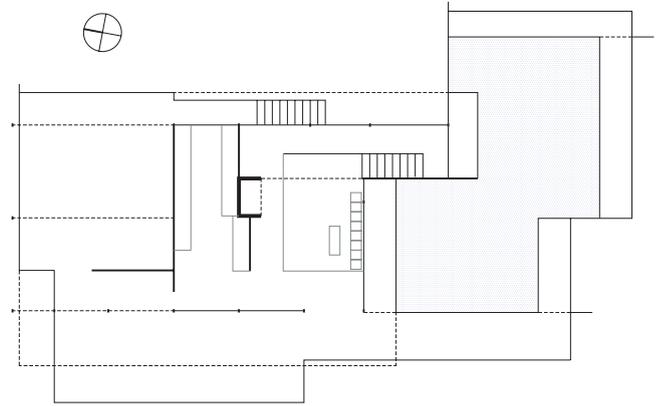


figura 5.15

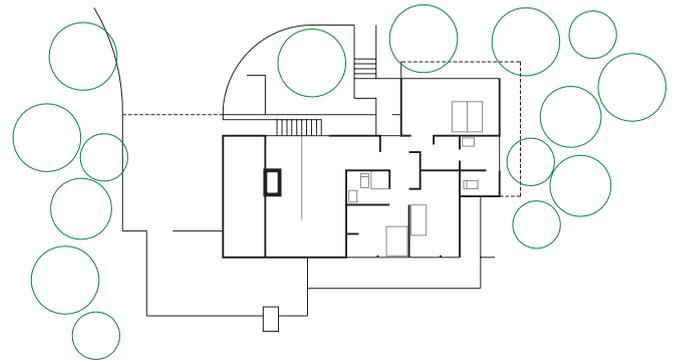


figura 5.16



figura 5.17

Fig. 5.15 - 5.17. Mr. and Mrs. Corwin Hansch House. Claremont, California. EE. UU. Richard Neutra. 1955

### 5.2.1.1. CAPTACIÓN PASIVA INVERNADEROS O ATRIOS

#### PRECALENTAMIENTO

#### ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN PASIVA

CLIMA: frío, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Captación producida por efecto invernadero a través de espacios ocupables de estancia o de circulación anexos o integrados a edificios. Consiste básicamente en un espacio acristalado que se convierte en captador energético del edificio durante el día, siendo por lo general no habitable tras la puesta de sol debido a su rápido enfriamiento. Es imprescindible para que la captación se produzca que la radiación solar sea interceptada por un elemento opaco. De otro modo la radiación solar atravesaría el invernadero.

Incluso en climas fríos es necesario anular la captación solar durante el verano mediante generosas aperturas y la protección solar de la envolvente.

#### Edificio de Viviendas. Kronsberg. Alemania.

Willen Associates. 2003

El sistema de calefacción introduce aire caliente en el interior del atrio en función de las calorías gratuitas obtenidas por el efecto invernadero. El aire caliente accede a las viviendas desde el atrio a través de los forjados succionado por ventiladores (resulta dudosa en un clima frío como el alemán la decisión de calefactar artificialmente el enorme volumen de aire contenido en el atrio de acceso a las viviendas).

En invierno, cuando la radiación solar es capaz de aportar la totalidad de las calorías requeridas, el sistema de climatización central únicamente inyecta aire de renovación.

En verano se anula la captación ventilando por efecto chimenea a través de las aberturas laterales de la parte superior del atrio y mediante la apertura de grandes ventanas practicadas en los testeros.

La captación y la protección solar están íntimamente ligadas al movimiento de las corrientes de aire generadas. La protección solar superior del atrio está formada por tres láminas plásticas. Las capas central e inferior están tratadas con pintura reflectante según un patrón impreso (siendo el patrón de la capa inferior el negativo del impreso en la capa central). Cuando el aire caliente es introducido en el atrio por el sistema de acondicionamiento artificial la succión separa las dos capas permitiendo de este modo el paso del sol y la captación solar.

En verano la extracción natural de aire eleva la capa inferior uniendo los dos patrones impresos e impidiendo el paso de la radiación solar. Cabe remarcar que las suaves temperaturas y los bajos niveles de radiación solar del norte de Alemania permiten el confort en verano con una protección solar absolutamente insuficiente en climas cálidos o templados.

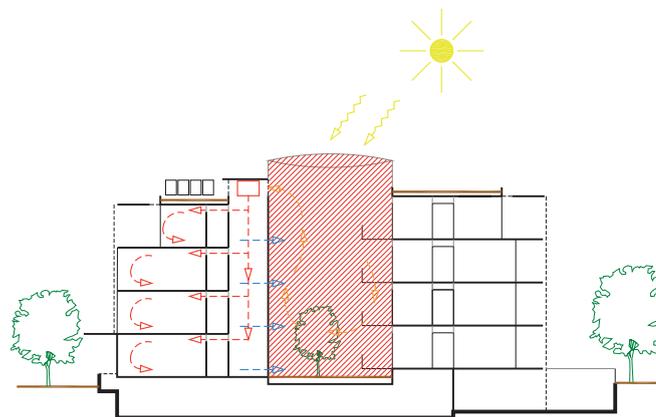
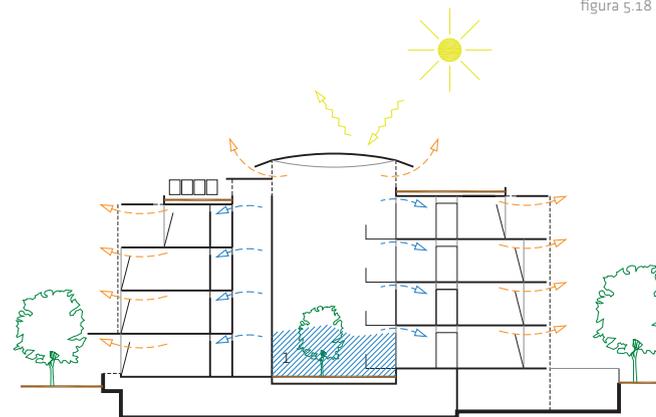


figura 5.18



1 Piscina de aire frío

figura 5.19



figura 5.20

Fig. 5.18 - 5.20. Edificio de Viviendas. Kronsberg. Alemania. Willen Associates. 2003

## 5.2.2.1. CAPTACIÓN ACTIVA COLECTORES SOLARES

### PRECALENTAMIENTO

ESTRATEGIAS DE CAPTACIÓN ACTIVA

CLIMA: frío, moderado

#### DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

De una forma similar a un muro trombe, la energía captada por el colector solar eleva la temperatura del aire que circula por su interior. Este es transportado mediante ventilación mecánica a los espacios habitados de forma directa o a través de una red de conductos, pudiendo retornar al captador de forma natural o forzada cerrando el circuito.

Debe preverse la aportación de aire procedente del exterior para garantizar su calidad, así como la instalación de algún tipo de método antiretorno que evite que la inversión del flujo enfríe durante la noche el aire interior.

En verano, en clima cálido-seco, es posible transformar el captador solar en un mecanismo de refrigeración de una forma similar a las cubiertas frías, aprovechando la energía fría radiada desde las capas altas de la atmósfera.

Este tipo de elementos están basados en una tecnología mínima que puede, en ocasiones, resultar una solución ventajosa frente a los sistemas de captación activa basados en el agua como fluido calefactor al no presenta problemas de corrosión, ni presentar riesgos de fugas o congelación del fluido.

Generalmente en los sistemas comercializados, el captador está formado por una plancha de metal pintada de color oscuro que reduce la reflexión de los rayos solares. Por debajo de esta plancha circula el aire a través de algún tipo de conducto. Es posible cubrir la plancha con algún revestimiento transparente para reducir el intercambio convectivo de la plancha con el aire exterior y aislar su parte posterior para evitar pérdidas por conducción.

#### Colector solar de aire móvil. Selva. España.

Luis Velasco Roldán. 2009

Colector de 16 m<sup>2</sup> construido a modo de cobertura móvil de un patio-invernadero en la reforma de la planta ático de un edificio de viviendas de tipología y sistema constructivo tradicional. Dada que la orientación este del edificio reduce la efectividad del invernadero se plantea la construcción de un sistema de captación que pueda permanecer expuesto a la radiación solar un mayor número de horas. La estructura del captador se reorganiza en canales. El aislamiento inferior evita la radiación en verano sobre el patio. El policarbonato superior propicia el efecto invernadero. Tres ventiladores recirculan 400 m<sup>3</sup> de aire cada hora elevando la temperatura en diciembre hasta los 40°C. Tensores de acero superiores sujetan el policarbonato permitiendo su libre dilatación. Los tensores inferiores eliminan toda deformación y reducen la sección del conjunto. Unos carriles permiten la retirada del captador en primavera y la formación de un porche en verano.



figura 5.21

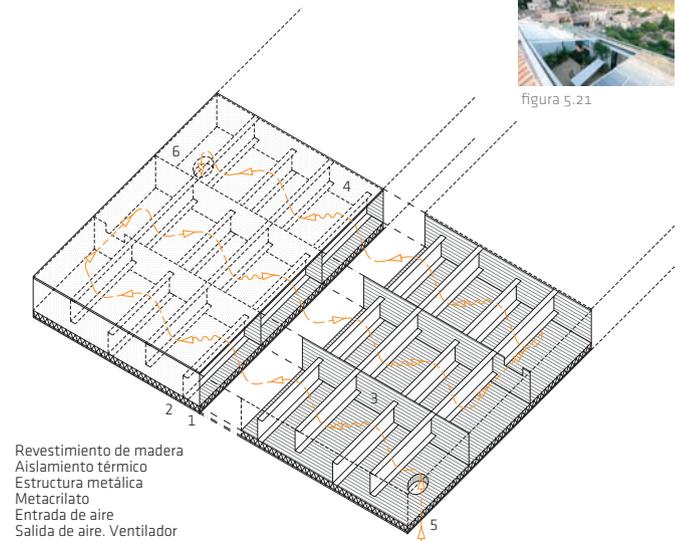


figura 5.22

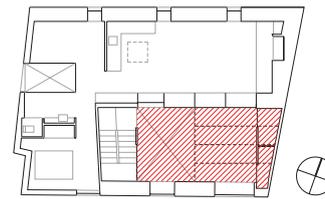
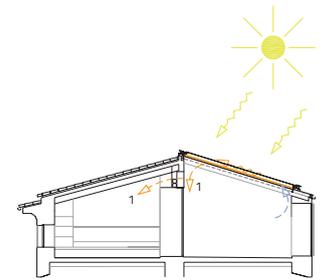


figura 5.23



1 Recirculación mecánica

figura 5.24



figura 5.25

Fig. 5.21 - 5.25. Vivienda unifamiliar. Colector solar de aire móvil. Selva. España. Luis Velasco Roldán. 2009

### 5.3.1.1. PREVENCIÓN DE CARGAS

#### MINORACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

CLIMA: todos

#### DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

En verano las principales estrategias de protección son:

**Aislamiento térmico** del edificio para limitar el flujo de calor hacia el espacio interior.

**Protección solar** de toda la envolvente y en especial de la cubierta ya que esta recibe un 50% más radiación que cualquier fachada.

Refrigeración de la protección solar o eliminación de su inercia térmica para evitar el calentamiento de las corrientes de aire que atraviesan el espacio interior.

**Renovación de aire.** El control del aire de renovación permite minimizar las ganancias térmicas del edificio durante el día así como el mantenimiento de las frigorías que puedan haber sido acumuladas durante la noche.

#### Prototipos de alojamiento móvil. Jean Prouvé

Estos representan un ejemplo claro de cómo los procesos industriales pueden ser asumidos sin perder por ello los fundamentos y estrategias de acondicionamiento natural que subyacen en la arquitectura popular. A pesar de ello, pese al esfuerzo de industrialización de todos los elementos, la pretensión de competir con los sistemas de construcción autóctonos en cuanto a coste, plazos de construcción y adaptación al clima fracasaron completamente.

#### Maison Tropicale. 1949

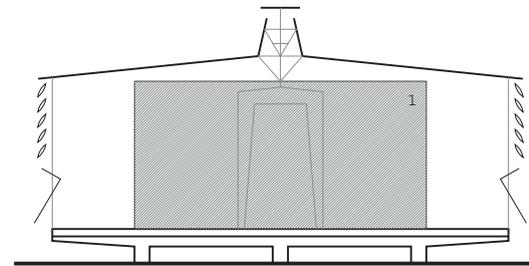
Prouvé diseñó ese prototipo para ser construido en Níger y El Congo para albergar usos administrativos del ministerio de Educación. Cada casa disponía de un volumen cerrado interior de 6 m de ancho y 12 m de largo circundado por una galería perimetral. Una serie de pórticos que sustentan la viga central proporcionan la estabilidad necesaria. Sobre dicha estructura se fijan las fachadas y la cobertura, construidas con chapas de acero plegadas.

La sección del edificio revela las estrategias de protección y refrigeración. El espacio interior queda completamente protegido por una envolvente reflectante de lamas móviles.

El espacio entre las dos fachadas conforma una cámara de aire ventilada gracias a la forma exterior y al inductor instalado en su coronación.

#### Sahara House. 1958

En este caso las viviendas fueron diseñadas para los trabajadores desplazados a África por las empresas petrolíferas francesas. Dós pequeños módulos dotados de aire acondicionado permanecen cerrados durante el día bajo una cubierta reflectante que protege los espacios de circulación y espacios de estancia exterior. Durante la noche las aberturas de los módulos y la ausencia de fachadas en el perímetro exterior habilitan la refrigeración nocturna(s).



1 Espacio interior

figura 5.26

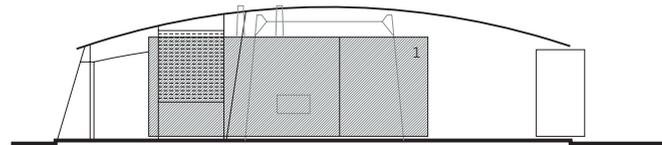


figura 5.27



figura 5.28

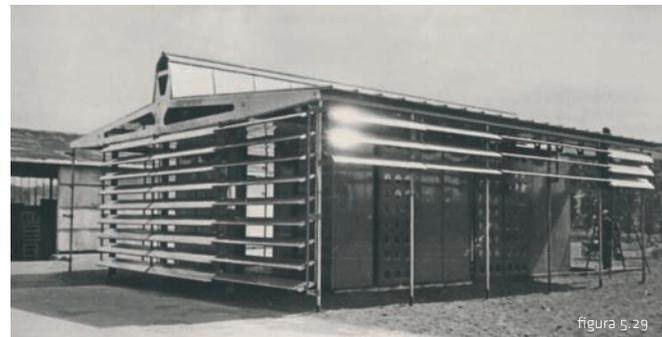


figura 5.29

Fig. 5.26 - 5.29. Prototipos de alojamiento móvil. Jean Prouvé. 1949-1958

## NOTAS

1. Larrea/Gómez/Prieto. *Hemiciclo solar*. Fatecsa Obras. Madrid, 2009. Pág 95
2. Correa, Charles. *Housing & Urbanisation*. Urban Desig Research Institute. Bombay. 1999. Pág 28
3. Zevi, Bruno. *Enrich Mendelsohn. Ópera Completa*. Bruno Zevi- ETAS/KOMPASS. Milán, 1970. Pág. 236
4. Smith, Elizabeth. *Case Study Buildings*. Taschen. Köhl, 2002. Pág. 59
5. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 286
6. Peters, Nils. *Prouvé*. Taschen. Köln, 2006. Pág. 46



## 6. ESTUDIO Y DIAGNOSIS DE UN MODELO CONSTRUIDO

Pisos tutelados para la tercera edad. Palma de Mallorca. España

Ana García Peraire  
María Antonia Garcías Roig  
Ángel Hevia Antuña  
Gabriel Golomb Mapelman  
Luis Velasco Roldán

Arquitecta  
Arquitecta  
Arquitecto  
Arquitecto  
Dr. Arquitecto

Colaboradores proyecto  
María Moncadas Darder  
Juan José Moran Baños  
Gori Salvá Reche

Delineación  
Arquitecto  
Fotografía

Estructura  
Joaquín Antuña Bernardo

Arquitecto

Modelización térmica  
José Marco

Físico

Modelización lumínica  
Víctor Moreno

Arquitecto

Promotor  
Instituto Balear de la Vivienda (IBAVI)

Fecha  
2002-2004

Presupuesto PEM  
1.744.800 Euros

Superficie  
3442,74 m<sup>2</sup>

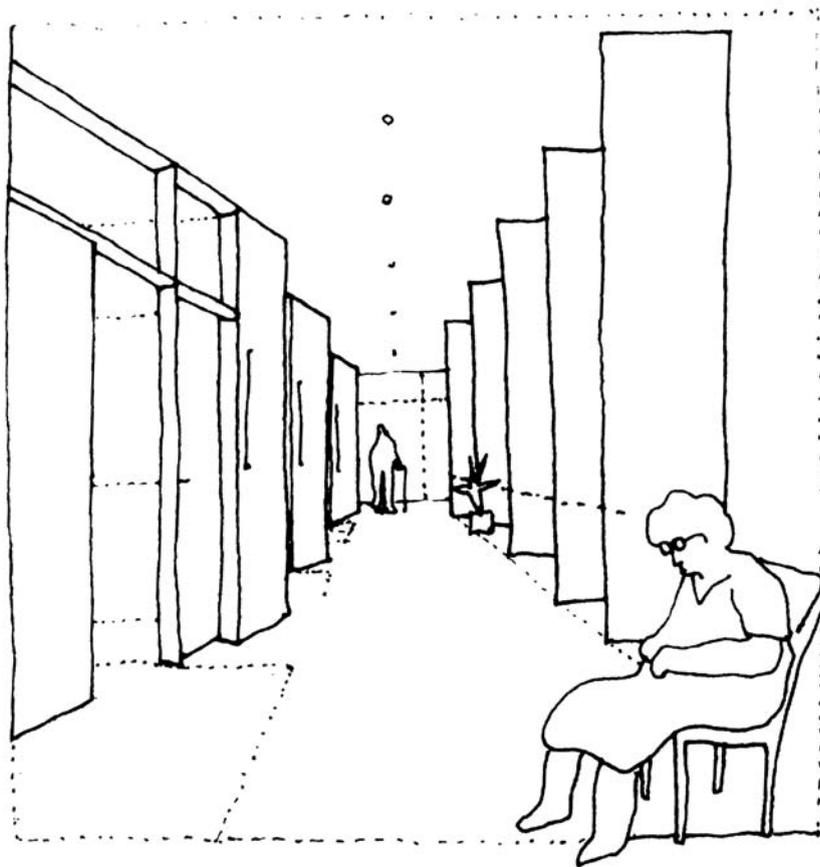


Fig. 6.1. Corredores de acceso. Galería acristalada



### 6.1. PROGRAMA Y EMPLAZAMIENTO

El edificio está enclavado en el interior de una manzana urbana situada en las afueras de la ciudad de Palma de Mallorca, a unos 500 metros del mar. Se accede al mismo desde dos calles peatonales o a través de un paseo arbolado. Su entorno está conformado por las fachadas traseras de los edificios que dan al interior del gran patio de manzana, salpicadas por intervenciones individuales poco afortunadas.

El programa incluye 38 apartamentos para personas mayores distribuidos en tres plantas y una serie de espacios comunes situados en planta baja. El clima de Palma es templado en invierno con temperaturas medias entorno a los 10,7°C. El verano es caluroso, aunque no en exceso, con temperaturas medias en torno a los 24°C.

Las brisas en verano son habituales, con una frecuencia del 75% (dirección norte durante el día y sur durante la noche). Con menor frecuencia sopla el viento del este. En invierno las componentes dominantes son el norte y el oeste.

### 6.2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio se presenta en el solar como un contenedor que se aísla del entorno sin dejar de atender las relaciones básicas con el mismo (alturas colindantes, nexos con el paseo, etc.). De cuerpo aislado y compacto, ajusta su geometría sencilla tanto a la alineación de vial como a retranqueos, configurando un volumen perforado a nivel de calle que encierra un patio interior.

En elevación, el volumen de cuatro plantas se escalona a partir de la planta segunda buscando un menor impacto en el entorno y un mejor asoleo interior, siendo destinadas las terrazas resultantes al uso comunitario.

El acceso principal se plantea a través de una rampa lateral que arranca en el paseo y desemboca en el vestíbulo principal. Desde el se accede a la galería acristalada que vincula las zonas comunitarias de planta baja y los núcleos verticales que comunican esta con las plantas de viviendas.

Las comunicaciones horizontales en cada planta se realizan a través de una galería que rodea el patio, desde la que se accede a los apartamentos. Dicha galería se plantea como soporte de las relaciones

sociales cotidianas entre los usuarios. Para potenciar su apropiación se ha optado por un diseño de fachada interior quebrada, que dota al espacio de una dimensión superior a los estándares circulatorios, siendo su anchura variable entre 1,70 m y 2,50 m.

La piel exterior presenta una única abertura por apartamento resaltando el carácter murario ateniéndose al criterio de proteger al edificio visualmente del entorno. Por el contrario, la piel interior busca la máxima permeabilidad mediante una carpintería continua de hojas correderas que permite cerrar totalmente la galería en invierno y abrirla durante el verano.

La unidad mínima se compone de un espacio destinado a sala /comedor/cocina con doble fachada, 1 dormitorio incorporable a la sala y 1 baño adaptado a movilidad reducida. La superficie útil del apartamento es de 35 m<sup>2</sup>.

### 6.3. ESTRATEGIAS MEDIOAMBIENTALES

Desde los primeros esbozos se anteponen los criterios de habitabilidad a criterios estrictamente energéticos. Fue por ello que el proyecto se alejó de planteamientos *a priori* más eficientes, optando por un planteamiento de corrala, tipológicamente más adecuado al objetivo comunitario.

La multiplicidad de orientaciones, así como dualidad intimidad-socialización, fuerza a buscar un tipo de unidad lo suficientemente flexible como para que cada vivienda disfrute, independientemente de su posición relativa dentro del conjunto, de sol y luz natural en invierno y de sombra y ventilación en verano.

El planteamiento de vivienda mínima, así como la gran edificabilidad del solar, obliga a buscar alternativas al aporte solar directo en cada una de las unidades, que pudieran complementar energéticamente posiciones relativas más desfavorecidas. Es por ello que se investigan las posibilidades que ofrece la combinación de métodos de climatización naturales con apoyo mecánico como alternativa a la habitual dicotomía sistemas naturales-sistemas artificiales.

El proyecto fue modelizado térmicamente para justificar y comprobar el comportamiento de los materiales seleccionados, así como el rendimiento de las galerías acristaladas en orientaciones aleja-

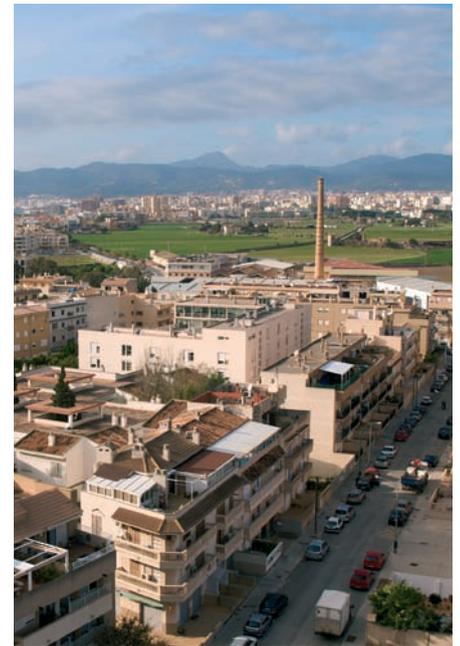


figura 6.2



figura 6.3

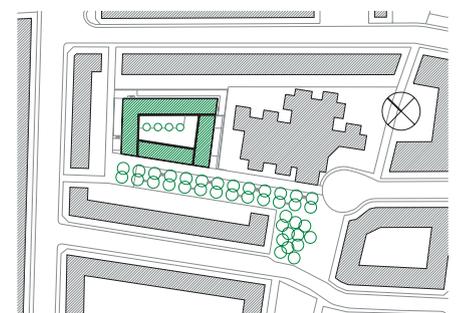
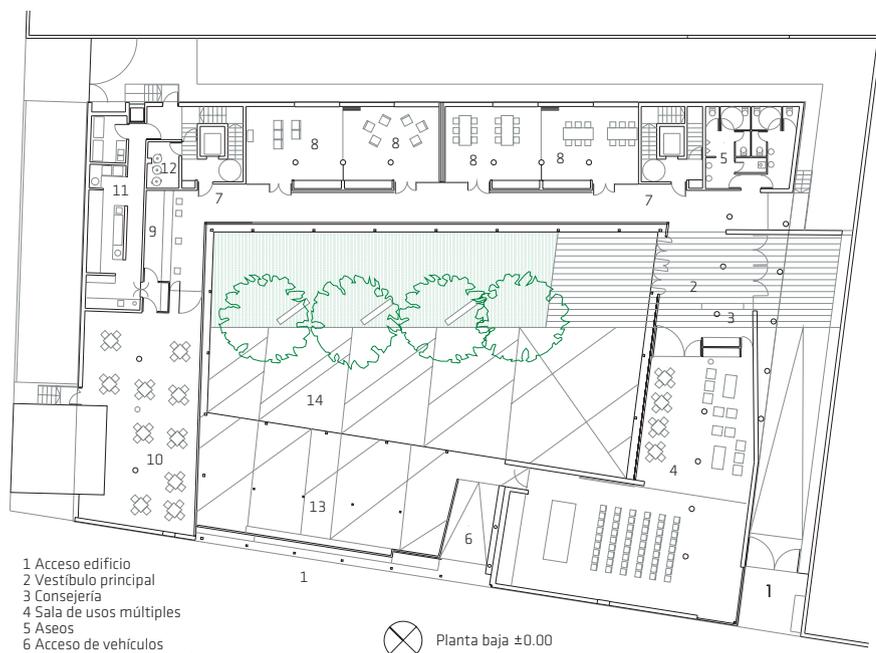


figura 6.4

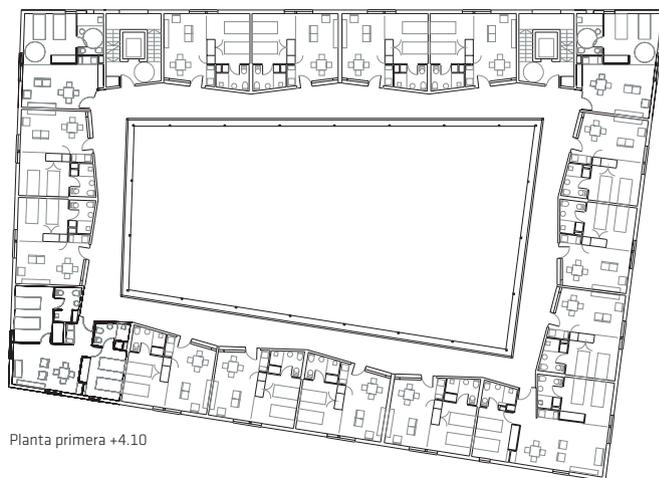
Fig. 6.2 - 6.4. Implantación, patio interior y fachada exterior al paseo peatonal



- 1 Acceso edificio
- 2 Vestibulo principal
- 3 Consejería
- 4 Sala de usos múltiples
- 5 Aseos
- 6 Acceso de vehículos
- 7 Vestibulo acceso viviendas
- 8 Salas de usos específicos
- 9 Cafetería
- 10 Comedor
- 11 Cocina
- 12 Cuarto basuras
- 13 Parche
- 14 Patio

⊗ Planta baja ±0.00

figura 6.5



Planta primera +4.10

figura 6.6



figura 6.7

das del sur. La iluminación natural fue igualmente modelizada ante la duda de que la profunda galería y el diseño de la carpintería interior de los apartamentos (persianas, banco, repisas para plantas, etc.) pudiera reducir en exceso la iluminación interior. Con este objetivo fue analizada la iluminación del apartamento más desfavorable durante un día nublado de invierno.

Otro aspecto modelizado durante la fase de diseño fue la pérdida de rendimiento de las placas solares térmicas en el caso de disponerse estas de forma paralela a la fachada del edificio en busca de una mayor integración arquitectónica. Pese a su orientación suroeste la pérdida del rendimiento supone apenas un 5%.

La refrigeración natural del edificio en verano se consigue a través de la combinación de la protección solar y el uso selectivo de mecanismos de ventilación. Estos combinan estrategias de ventilación natural y sistemas mecánicos con prerefrigeración natural del aire por medio de conductos enterrados.

Todas las unidades y espacios comunes cuentan con ventilación cruzada, potenciada por la propia forma del edificio (abierto a las brisas, con alto factor de forma y numerosos resaltes en fachada).

Fig. 6.5. Planta baja Fig. 6.6. Planta primera  
Fig. 6.7. Fachada exterior



figura 6.8



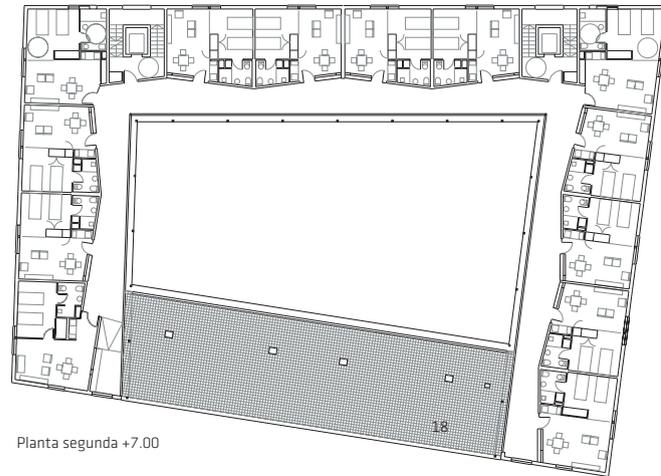
figura 6.9



figura 6.10

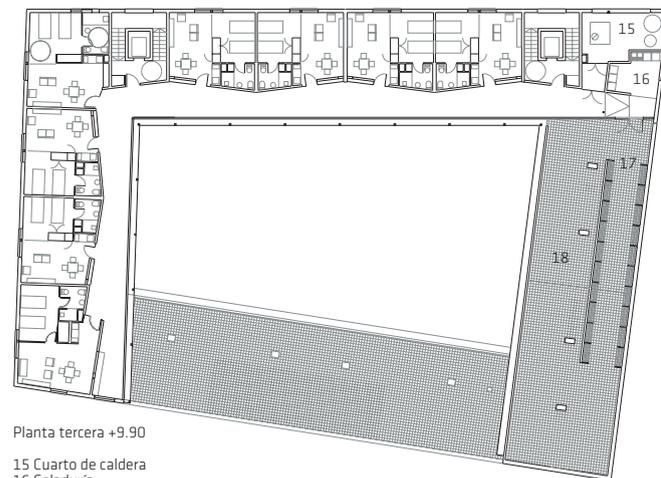


figura 6.11



Planta segunda +7.00

figura 6.12



Planta tercera +9.90

- 15 Cuarto de caldera
- 16 Coladuría
- 17 Tendedores
- 18 Terraza comunitaria

figura 6.13

**Fig. 6.8 - 6.11.** Visiones del patio y galerías planta primera y segunda. **Fig. 6.12.** Planta segunda **Fig. 6.13.** Planta tercera

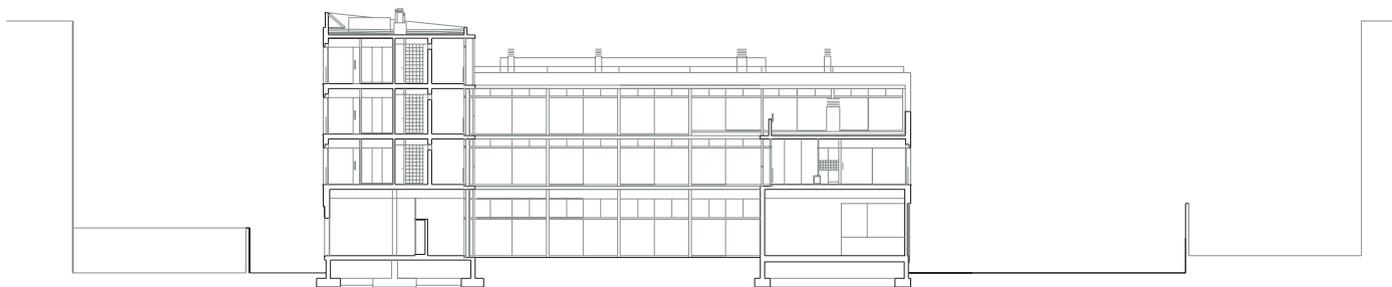


figura 6.14

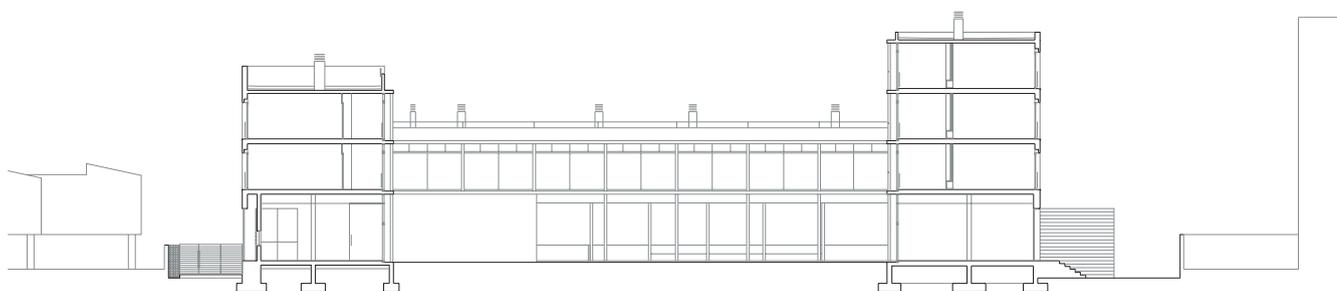


figura 6.15



figura 6.16

Fig. 6.14. Sección transversal Fig. 6.15. Sección longitudinal Fig. 6.16. Visión del edificio durante las obras

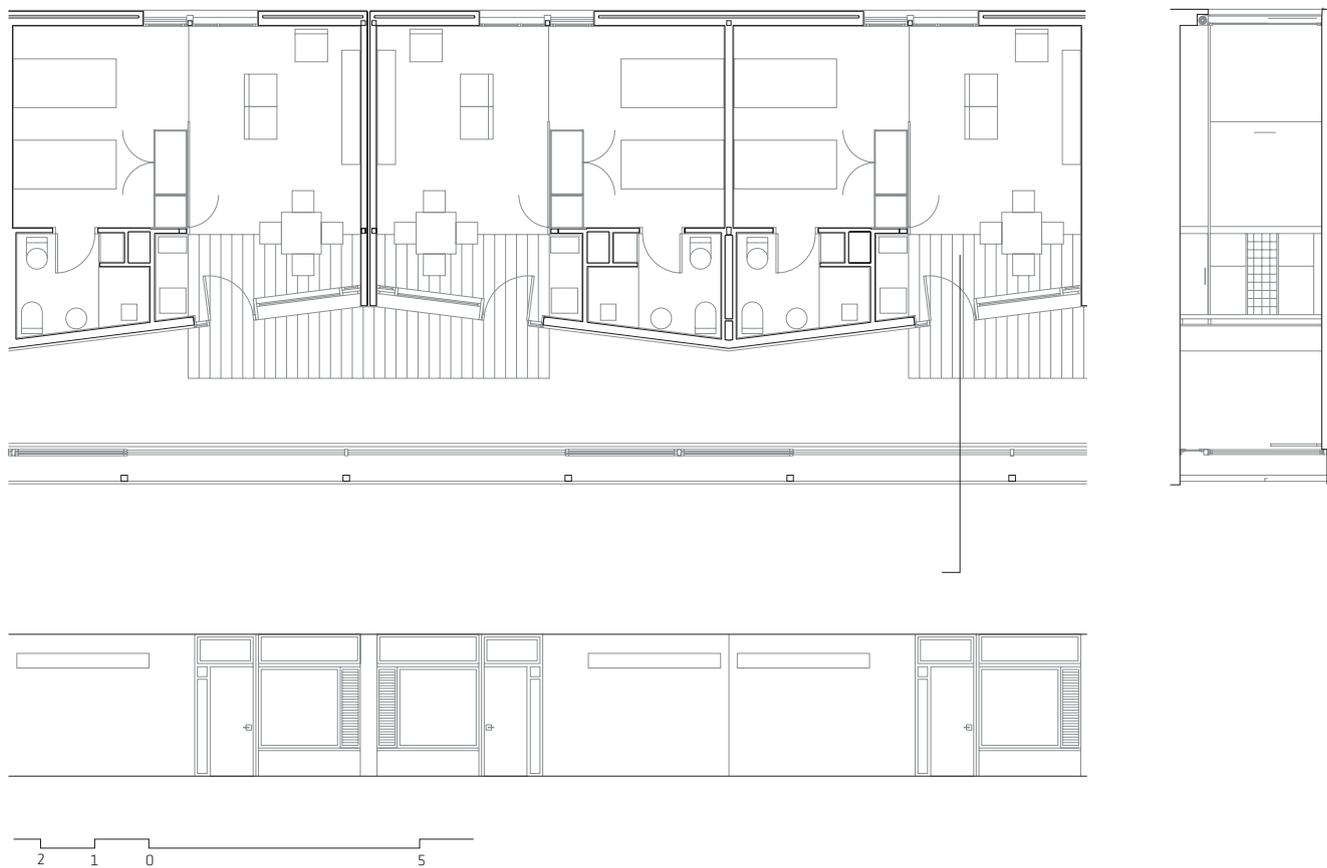


figura 6.17



figura 6.18



figura 6.19

Fig. 6.17 - 6.19. Módulo tipo

Para permitir un régimen de ventilación nocturna la fachada de los apartamentos se diseña de forma que, sin coartar la intimidad o la seguridad, permita potenciar durante la noche la ventilación. Las aberturas que dan a la galería se sitúan adosadas al techo y a la pared medianera para fomentar la acumulación de frío en la masa del edificio.

En las horas centrales del día, cuando la temperatura es excesivamente alta y, por tanto, no es deseable intercambio de aire alguno con el exterior, las ventanas se cierran recurriéndose al aire fresco procedente del sistema de prerefrigeración por conductos enterrados con el objetivo de mantener la calidad del aire interior. El aire, aspirado desde la fachada norte del edificio, circula por una galería enterrada situada bajo el forjado de la planta baja hasta llegar a los filtros que la separan de la sala de ventiladores. En dicha sala se encuentran la cabecera de los conductos enterrados (polietileno (PET) y policloruro de vinilo (PVC) de 20 cm de diámetro). Cada uno de ellos cuenta con su correspondiente ventilador y filtro.

Los 38 conductos, uno por apartamento, atraviesan el subsuelo del patio y son los responsables del intercambio de calor entre el aire y el terreno.

La mitad de los conductos circulan bajo el patio de este a oeste y la otra mitad en sentido contrario, facilitando de esta forma la distribución posterior del aire hacia los apartamentos. El aire circula a baja velocidad (1 m/s) enterrado a lo largo de aproximadamente 30 m.

Los conductos se ordenan en tres capas situadas a 3,5 (PET), 4,5 (PET) y 5,5 m (PVC) de profundidad con una separación mínima entre conductos de 0,9 m.

La difusión del calor al terreno circundante se asegura rodeando completamente los conductos con arena (material que multiplica por 10 la capacidad de intercambio de energía del terreno natural).

El estrato más profundo de conductos se sitúa al borde del nivel freático, aumentando con ello el intercambio de calor entre el tubo y el terreno gracias a la presencia del agua, a la vez que se elimina la posibilidad de recalentamiento del terreno circundante a los conductos por el paso continuo de aire caliente.

Al entrar los tubos de nuevo en el edificio se reduce su diámetro a 100 mm y se aíslan con 3 cm de lana de roca, para posteriormente distribuirse por el edificio hasta cada uno de los apartamentos.

El aire se introduce en el espacio interior por medio de un difusor orientable situado junto al suelo, en el rodapié de la cocina. La sobrepresión fuerza al aire caliente a salir a través del conducto vertical de extracción del baño.

Es de vital importancia el control de las cargas internas generadas en el interior de la vivienda por lo que se prevé la evacuación del aire caliente generado por la nevera a través de otro conducto de extracción vertical situado tras este electrodoméstico.

La importancia del sistema mecánico de ventilación radica en la imposibilidad de mantener cerrado durante todo el día el pequeño volumen del apartamento (aproximadamente  $90\text{m}^3$ ) si no se cuenta con la renovación de aire necesaria que permita la evacuación de cargas internas y elementos contaminantes.

La ventilación diurna de la vivienda generaría un recalentamiento del aire interior y de la inercia térmica de los apartamentos por lo que se hace necesario recurrir a alguna fuente de aire fresco. El sistema de prerefrigeración por lo tanto, habilita la posibilidad del establecimiento de un régimen de ventilación nocturna al permitir mantener cerrada la vivienda durante el día y fomentar la ventilación durante la noche.

Cabe reseñar que los mecanismos de ventilación están concebidos como sistemas de apoyo a todas las demás estrategias de control climático (aislamiento, inercia térmica, protección solar, etc.) y es la suma del limitado potencial de todas ellas lo que permite alcanzar el objetivo del confort térmico interior mediante sistemas pasivos.

#### 6.4. OBJETIVOS DE LA MONITORIZACIÓN

La única experiencia monitorizada del funcionamiento de un sistema de conductos enterrados era, en 2001, la realizada por M. Santamouris con conducciones de hormigón poroso en Grecia<sup>(1)</sup>. Las conclusiones de dicho estudio incluían una interpretación matemática de los resultados. Dicha formulación fue adoptada como base para el estudio

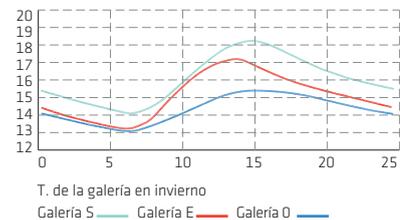


figura 6.20



figura 6.21

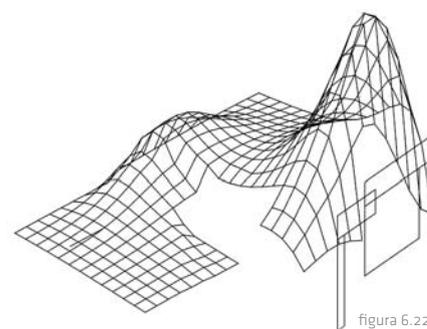


figura 6.22

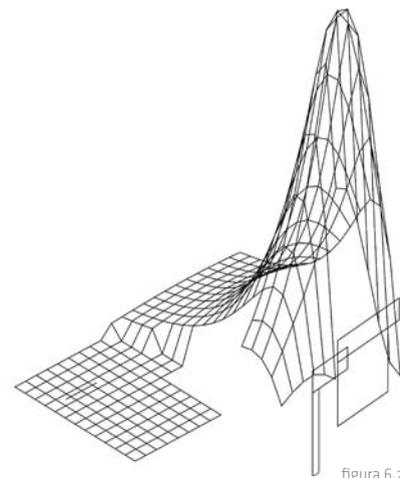


figura 6.23

Fig. 6.20. Modelización térmica de las galerías Fig. 6.21. Modelización térmica de los apartamentos en verano Fig. 6.22. Modelización lumínica en invierno Fig. 6.23. Modelización lumínica en verano

del modelo. Posteriormente, la dinámica del proceso constructivo del edificio, así como los condicionantes del solar fueron ajustando el diseño hacia la solución definitiva.

La monitorización realizada *a posteriori* demuestra su potencial así como las posibilidades que existen para aumentar su rendimiento y reducir su coste en próximas experiencias.

## 6.5. DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

Se sitúan aparatos de medición continua en 2 apartamentos de la planta primera orientados al sur (el primero de ellos recibe aire desde un conducto enterrado a 3,5 m y el segundo desde un conducto situado a 5,5 m de profundidad). Se instalan 2 aparatos en cada uno de los apartamentos, uno a una altura de aproximadamente 1 m en el centro del estar-comedor y otro en el interior del conducto de suministro de aire prerrefrigerado, previo a la conexión de este con el difusor de la cocina.

Otro aparato registrará desde una terraza sombreada las condiciones de temperatura y humedad exterior durante el período de pruebas.

De igual modo se registrarán periódicamente las temperaturas radiantes de los distintos paramentos para su evaluación posterior.

## 6.6. TOMA DE DATOS

La toma de datos se realiza en distintas tandas durante el verano de 2003 y 2004, entre junio y septiembre. En mayo de 2005 se realizan mediciones complementarias para evaluar el comportamiento del sistema durante el invierno.

## 6.7. CONCLUSIONES

### 6.7.1. MONITORIZACIÓN ESTIVAL

#### 6.7.1.1. Monitorización del sistema de prerrefrigeración

**1.** El sistema de prerrefrigeración del aire se demuestra efectivo a la hora de refrigerar el aire exterior. Se han obtenido diferenciales de temperatura máximos de hasta 9°C, entre los 31°C de la temperatura exterior y los 22°C de temperatura del aire en los difusores interiores, en los primeros días de agosto de 2003.

Se observa que el rendimiento del sistema (diferencial de temperatura obtenido) no es constante, siendo esta función de la temperatura de entrada del aire (la temperatura de salida del aire por los difusores se mantiene prácticamente invariable mientras la temperatura exterior fluctúa). Los rendimientos varían entre los 4°C durante la noche y los 8,5°C durante el día en las horas de máximo calor. Los rendimientos máximos del sistema se obtienen tras su inmediata puesta en funcionamiento. A partir de este momento el terreno va almacenando calor y perdiendo lentamente capacidad de enfriamiento (1°C tras dos meses de funcionamiento).

Esta pérdida de rendimiento se ha visto probablemente acelerada por el régimen continuo de extracción al que se ha sometido al sistema, dificultando la disipación del calor absorbido por parte del terreno circundante. Un régimen más lógico, de uso intermitente, en funcionamiento únicamente cuando las ventanas permanezcan cerradas durante el día, retrasaría o incluso eliminaría esta progresiva saturación del terreno al facilitar la refrigeración nocturna de este.

La gráfica de la temperatura de salida del aire refrigerado sigue de forma muy atenuada la oscilación de las temperaturas exteriores (existe apenas 1°C de diferencia entre temperatura máxima y mínima).

Los primeros 4 días la temperatura media se eleva desde los 21,2°C hasta los de los 22,5°C. A partir de este momento esta oscila entre 22° y 23°C.

Gracias a este aporte de frigorías y la ventilación nocturna se ha mantenido el interior de los apartamentos a una temperatura seca media de 25,8°C mientras las temperaturas exteriores alcanzaban los 32°C.

**2.** El caudal de aire fresco aportado es suficiente para mantener la calidad del aire interior y evacuar las cargas internas. La normativa actual (RITE) determina un volumen mínimo de renovación de 1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> en espacios interiores climatizados. Si hubiera sido de aplicación el Documento básico Hs3 referido a calidad del aire interior en viviendas, el volumen de renovación de aire requerido hubiera sido de 120 m<sup>3</sup>/h. La renovación de aire en los apartamentos se sitúa en torno a los 400 m<sup>3</sup>/h.



figura 6.24

Pese a ello, el volumen de aire inyectado no es capaz por sí solo de reducir la temperatura interior de la habitación. Como se observa en el gráfico 6 esta sigue invariablemente la fluctuación de la temperatura exterior de una forma atenuada, reproduciendo rápidamente sus descensos o incrementos. A la vista de la escasa pérdida de rendimiento de la capacidad refrigerativa de los conductos parece razonable plantear un incremento del volumen de aire refrigerado inyectado.

Tal y como se expone en el punto 9 de las presentes conclusiones, y teniendo en cuenta las experiencias monitorizadas por M. Santamouris<sup>(3)</sup> se podría llegar a elevar el volumen de aire hasta las 40 renovaciones/hora. El incremento de la velocidad del aire en el interior del conducto incrementaría su rendimiento al sustituirse el régimen laminar actual por un flujo turbulento que incrementaría el intercambio convectivo, reduciendo con ello la temperatura de salida del aire de los conductos.

Con ello cabría esperar una reducción significativa de la temperatura interior, superando con creces los objetivos planteados en fase de proyecto. Para realizar este experimento sería necesaria la instalación de un ventilador de mayor potencia ya que las elevadas pérdidas de carga del circuito de aire reducen en gran medida el volumen de aire inyectado así como su velocidad de circulación interior.

Fig. 6.24. Visión de la apropiación de las galerías

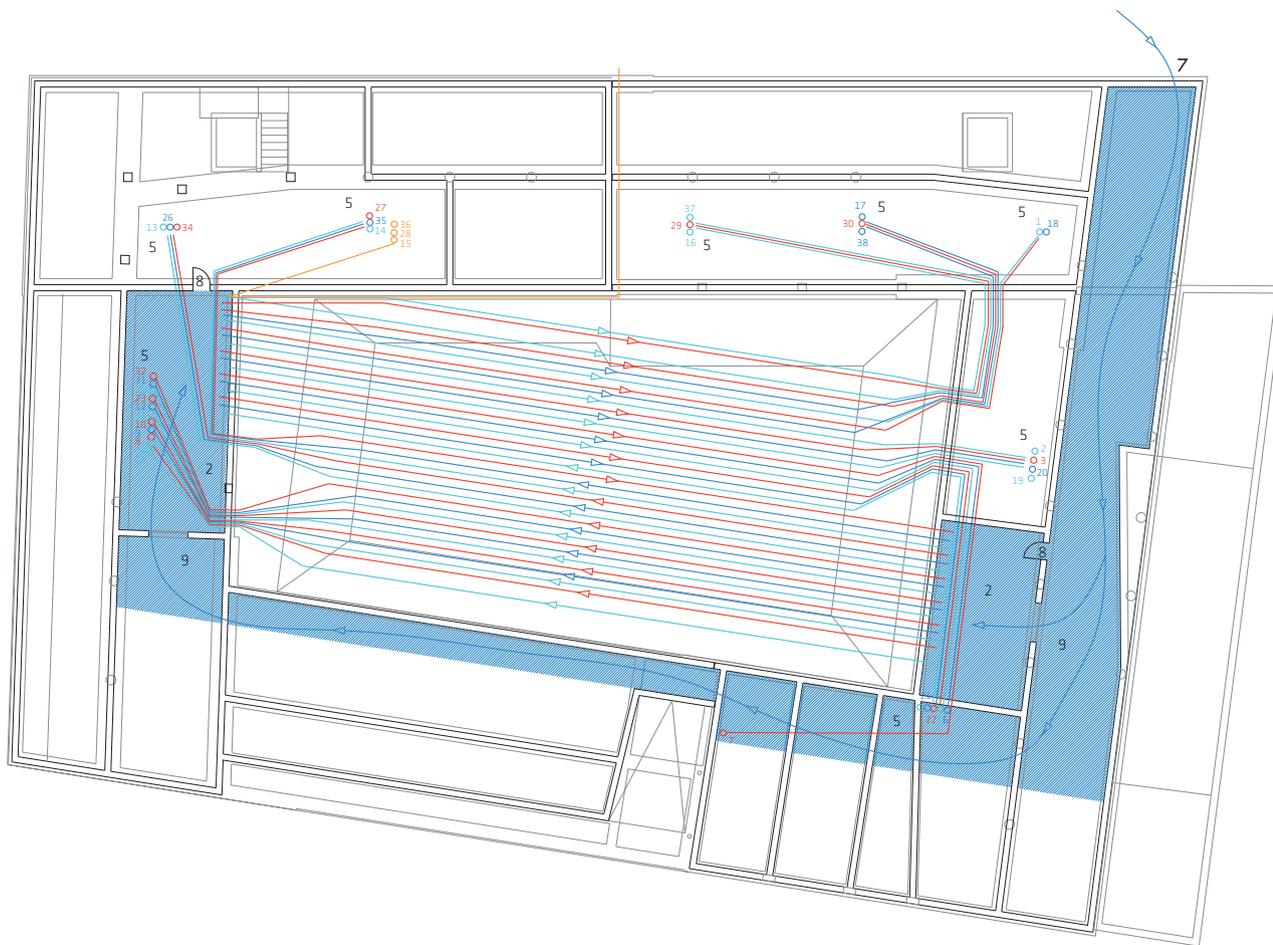
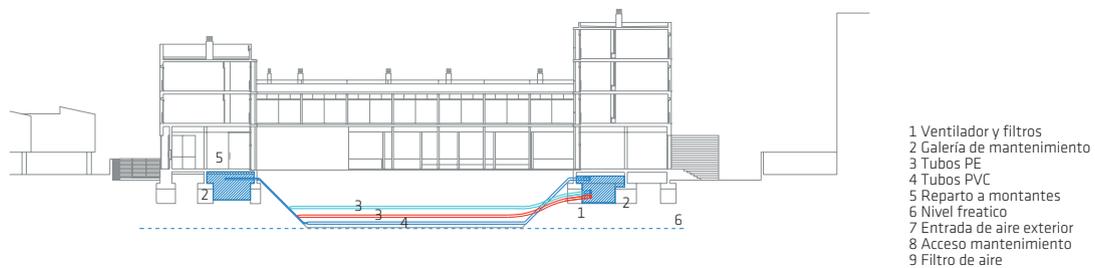


figura 6.25-26

Fig. 6.25 - 6.26. Esquema de funcionamiento del sistema de prerrefrigeración de aire por conductos enterrados

**3.** No se justifica la colocación de los tubos a profundidades superiores a 3,5 m.

No se producen diferencias sustanciales en el rendimiento del sistema entre los conductos de polietileno situados a 3,5 y 4,5 m de profundidad, por lo que parece discutible para las longitudes de conducto instaladas, aumentar la profundidad con el objetivo de obtener menores temperaturas.

Si las dimensiones del patio lo hubieran permitido, hubiera sido preferible un ahorro en el coste del movimiento de tierras y una mayor inversión en conductos sustituyendo los de PVC por conductos de polietileno (no se realizó toda la instalación en este último material por el mayor coste de estos con respecto al PVC).

**4.** El sistema de refrigeración va perdiendo lentamente rendimiento por el calentamiento del terreno que lo envuelve.

Pese a la utilización de gran cantidad de arena para incrementar la capacidad del terreno de disipar el calor absorbido este sufre un calentamiento paulatino.

Durante las mediciones se han registrado reducciones del rendimiento de entre 1°C y 1,5°C en aproximadamente un mes de funcionamiento continuado del sistema.

Pese a ello la probable introducción de un régimen discontinuo de ventilación puede permitir disipar por la noche el calor acumulado durante el día, reduciendo el ritmo de saturación del terreno o incluso eliminándolo por completo.

**5.** La colocación de los conductos sobre el nivel freático evita dicha saturación y con ello la pérdida de rendimiento del sistema.

Gracias a que la difusividad del agua es muy superior a la de la arena, la pérdida de rendimiento del sistema no se produce en los conductos más profundos situados sobre el nivel freático.

Pese a ello, esta solución comporta riesgos de inundación del conducto si alguna de las juntas no se encuentra correctamente sellada. La reparación necesaria sería obviamente muy dificultosa y prácticamente comportaría la anulación forzosa del conducto afectado.

**6.** La distancia de separación de los conductos (0,90 m) se demuestra suficiente.

Desde el día 27 de Julio se mantiene en funcionamiento la totalidad de los ventiladores sin que se vean alterados los rendimientos obtenidos respecto al período en el que se mantuvo un único conducto en funcionamiento. La distancia de separación se muestra suficiente para evitar que el calentamiento del terreno circundante afecte al rendimiento de los conductos contiguos.

La subida inicial en la temperatura de salida que muestra el gráfico se debe a la coincidencia del encendido con un incremento de las temperaturas exteriores.

**7.** El conducto de polietileno se ha demostrado mucho más eficaz en la refrigeración del aire que el conducto de PVC.

La temperatura de salida del aire obtenida con conducciones de polietileno situadas dos metros por encima de los conductos de PVC (7,7 mm de espesor y conductividad térmica de 0,37 Kcal/m<sup>2</sup> h °C) y rodeados por lo tanto de un terreno a mayor temperatura son muy similares a las obtenidas con conductos de PVC (4,9 mm de espesor y conductividad térmica de 0,13 Kcal/m<sup>2</sup> h °C).

Este mayor rendimiento es debido a la mayor conductividad del conducto de polietileno. Esta característica compensa con creces la mayor sección del conducto de polietileno forzada por su menor resistencia mecánica.

**8.** No se producen variaciones de rendimiento para las dos velocidades testadas.

La temperatura de salida de los tubos no presenta variación alguna al aumentar o disminuir la velocidad del aire en el interior del conducto enterrado. Las grandes pérdidas de carga del circuito unido a la insuficiente potencia del ventilador no permiten valorar la variación de temperaturas con variaciones de velocidad mayores.

Las velocidades testadas en el interior del conducto son las siguientes: 0,75 m/s para la velocidad lenta del termostato interior y 1 m/s para la velocidad rápida del mismo.



figura 6.27



figura 6.28



figura 6.29



figura 6.30

Teniendo en cuenta el rango de velocidades recomendadas por M. Santamouris(3), podría multiplicarse hasta 10 veces el flujo de aire introducido en el apartamento mejorando en gran medida la capacidad de refrigeración gracias al régimen turbulento que dicha velocidad implicaría.

**9.** La lluvia o el riego intensivo del jardín no han mejorado sustancialmente la refrigeración del aire en el interior de los conductos.

El riego realizado durante 5 horas el día 31 de Julio no ha afectado de forma inmediata a la temperatura de salida de aire de los conductos (durante el proceso se vertieron aproximadamente 8.000 litros en el jardín del patio interior).

Del mismo modo con la lluvia del día 12 de Julio, apenas se observa una homogeneización de la temperatura de salida tras las precipitaciones.

Una vez las temperaturas exteriores se recuperaron, la temperatura de salida del aire prerrefrigerado durante las siguientes semanas se mantuvo cercana a las temperaturas registradas antes de las precipitaciones.

**10.** La recirculación del aire por la cámara sanitaria se demuestra eficiente para reducir la temperatura del aire que succionan los ventiladores, pero aumenta poco la eficacia global del sistema.

La recirculación del aire por la cámara sanitaria no es recomendable en este caso, por razones higiénicas, como método para reducir la temperatura final de aire.

El día 1 de Julio se sella la entrada de aire entre las aberturas del sótano y la sala de ventiladores, forzando la circulación del aire a través de la cámara sanitaria del edificio.

La reducción de temperatura registrada entre el aire exterior y la temperatura del aire en su acceso a la sala de ventiladores (punto previo a la succión por parte de los conductos) es de entre 3 y 4 °C.

A pesar de ello, la temperatura final del aire en el apartamento, apenas se ve reducida unas décimas de grado.

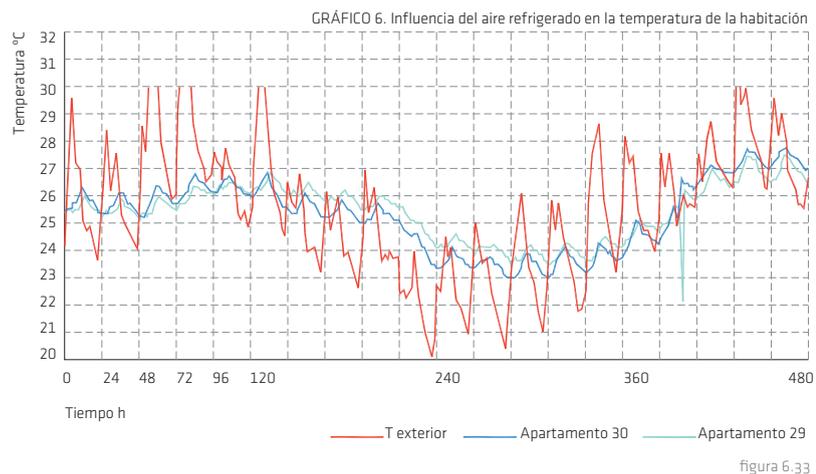
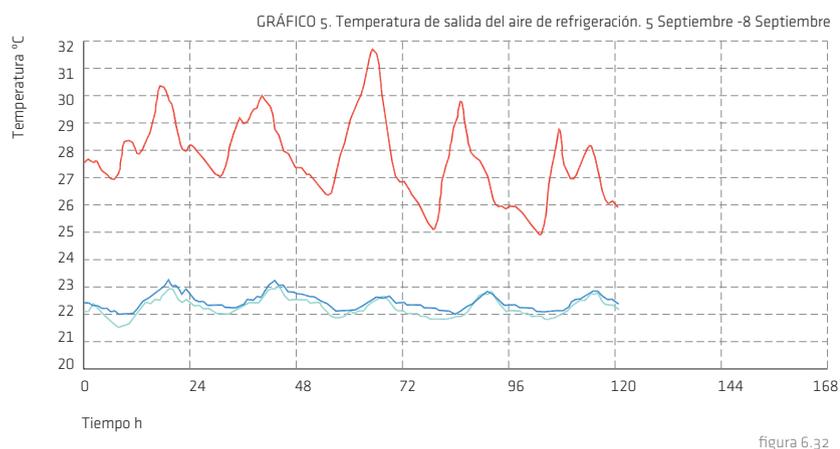
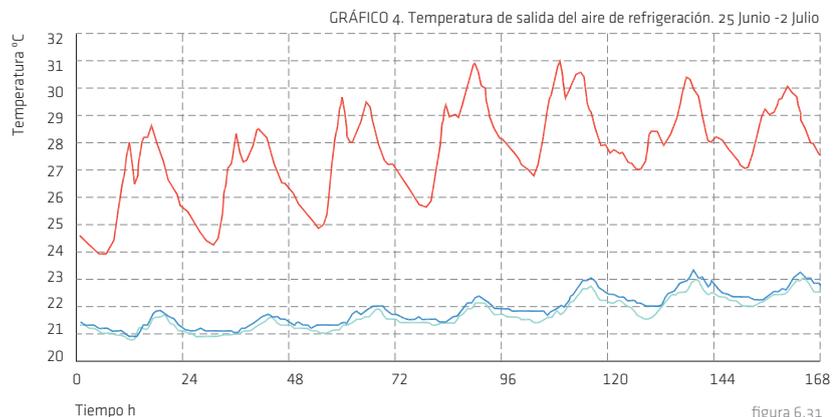


Fig. 6.31 - 6.33. Gráficos de funcionamiento del sistema de prerrefrigeración de aire

La utilización de la cámara sanitaria únicamente es útil para reducir la saturación del primer tramo de conductos al reducir el salto térmico que estos deben superar.

Se incrementa en cambio en gran medida el riesgo de olores por la presencia de humedades si la circulación de aire a través de la cámara se detiene.

Es necesaria la incorporación de un extractor que permita en primavera la renovación del aire de la cámara sanitaria previa a la puesta en marcha de los ventiladores. De otro modo la presencia de olores disuadirá a los usuarios del uso del sistema de ventilación.

**11.** El sistema transmite el ruido de los ventiladores a través de los conductos percibiéndose este en el interior de los apartamentos.

Pese a la gran distancia existente entre los ventiladores y los apartamentos (en torno a 80 metros) y la colocación de manguitos antivibratorios en las abrazaderas de los conductos, el ruido generado por los ventiladores se transmite a través de los conductos percibiéndose claramente en el interior de los apartamentos.

Este problema puede atenuarse mediante la incorporación de silenciadores.

En el caso de no ser posible la eliminación de ruido, debería estudiarse la idoneidad técnica y económica de colocar los extractores en un punto más cercano a cada uno de los apartamentos, simplificando con ello la instalación eléctrica necesaria.

**12.** La mejor opción entre las ensayadas es la siguiente: conducto de polietileno de 20 cm de diámetro, de 30 m de longitud y 3,5 m de profundidad.

El estrato superior de conductos presenta unos rendimientos muy cercanos a los máximos obtenidos con el menor coste relativo de instalación.

Incrementos en la longitud (incorporación de la cámara sanitaria del edificio), o profundidad, producen aumentos considerables en el coste obteniéndose incrementos en el rendimiento muy reducidos.

**13.** El coste del sistema puede reducirse en gran medida con la experiencia obtenida durante su realización.

El coste total de todas las partidas que afectan al sistema de ventilación mecánica ha sido de 69.000 Euros lo cual equivale a un 0,29% del presupuesto de ejecución material de los apartamentos (1.800 Euros por cada uno de los apartamentos). De esta cantidad, aproximadamente la mitad afecta al sistema de prerefrigeración (excavación, instalación de conductos enterrados, ventiladores, filtros, etc), la otra mitad, se imputa a la conducción del aire refrigerado hasta cada uno de los apartamentos. Las conclusiones expuestas con anterioridad permitirán reducir el coste de próximas experiencias construidas.

El empleo de profundidades inferiores (en torno a los 3 m de profundidad), la simplificación en el sistema de unión de los conductos o la incorporación de sistemas de riego puede abaratar en gran medida el coste global del sistema.

Por otro lado cabe reseñar que los condicionantes del solar son claves a la hora de reducir o aumentar los costes de este tipo de instalación. Factores como el tamaño del solar o su topografía, la posibilidad del acopio de tierras, el tipo de terreno, etc, pueden hacer variar sensiblemente los costes.

#### **6.6.1.2. Monitorización de los distintos regímenes de ventilación**

Aprovechando la existencia de apartamentos iguales en similar posición relativa dentro del edificio, se ensayarán en tres de ellos distintos regímenes de ventilación. Con ello no solo se comprobará el potencial de cada una de las estrategias sino que se pondrá de manifiesto la importancia del régimen de ventilación adoptado en la temperatura final del espacio interior.

El primero de los apartamentos se mantendrá permanentemente ventilado.

El segundo apartamento seguirá las pautas de ventilación nocturna. Se mantendrá cerrado mientras la temperatura exterior sea superior a la temperatura interior; en caso contrario se abrirán las ventanas. El sistema de prerefrigeración del aire se pondrá en funcionamiento mientras el local permanezca cerrado.

El tercer apartamento será ventilado del mismo modo que el anterior y contará con el apoyo de un recirculador convencional de aire de 150 W que forzará la entrada de aire durante la noche, aumen-



figura 6.34



figura 6.35



figura 6.36

tando el caudal que atraviesa el apartamento y manteniendo la circulación de aire en periodos de calma. Se forzará la incidencia de la corriente de aire sobre la inercia térmica interior (paredes, suelo y techo).

Durante el día, con el apartamento cerrado, el recirculador se mantendrá en funcionamiento para distribuir las frigorías que introduce en el local el sistema de ventilación mecánica.

Tras las mediciones realizadas con los distintos regímenes de ventilación adoptados se extraen las siguientes conclusiones:

**14.** Las temperaturas interiores obtenidas durante el verano del 2004 demuestran la eficacia del conjunto de estrategias para mantener el confort térmico interior.

Pese a que las temperaturas durante los veranos de 2003 y 2004 fueron muy superiores a las habituales, la monitorización demuestra que es posible mantener el confort térmico en el interior de los apartamentos gracias a los aportes de todas las estrategias pasivas y activas de acondicionamiento.

Reseñar que es posible mantener el régimen de ventilación adecuado (nocturna) gracias a la existencia de un foco frío (aire prerefrigerado) que permite mantener cerrados los apartamentos durante las horas de más calor.

En caso de no existir este, las necesidades de renovación de aire interior en un espacio de tan reducidas dimensiones, las cargas internas de los aparatos eléctricos, el progresivo calentamiento debido a la radiación solar o la humedad producida por las personas, duchas o cocinas, obligaría sin duda a abrir las ventanas en periodos altamente contraproducentes.

**15.** Como ha podido comprobarse durante el período monitorizado, la inercia térmica del edificio se demuestra eficaz a la hora de atemperar la onda térmica exterior. Incluso en un régimen de ventilación continuo el efecto atemperante de la masa del edificio produce una estable reducción importante del diferencial diario de temperaturas en el interior de este, pasando de 5°C-diferencial de temperaturas exterior- a apenas 2,5°C.

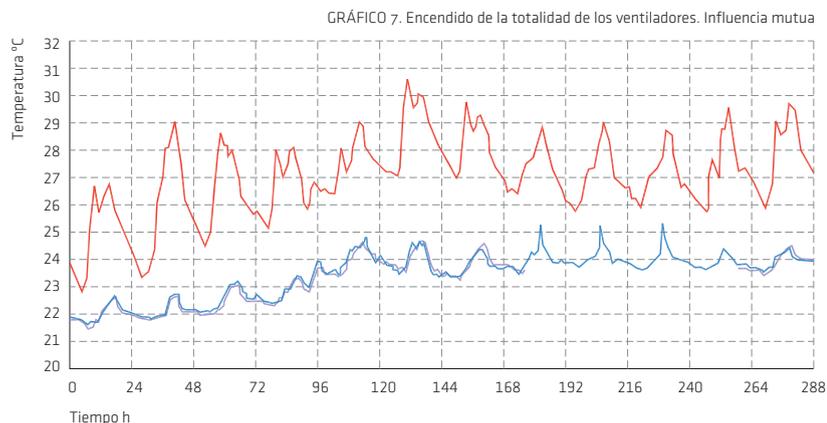


figura 6.37

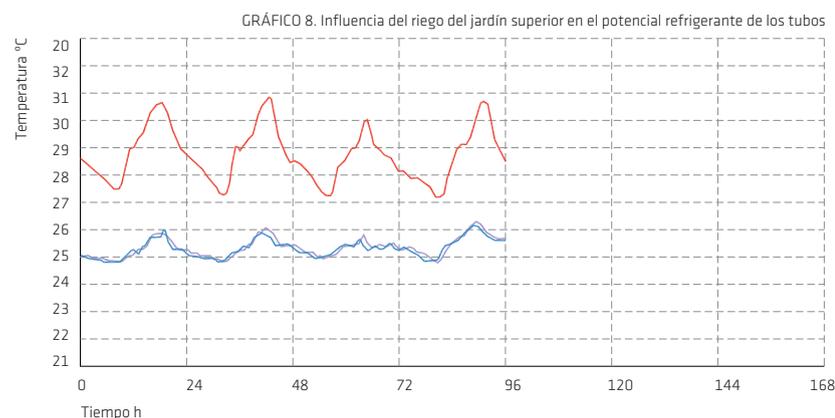


figura 6.38

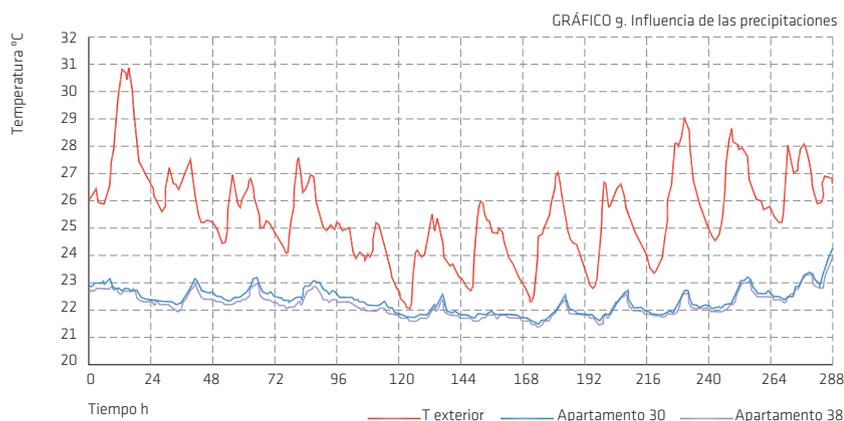


figura 6.39

Fig. 6.37 - 6.39. Gráficos de funcionamiento del sistema de prerefrigeración de aire

Esta reducción de la onda térmica es especialmente interesante en períodos de altas temperaturas ya que provoca un descenso de 2,5°C de la temperatura máxima interior.

**16.** Se demuestra la importancia del régimen de ventilación en el edificio.

Si se analiza el gráfico 11 se observa la importante influencia que tiene el régimen de ventilación en la temperatura interior.

De las tres estrategias testadas la ventilación continua es, evidentemente, la que peores resultados ofrece, al ser la que presenta mayores temperaturas interiores (entre los 29 y los 30°C). La temperatura media radiante obtenida es de 27,9°C. La humedad relativa durante el período de temperaturas máximas está entre el 55 y 60%. La temperatura de sensación resultante es de 28,3°C con una sensación térmica global muy cálida y un porcentaje de insatisfechos del 93%. Solo puede reducirse el porcentaje de insatisfechos hasta el 10% forzando mecánicamente velocidades de aire interior muy altas (4 m/s).

Con el régimen de ventilación nocturna se observa una reducción de las temperaturas máximas, situándose estas entorno a los 28°C. La temperatura media radiante apenas se reduce con respecto al apartamento anterior: 27,6°C. La humedad relativa durante el período de temperaturas máximas está entre el 55 y 60%.

Estas condiciones quedan en el interior de la zona de confort de los diagramas de Olgay y Givoni pese a que quedan fuera en las horas de mayor temperatura de no fomentarse la recirculación del aire interior y con ello, la refrigeración de los ocupantes mediante el efecto refrigerante del movimiento del aire. La temperatura de sensación es de 27,1°C en ausencia de viento pese a que puede disminuir hasta los 25,1°C con velocidades de aire de 1,5 m/s (velocidad rápida de un ventilador de techo) con un porcentaje de insatisfechos del 27%.

Los mejores resultados se obtienen con la ventilación mecánica nocturna. La temperatura máxima interior es de 27,5°C y a temperatura media radiante se reduce hasta los 26,5°C. La humedad relativa durante el período de temperaturas máximas está entre el 55 y 60%. Dichas condiciones están dentro

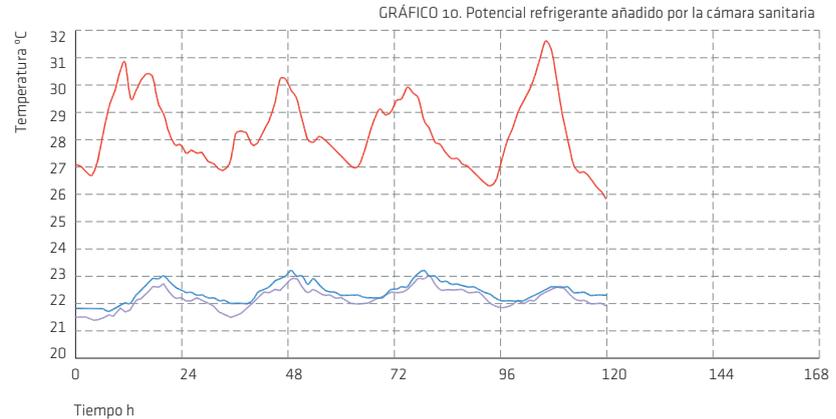


figura 6.40

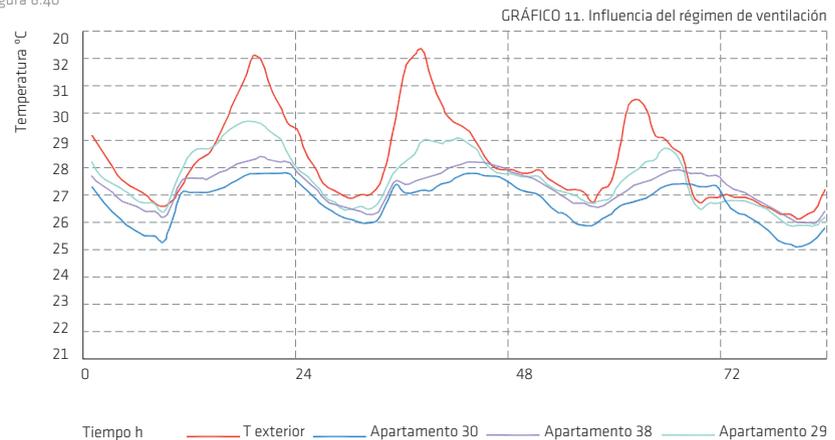


figura 6.41

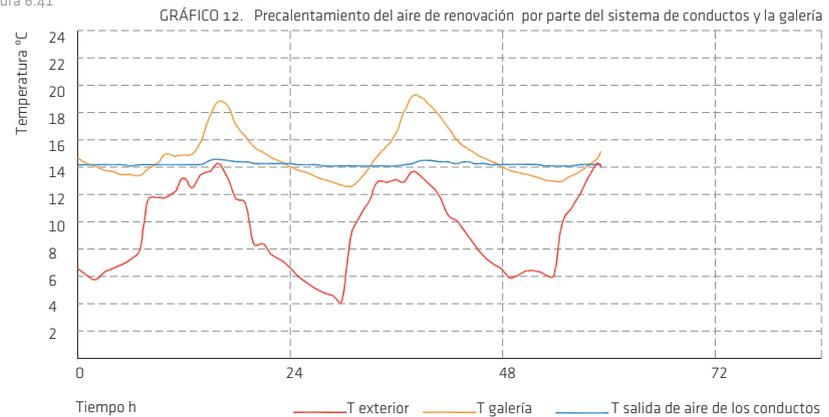


figura 6.42

Fig. 6.40 - 6.42. Gráficos de funcionamiento del sistema de prerrefrigeración de aire

de las envolventes de confort de Olgyay y Givoni. La evaluación de la temperatura de sensación es de 26,5°C en ausencia de viento pudiendo reducirse hasta los 24,4°C con velocidades de 1,5 m/s y un porcentaje de insatisfechos de apenas el 15% (sean cuales sean las condiciones interiores el valor mínimo de insatisfechos es del 10%).

El régimen de ventilación y la toma de datos se han mantenido durante apenas 15 días y tras estar los apartamentos acumulando calor durante todo el verano. Cabría esperar, de prolongarse el régimen de ventilación, diferencias aún mayores entre las distintas estrategias gracias a la acumulación de frigorías en la inercia térmica del edificio en los apartamentos dotados de ventilación nocturna.

**17.** La incorporación de ventiladores incide en gran medida en la reducción de la temperatura radiante de los paramentos. Las mediciones de temperatura superficial realizadas el día 27 de agosto de 2004 nos muestran diferencias sustanciales entre los distintos apartamentos testados. La temperatura media radiante obtenida con un régimen de ventilación nocturna es de 27,6°C. Con ventilación mecánica nocturna la temperatura interior radiante desciende hasta los 26,5°C. Se demuestra con ello la efectividad de la ventilación mecánica para mejorar el intercambio convectivo fomentando la acumulación de frío en el interior del edificio.

**18.** El efecto refrigerante del movimiento del aire se revela de nuevo indispensable para el mantenimiento del confort. No es posible mantener el confort en las horas de mayor calor con ninguna de las estrategias de ventilación testadas sin la incorporación de algún elemento recirculador del aire que permita la refrigeración directa de los ocupantes.

### **6.7.2. MONITORIZACIÓN INVERNAL**

El último objetivo de la monitorización es evaluar la capacidad del sistema mecánico de ventilación para el precalentamiento del aire en invierno.

Para ello se realizarán series de muestras durante el invierno.

**19.** Es posible la utilización del sistema de conductos enterrados para el precalentamiento del aire de ventilación en invierno.

El sistema de ventilación mecánica puede emplearse como mecanismo de precalentamiento en invierno, reduciendo las cargas de calefacción. Como puede observarse en el gráfico 12, los conductos extraen 400 m<sup>3</sup>/h de aire a 14°C, temperatura superior en todo momento a la temperatura exterior.

El aire de las galerías sería igualmente efectivo para la renovación del aire de los apartamentos, para ello simplemente debería dotarse a la galería de unas rejillas de entrada de aire de caudal constante que sustituyeran de forma controlada el aire de ventilación por aire exterior.

**20.** Es necesario un apoyo mecánico para el reparto de la energía captado en las distintas orientaciones de las galerías. Las mediciones realizadas en las distintas orientaciones de la planta primera muestran diferencias de temperaturas de entre 2 y 3°C entre las orientaciones sur y norte.

Esta diferencia se incrementa hasta 5°C cuando la radiación incide directamente sobre la fachada sur. Recirculadores mecánicos de aire permitirían el reparto de las calorías y el equilibrio en la acumulación energética.

## COMENTARIOS AL CAPÍTULO

- La medición de edificios construidos es una herramienta útil para la comprensión de los procesos de transferencia de energía en los cuales se encuentra implicada la ventilación. Las reflexiones que ello comporta ofrecen datos útiles para la redacción de nuevos proyectos.
  - La consideración de estrategias de acondicionamiento y refrigeración natural en todos sus aspectos, desde la fase de proyecto, se demuestra el modo más efectivo de obtención de confort térmico interior. La experiencia de investigación, diseño, construcción y monitorización del edificio de pisos tutelados de Palma de Mallorca demuestra la influencia y eficacia que tiene la consideración del movimiento del aire en el diseño arquitectónico.
  - La corrección de errores de diseño por medio de la implantación de técnicas de refrigeración natural, consideradas una vez el edificio se encuentra en funcionamiento, son escasamente efectivas.
  - Las estrategias pasivas y activas de acondicionamiento no deben considerarse nunca de forma autónoma. El diseño coordinado de todas las estrategias de acondicionamiento es vital para lograr el confort con consumos reducidos de energía.
  - No pueden planificarse estrategias de acondicionamiento sin la consideración del usuario. La no participación en el control individual de su propio confort (sistemas automatizados) puede resultar tan insatisfactoria como un mal uso de los sistemas pasivos implantados (estrategias y componentes de accionamiento manual).
  - Es necesaria una labor de toma continua de datos en un mayor número de emplazamientos para poder, desde fases iniciales del proyecto, conocer el régimen de viento de los distintos emplazamientos y determinar la estrategia adecuada de ventilación.
- No existen apenas tomas de datos fuera de los situados en centros meteorológicos o aeropuertos (emplazamientos normalmente despejados de difícil extrapolación) que permitan establecer mapas de vientos.



# ANEXOS

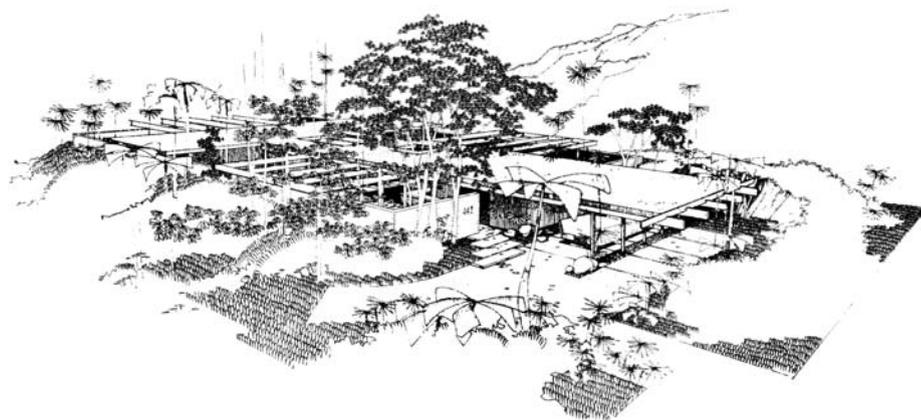


Fig. 7.1. Proyecto de viviendas enterradas en Santa Mónica. EE. UU. A. Quincy Jones. 1961



## BIBLIOGRAFÍA

- López de Asiain, Jaime. *Arquitectura, ciudad y medio ambiente*. Consejería de Obras Públicas. Sevilla, 2001
- Serra Florença, Rafael. *Les energies a l'arquitectura*. Ediciones UPC. Barcelona, 1996
- Buono, Mario. *Architettura del vento*. Clean Edizioni. Nápoles, 1998
- Yáñez, Guillermo. *Arquitectura Solar. Aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural*. Ministerio de Obras Públicas. Madrid 1988
- Yáñez, Guillermo. *Energía solar. Edificación y Clima*. Ministerio de Obras Públicas. Madrid, 1982
- Corloldo, Adriano - Los, Sergio. *Hábitat y Energía*. GG. Barcelona, 1982
- Rulfes, Pedro. *Difusión de Aire en Locales*. Editorial CEAC. Barcelona, 1999
- Allard, Francis (Editor). *Natural ventilation in Buildings*. James&James. Londres, 1998
- Ramón, Fernando. *Ventilación en una situación urbana*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1976
- Neila, Fco. Javier - Bedoya, César. *Técnicas Arquitectónicas de Acondicionamiento Ambiental*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 1997
- Neila, Fco. Javier. *Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 2004
- Mazria, Edward. *El libro de la energía solar pasiva*. GG. Barcelona, 1973
- Mat Santamouris, D. Asimakopoulus (Editores). *Passive Cooling of Buildings*. James&James. Londres, 1996
- Ochoa de la Torre, José Manuel. *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Tesis Doctoral. Sevilla, 2001
- Scudo, Gianni /Ochoa de la Torre, José Manuel. *Spazi Verdi Urbani*. Sistemi Editoriali. Nápoles, 2003
- Givoni, Baruch. *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold. Londres, 1998
- Olgay Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial GG. Barcelona 1998
- Lippsmeyer, George. *Building in the tropics*. Callwey Verlag. Munich. 1969
- Sevilla, Alfonso. *Arquitectura solar para climas cálidos*. Geohábitat. Madrid, 2000
- Konya Allan. *Diseño en climas cálidos*. Blume Ediciones. Madrid, 1981
- Chávez del Valle. *Zona Variable de confort térmico*. Tesis Doctoral UPC. Barcelona, 2002
- European Comission. Joule Programme. Natvent programme. 1994-1998
- European Comission. Joule II Programme. PASSCOOL programme. 1996-2000
- International Energy Agency. Anex 35. Hybvent. 1988-2002
- International Energy Agency. Reshyvent. 2002-2005
- International Energy Agency. *Review of Low Energy Cooling Technologies*. Anex 28-Subtask1. Londres, 1995
- International Energy Agency. Selection Guidance for Low Energy Cooling. Anex 28. Low energy cooling. Londres, 1998
- International Energy Agency. *Low Energy Cooling: Case Study Buildings*. Anex 28. Low energy cooling. Londres, 1998
- AIVC. Annotated bibliography. *Passive cooling Technology for office Buildings*. AIVC. Coventry, 1998
- AIVC. *Innovation in ventilation Technology*. AIVC Conference. 2000
- AIVC. *Ventilation Technologies in Urban Areas*. AIVC Conference. 1998
- AIVC. *Ventilation and Cooling*. AIVC Conference. 1997
- Ortega, Mario y Antonio. *Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes*. Paraninfo. Thomson Learning. Madrid, 2000
- Daniels, Klaus. *The Technology of Ecological Building*. Birkhäuser Verlag. Basilea, 1997
- Daniels, Klaus. *Low-Tech, Light-Tech, High tech, building in the information age*. Basel. Birkhäuser cop. 1988
- Daniels, Klaus. *Basic principles and measures, examples and ideas*. Basel. Birkhäuser cop. 1988
- Daniels, Klaus. *Advanced building systems: a technical guide for architects and engineers*. Basel. Birkhäuser cop. 1988
- Oesterle - Lieb - Lutz - Heusler. *Double Skin Façades*. Editorial Prestel. Munich, 2001
- Etheridge, David. *Building Ventilation. Theory and Measurement*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. 1996



## ÍNDICE DE IMÁGENES

- 0.0. de la Sota, Alejandro. *Alejandro de la Sota*. Ediciones Pronaos. Madrid, 1989. Pág. 199
- 1.1. de la Sota, Alejandro. *Alejandro de la Sota*. Ediciones Pronaos. Madrid, 1989. Pág. 199
- 1.2. Allard, Francis (Editor). *Natural ventilation in Buildings*. James & James. Londres, 1998. Pág. 54
- 1.3. Usón. *La nueva sensibilidad ambiental*. Clipmedia. Barcelona, 2007. Pág. 46
- 1.4. Smith, Elizabeth. *Case Study Buildings*. Taschen. Köhl, 2002. Pág. 356
- 2.1. Fromonot, Françoise. *Glenn Murcutt. Works and Projects*. Thames & Hudson. Londres, 1995. Pág. 144
- 2.2. Neila, Bedoya. *Técnicas arquitectónicas de acondicionamiento ambiental*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 1997. Pág. 66
- 2.3. Neila, Bedoya. *Técnicas arquitectónicas de acondicionamiento ambiental*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 1997. Pág. 98
- 2.4. X Bienal de Arquitectura y Urbanismo. Ministerio de la Vivienda. Madrid, 2009. Pág. 103
- 2.5. Archivo Jaime López de Asiain
- 2.6. López de Asiain, de Luxán. *Arquitectura y clima en Andalucía*. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 1997. Pág. 69
- 2.7. López de Asiain, de Luxán. *Arquitectura y clima en Andalucía*. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Sevilla, 1997. Pág. 67
- 2.8. Archivo propio
- 2.9. Climent, Federico. *Sáenz de Oiza*. Govern Balear. Conselleria de Habitatge i Transport. Palma de Mallorca, 2001. Pág. 87
- 2.10. Climent, Federico. *Sáenz de Oiza*. Govern Balear. Conselleria de Habitatge i Transport. Palma de Mallorca, 2001. Pág. 81
- 2.11. Richards, J.M. *Hassan Fathy*. Concept Media. Londres, 1985. Pág. 164
- 2.12. Sevilla, Alfonso. *Arquitectura solar para climas cálidos*. Geohábitat. 2000. Pág. 110
- 2.13. Olgay Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial GG. Barcelona, 1998. Pág. 104
- 2.14. Oliver, Paul. *Dwellings. The house across the world*. Phaidon Press Limited. Oxford 1987. Pág. 127
- 2.15. Archivo propio
- 2.16. Givoni, Baruch. *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold. Londres, 1998. Pág. 102
- 2.17. Herzog, Thomas. *Facade Construction Manual*. Birkhäuser. Basel, 2004. Pág. 156
- 2.18. *25 viviendas bioclimáticas para la isla de Tenerife*. Iter. Santa cruz de Tenerife, 1996. Pág. 41
- 2.19. Flagge, Ingeborg (Editor). *Thomas Herzog*. Prestel. Munich 2005. Pág. 84
- 2.20. Fromonot, Françoise. *Glenn Murcutt. Buildings+ Projects 1962-2003*. Thames & Hudson. Londres, 2003. Pág. 169
- 2.21. [www.alderventicontrol.es](http://www.alderventicontrol.es)
- 2.22. Sabine Biteer, Helmut Weber. *Caracas, hecho en Venezuela*. Pág. 6
- 2.23. Archivo AIA
- 2.24. RLA. *Fatecsa Obras SAU*. Valencia 2009. Pág. 90, 91
- 2.25. Artigas, Rosa. *Paulo Mendes da Rocha*. Cosac & Naify. Sao Paulo, 2000. Pág. 152
- 2.26. [www.ieaust.org](http://www.ieaust.org)
- 2.27. *X Bienal Española de Arquitectura y Urbanismo*. Ministerio de Vivienda. Madrid, 2009. Pág. 194
- 2.28. 2G nº 21 Lacaton & Vassal. Pág. 36
- 2.29. Rispa, Alonso, Aguza. *EXPO 92. Sevilla. Arquitectura y diseño*. Electa. Sevilla, 1992. Pág. 304
- 2.30. [www.termodeck.com](http://www.termodeck.com)
- 2.31. *European directory of sustainable and energy efficient building*. 1000. James & James. Londres, 1999. Pág. 106
- 2.32. *European directory of sustainable and energy efficient building*. 1000. James & James. Londres, 1999. Pág. 107
- 2.33. *X Bienal Española de Arquitectura y Urbanismo*. Ministerio de Vivienda. Madrid, 2009. Pág. 166
- 2.34. [http://www.schueco.com/web/es/schueco/schueco\\_iberia](http://www.schueco.com/web/es/schueco/schueco_iberia)
- 2.35. <http://img182.imageshack.us/i/windtunneltestingseminatb8.jpg/>
- 2.36. Daniels, Klaus. *Advanced building systems: a technical guide for architects and engineers*. Basel. Birkhäuser cop. 1988. Pág. 183
- 2.37. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 101
- 2.38. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 101
- 2.39. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 101
- 2.40. Rodofsky, Bernard. *Architecture without architects*. Academy Editions. Londres, 1974. Pág. 94
- 2.41. 2G nº 21 Lacaton & Vassal. Pág. 36
- 2.42. Daniels, Klaus. *Advanced building systems: a technical guide for architects and engineers*. Basel. Birkhäuser cop. 1988. Pág. 183
- 2.43. Redibujado por el autor de distintas publicaciones
- 2.44. Redibujado por el autor de distintas publicaciones
- 2.45. Redibujado por el autor de distintas publicaciones
- 2.46. Redibujado por el autor de distintas publicaciones
- 2.47. Redibujado por el autor de distintas publicaciones
- 2.48. *Parque escolar. Arquitectura Viva*. nº78. Pág. 20

- 2.49. Solaguren, del Corral. *Arne Jacobsen*. GG. Barcelona, 1989. Pág. 110
- 2.50. Daniels, Klaus. *Advanced building systems: a technical guide for architects and engineers*. Basel. Birkhäuser cop. 1988. Pág. 238
- 2.51. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 2.52. Archivo propio
- 2.53. 2.54. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 104
- 2.55. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 105
- 2.54. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 105
- 2.55. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 105
- 2.56. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 109
- 2.57. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 109
- 2.58. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 105
- 2.59. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 110
- 2.60. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 111
- 2.61. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 111
- 2.62. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 106
- 2.63. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 107
- 2.64. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 107
- 2.65. Olgay, Víctor. *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. GG. Barcelona, 1998. Pág. 106
- 2.66. Futagawa, Pierre. *La Maison de Verre*. GA. Tokio 1988. Pág. 80
- 2.67. Félix Solaguren -Beascoa. *Arne Jacobsen. Aproximación a la obra completa*. Fundación Caja de Arquitectos. Barcelona, 2001
- 2.68. Archivo propio
- 2.69. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 2.70. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 
- 3.01. Peters, Nils. *Prouvé*. Taschen. Köln, 2006. Pág. 12
- 3.02. Daniels, Klaus. *The Technology of Ecological Building*. Birkhäuser Verlag. Basilea, 1997. Pág. 121
- 3.03. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.04. Neila, Fco. Javier. *Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible*. Ediciones Munilla Lería. Madrid, 2004. Pág. 114
- 3.05. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.06. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.07. Oliver, Paul. *Dwellings. The house across the world*. Phaidon Press Limited. Oxford, 1987. Pág. 171
- 3.08. Oli Nourissier, Reguant, Casanovas, Graz. *Arquitectura tradicional mediterránea*. Colegio de Aparejadores de Barcelona. Bcn, 2002. Pág. 63
- 3.09. Azara, Pedro. *Las casas del alma*. Fundación Caja de Arquitectos. Barcelona, 1997. Pág. 34
- 3.10. Müller, Vogel. *Atlas de Arquitectura 1*. Alianza Editorial, Madrid 1992. Pág. 138
- 3.11. de Cenival, Jean-Louis. *Egipto. Epoca faraónica*. Ediciones Garriga. Barcelona, 1964. Pág. 140
- 3.12. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag, Munich, 1996. Pág. 86
- 3.13. Azara, Pedro. *Las casas del alma*. Fundación Caja de Arquitectos. Barcelona, 1997. Pág. 211
- 3.14. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag, Munich, 1996. Pág. 12
- 3.15. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag, Munich, 1996. Pág. 15
- 3.16. Kostof, Spiro. *Historia de la Arquitectura*. Alianza Forma. Madrid 1988. Pág. 344
- 3.17. Corloni, Adriano. *La arquitectura de la vivienda unifamiliar*. GG. Barcelona, 1999. Pág. 114
- 3.18. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.19. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.20. Richards, J.M. *Hassan Fathy. Concept Media*. Londres, 1985. Pág. 130
- 3.21. Rodofsky, Bernard. *Architecture without architects*. Academy Editions. Londres, 1974. Pág. 93
- 3.22. Nishikawa - Naito. *Katsura. Un ermitage princier*. Office du Livre. Fribourg, 1978. Pág. 67
- 3.23. Lloyd, Jones. *Arquitectura y Entorno*. H. Blume. Barcelona, 2002. Pág. 15
- 3.24. Nishikawa - Naito. *Katsura. Un ermitage princier*. Office du Livre. Fribourg, 1978. Pág. 118
- 3.25. Nishikawa - Naito. *Katsura. Un ermitage princier*. Office du Livre. Fribourg 1978. Pág. 105
- 3.26. Cevese, Narini, Pellizzari. *Andrea Palladio. La Rotonda*. Electa. Milán, 1990. Pág. 50
- 3.27. Cevese, Narini, Pellizzari. *Andrea Palladio. La Rotonda*. Electa. Milán, 1990. Pág. 68
- 3.28. Cevese, Narini, Pellizzari. *Andrea Palladio. La Rotonda*. Electa. Milán, 1990. Pág. 79
- 3.29. Cevese, Narini, Pellizzari. *Andrea Palladio. La Rotonda*. Electa. Milán, 1990. Pág. 76
- 3.30. Fanchiotti, Aldo "I Covoli". *Spazio e Società*. Septiembre, 1982. N°19, Pág. 112
- 3.31. Fanchiotti, Aldo "I Covoli". *Spazio e Società*. Septiembre, 1982. N°19, Pág. 118
- 3.32. Fanchiotti, Aldo "I Covoli". *Spazio e Società*. Septiembre, 1982. N°19, Pág. 117
- 3.33. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag, Munich, 1996. Pág. 115

- 3.34. Plupitre, George. *Juegos de agua*. GG. Barcelona, 1994. Pág. 41
- 3.35. Plupitre, George. *Juegos de agua*. GG. Barcelona, 1994. Pág. 38
- 3.36. Archivo propio
- 3.37. Archivo propio
- 3.38. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.39. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.40. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.41. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.42. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.43. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.44. Corloldo, Adriano - Los, Sergio. *Habitat y Energía*. GG. Barcelona 1982. Pág. 146
- 3.45. Yukio Futakawa. *Frank Lloyd Wright. Monograph*. 1902-1906. Pág. 133
- 3.46. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.47. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.48. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.49. Torres, Jorge. *Le Corbusier: visiones de la técnica en 5 tiempos*. Arquithemas. Fundación Caja de Arquitectos. Pág. 154
- 3.50. Torres, Jorge. *Le Corbusier: visiones de la técnica en 5 tiempos*. Arquithemas. Fundación Caja de Arquitectos. Pág. 154
- 3.51. Torres, Jorge. *Le Corbusier: visiones de la técnica en 5 tiempos*. Arquithemas. Fundación Caja de Arquitectos. Pág. 154
- 3.52. Frampton, Kenneth. *Le Corbusier*. Thames & Hudson. Londres, 1995. Pág. 189
- 3.53. Frampton, Kenneth. *Le Corbusier*. Thames & Hudson. Londres, 1995. Pág. 189
- 3.54. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.55. Boesiger, Willy. *Le Corbusier*. GG. Barcelona, 1991. Pág. 200
- 3.56. Gahst, Klaus-Peter. *Le Corbusier. París- Chandigarh*. Birkhäuser. Basilea, 2000. Pág. 116
- 3.57. Gahst, Klaus-Peter. *Le Corbusier. París- Chandigarh*. Birkhäuser. Basilea, 2000. Pág. 120
- 3.58. Gahst, Klaus-Peter. *Le Corbusier. París- Chandigarh*. Birkhäuser. Basilea, 2000. Pág. 159
- 3.59. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.60. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 211
- 3.61. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 188
- 3.62. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 52
- 3.63. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 178
- 3.64. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 177
- 3.65. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 177
- 3.66. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.67. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.68. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.69. Lous Kahn. *National Capital of Bangladesh, Daka, Bangladesh, 1962-83. GA*. Tokio 1994. Pág. 2
- 3.70. Luis Barragán. Editorial Limusa. Tokio, 1992. Pág. 120
- 3.71. Molina-Schere. *Luis Barragán. Paraísos*. Kliczkowsky. Madrid, 2001. Pág. 111
- 3.72. Redibujado por el autor de varias publicaciones.
- 3.73. *Caracas, hecho en Venezuela*. Sabine Biteer, Helmut Weber. Pág. 40
- 3.74. *Caracas, hecho en Venezuela*. Sabine Biteer, Helmut Weber. Pág. 39
- 3.75. *Caracas, hecho en Venezuela*. Sabine Biteer, Helmut Weber. Pág. 38
- 3.76. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 80
- 3.77. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 80
- 3.78. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 168
- 3.79. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.80. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.81. Steele, James. *Hassan Fathy*. Academy editions. St. Martin Press. Nueva York, 1988. Pág. 94
- 3.82. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.83. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 3.84. Buchanan, Peter. *Renzo Piano Building Workshop*. Phaidon. Londres, 2000. Pág. 92
- 3.85. Buchanan, Peter. *Renzo Piano Building Workshop*. Phaidon. Londres, 2000. Pág. 109
- 3.86. Buchanan, Peter. *Renzo Piano Building Workshop*. Phaidon. Londres, 2000. Pág. 112
- 3.87. Beck, Cooper. *Glenn Murcutt. A singular Architectural Practice*. Images Publishing. Hong Kong 2003. Pág. 186
- 3.88. Beck, Cooper. *Glenn Murcutt. A singular Architectural Practice*. Images Publishing. Hong Kong 2003. Pág. 180
- 3.89. Fromonot, Françoise. *Glenn Murcutt. Buildings+Projects 1962-2003*. Thames & Hudson. Londres, 2003. Pág. 222

- 4.1. Powel, Robert. *Rethinking the skyscraper. Ken Yeang*. Thames & Hudson. London, 1995
- 4.2. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.3. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.4. Soriano, Vicente. *Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El oasis de Skoura*. Fundación Caja de arquitectos. Madrid, 2008. Pág. 174
- 4.5. Soriano, Vicente. *Arquitectura de tierra en el sur de Marruecos. El oasis de Skoura*. Fundación Caja de arquitectos. Madrid, 2008. Pág. 174
- 4.6. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.7. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.8. Kazuhiro, Kojima/CAt. GG. Barcelona 2009. Pág. 49
- 4.9. Kazuhiro, Kojima/CAt. GG. Barcelona 2009. Pág. 52
- 4.10. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.11. Archivo Jaime López de Asiain
- 4.12. Yannas, Simos (editor). *Design Educetional Buildings*. European Commission. DGXII for Science, Research and Development. Pág. 76
- 4.13. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.14. Powell, Kenneth. *Richard Rogers 1,2*. Phaidon. Londres, 1999. Pág. 226
- 4.15. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.16. Poster nº2. Building 2000
- 4.17. Poster nº2. Building 2000
- 4.18. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.19. Powel Kenneth. *Richard Rogers 1,2*. Phaidon.1999. Pág. 226
- 4.20. Archivo propio
- 4.21. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.22. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.23. J.M. Richards. *Hassan Fathy*. Concept Media. Londres 1985. Pág. 129
- 4.24. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.25. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.26. Futagawa, Yukio. *Richard Rogers. GA Documents Extra*. Nº2. Tokio, 1995. Pág. 129
- 4.27. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.28. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.29. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.30. Correa, Charles. *Charles Correa*. Thames & Hudson. Londres, 1996. Pág. 246
- 4.31. Correa, Charles. *Charles Correa*. Thames & Hudson. Londres, 1996. Pág. 246
- 4.32. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.33. Arquitectura viva nº133. Pág. 64
- 4.34. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.35. Arquitectura viva nº133. Pág. 65
- 4.36. Arquitectura viva nº133. Pág. 65
- 4.37. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.38. Archivo AUIA
- 4.39. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.40. Archivo AUIA
- 4.41. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.42. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.43. Lloyd, Jones. *Arquitectura y Entorno*. H. Blume. Barcelona, 2002. Pág. 102
- 4.44. Redibujado por el autor de varias publicaciones.
- 4.45. *Domus 933*. 01/02. Pág. 77
- 4.46. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.47. *Domus 933*. 01/02. Pág. 75
- 4.48. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.49. Schittich, Christian. *Pieles nuevas*. Edición Detail. Munich, 2003. Pág. 176
- 4.50. Redibujado por el autor de varias publicaciones.
- 4.51. Schittich, Christian. *Pieles nuevas*. Edición Detail. Munich, 2003. Pág. 34
- 4.52. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.53. *Tato/Vallejo/García-Setien. Monoespacios*. COAM. Madrid, 2006. Pág. 30
- 4.54. *Tato/Vallejo/García-Setien. Monoespacios*. COAM. Madrid, 2006. Pág. 30
- 4.55. *Tato/Vallejo/García-Setien. Monoespacios*. COAM. Madrid, 2006. Pág. 31
- 4.56. *Tato/Vallejo/García-Setien. Monoespacios*. COAM. Madrid, 2006. Pág. 32
- 4.57. Redibujado por el autor de varias publicaciones

- 4.58. J. Owen Lewis. *A Green Vitruvius*. Londres, 199. Pág. 123
- 4.59. J. Owen Lewis. *A Green Vitruvius*. Londres, 199. Pág. 123
- 4.60. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 54
- 4.61. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.62. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 55
- 4.63. Spiro, Annette. *Paulo Mendes de Rocha*. Nigli. Zürich, 2002. Pág. 55
- 4.64. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.65. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag. Munich, 1996. Pág. 182
- 4.66. Behling, Sophia & Stephen. *Sol power. The evolution of solar architecture*. Prestel Verlag. Munich, 1996. Pág. 182
- 4.67. *El Croquis* nº 30+49+50. *Enric Miralles*. 2002. Pág. 113
- 4.68. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.69. *El Croquis* nº 30+49+50. *Enric Miralles*. 2002. Pág. 115
- 4.70. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.71. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.72. *El Croquis* nº150. David Chipperfield. Pág. 251
- 4.73. *El Croquis* nº150. David Chipperfield. Pág. 253
- 4.74. *El Croquis* nº150. David Chipperfield. Pág. 253
- 4.75. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.76. *ZG* nº52 Sauerbruch Hutton. Pág. 69
- 4.77. *ZG* nº52 Sauerbruch Hutton. Pág. 60
- 4.78. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.79. de la Sota, Alejandro. *Alejandro de la Sota*. Ediciones Pronaos. Madrid, 1989. Pág. 75
- 4.80. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.81. de la Sota, Alejandro. *Alejandro de la Sota*. Ediciones Pronaos. Madrid, 1989. Pág. 77
- 4.82. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.83. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.84. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.85. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.86. *ZG* nº50 Sou Fujimoto. Pág. 45
- 4.87. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.88. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.89. X Bienal de Arquitectura y Urbanismo. Ministerio de la Vivienda. Madrid, 2009. Pág. 39
- 4.90. X Bienal de Arquitectura y Urbanismo. Ministerio de la Vivienda. Madrid, 2009. Pág. 36
- 4.91. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.92. *ZG* nº43. Kazuhiro Kojima. Pág. 65
- 4.93. *ZG* nº43. Kazuhiro Kojima. Pág. 65
- 4.94. *ZG* nº43. Kazuhiro Kojima. Pág. 65
- 4.95. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.96. Archivo del autor
- 4.97. Archivo del autor
- 4.98. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.99. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.100. Keneth Powel. *Richard Rogers*. Phaidon. New York, 2006. Pág. 89
- 4.101. Keneth Powel. *Richard Rogers*. Phaidon. New York, 2006. Pág. 94
- 4.102. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.103. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 4.104. *Expo Sevilla*. Electa. Milan 1992. Pág. 325
- 4.105. *Expo Sevilla*. Electa. Milan 1992. Pág. 325
- 5.1. Molina, Juan - Schere Ronaldo. *Luis Barragán. Paraísos*. Editorial Kliczkoski. Madrid, 2001. Pág. 18
- 5.2. *Hemiciclo Solar*. RLA. *Fatecsa Obras SAU*. Valencia 2009. Pág. 95
- 5.3. *Hemiciclo Solar*. RLA. *Fatecsa Obras SAU*. Valencia 2009. Pág. 86
- 5.4. *Hemiciclo Solar*. RLA. *Fatecsa Obras SAU*. Valencia 2009. Pág. 86
- 5.5. *Hemiciclo Solar*. RLA. *Fatecsa Obras SAU*. Valencia 2009. Pág. 157
- 5.6. Correa, Charles. *Housing & Urbanisation*. Urban Desig Research Institute. Bombay. 1999. Pág. 28
- 5.7. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.8. Correa, Charles. *Housing & Urbanisation*. Urban Desig Research Institute. Bombay. 1999. Pág. 26

- 5.9. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.10. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.11. Zevi, Bruno. *Enrich Mendelsohn. Opera Completa*. Bruno Zevi- ETAS/KOMPASS. Milán, 1970. Pág. 236
- 5.12. Zevi, Bruno. *Enrich Mendelsohn. Opera Completa*. Bruno Zevi- ETAS/KOMPASS. Milán, 1970. Pág. 237
- 5.13. Smith, Elizabeth. *Case Study Buildings*. Taschen. Köhl, 2002. Pág. 59
- 5.14. Smith, Elizabeth. *Case Study Buildings*. Taschen. Köhl, 2002. Pág. 58
- 5.15. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.16. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.17. Mc Lamprecht, Goessel. *Richard Neutra. Complete Works*. Taschen. Köln, 2000. Pág. 286
- 5.18. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.19. Redibujado por el autor de varias publicaciones
- 5.20. Eckert Anja. *Modell Kronsberg*. Comision Europea. Proyecto n°NNE5/1999/140. Hannover, 2000. Pág. 133
- 5.21. Archivo propio
- 5.22. Archivo propio
- 5.23. Archivo propio
- 5.24. Archivo propio
- 5.25. Archivo Gori Salvà
- 5.26. Peters, Nils. *Prouvé*. Taschen. Köln, 2006. Pág. 15
- 5.27. Peters, Nils. *Prouvé*. Taschen. Köln, 2006. Pág. 46

- 6.1. Archivo Gabriel Golomb
- 6.2. Archivo Gori Salvà
- 6.3. Archivo Gori Salvà
- 6.4. Archivo del autor
- 6.5. Archivo del autor
- 6.6. Archivo del autor
- 6.7. Archivo Gori Salvà
- 6.8. Archivo Gori Salvà
- 6.9. Archivo Gori Salvà
- 6.10. Archivo Gori Salvà
- 6.11. Archivo Gori Salvà
- 6.12. Archivo del autor
- 6.13. Archivo del autor
- 6.14. Archivo del autor
- 6.15. Archivo del autor
- 6.16. Archivo del autor
- 6.17. Archivo del autor
- 6.18. Archivo del autor
- 6.19. Archivo del autor
- 6.20. Archivo del autor
- 6.21. Archivo del autor
- 6.22. Archivo Víctor Moreno
- 6.23. Archivo Víctor Moreno
- 6.24. Archivo Iciar de Basterrechea
- 6.25-6.42. Archivo del autor

- 7.1. Susanne Klinkha. *Case Study Building Program*. Taschen. Köhl, 2002. Pág. 101



# El Movimiento del Aire Condicionante de Diseño Arquitectónico



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO