

# Arquitectura y energía natural

Rafael Serra Florensa  
Helena Coch Roura

Esta obra fue galardonada por la UPC en 1991

**Politext 40**

La presente obra fue galardonada en el primer concurso  
"Ajuts a l'elaboració de material docent" convocado por la UPC en 1991.

Primera edición: septiembre de 1995

Diseño de la cubierta: Antoni Gutiérrez

© Los autores, 1995

© Edicions UPC, 1995

Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL  
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona  
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885  
Edicions Virtuals: [www.edicionsupc.es](http://www.edicionsupc.es)  
E-mail: [edicions-upc@upc.es](mailto:edicions-upc@upc.es)

Producción: Servei de Publicacions de la UPC  
y CBS – Impressió digital  
Pintor Fortuny 151, 08224 Terrassa (Barcelona)

Depósito legal: B-7.167-95  
ISBN: 84-7653-505-8

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

## Presentación

A menudo tenemos que referirnos a las diversas crisis que hoy afectan a la arquitectura, ecos relativamente descontextualizados de algunas crisis culturales más generalizadas. Aquella relativa claridad estilística y aquella unanimidad de contenidos que se mantuvo quizás hasta los últimos años 70, ya no son referencias válidas, lo cual seguramente no indica una decaída cultural, pero sí un desconcierto que de alguna manera reclama nuevos esclarecimientos puntuales. También a menudo hemos indicado que, sin perder las ansias de investigación - y hasta los alardes menos sinceros de novedad a ultranza - conviene repuntualizar algunas categorías trascendentes en la evolución de la arquitectura, sin las cuales sería difícil situar esta disciplina en una validez histórica. Entre estas categorías destacan fundamentalmente tres: la concepción servicial en términos ampliamente sociales, la adecuación a una idea de ciudad y la capacidad de expresar compositivamente la realidad tangible de la buena construcción.

Al hablar de la última de esas tres categorías solemos referirnos a los materiales, los sistemas de construcción y, en general, a los temas de carácter tectónico. Pero, a veces, olvidamos otros elementos que tienen la misma trascendencia y que están también en la base de los procesos compositivos de la arquitectura, especialmente la de los últimos años, durante los cuales se ha ampliado considerablemente el concepto de confortabilidad y se ha exigido mayor atención a las cuantificaciones energéticas. La exigencia de la construcción ya no se plantea solamente en términos tectónicos, sino también en los específicamente ambientales: lo visual, lo acústico y lo climático. La lógica de la forma de la arquitectura viene, por lo tanto, determinada también por los parámetros objetivos del ambiente, los cuales entran ya a formar parte de las propuestas para un nuevo orden arquitectónico.

Desgraciadamente, estos temas suelen ser estudiados según contextos científicos demasiado abstractos, de manera que son difícilmente traducibles directamente a las opciones arquitectónicas y urbanísticas. Este libro de Rafael Serra Florensa logra establecer - seguramente por primera vez en nuestro ámbito cultural - aquella traducción directa, aquella interpretación arquitectónica de los parámetros físicos y psicológicos del ambiente.

---

Por esta razón va a ser un libro de consulta indispensable para los que entendemos que la arquitectura debe responder prioritariamente a las realidades sociales, contextuales y constructivas si queremos reencontrar una nueva normalidad histórica. Sobre todo para los que interpretamos la lógica de la construcción más allá de las condiciones tectónicas.

Pero, además, va a ser un libro que abrirá definitivamente la polémica sobre la calidad del ambiente y, consecuentemente, sobre la utilización lógica adecuada de las fuentes energéticas y la reinterpretación de los medios naturales en la construcción del habitat humano. La larga experiencia docente y la solvencia profesional del profesor Serra lo acreditan sobradamente.

Oriol Bohigas

---

## Introducción

El libro que presentamos es el resultado de la fusión de dos libros ya publicados ; "Les energies a l'arquitectura" y "El disseny energètic a l'arquitectura". Dichos libros, concebidos didacticamente, creemos que presentan además, un interés general para profesionales de la arquitectura, que justifica su publicación como un conjunto único.

En la primera parte del texto, tratamos los aspectos básicos o principios científicos de lo que representan las energías en la arquitectura y, a continuación, en la segunda parte, desde las técnicas más generales del diseño hasta las más particulares; acústicas, lumínicas y climáticas que, permiten el mejor aprovechamiento de las energías naturales en los edificios.

La primera parte consideramos que es la base introductoria para el estudio de los sistemas, naturales o artificiales, de control ambiental en los edificios. En esta parte se plantean los principios físicos, fisiológicos y psicológicos que, permiten comprender los sistemas de iluminación natural y artificial, la acústica y los sistemas de calefacción, de acondicionamiento, etc.. A partir de estos principios se podría acceder a algun sistema de control ambiental aplicable en la arquitectura.

En la segunda parte, penetramos en el estudio del aprovechamiento de las energías naturales en los edificios. Primero analizando cómo las diferentes decisiones generales del proyecto arquitectónico influyen sobre su comportamiento ambiental y, a continuación tratando los sistemas específicos, climáticos, lumínicos y acústicos que aprovechan estas energías naturales.

Hoy en día, los problemas medioambientales y la escasez, siempre latente, de los recursos energéticos posibles hacen muy importante el aprovechamiento de las energías naturales. En este contexto la arquitectura oficial tiende a apoyarse, cada vez más, en el uso de sistemas artificiales, sofisticados hoy, con controles informatizados que no consiguen esconder la básica contradicción de su diseño, que los hace consumidores desmesurados de energía, bajo la pretensiosa simplicidad de su piel austera.

---

En estas circunstancias, creemos que tiene sentido estudiar los sistemas naturales de control ambiental desde un enfoque arquitectónico global, estudiando el comportamiento energético de un edificio desde sus condiciones de implantación y su forma, el tratamiento de su envolvente y, la construcción y acabados de su interior. De esta forma, los sistemas específicos lumínicos, acústicos y climáticos y, en especial, cuando estos sistemas son artificiales, los entendemos como componentes ortopédicos que intervienen corrigiendo defectos básicos del diseño que se podrían haber resuelto a menudo con un proyecto adecuado.

La parte final del libro complementa la información con la presentación de los programas de ordenador que lo acompañan y, que permiten evaluar el comportamiento lumínico, acústico y climático de los edificios.

Tratándose de sistemas naturales de control ambiental y de uso arquitectónico, los programas son de fácil utilización y, presentan resultados aproximados con rapidez. Con ello se pretende facilitar su utilización ágil, desde los inicios del proceso de proyección, cuando son más importantes las decisiones que se toman.

Los autores

---

## Índice

### 1ª parte: El ambiente arquitectónico, visual, acústico y climático

#### Capítulo 1 El entorno humano y el papel de la energía

1.1 El cuerpo y el ambiente .....	15
1.2 El proceso perceptivo .....	17
1.3 Acción en el ambiente .....	18
1.4 Principios de la acción ambiental colectiva .....	19
1.5 Evolución del espacio como relación .....	19
1.6 Constricciones en el diseño ambiental a nivel de agrupación .....	23
1.7 Justificación del análisis del entorno en la arquitectura .....	25

#### Capítulo 2 Definición física del ambiente

2.1 Principio físico de los fenómenos ambientales .....	28
2.2 Producción de los fenómenos ambientales .....	30
2.3 Medición de los fenómenos ambientales .....	34
2.4 Propagación de los fenómenos ambientales .....	44
2.5 Comportamiento general frente a obstáculos .....	46
2.6 Difracción de los fenómenos ambientales .....	49
2.7 Reflexión en los fenómenos ambientales .....	50
2.8 Absorción de los fenómenos ambientales .....	54
2.9 Transmisión de los fenómenos ambientales .....	59

---

**Capítulo 3 Definición fisiológica del ambiente**

3.1 Principios de la sensación y de la percepción . . . . .	67
3.2 Los sentidos humanos . . . . .	69
3.3 Reacción de los sentidos al nivel energético y la longitud de onda . . . . .	72
3.4 Sensibilidad de los sentidos al espacio . . . . .	77
3.5 Sensibilidad de los sentidos en relación al tiempo . . . . .	78
3.6 Principios generales del confort ambiental . . . . .	79
3.7 Confort visual . . . . .	80
3.8 Confort acústico . . . . .	82
3.9 Confort climático . . . . .	83
3.10 El confort global . . . . .	91

**Capítulo 4 Definición psicológica del ambiente**

4.1 La sensación y la percepción . . . . .	95
4.2 El aprendizaje del proceso perceptivo . . . . .	96
4.3 Principios fundamentales del proceso perceptivo . . . . .	98
4.4 Los factores de la percepción y la Gestalt . . . . .	98
4.5 Las percepciones asociadas y las sinestesias . . . . .	102
4.6 El lenguaje como base de la percepción . . . . .	104
4.7 La percepción del espacio y la reacción individual . . . . .	105
4.8 Los tipos de carácter . . . . .	106
4.9 Percepción ambiental y estética . . . . .	107

**Capítulo 5 Inicio del lenguaje, parámetros y definidores ambientales**

5.1 El lenguaje ambiental . . . . .	109
5.2 Necesidades y apetencias humanas . . . . .	110
5.3 Las voliciones ambientales . . . . .	111
5.4 Los definidores ambientales . . . . .	112
5.5 Valores típicos de los definidores ambientales . . . . .	114

---



---

## **2ª parte: El control ambiental en el tiempo y en el espacio**

### **Capítulo 6 Evolución del control ambiental en la arquitectura**

6.1	Introducción, limitaciones del análisis . . . . .	121
6.2	Los tiempos primitivos, refugio básico . . . . .	124
6.3	Civilizaciones mediterráneas, forma y función . . . . .	126
6.4	Crecimiento de Europa, el frío y la luz . . . . .	137
6.5	Tiempo de cambio hasta el industrialismo . . . . .	147
6.6	La modernidad y su contradicción . . . . .	152
6.7	El futuro y la utopía ambiental . . . . .	157

### **Capítulo 7 El clima y otras preexistencias ambientales**

7.1	Macrofactores y microfactores del entorno . . . . .	165
7.2	Parámetros climáticos . . . . .	167
7.3	Otros parámetros ambientales . . . . .	182
7.4	Análisis general de preexistencias ambientales . . . . .	187

### **Capítulo 8 Clima y la arquitectura popular**

8.1	Diversidad climática y modelos básicos . . . . .	195
8.2	Arquitectura de los climas cálidos . . . . .	198
8.3	Arquitectura de los climas fríos . . . . .	207
8.4	Complejidad en los climas templados . . . . .	210

---

### **3ª parte. Los medios naturales de control ambiental**

#### Capítulo 9 La acción microclimática

9.1 La elección de la ubicación .....	221
9.2 Corrección del entorno .....	232

#### **Capítulo 10 Características generales del proyecto**

10.1 Forma general del edificio .....	236
10.2 El tratamiento de la piel .....	244
10.3 El interior del edificio .....	260

#### **Capítulo 11 Las características específicas del proyecto**

11.1 Las obstrucciones según las orientaciones .....	272
11.2 La orientación de la forma general del proyecto .....	280
11.3 Los cerramientos según la orientación .....	281
11.4 Topología del espacio interior del edificio .....	286

#### **Capítulo 12 Sistemas especiales de control ambiental**

12.1 Sistemas de climatización natural .....	294
12.2 Sistemas de iluminación natural .....	321
12.3 Sistemas de control acústico .....	342

#### **Anexo A La evaluación del comportamiento ambiental**

A.1 Dimensionado de la luz natural .....	
A.2 Dimensionados acústicos .....	
A.3 Dimensionado climático .....	

---



## Bibliografia

AAVV

*Acoustique. Reef-Volumme II. Science du Bâtiment.*  
Paris, CSTB, 1984

AAVV

*Architecture ed Energia. Sette edifici per l'Enea.*  
Roma, De Luca Editore, 1987

AAVV

*Building 2000. Proceedings building 2000 Workshops.*  
Dordrecht, EGM Engineering BV, 1988

AAVV

*Condicions mínimes d'habitabilitat i de Construcció dels Edificis a contemplar en les Ordenances d'Edificació.*  
Institut de la Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Generalitat de Catalunya.  
Barcelona, Romargraf S.A., 1983

AAVV

*Daylighting in Architecture. A European Reference Book.*  
Brussels, James & James, 1993

AAVV

*European Passive Solar Handbook. Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture.*  
Brussels, Directorate General XII for Science, Reserch and Development.  
Solar Energy Division, 1986

BALCOMB, J.Douglas

*Heat Storage and Distribution Inside Passive Solar Building.*  
Los Alamos, U.S. Government Printing Office, 1983

---

BERANEK, Leo L.

*Music, Acoustics & Architecture.*

New York, John Wiley & Sons, INC., 1962

DE MASCARO, Lucia R.

*Luz, Clima e Arquitectura.*

Sao Paulo, Nobel, 1989

DE OLIVEIRA FERNANDES, Eduardo, YANNAS, Simos

*A Mediterranean Regional Approach. Energy and Buildings for Temperate Climates.*

Oxford, Pergamon Press, 1988

ISALGUE, Antoni

*Física del so i de la llum.*

Barcelona, E.T.S.A.B., 1994

IZARD, Jean-Louis

*Architectures d'été. Construire pour le confort d'été.*

La Calade, Aix-en-Provence, Edisud, 1993.

LAVIGNE, Pierre

*Architecture Climatique. Une contribution au développement durable. Tome 1 : Bases physiques.*

La Calade, Aix-en-Provence, Edisud, 1994

MAZRIA, Edward

*El libro de la energía solar pasiva.*

Barcelona, Editorial Gustavo Gili S.A., 1983

MEISSER, Mathias

*Acústica de los edificios.*

Barcelona, Editores Técnicos Asociados S.A., 1973

OLGYAY, Victor

*Design with Climate. Bioclimatic approach to Architectural Regionalism.*

New York, Van Nostrand Reinhold, 1963

OLGYAY & OLGAY

*Solar Control & Shading Devices.*

New Jersey, Princeton University Press, 1957

---

ROCA VILA, R., JUAN LEON, L.

*Vibraciones mecánicas.*

Ciudad de México, Editorial Limusa, 1981

SCUDO, Gianni

*Tecnologie termoedilizie. Principi e tecniche innovative per la climatizzazione dell'edilizia.*

Milano, CittàStudi, 1993

SERRA FLORENZA, Rafael

*Clima, lugar y arquitectura. Manual de diseño bioclimático.*

Ministerio de Industria y Energía, Secretaría General Técnica del CIEMAT, 1989

SERRA FLORENZA, Rafael, P. LABASTIDA AZEMAR, Francisco

*Control Acústico en los Edificios. Manual de Arquitectura 14.*

Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares

Barcelona, La Gaya Ciencia, 1974

SZOKOLAY, S. V.

*Energía solar y edificación.*

Barcelona, Editorial Blume, 1978

WRIGHT, David

*Arquitectura solar natural.*

Naucalpan, Ediciones Gustavo Gili S.A., 1983

WRIGHT, Lawrence

*Los fuegos del hogar. De la hoguera prehistórica a la calefacción de hoy.*

Barcelona, Editorial Noguer S.A., 1966

YANNAS, Simos

*Solar Energy and Housing Design. Volume 1 : Principles, Objectives, Guidelines.*

Londres, DTI, 1994

YANNAS, Simos

*Solar Energy and Housing Design. Volume 2 : Examples.*

Londres, DTI, 1994

---

## Indice alfabético

### A

Abaco

- psicrométrico, 39
- de Missenard, 86

Absorbancia, 54

- específica, 54
- media, 54

Agorafobia, 107

Albedo, 171

Altura relativa, 224

Análisis higrotérmico, 193

Apoliniano, 107

Arquitectura de estilo, popular, 122

Azimut, 172

### C

Caliente-húmeda, 228

Calor

- específico, 38
- sensible, 40
- latente, 40
- de vaporización del agua, 40

Capacidad calorífica, 38

Claustrofobia, 107

Coefficiente de transmisión de calor, 61

Conducción, 44

Convección, 44

Cuerpos

- selectivos fríos, 55
- negros, 54
- selectivos cálidos, 55
- grises, 54

antinegros, 54

### D

Decibelio, 42

Deslumbramiento, 80

Difracción, 49

Dionisiaco, 107

### E

Ecuación

- y ábaco de Givoni, 86
- de Fanger, 89

Emitancia, 34

Energía radiante, 34

Enmascaramiento, 73

Entalpía, 40

Exergía, 33

### F

Flujo

- luminoso, 37
- radiante, 34

Fonios, 74

Frecuencia, 27

Fuentes

- térmicas, 31
- de descarga, 30

Fusión, 76

### G

Gestalt, 98

Gráfica de Victor Olgyay, 85

Gregarismo, 107

## H

Homeostasis, 15

Humedad

relativa, 40

específica, 40

## I

Iluminancia, 37

Índice de rendimiento en color, 37

Inercia térmica, 45

Infrasonidos, 32

Intensidad

de irradiación, 35

acústica, 41

de luz, 37

radiante, 34

Introversión, 107

## L

Latitud, 175

Ley

de Planck, 55

de Lambert, 35

de Kirchoff, 55

de Weber-Frechner, 72

de frecuencias, 63

de *prägnanz*, 101

de Stefan Boltzmann, 55

de masas, 63

Longitud de onda, 28

Luminancia, 37

## M

Masa térmica, 38

Microclima, 167

## N

Neofilia, 107

Neofobia, 107

Nivel sonoro, 42

## P

Pantallas, 234

Período, 28

Potencia

acústica, 41

calorífica, 38

Presión

acústica, 41

eficaz, 41

## R

Radiación, 44

Radiancia, 35

Reflectancia, 50

específica, 50

media, 50

Reflexión

especular, 51

dispersa, 51

difusa, 51

Renovación del aire, 83

Resistencia, 61

Reverberación, 56

## S

Sabine, 56

Sentido

álgico, 69

extraperceptivo,

endoperceptivo,

cenestésico,

cinestésico,

criostésico, 69

Sinestesia, 102

Sonidos audibles, 32

## T

Tacto, 69

Temperatura

de rocío, 40



seca, 40  
húmeda, 40  
de color, 37  
Timbre, 43  
Tono, 43  
Transmitancia, 59

## **U**

Ultrasonidos, 32

## **V**

Vías

aferentes, 67  
eferentes, 68

Visión

fotópica, 73  
escotópica, 73

Voluciones ambientales, 112

## **Z**

Zona climática, fría, templada, caliente-seca,

---

---

**1ª parte**

**El ambiente arquitectónico, visual, acústico y climático**

---

## Capítulo 1 El entorno humano y el papel de la energía

### 1.1 El cuerpo y el ambiente

Consideramos al hombre como un ser vivo, inmerso en un particular entorno con el cual mantiene toda clase de relaciones y que debe conocerse para poder optimizar cualquier diseño arquitectónico.

Estas relaciones del hombre con el entorno son básicamente intercambios energéticos de todo tipo, debidos en gran parte a que el cuerpo humano tiende a mantener unas condiciones interiores estables frente a un entorno cambiante, igual como lo hacen todos demás los animales conocidos como "de sangre caliente". Esta estabilidad de las condiciones interiores constantes, fenómeno llamado "**homeostasis**", comporta toda una serie de sofisticaciones en la estructura del cuerpo humano, como la existencia de órganos específicos que actúan como reguladores de la relación interior-exterior, que llamamos "**mecanismos homeostáticos**".

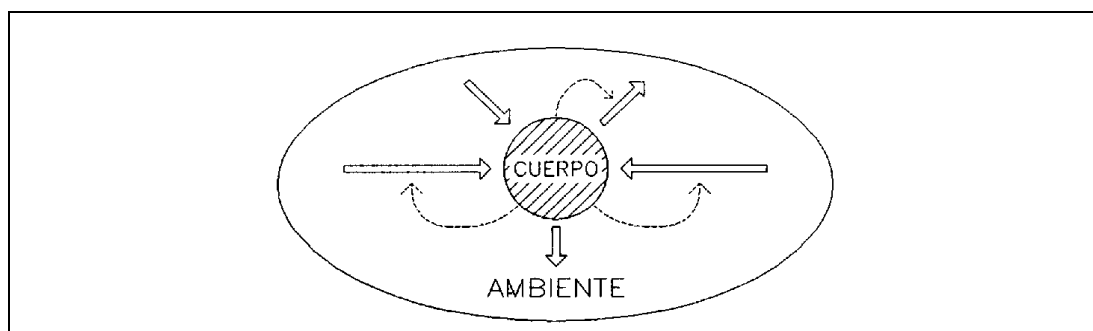


Fig. 1.1 Mecanismos homeostáticos o de regulación

Su misión es regular la respuesta del cuerpo frente a las cargas ambientales, que pueden ser climáticas, lumínicas, acústicas y, en términos más generales, psíquicas.

---

Estos mecanismos funcionan de forma retroactiva, como lo hace el "feed-back" de una máquina cibernética. En el proceso de control un sensor detecta las variaciones del efecto (o de uno de los efectos) y actúa sobre una de las causas, para regular el resultado dentro de unos límites preestablecidos, a pesar de las variaciones aleatorias de las otras causas.

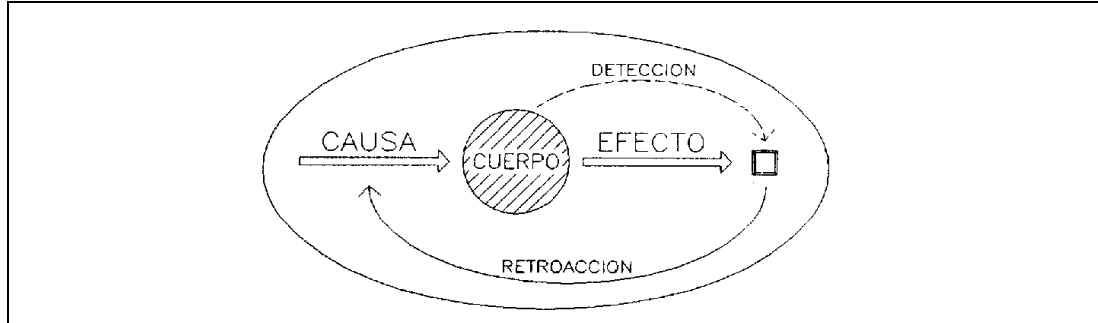


Fig. 1.2 Proceso causa-efecto

Un ejemplo de lo que hemos expuesto, de tipo no fisiológico, es la regulación automática en invierno de un radiador eléctrico con termostato. Las **causas** en este caso serían: el calor cedido por el radiador, las pérdidas o ganancias de calor del local a través de ventanas, paredes, etc., las aportaciones de energía de los ocupantes, las luces, etc. El **efecto** es la temperatura del local, que **detectada** por el mecanismo adecuado (termostato), actúa **retroactivamente** apagando y encendiendo el radiador (una de las causas), con lo que mantiene la temperatura deseada en el local.

En la relación cuerpo-ambiente actúan sistemas similares: la regulación de la abertura de la pupila de los ojos según la luz que recibe la retina, la variación de riego sanguíneo de la piel según la temperatura, la transpiración, etc.

Son procesos de regulación conscientes o inconscientes, pero siempre con la finalidad de adaptarse hasta el máximo posible a las condiciones del entorno, para que el cuerpo humano esté confortable y para que todas las reacciones químicas, eléctricas, etc. que se produzcan en él, lo hagan a una temperatura óptima. En este caso, los sentidos son los elementos detectores del sistema retroactivo, a pesar de que esta misión no es la única que tienen, como veremos más adelante.

Con estos mecanismos, el ser humano consigue adaptarse a un campo bastante amplio de condiciones variables de su entorno. A pesar de ello, estos límites que nos parecen bastante extensos, no lo son tanto en la práctica.

Una variación de más de 20-30EC de la temperatura del aire o la disminución de oxígeno o el incremento excesivo de anhídrido carbónico, un cambio fuerte en las condiciones gravitatorias, etc., pueden ser causas que impidan su supervivencia.

## 1.2 El proceso perceptivo

Un aspecto que debe ser considerado como muy importante en la relación del hombre con el entorno es el proceso de la percepción, entendido como distinto de la simple sensación, que sería solamente una parte de dicho proceso. En una primera aproximación, entenderemos la percepción como el conjunto de fenómenos que nos informa de las características del entorno, mediante la captación por parte del organismo humano de distintas energías presentes en el ambiente.

Entendemos que el conocimiento de este proceso perceptivo es básico para el diseño arquitectónico, ya que de él depende nuestro conocimiento del mundo que nos rodea, en el sentido más amplio del término, así como depende, en un sentido más concreto, nuestra aprehensión de la misma arquitectura.

Para su estudio, dividiremos el proceso perceptivo en tres niveles, aunque en muchos casos la distinción entre ellos es discutible:

1. **Nivel físico.** Manifestaciones energéticas existentes en el ambiente que, de una manera u otra, reciben los sentidos.
2. **Nivel fisiológico.** Transformación, según ciertas leyes de proporcionalidad, de los estímulos energéticos en impulsos nerviosos (señales eléctricas) y transporte de estas señales al sistema nervioso central y en concreto al cerebro.
3. **Nivel psicológico.** Recepción, clasificación e interpretación en el cerebro del conjunto de señales eléctricas recibidas.

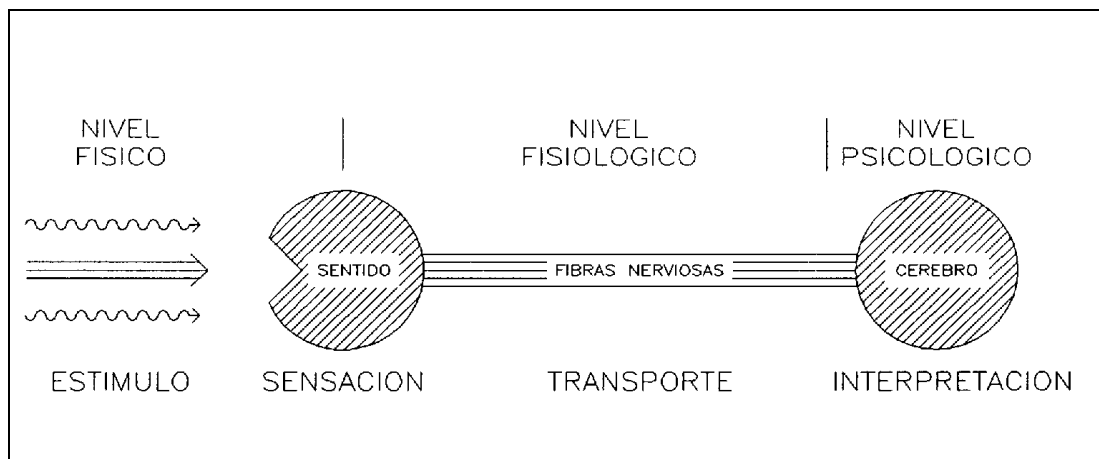


Fig. 1.3 El proceso perceptivo

### 1.3 La acción sobre el ambiente

El ser humano, al igual que lo hacen otras especies, ha intentado siempre modificar las características de su entorno con la aplicación de técnicas inteligentes. Cuando los procesos homeostáticos no eran suficientes para mantener la estabilidad de sus condiciones corporales, tuvo que idear y utilizar otros sistemas complementarios, rescatados del mismo entorno que lo rodeaba.

Un **primer sistema** fue la creación de barreras defensivas para protegerse de las características energéticas no deseadas del ambiente. Estas barreras podían ser de dos tipos:

- a) **Portátiles.** Elementos anexos al mismo cuerpo, individuales y fácilmente transportables, como es el caso de los vestidos (barreras térmicas), parasoles o paraguas (barreras de radiación o de lluvia), gafas (barreras lumínicas), etc.
- b) **Fijas.** Sistemas no transportables y de posible uso colectivo, como es el caso de un edificio, con sus barreras térmicas, al viento, a la luz, al sonido, etc.

Evidentemente, existen casos intermedios, como tiendas de campaña, sacos de dormir, cápsulas espaciales, etc., que se encuentran en el límite entre los dos tipos de soluciones.

Un **segundo sistema** fue el de utilizar fuentes de energía que modificasen directamente las condiciones energéticas del ambiente en un entorno que normalmente era colectivo. Estos sistemas energéticos, de los cuales el fuego es el primer y más claro ejemplo, pueden ser considerados, en muchos casos, como alternativos o complementarios respecto a la utilización de barreras del sistema anterior.

En su actuación sobre el mundo exterior, el ser humano siempre ha encontrado diversas soluciones para un mismo problema y no se ha visto abocado a una única opción. De esta forma se pueden plantear diferentes visiones en el tratamiento o relación de la arquitectura con el medio natural, desde la independencia máxima (rechazo del medio y creación artificial de condiciones interiores, como en una cápsula espacial), hasta la máxima relación (aprovechamiento de las buenas condiciones y protección de las malas, como en la arquitectura popular).

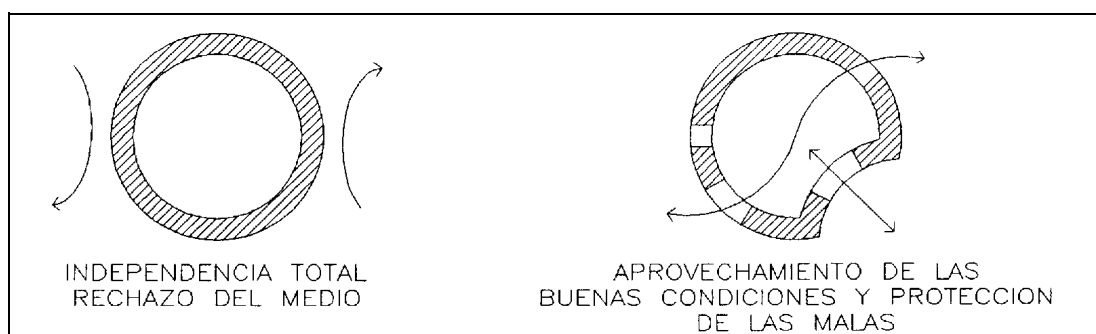


Fig. 1.4 Relaciones con el medio

## 1.4 Principios de la acción ambiental colectiva

Un aspecto que no ha sido considerado hasta ahora, es la influencia que sobre la reacción ambiental, sea sensorial o perceptiva, tienen la herencia y el aprendizaje.

A escala colectiva esta influencia adquiere especial importancia; se puede observar como las comunidades (al igual que los individuos) tienen frente al entorno ambiental, reacciones específicas de deseo, de oposición, de valoración del confort y también de apreciación perceptiva. Estas reacciones dependen del medio cultural y a la vez del medio genético. La preponderancia de un componente u otro sobre la formación del individuo o del grupo ha sido y es un punto de discusión en el que no entraremos, pero se puede afirmar que, tanto a nivel individual como de grupo, hay reacciones diferenciales en la apreciación del entorno, que conviene conocer en cualquier proceso de diseño y especialmente en el diseño ambiental.

En el caso particular de las agrupaciones humanas (pueblos, ciudades, etc.), estas reacciones se han reflejado, no solo en la propia forma física de los asentamientos, sino también en la misma estructura social, que a su vez vuelve a influir indirectamente en dicha forma física. Al mismo tiempo que los factores más agresivos del entorno, climáticos o no, condicionan la elección de las defensas, la opción entre un tipo u otro de sistema (barreras fijas, energías artificiales, etc.) depende de la tradición cultural de los constructores.

## 1.5 Evolución del espacio como relación

Desde la más remota antigüedad, los seres humanos se han agrupado de forma más o menos estable, generalmente por razones de supervivencia, y se han creado así distintos niveles de cooperación y de utilización de espacios comunes, que van desde el núcleo familiar hasta la gran ciudad.

Las primeras unidades de agrupación que se formaron eran de tipo patriarcal, el clan, donde los hombres se unían para compartir un refugio elemental contra los peores agentes exteriores: el sol, el viento, las precipitaciones, el frío, los animales feroces, etc. Estos refugios eran normalmente espacios únicos sin compartimentación, donde se realizaban conjuntamente todo tipo de actividades.

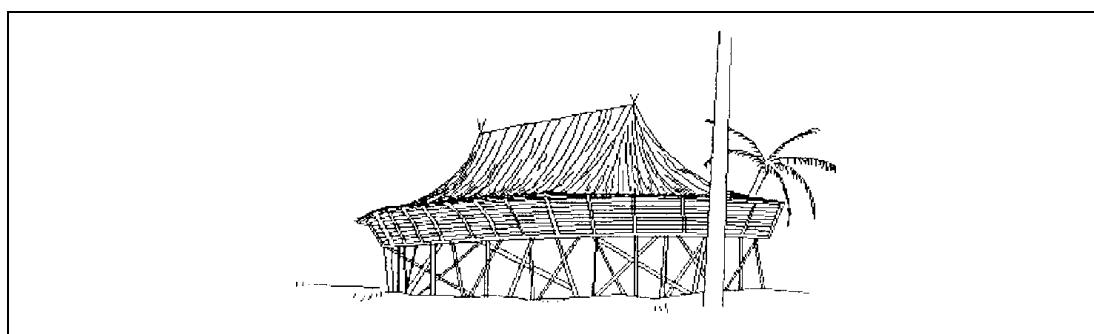


Fig. 1.5 Vivienda conunal en Sumatra

En estructuras sociales más evolucionadas se comienza a diversificar el espacio comunal por funciones, y se distinguen niveles de agrupación y de protección, según la rentabilidad práctica comparada de los sistemas individuales o colectivos.

Por este camino se distingue la **morada**, protección directa de los agentes meteorológicos y con privacidad acústica y visual, del **poblado**, agrupación colectiva de moradas, defensa común frente a otros agentes agresivos: animales, enemigos, vientos, etc. Un ejemplo de esta evolución es la agrupación de los iglúes esquimales, viviendas para los períodos con más nevadas y tempestades, donde la disposición del conjunto es la que ofrece protección a los agentes climáticos.

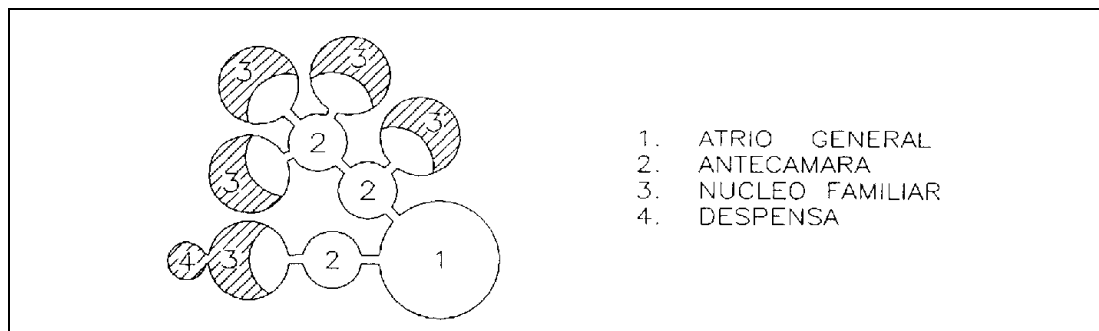


Fig. 1.6 Planta esquemática de una agrupación de iglúes

Esta estructura bipartita se encuentra aún hoy en día en nuestras estructuras urbanas, aunque se han fraccionado mucho más los espacios según sus funciones, distinguiéndose los de trabajo de los de residencia, de ocio, etc. En principio esto también es debido a criterios de rentabilidad, con cada protección situada a su nivel más eficiente desde el punto de vista "económico". De todas formas esta funcionalidad se ha perdido a menudo con la aparición de importantes cambios técnicos y sociales, que nuestras rígidas estructuras urbanas no han sido capaces de absorber.

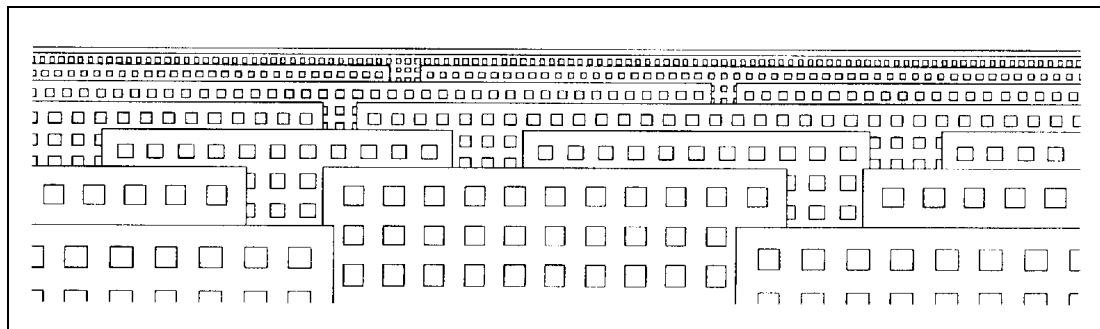


Fig. 1.7 Estructuras urbanas densificadas



En este sentido, es interesante repasar las propuestas que, hacia los años sesenta, hicieron ciertos "utópicos" (Buckminster Fuller, Yona Friedman, Frei Otto, etc.), llevando la defensa ambiental (frío, lluvia, etc.) a escala urbana, en lugar de a nivel de edificio.

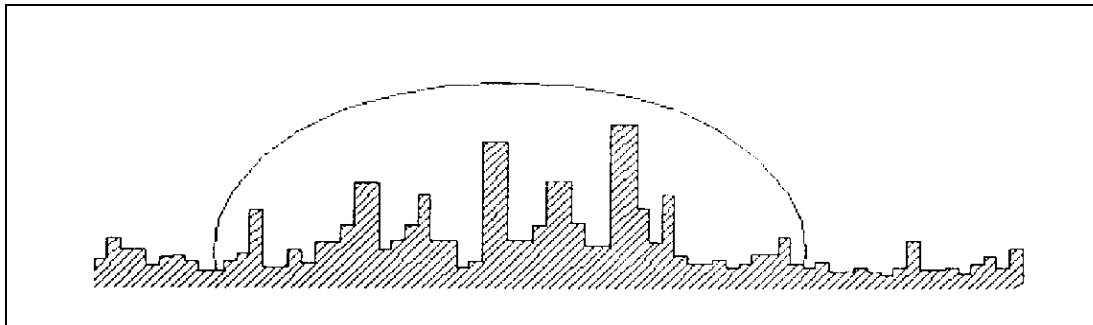


Fig. 1.8 Buckminster Fuller. Cúpula sobre New York

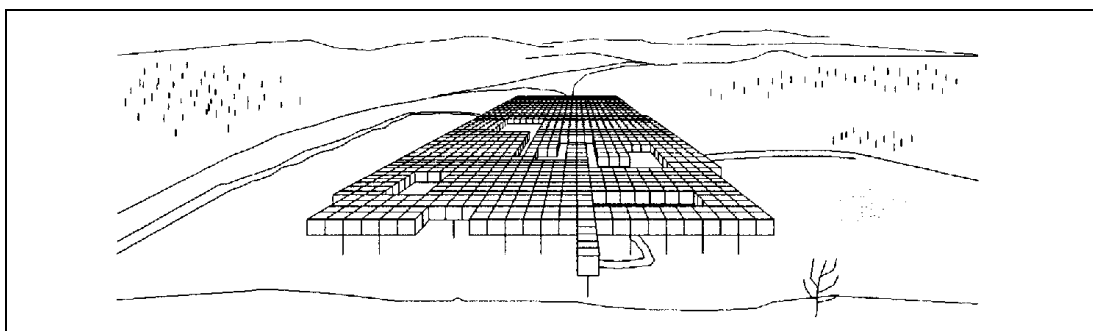


Fig. 1.9 Yona Friedman. Ciudad espacial

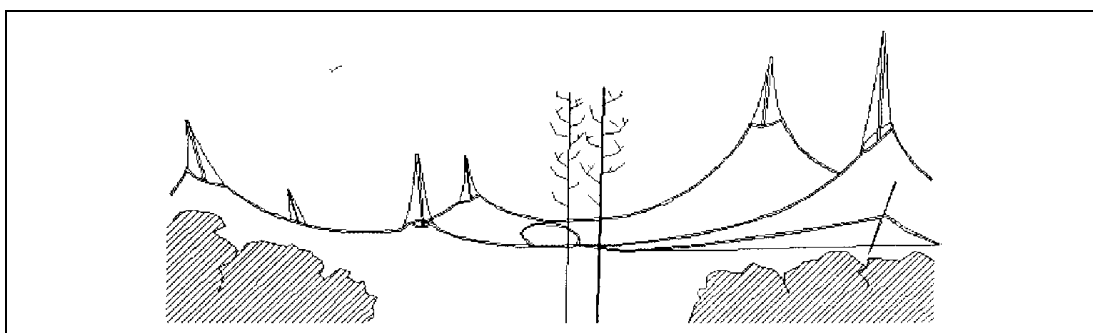


Fig. 1.10 Frei Otto. Pabellón de Alemania Occidental, Expo 67

Otras propuestas del mismo período parecían seguir el camino inverso, tendiendo a reducir protecciones normalmente comunitarias a un nivel más individual; buscaban la autonomía de las celdas habitables, como las burbujas autónomas de Reyner Banham o como lo hacen prácticamente las caravanas o viviendas rodantes.

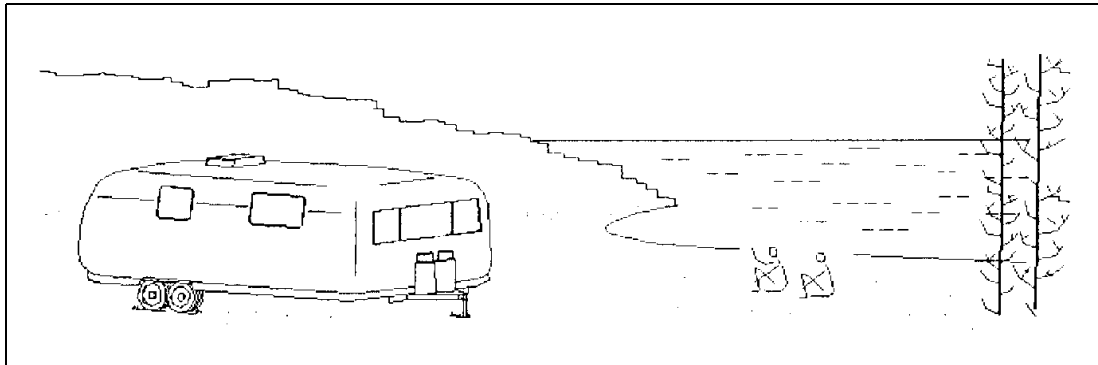


Fig. 1.11 Vivienda móvil

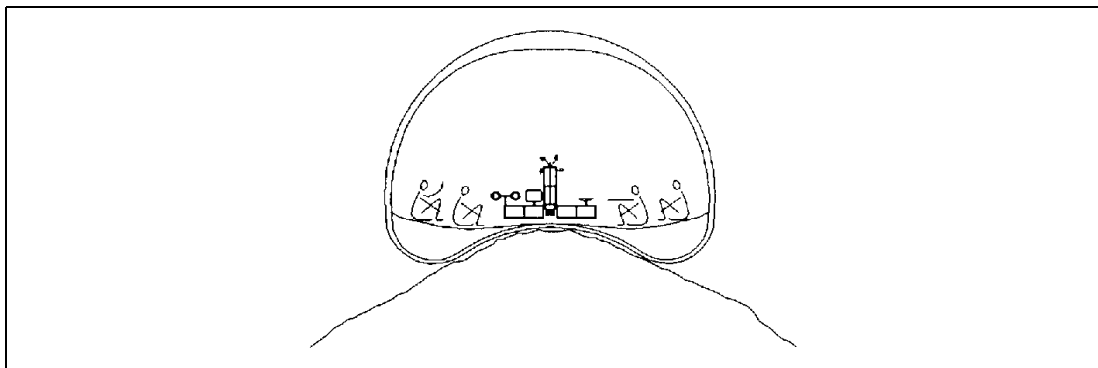


Fig. 1.12 Propuesta de vivienda inflable (Banham-Dallegret)

Resumiendo las consecuencias que podemos extraer de la evolución del espacio comunal a lo largo de la historia de la humanidad, así como de las propuestas que podríamos hacer para la forma de las agrupaciones humanas en el futuro, podemos ver la importancia de las consideraciones de tipo ambiental y energético sobre la formulación de las soluciones. De todas formas, también es evidente que en la mayor parte de los casos estas consideraciones ambientales no se hacen conscientemente, sino que son simplemente un trasfondo no manifestado de propuestas o realizaciones argumentadas con otros parámetros. Una vez más, el ser humano soluciona sus problemas sin ser plenamente consciente de todos los motivos que justifican el sistema que aplica.

## 1.6 Constricciones en el diseño ambiental a nivel de agrupación

Como introducción al problema de fijar las características ambientales deseables para un determinado ambiente, planteamos cuáles son los límites que, en el diseño ambiental, podemos considerar que nos determinan estas características:

1. Consideramos a cada uno de los individuos como un conjunto (A,B,..) con unos elementos (Na,Nb,..), donde estos elementos son las apetencias o deseos en relación con el ambiente que tiene cada persona.
2. El "*desideratum*" objetivo del ambiente para una agrupación en concreto, podemos considerar que será el conjunto intersección de todos los correspondientes a los individuos que integran la agrupación:

$$I = A \cap B \cap C \dots$$

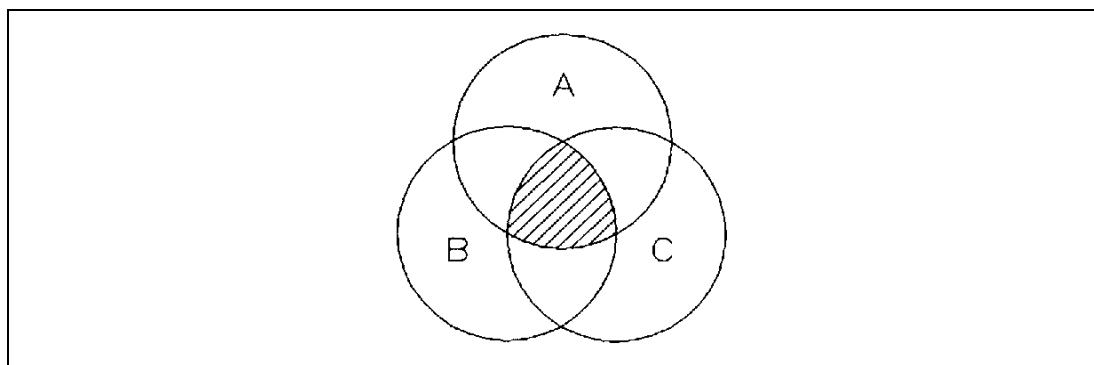


Fig. 1.13 Intersección de los conjuntos A,B,C

Aumentando el número de conjuntos disminuirá el número de elementos del conjunto intersección, y como consecuencia se restringirán las características válidas para el diseño que se pretende realizar, o sea, las que podrían ser aplicadas al caso concreto que se pretende solucionar. De esta forma el mundo objetivo de relación posible entre los individuos tiende a restringirse.

---

3. Cuando un espacio arquitectónico esté destinado a ser utilizado por  $M$  individuos, deberá adaptarse en la medida que sea posible a sus caracteres (o a sus necesidades) individuales. Esta adaptación puede llevar a distintos caminos:

a) Conjunto intersección:  $1 A, B, \dots$

b) Conjunto reunión:  $c A, B, \dots$

c) Ampliación de la intersección para ciertos caracteres.

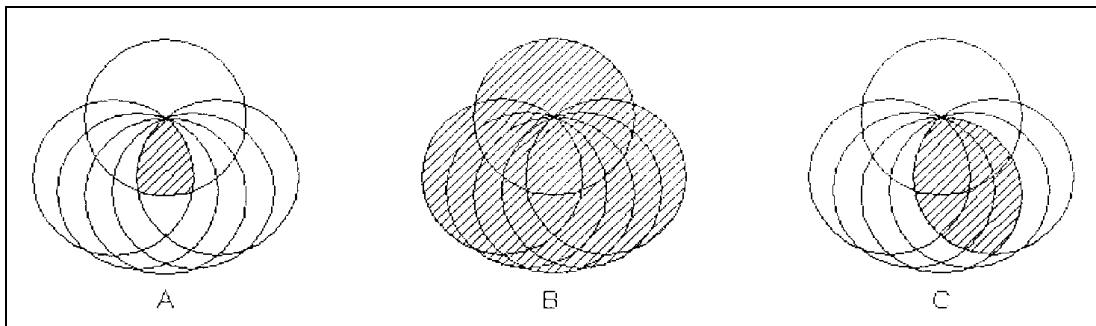


Fig. 1.14 Adaptación al incremento del número de conjuntos

En el caso a), al aumentar el número de conjuntos  $M$ , se reduce progresivamente el número de elementos comunes, por lo que tiende a quedarse vacío el conjunto intersección, lo cual quiere decir que no habría acuerdo posible sobre el carácter del espacio.

Para evitar esto se toma, en la práctica, la intersección de la mayoría (solución c), y se marginan así componentes importantes de ciertos individuos. Teóricamente podría haber una jerarquía de apetencias que facilitara estas preferencias a la hora de establecer la intersección, pero esta jerarquía siempre será dudosa.

En el caso b), finalmente, al aumentar el número de conjuntos desaparecen los límites y llegamos a otro tipo de espacio sin cualificar (conjunto universal), o sea, otra forma de lo que podríamos llamar conjunto vacío.

En nuestra sociedad resulta que, contraponiendo las ventajas de la existencia de un conjunto universal con el inconveniente de que el conjunto vaya quedando vacío, la despersonalización, la falta de comunicación, etc., hacen que el espacio se convierta cada vez más en dominante respecto al individuo.

## 1.7 Justificación del análisis del entorno en la arquitectura

Conocidos los problemas planteados en el diseño del entorno humano, nuestro objetivo será:

Hacer el análisis de las cualidades del ambiente en relación a su acción sobre el hombre y de las condiciones necesarias para que este ambiente sea el adecuado. En esta aproximación intervendrán diferentes consideraciones, como el problema del confort, de percepción nítida, de dominio del ambiente, etc.

Posteriormente, vendrá el estudio de los sistemas y las técnicas que nos permitirán controlar estas cualidades del ambiente. En los planteamientos parciales que ya se han hecho sobre este tema se ha tendido implícitamente a considerar que el objetivo de estas técnicas sea la obtención del espacio "*perfecto*" desde el punto de vista ambiental. Al profundizar en este sentido veremos que esta posición es peligrosa en su propio planteamiento. Un espacio "*perfecto*" puede ser un espacio excesivamente neutro y, como tal, puede afectar negativamente al funcionamiento fisiológico y psicológico de los individuos. Por lo tanto es necesario tener una cierta caracterización y variabilidad en el ambiente que lo haga "vivo", de manera que mantenga un diálogo con los que lo ocupan.

Todo esto nos lleva a plantear una disciplina, relacionada con muchas otras ya existentes, que llamaremos **condicionamiento ambiental en la arquitectura**. La primera parte de esta disciplina será el **análisis del ambiente** como instrumento básico teórico para plantear las técnicas de control ambiental.

---

## Capítulo 2 Definición física del ambiente

En el entorno ambiental del ser humano intervienen fenómenos muy diversos, como son: las radiaciones electromagnéticas, las cualidades y el estado energético del aire, las vibraciones y los sonidos, etc. Todas estas manifestaciones energéticas pueden ser estudiadas y evaluadas con criterios similares, a pesar de que el desarrollo teórico haga que, en la física clásica, pertenezcan a ramas bien distintas, con frecuentes incoherencias de lenguaje entre ellas. Nosotros intentaremos aquí tratarlas en paralelo, analizando y comparando su comportamiento en relación con el ambiente, para niveles sucesivos de análisis, este método nos permitirá conocer mejor sus interrelaciones en esta acción ambiental. Para seguir este proceso en cada nivel utilizaremos el orden siguiente: radiaciones electromagnéticas, calor, características del aire y movimientos ondulatorios (vibraciones y sonidos).

Dado que una parte importante de estos fenómenos puede ser interpretada físicamente como una propagación de movimientos vibratorios, deberemos tener presentes los conceptos básicos de **frecuencia**, **período** y **longitud de onda**.

**Frecuencia,  $f$** , de una función periódica en el tiempo, sea o no sinusoidal (radiaciones electromagnéticas y vibraciones mecánicas) es el número de ciclos completos de esta función por unidad de tiempo (segundo).

La unidad de medida es el ciclo/segundo = Hz (hertz).

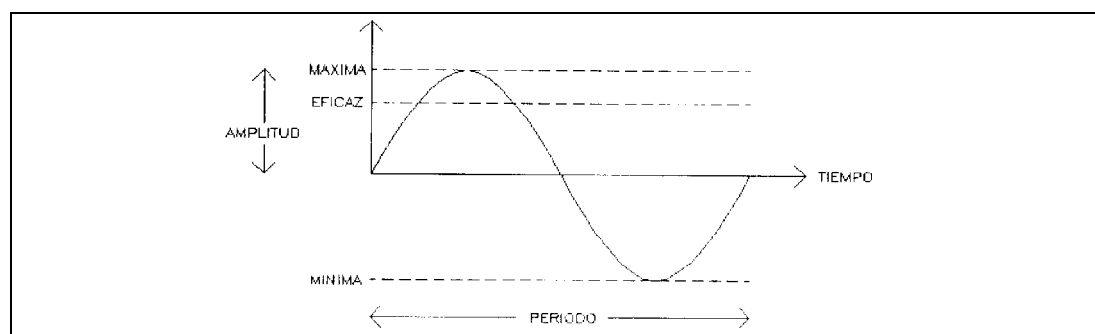


Fig. 2.1 Representación gráfica de una función periódica

**Período, T**, de una vibración es el tiempo que tarda en repetirse un estado determinado del ciclo considerado para un punto concreto del espacio. La unidad será el segundo/ciclo y se verificará que es el inverso de la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f}$$

**Longitud de onda,  $\lambda$** , de un movimiento ondulatorio es la distancia entre dos frentes de onda, correspondiente a un período completo. La unidad será el metro (m). Depende de la velocidad "c" de propagación del movimiento ondulatorio.

$$\lambda = c T = \frac{c}{f}$$

## 2.1 Principio físico de los fenómenos ambientales

### 2.1.1 Radiaciones electromagnéticas

Transporte de energía mediante variaciones periódicas del estado electromagnético del espacio, interpretable también como movimiento de partículas inateriales (fotones).

Las radiaciones electromagnéticas son clasificables según su longitud de onda,  $\lambda$ , (o según su frecuencia), lo que significa en la práctica hacerlo según sus efectos.

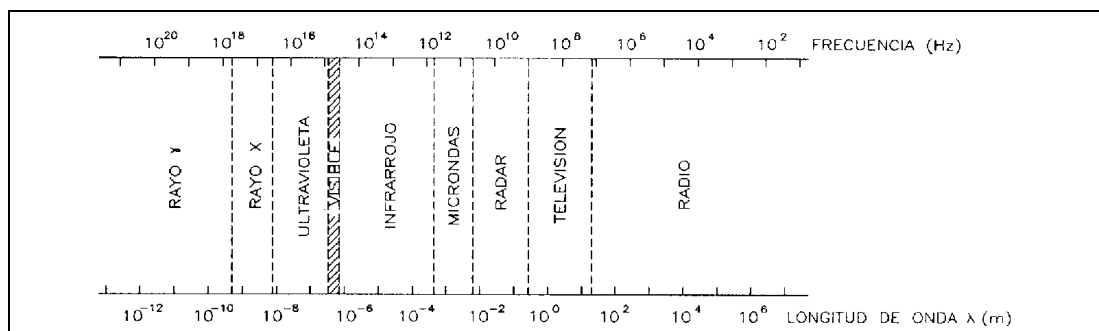


Fig. 2.2 Espectro radiante

### 2.1.2 Calor

Es un concepto muy complejo, asociable al estado energético de los cuerpos, que depende de su temperatura o de su grado de agitación molecular. Es una forma de energía que tiende a igualar la temperatura de los elementos de nuestro universo. En el calor no pueden distinguirse tipos distintos, pero sí diversos orígenes posibles (ver apartado 2.2.2).

### 2.1.3 Aire

Las propiedades del aire comprenden muchos aspectos, reducibles todos, en último término, a formas de la energía, a pesar de que, en general, podemos distinguir los aspectos que hacen referencia a la composición físico-química, de los puramente energéticos.

En relación a la temperatura (concepto de calor), la humedad es otra componente del contenido energético del aire; por ello los dos conceptos se deberán estudiar conjuntamente.

Otro aspecto a considerar es la mezcla de gases y productos volátiles en suspensión que constituyen el aire. La clasificación posible en distintos tipos de aire se reduce en la práctica a considerar su grado de contaminación (contenido de impurezas) y, normalmente, en los edificios, se limita a distinguir entre aire nuevo de renovación y aire usado o de recirculación.

### 2.1.4 Vibraciones y sonido

Transporte de energía producido por variaciones cíclicas de presión, con movimiento de las partículas de un medio elástico alrededor de su posición de equilibrio.

Los clasificamos según su frecuencia ( $f$ ) o su longitud de onda ( $\lambda$ ) e, indirectamente, según sus efectos.

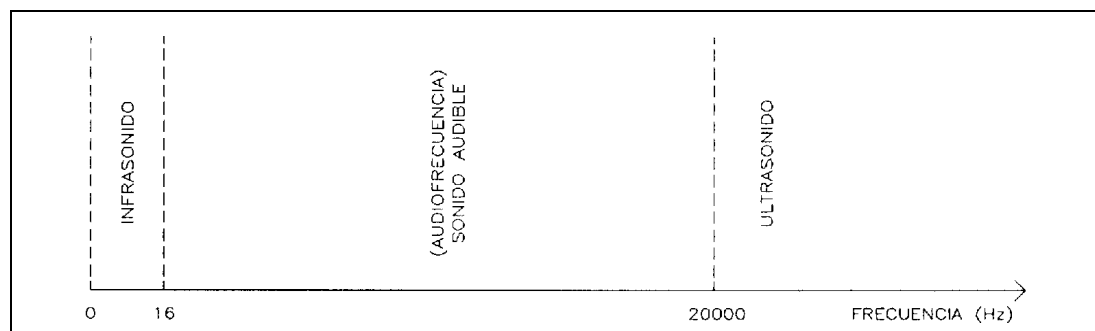


Fig. 2.3 Espectro vibrátil de los movimientos ondulatorios

### 2.1.5 Comentario general

Es necesario remarcar que, a pesar del sentido básicamente energético de los fenómenos ambientales, la variación de los efectos según la sensibilidad del receptor de estas energías complica mucho su evaluación práctica. Distintos tipos de energías ambientales (como es el caso de las radiaciones electromagnéticas comparadas con la acústica), a pesar de tener una clasificación del mismo tipo (longitud de onda y frecuencia), normalmente mueven energías con órdenes de magnitud muy diferentes.



## 2.2 Producción de los fenómenos ambientales

### 2.2.1 Radiaciones electromagnéticas

Su origen puede atribuirse a variaciones en la estructura atómica de los cuerpos que, al producir alteraciones en la situación orbital de los electrones, comportan una emisión de fotones al volver a su posición de equilibrio y eliminar así la energía sobrante en forma de radiación. Podemos distinguir dos tipos principales de fuentes radiantes: **fuentes de descarga y fuentes térmicas**.

En lo relativo a las **fuentes de descarga**, la emisión es causada normalmente por una descarga eléctrica en un gas. La radiación producida es de espectro discontinuo, concentrada en longitudes de onda determinadas, por lo que los valores dependen de la cuantificación de energía existente en los átomos.

Según los estudios de Planck, Bohr y otros, la emisión de fotones, al volver a la posición de equilibrio los electrones orbitales desplazados por los electrones de la corriente eléctrica que los impactaban a gran velocidad, corresponde a frecuencias específicas según la expresión:

$$W = h f$$

donde:  $W$  = diferencia energética entre los niveles permitidos en el gas considerado.

$h$  = constante de Planck =  $6,624 \cdot 10^{-34}$  J s.

$f$  = frecuencia de la radiación emitida, en Hertz.

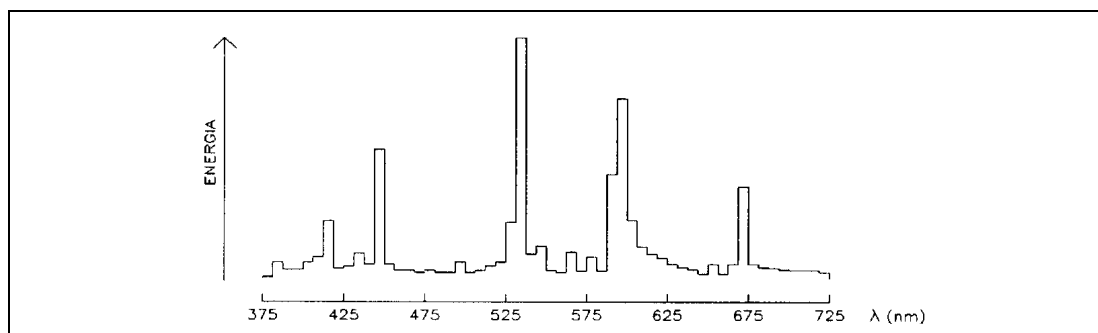


Fig. 2.4 Curva de energía por longitud de onda de una lámpara de descarga

En las **fuentes de descarga**, las emisiones más comunes se producen con valores discontinuos en la zona del ultravioleta del espectro y pueden existir algunas emisiones en la zona azul del visible.

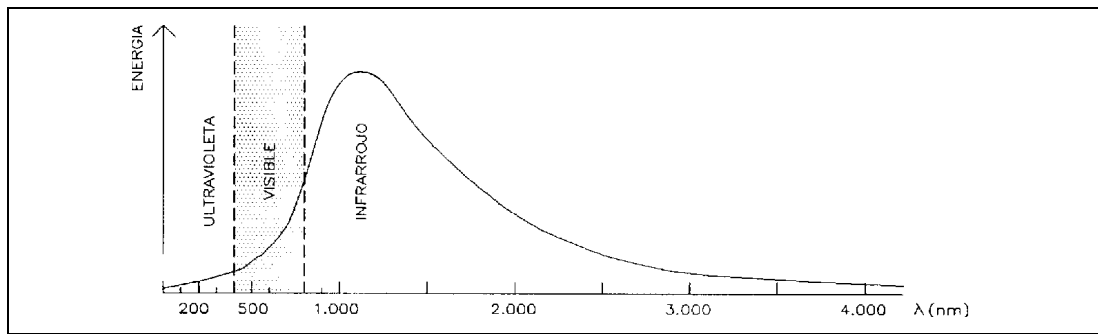


Fig. 2.5 Curva de energía/longitud de onda de una fuente térmica

En las **fuentes térmicas**, la emisión radiante se produce a causa de la agitación térmica de la materia y se caracteriza por el espectro continuo en el campo de longitudes de onda que cubre.

En condiciones normales, las fuentes térmicas producen principalmente radiación infrarroja. El máximo de emisión se desplaza hacia longitudes de onda ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) más cortas si aumenta la temperatura del emisor. Según la ley de Wien:

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = \frac{0,29}{T}$$

donde:  $\lambda_{\text{máx}}$  = longitud de onda de la máxima emisión espectral, en centímetros.

T = temperatura del emisor, en kelvins.

Al llegar a temperaturas de alrededor de 1.500 K, las fuentes térmicas producen radiaciones donde las longitudes de onda inferiores penetran en la zona visible del espectro. Con temperaturas alrededor de los 6.500 K, el máximo de emisión se encuentra centrado en esta zona.

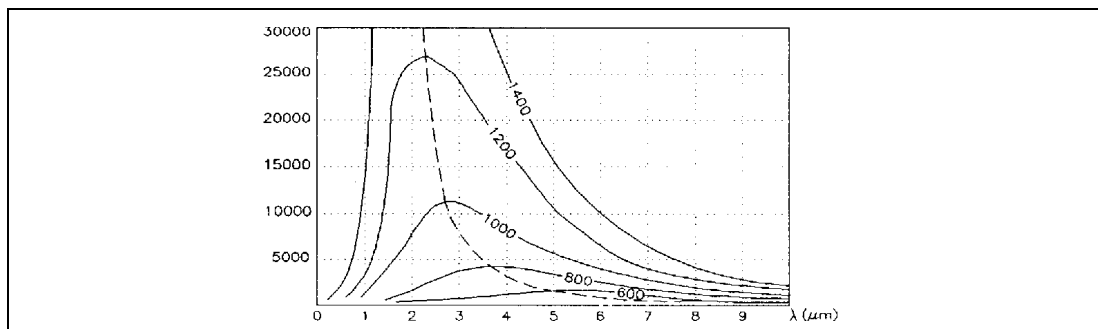


Fig. 2.6 Ley de Wien

### 2.2.2 Calor

Como fenómeno energético, el calor aparece en todo proceso de transformación o cambio de una forma de energía a otra, al disiparse una parte de esta energía de acuerdo con los principios de la termodinámica. Las fuentes de calor más comunes son:

**Reacciones químicas,** como la combustión (oxidación) de cuerpos o compuestos químicos con desprendimiento de calor.

**Resistencia eléctrica,** o paso de corriente por un conductor, con transformación en calor de parte de la energía.

**Rozamiento mecánico,**

**Fisión y fusión nuclear,...etc.**

### 2.2.3 Aire

No podemos hablar de generación o de producción de aire como un fenómeno ambiental, a pesar de que se puede hablar de su renovación para un ambiente determinado, o bien de la corrección o cambio de sus características por medios diversos.

### 2.2.4 Vibraciones y sonido

Se generan al propagarse un movimiento vibratorio en un medio elástico, como es el caso del aire (sonidos) o de ciertos (vibraciones). Su origen es, por lo tanto una vibración que puede presentarse en cualquier sistema mecánico, aunque no sea un sistema destinado a la producción voluntaria de sonidos, como la voz humana, los instrumentos musicales, etc.

Según el tipo de fuente productora de vibraciones variarán las frecuencias emitidas, y se podrán clasificar en los siguientes grupos:

**Infrasonidos,** de bajas frecuencias no audibles, en general producidos por fuentes mecánicas: motores a bajas revoluciones, vehículos pesados, etc.)

**Sonidos audibles,** de frecuencias entre 16 y 20.000 Hz, producidos por fuentes que pueden ser naturales (por ejemplo, la voz humana) o artificiales; entre ellos se pueden distinguir:

**Sonidos graves,** por debajo de unos 250 Hz

**Sonidos medios,** entre 250 y 1.000 Hz

**Sonidos agudos,** por encima de unos 1.000 Hz

**Ultrasonidos,** de frecuencias superiores a los 20.000 Hz, que pueden ser producidos por fuentes naturales (el caso de ciertos animales, como el delfín o el murciélago), o por fuentes artificiales (máquinas a altas revoluciones).

---

Según el origen y tipo de propagación de los movimientos ondulatorios, podemos distinguir las siguientes categorías:

**Vibraciones,** cuando la propagación se hace a través de sólidos.

**Ruidos de impacto,** cuando son producidos por choques entre cuerpos sólidos y posteriormente se propagan por el aire.

**Ruidos aéreo,** cuando se producen y se propagan directamente en el aire.

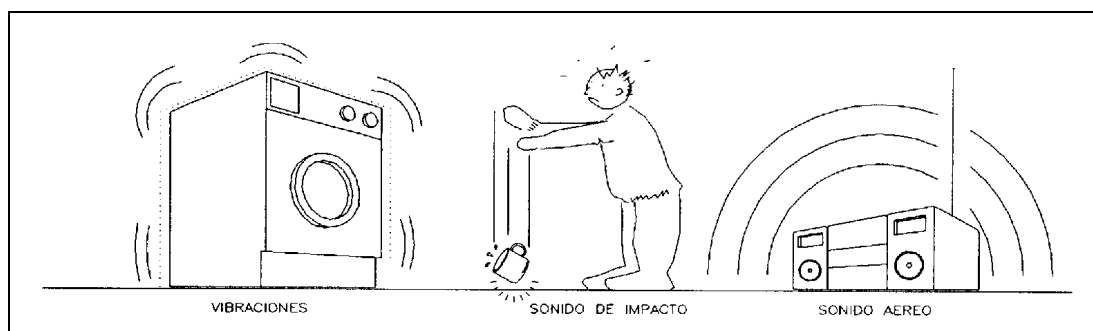


Fig. 2.7 Vibraciones y sonidos

### 2.2.5 Comentario general sobre la producción de los fenómenos ambientales

Aunque en muchos casos sea difícil fijar los sistemas de producción de cada uno de los tipos de energía ambiental que pueden ser más interesantes, sí que es necesario considerar los tipos básicos de acción posibles. Por una parte, debemos saber cómo se produce un determinado tipo de energía ambiental que nos interesa (por ejemplo, la radiación visible de noche mediante la iluminación artificial). Por otra parte, debemos conocer los mecanismos por los cuales se producen energías no deseadas, para combatirlas mejor (como es el caso de los ruidos).

Con este enfoque también será importante poder valorar las diferentes energías, no sólo según la cantidad de que se trate, sino teniendo también presente su "calidad". Este concepto de calidad, que calificamos como **exergía**, tiene presente la mayor o menor facilidad que existe para pasar de un tipo de energía a otro, según cuál sea el sentido de la transformación. Así, resulta que hay formas de energía más valiosas que otras, en tanto que es más fácil pasar de las primeras a las segundas que a la inversa. Por ejemplo, es más fácil convertir electricidad en energía térmica que convertir calor en electricidad; por lo tanto la electricidad tiene un nivel de exergía más alto que la energía térmica.

Este concepto resulta importante al considerar la optimización del uso de la energía en edificios, ya que a menudo usamos inútilmente niveles altos de exergía en casos en que bastaría un nivel más bajo.

## 2.3 Medición de los fenómenos ambientales

### 2.3.1 Radiaciones electromagnéticas

Tal como sucede con las otras magnitudes, la medición de las radiaciones electromagnéticas se hace con unidades energéticas, que se caracterizan con denominaciones particulares en el caso de unidades derivadas como en el de las radiaciones visibles o luz.

#### Energía radiante, $g$

Cantidad de energía manifestada en forma de radiación electromagnética.

unidad: joule (J)

#### Flujo radiante, $M = g / t$ .

Energía radiante media por unidad de tiempo.  $M = dg / dt$ .

unidad: watt (W)

#### Emitancia, $M = M / S$ .

Flujo radiante medio emitido por una superficie.  $M = dM / dS$ .

unidad: watt por metro cuadrado ( $W/m^2$ )

#### Intensidad radiante, $I = M / S$ .

Flujo radiante medio emitido por unidad de ángulo sólido, para una dirección determinada.

$I = dM / dS$ .

unidad: watt por estereoradián ( $W/str$ )

(1 str = ángulo sólido ( $S$ ) que determina sobre la superficie de una esfera un casquete con una área igual al cuadrado del radio de la esfera considerada).

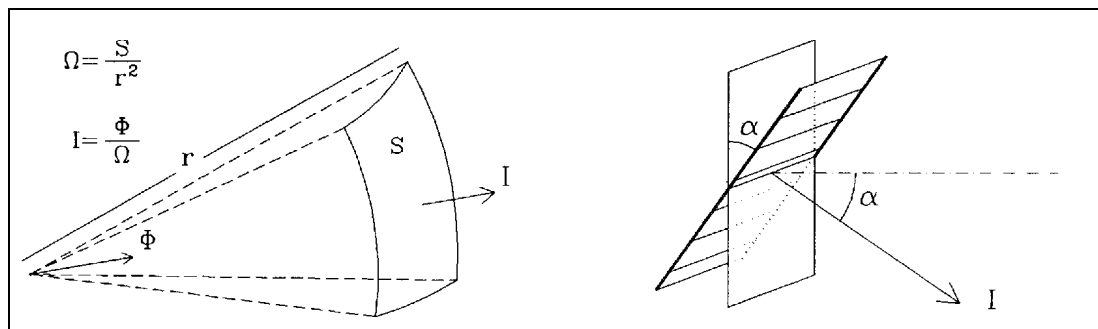


Fig. 2.8 Intensidad radiante y radiancia

**Radiancia,  $L = I / S_{\text{aparente}}$** 

Intensidad radiante emitida por unidad de una superficie aparente determinada, en una dirección concreta  $\theta$ .

unidad: watt por estereoradián y metro cuadrado ( $\text{W}/(\text{sr m}^2)$ ).

(La superficie aparente ( $S_{\text{ap}}$ ) es la proyección sobre un plano perpendicular a la dirección que consideramos.  $S_{\text{ap}} = S \cos \theta$ ).

**Intensidad de irradiación,  $E = M / S$** 

Flujo radiante que llega a una superficie determinada.

unidad: watt por metro cuadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

**Relaciones fundamentales entre unidades radiantes**

Como consecuencia de las unidades definidas antes y a partir de las leyes generales de la radiación, se deducen una serie de relaciones que pueden ser utilizadas en la evaluación de los fenómenos radiantes.

- 1) En el caso (teórico) de un foco puntual emisor con intensidad constante en todas direcciones, resulta:

$$I = \frac{N}{4 \pi B}$$

(en este caso el ángulo sólido total es:  $\Omega = \Omega_{\text{total}} / R^2 = 4 \pi R^2 / R^2 = 4 \pi$ ).

- 2) En una superficie que emite radiación, se puede considerar, en general, que las intensidades emitidas siguen la "ley de Lambert":

$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta$$

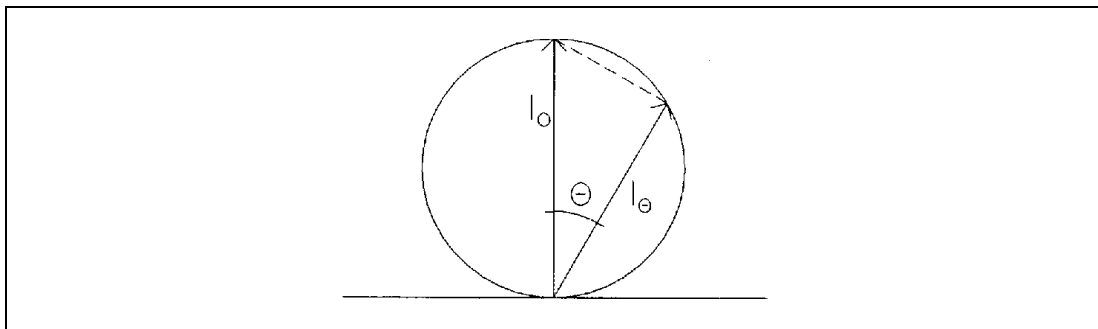


Fig. 2.9 Ley de Lambert

- 3) La radiancia de una superficie emisora es constante en todas las direcciones:

$$L_2 = \frac{I_2}{S \cos^2 \theta} = \frac{I_0 \cos^2 \theta}{S \cos^2 \theta} = \frac{I_0}{S} = L = \text{cte.}$$

- 4) En una superficie emisora se comprueba que el flujo emitido es:

$$N = I_2 B \quad \text{como que: } M = \frac{N}{S}, \quad \text{resulta } M = B L$$

- 5) La irradiación E, producida por un foco puntual sobre un punto de una superficie donde llega con un ángulo  $\beta$  respecto de la normal a la superficie, desde una distancia d, será:

$$E = \frac{N}{S} = \frac{I_s S}{S} = \frac{I_s S \cos \beta}{S d^2} \quad E = \frac{I_s \cos \beta}{d^2}$$

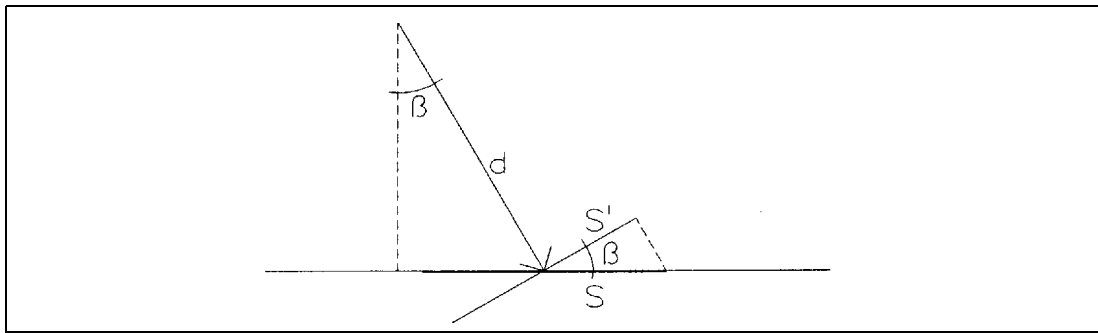


Fig. 2.10 Irradiación producida por un foco puntual

$$S' = S \cos \beta$$

$$S = \frac{S'}{d^2}$$

- 6) En el caso de una superficie que recibe radiación y la refleja siguiendo la Ley de Lambert (de forma difusa), con un coeficiente de reflexión r, resultará:

$$L = \frac{E r}{B}$$

## Unidades lumínicas

Son un caso particular de las unidades de radiación, que comprenden la zona visible del espectro, con longitudes de onda entre 380 y 760 nm, y afectan los valores energéticos según la sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda  $V(\lambda)$ . Con estas especificidades, las definiciones y relaciones entre las unidades ya citadas también serán válidas para la luz, con las equivalencias siguientes:

Flujo radiante,  $M$  (W)                      **Flujo luminoso,  $M$**  (lumen, lm)  $M_{\text{lumen}} = M_{\text{watt}} V_{\lambda} 680 \text{ lm/W}$

Intensidad,  $I$  (W/str)                      **Intensidad de luz,  $I$**  (candela, cd = lm/str).

Radiancia,  $L$  (W/str m<sup>2</sup>)                      **Luminancia,  $L$**  (cd/m<sup>2</sup>).

Irradiación,  $E$  (W/m<sup>2</sup>)                      **Iluminancia,  $E$**  (lux, lx = lm/m<sup>2</sup>).

El **color de la luz** es consecuencia del reparto de energía en las distintas longitudes de onda del espectro. En el campo de la luminotecnia se utilizan unidades específicas que recogen en parte las características de color de la luz:

La **temperatura de color,  $T_c$** , expresa el color de una fuente de luz por comparación con el color de la luz emitida por el cuerpo negro a una temperatura absoluta determinada.  
unidad: Kelvin (K).

El cuerpo negro cambia de espectro según la temperatura; alrededor de los 3.000 K predominan las ondas largas (rojizas), hacia 5.000 K la distribución se encuentra más compensada y, para valores más altos, predominan las ondas cortas (azuladas). Según esto, se define la  $T_c$  de una luz como: temperatura a la que se deberá calentar el cuerpo negro para que la luz emitida tenga el color de la misma apariencia que la de la luz estudiada.

El **índice de rendimiento en color, IRC**, expresa las características de composición espectral de la luz emitida por una fuente, en referencia al color de los objetos iluminados por ésta. Se debe tener presente que, para tener una buena reproducción del color, la luz debe tener energía suficiente en todas las longitudes de onda.  
unidad: Índice de Rendimiento en Color, IRC (%).

El índice de rendimiento en color mide el efecto de la luz en el color de los objetos, comparándola con una luz de referencia considerada perfecta y haciendo un test de color con muestras de 8 colores del espectro. Se expresa en %, referido a la luz patrón, habiendo realizado la media de las 8 muestras. Se consideran muy buenos IRC superiores al 90%, buenos de 80 a 90% y regulares de 50 a 80%. La elección del patrón se hace con fuentes de luz a una temperatura de color similar a la de la luz analizada. En la práctica, hasta los 5.000 K se toma la radiación del cuerpo negro como referencia y para valores más altos, la de fluorescentes especiales.

---



### 2.3.2 Calor

La medición también se hace con las unidades energéticas convencionales, a pesar de que históricamente la técnica ha utilizado otras unidades que aún se encuentran en muchos textos.

#### **Cantidad de calor, Q.**

Energía térmica producida, transmitida, ganada o perdida por un cuerpo físico.

unidad: joule (J).

otras unidades utilizadas:

caloría: cantidad de calor necesaria para aumentar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua (1 cal = 4,18 J).

1 kcal = 1.000 cal y 1 Termia = 1.000 kcal.

#### **Potencia calorífica, W = Q / t.**

Energía calorífica que se intercambia por unidad de tiempo (se gana, se pierde, se produce o bien se transmite).

unidad: watt (W)

otras unidades: kcal/h, (1 kcal/h = 1,16 W)

#### **Calor específico de un material, C<sub>e</sub>.**

Cantidad de energía calorífica necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo del material.

unidad: J / (kg EC)

otras unidades: kcal / (kg EC) = 4.180 J/(kg EC)

#### **Capacidad calorífica o masa térmica, M = C<sub>e</sub> m.**

En un cuerpo determinado de masa *m*, es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado su temperatura.

unidad: J / EC

otras unidades: kcal / EC = 4.180 J / EC

#### **Temperatura.**

La medición de las temperaturas de los cuerpos resulta especialmente importante porque permite evaluar su estado energético, la cantidad de calor que acumulan, la radiación térmica que emiten, etc. Esta medición se puede hacer en:

Grados centígrados o Celsius (EC).

Grados absolutos o Kelvin (K = EC + 273).

Grados Fahrenheit o anglosajones (EF = 32 + 1,8 EC).

---

### 2.3.3 Aire

La evaluación de las características del aire es compleja, ya que intervienen conceptos muy diversos, según se quiera evaluar su estado energético, su calidad, etc. Tratándose de una mezcla de gases, donde la presencia en pequeñas cantidades de determinados elementos químicos puede cambiar radicalmente su adecuación a los espacios interiores, sólo se puede hablar de su composición en términos relativos. Normalmente, nos limitamos a aproximar su grado de contaminación expresando, en tanto por mil, de la presencia de determinados elementos (anhídrido sulfuroso o carbónico, etc.).

Otro aspecto es el que hace referencia a su estado energético, que dependerá de su temperatura, pero también del contenido de agua en estado de vapor dentro de la mezcla de gases. Estos aspectos tienen especial importancia por su influencia en la sensación de confort térmico y se pueden estudiar con relativa facilidad al relacionarlos mediante el diagrama o ábaco psicrométrico.

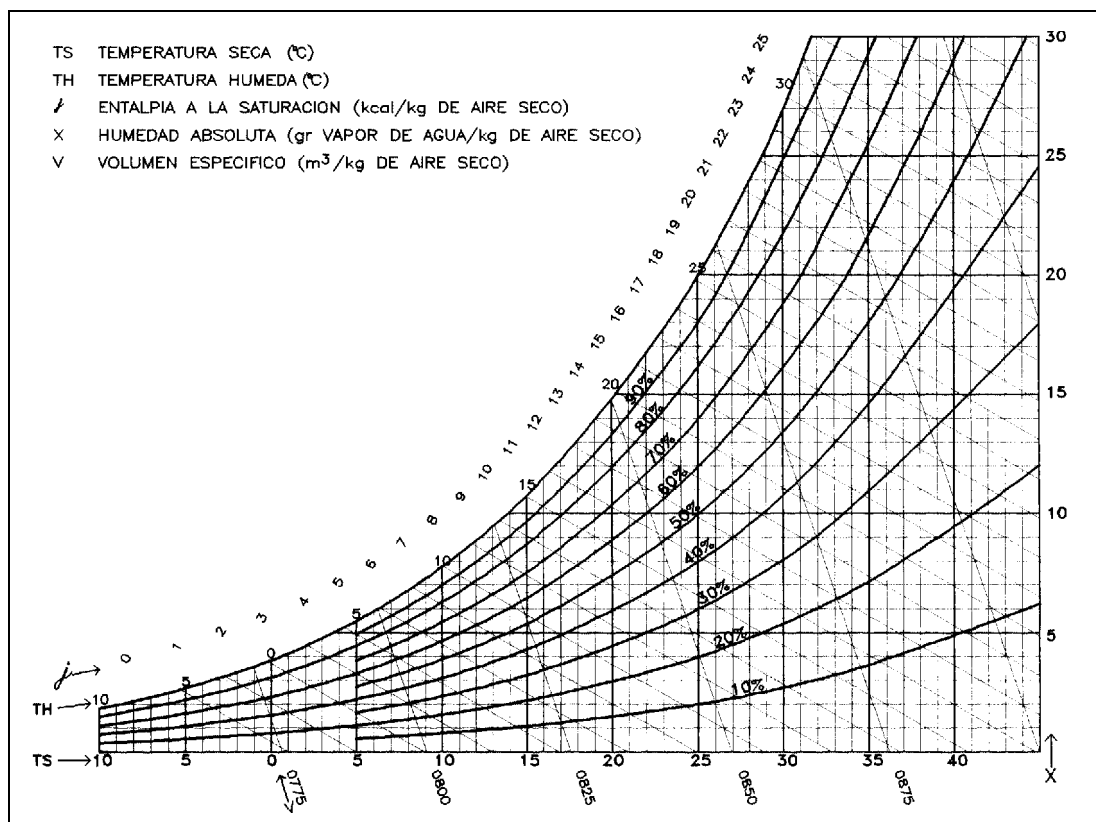


Fig. 2.11 Ábaco psicrométrico

El ábaco psicrométrico es un gráfico de trabajo donde están reflejados los factores que definen el estado energético del aire: su temperatura y su contenido de agua en estado de vapor. Las propiedades del aire que aparecen en el ábaco son:

**Temperatura seca (TS)**

Temperatura del aire registrada en un termómetro ordinario. Se mide en EC.

**Temperatura húmeda (TH)**

Temperatura de un termómetro con el bulbo rodeado de ropa mojada y expuesto al aire en movimiento. Informa del contenido de agua del aire, ya que la disminución de la TH respecto de la TS, por efecto de la evaporación del agua, depende de este contenido de agua y es más pequeña cuanto mayor sea, hasta anularse con aire saturado. Se mide en EC.

**Temperatura de rocío (TR)**

Temperatura a la que puede enfriarse un aire hasta que condensa el agua que contiene. En EC.

**Humedad específica (X)**

Cantidad absoluta de vapor de agua que contiene un aire determinado. Se mide en gr/kg de aire seco.

**Humedad relativa (HR)**

Porcentaje de vapor de agua que tiene el aire en relación al máximo que puede contener a su temperatura sin saturarse. Se mide en %.

**Calor sensible (QS)**

Energía calorífica que se utiliza para cambiar la temperatura seca del aire sin modificar su humedad específica. Se mide en J/kg de aire seco ( o en kcal/kg de aire seco, 1 kcal = 4.180 J).

**Calor latente (QL)**

Energía calorífica que se utiliza para cambiar el contenido de vapor de agua del aire (humedad específica) sin variar su temperatura seca. Se mide en J/kg de aire seco (o en kcal/kg de aire seco).

**Calor total o entalpía ( $J = QS + QL$ )**

Energía total que se utiliza para cambiar las condiciones del aire entre dos estados de temperatura seca y humedad específica. En el ábaco hay una escala de entalpías con el origen situado convencionalmente. Se mide en J/kg de aire seco ( o en kcal/kg de aire seco).

**Volumen específico (V)**

Volumen de aire correspondiente a un kg de aire. El valor inverso da la densidad del aire para cada temperatura. Se mide en m<sup>3</sup>/kg de aire seco.

**Calor específico del aire (Ce)**

Cantidad de calor necesario para subir un EC la temperatura de un kg de aire. Se mide en J/(kgEC) o en kcal/(kgEC). Su valor varía con la temperatura. A temperatura ambiente se puede tomar como valor el de 1.000 J/(kg EC) o 0,24 kcal/(kg EC).

**Calor de vaporización del agua (Cv)**

Cantidad de calor necesario para pasar un gr de agua del estado líquido a vapor, a temperatura constante. Se mide en J/g de agua. Su valor es aproximadamente 2.260 J/g o 540 kcal/g.

---



**Relación entre intensidad y presión acústica**

$$I = \frac{P_{ef}^2}{D c}$$

donde **D** es la densidad del aire,  
**c** la velocidad de propagación  
 y su producto (**Dc**), la impedancia del aire (aproximadamente 415 kg/m<sup>2</sup> s).

**Nivel sonoro, N.**

Es una magnitud física que tiene como objetivo evaluar el efecto de los sonidos.  
 unidad: decibelio, dB.

Como la respuesta de la sensibilidad humana al sonido es aproximadamente de tipo logarítmico, la unidad que se usa es el decibelio (dB).

*El decibelio es la décima parte del logaritmo decimal del cociente entre la magnitud que se quiere medir y una magnitud de referencia.*

**Nivel de intensidad acústica (N<sub>i</sub>), en dB**

$$N_i = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{ref}}$$

donde:  $I_{ref} = 10^{-12} \text{ W / m}^2$

**Nivel de presión acústica (N<sub>p</sub>), en dB**

$$N_p = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_{ref}^2} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}$$

donde:  $P_{ref} = 2,05 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ , y las presiones son eficaces

$$I = \frac{P^2}{D c}, \quad I_{ref} = \frac{P_{ref}^2}{D c}, \quad \frac{I}{I_{ref}} = \left( \frac{P}{P_{ref}} \right)^2$$

y de aquí, en general:

$$N = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 20 \log \frac{P}{P_{ref}}$$


---

**Altura o tono de un sonido: f**

Frecuencia a la cual se emite el sonido; sólo tiene sentido si se trata de un sonido puro.

unidad: ciclos por segundo = Hertz (Hz).

**Timbre de un sonido**

Característica de la distribución de su energía para las diferentes frecuencias. De aplicación en sonidos compuestos.

**Relaciones fundamentales entre unidades acústicas**

Al tratarse de un fenómeno que puede ser entendido como de tipo radiante, la formulación básica será similar a la de la radiación. En el caso (teórico) de una fuente puntual, emisora uniformemente en todas las direcciones, a una distancia determinada  $r$ , la intensidad acústica valdrá:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

La intensidad  $I$  producida por una fuente puntual en un punto de una superficie donde llega con un ángulo  $\theta$  respecto de la normal a la superficie, desde una distancia  $r$ , será:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W \cos \theta}{4\pi r^2}$$

**2.3.5 Comentario general**

La evaluación de cualquier fenómeno ambiental se reduce a una evaluación energética, a pesar de que, debido a un proceso histórico, no haya homogeneidad en la denominación de las unidades utilizadas. Es el caso, por ejemplo, del concepto de intensidad acústica ( $W/m^2$ ), que coincide conceptualmente con la irradiación ( $W/m^2$ ) o con la iluminancia ( $lx$ ); concepto en ambos casos distinto de la unidad de intensidad radiante o lumínica, que es el que hace referencia a la energía por ángulo sólido y no por unidad de superficie.

Todos los fenómenos son ambientales a partir del momento en que tratamos con energías perceptibles por los sentidos humanos. Por este motivo, la simple evaluación energética (desde la física) del fenómeno es insuficiente para valorar su acción sobre la percepción. Se necesitará, pues, un análisis posterior con bases fisiológicas. Un caso singular en este aspecto es el de la evaluación acústica en dB, que pretende ser una primera aproximación a una valoración fisiológica del fenómeno, que se hubiese podido aplicar a las otras energías ambientales, donde la respuesta también presenta una curva de tipo logarítmico según la intensidad del estímulo.

Desde la evaluación física de los fenómenos se establecen las relaciones energéticas entre las diferentes manifestaciones ambientales, transformaciones, influencias mutuas, etc. En cambio, para evaluar su acción sobre el ser humano, hay que tener presente una corrección fisiológica que, como veremos, también presenta unas leyes de relación que tienen similitud entre los diferentes fenómenos.

---

## 2.4 Propagación de los fenómenos ambientales

### 2.4.1 Radiaciones electromagnéticas

La propagación de las ondas electromagnéticas se produce incluso en el vacío, donde su velocidad es muy próxima a los 300.000 Km/s.

En otros medios esta velocidad disminuye, a medida que aumenta la densidad del medio. En cualquier caso, a efectos arquitectónicos resulta como una propagación instantánea.

### 2.4.1 Calor

Consideraremos que hay propagación de calor siempre que exista una transferencia de energía entre dos cuerpos a diferente temperatura, que tenderá a igualar estas temperaturas al transferirse en el sentido del caliente al más frío.

Propiamente, sólo se debería considerar como propagación de calor la **conducción**, que se da cuando la energía calorífica (o sea el grado de agitación molecular), se propaga de molécula a molécula en un cuerpo. La velocidad de propagación es variable según la conductabilidad calorífica del material, pero, en el caso de materiales utilizados en la construcción, acostumbra a ser del orden de cm/h, o sea, muy lenta comparada con las otras formas de propagación de la energía.

Un segundo sistema de propagación de calor, que en realidad consiste en un desplazamiento de la materia, es la **convección**. Esta se da en el caso de fluidos, donde se calienta una parte del fluido (normalmente por conducción), con lo cual disminuye su densidad y tiende a subir, y así es substituido por otra parte más fría del fluido. Este fenómeno puede llegar a crear, en un ámbito determinado, una transferencia de calor de la zona más caliente a la más fría, con la termocirculación del fluido producida por este movimiento convectivo. La velocidad de transferencia será prácticamente la del movimiento de las moléculas del fluido y, en el caso del aire, del orden de dm/s.

Finalmente, el tercer sistema de propagación de calor que normalmente se define es el de **radiación**. Este transporte de energía se produce cuando dos superficies a distinta temperatura radían térmicamente, cada una hacia la otra, y es absorbida parte de la radiación por la superficie receptora y transformada nuevamente en calor. Este intercambio será mayor, como es lógico, en el sentido de la superficie más caliente hacia la más fría, y resultará una transferencia limpia de energía en este sentido. La velocidad de propagación, en este caso, será la de la radiación; por lo tanto, se puede considerar instantánea a efectos prácticos.

---

### 2.4.3 Aire

El movimiento del aire puede generar la renovación o el cambio del aire interior por aire exterior o de otro local. En realidad este proceso siempre se genera por movimientos convectivos, por diferencia de temperaturas entre dos aires o bien por la presión de un viento exterior, que también será causado por movimientos convectivos pero a una escala mayor. En todos estos casos, las velocidades pueden variar desde unos cm por segundo (convecciones térmicas interiores) hasta a unos cuantos m por segundo (vientos).

### 2.4.4 Vibraciones y sonido

La propagación de estos fenómenos se realiza en el medio elástico que comunica el emisor con el receptor. Este medio, en el caso de los sonidos, será normalmente el aire, que se comprimirá y expandirá sólo en forma de ondas longitudinales.

La velocidad de propagación del **sonido en el aire** sigue la fórmula de Laplace:

$$c \text{ (m/s)} = \sqrt{\frac{P_0 \gamma}{\rho}}$$

donde:  $c$  = velocidad de propagación de sonido en el aire, en m/s  
 $P_0$  = Presión atmosférica, en pascal (1 Atm = 1,013 x 10<sup>5</sup> Pa)  
 $\gamma$  = Relación entre calor a presión constante y calor específico a volumen constante . 1,4 para el aire  
 $\rho$  = densidad del aire . 1,2 kgr/m<sup>3</sup> a 18 EC y 50% HR

Como fórmula aproximada, en función de la temperatura T(EC), se puede usar la expresión:

$$c = 331,4 + 0,607 T$$

que, para temperaturas de unos 14EC es equivalente a unos 340 m/s, valor que se usa normalmente en los cálculos.

### 2.4.5 Comentario general sobre la propagación de los fenómenos ambientales

La velocidad de propagación de la energía tiene mucha importancia en el ambiente interior. En general, hay que considerar como instantáneos los fenómenos radiantes y como casi instantáneos, los acústicos, aunque su menor velocidad ya nos da posibles reverberaciones y ecos. Los movimientos del aire, más lentos, significan retrasos de minutos en las transferencias convectivas de calor y en las renovaciones de aire. Finalmente, las transmisiones de calor por conducción comportan retrasos de horas y de días en el almacenamiento y cesión de la energía, pudiendo gracias a ello obtener la estabilización climática de los edificios que produce la **inercia térmica**.

Esta disparidad de velocidades hace aconsejable en cada caso, utilizar uno u otro sistema. En el caso del calor, a veces se prefiere una propagación por conducción, más lenta y con peor rendimiento, a cambio de la estabilidad que significa en la cesión.



## 2.5 Comportamiento general frente a obstáculos

Al propagarse, los fenómenos ambientales pueden encontrar obstáculos en esta propagación, que no son más que discontinuidades en el medio en el que se propagan. Al encontrar estos obstáculos se producen cambios en las características de los fenómenos ambientales que, tanto si se refieren a sus propiedades geométricas como a las energéticas, son importantes desde un análisis arquitectónico del ambiente.

### 2.5.1 Radiaciones electromagnéticas

Suponiendo una energía incidente ( $E_i$ ), una parte de ésta se puede reflejar en el obstáculo ( $E_r$ ), otra parte se puede transmitir ( $E_t$ ) y la última parte se pierde en el mismo obstáculo ( $E_a$ ).

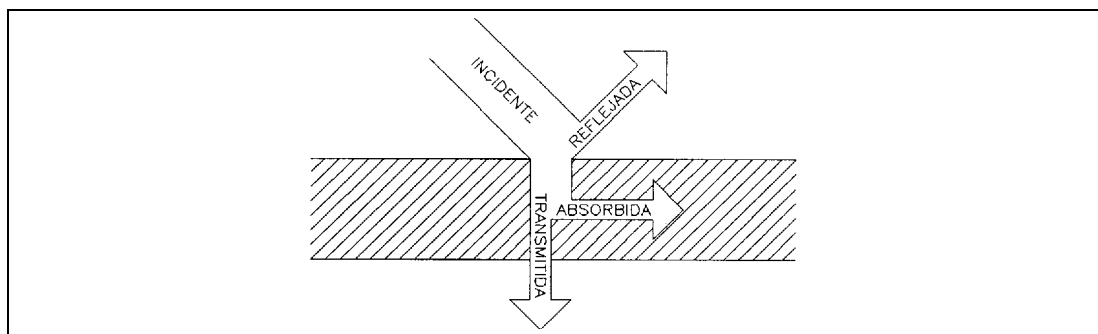


Fig.2.14 Radiación. Comportamiento frente a obstáculos.

Si definimos como coeficientes	de reflexión	<b>r</b>	=	$E_r / E_i$
	de transmisión	<b>t</b>	=	$E_t / E_i$
	de absorción	<b>a</b>	=	$E_a / E_i$

Resultará que, igualando el total de energía incidente a la suma de las energías reflejada, absorbida y transmitida:

$$E_r + E_t + E_a = E_i$$

y por lo tanto:

$$r + t + a = 1$$

si expresamos los coeficientes en %:

$$r\% + t\% + a\% = 100.$$

### 2.5.2 Calor

En el caso de la propagación del calor en presencia de obstáculos, sólo podemos considerar propiamente la propagación por conducción y convección, porque la radiación ya la hemos tratado como tal. Por conducción-convección se considera, en general, como obstáculo a la propagación, cualquier medio sólido que impida (o dificulte en gran medida) la convección del aire y que, por tanto, limite y modere la propagación del fenómeno conductivo. En este caso, que es el típico en arquitectura, de paramentos que separan dos ambientes con un estado térmico distinto, el análisis considerará los flujos de energía en el tiempo, donde el valor como barrera del obstáculo dependerá de la resistencia que el paramento ofrezca al paso del calor.

### 2.5.3 Aire

En el caso del aire, será un obstáculo cualquier barrera que impida el libre movimiento de sus moléculas, en la práctica paramentos sólidos o cerramientos de los espacios arquitectónicos que resultan altamente impermeables al paso del aire. Siguiendo las leyes de la dinámica de fluidos, pueden existir circulaciones de aire atravesando aberturas o rendijas de un paramento, así como, dependiendo de las presiones relativas de los gases en una y otra parte del obstáculo, pueden haber difusiones a través de la porosidad de los cerramientos, pero siempre con caudales muy reducidos.

### 2.5.4 Vibraciones y sonido

Dependiendo de su carácter, cualquier cambio del medio representará un obstáculo que dificultará la propagación. En el caso concreto de los sonidos aéreos, su comportamiento en presencia de un obstáculo tiene similitud con el caso de las radiaciones electromagnéticas, aunque desgraciadamente la nomenclatura no es idéntica, pese a que existen similitudes entre ambas.

Suponiendo que la energía incidente en el obstáculo es  $E_i$ , la parte que se refleja será:  $E_r = r E_i$ . La parte que se transmite será  $E_t = t E_i$ , sin embargo, la parte que se pierde en el obstáculo, en forma de calor y de vibraciones que se transmiten por vía sólida, la conocemos como energía disipada  $E_d$ . La denominación de energía absorbida,  $E_a = \alpha E_i$ , en este caso, es utilizada para designar el conjunto de la energía que no retorna al ambiente donde llega, incluyendo, pues, tanto la transmitida como la disipada:

$$E_a = E_t + E_d$$

Resultará:  $E_i = E_r + E_a = (r + \alpha) E_i$

y por lo tanto:  $r + \alpha = 1$

---

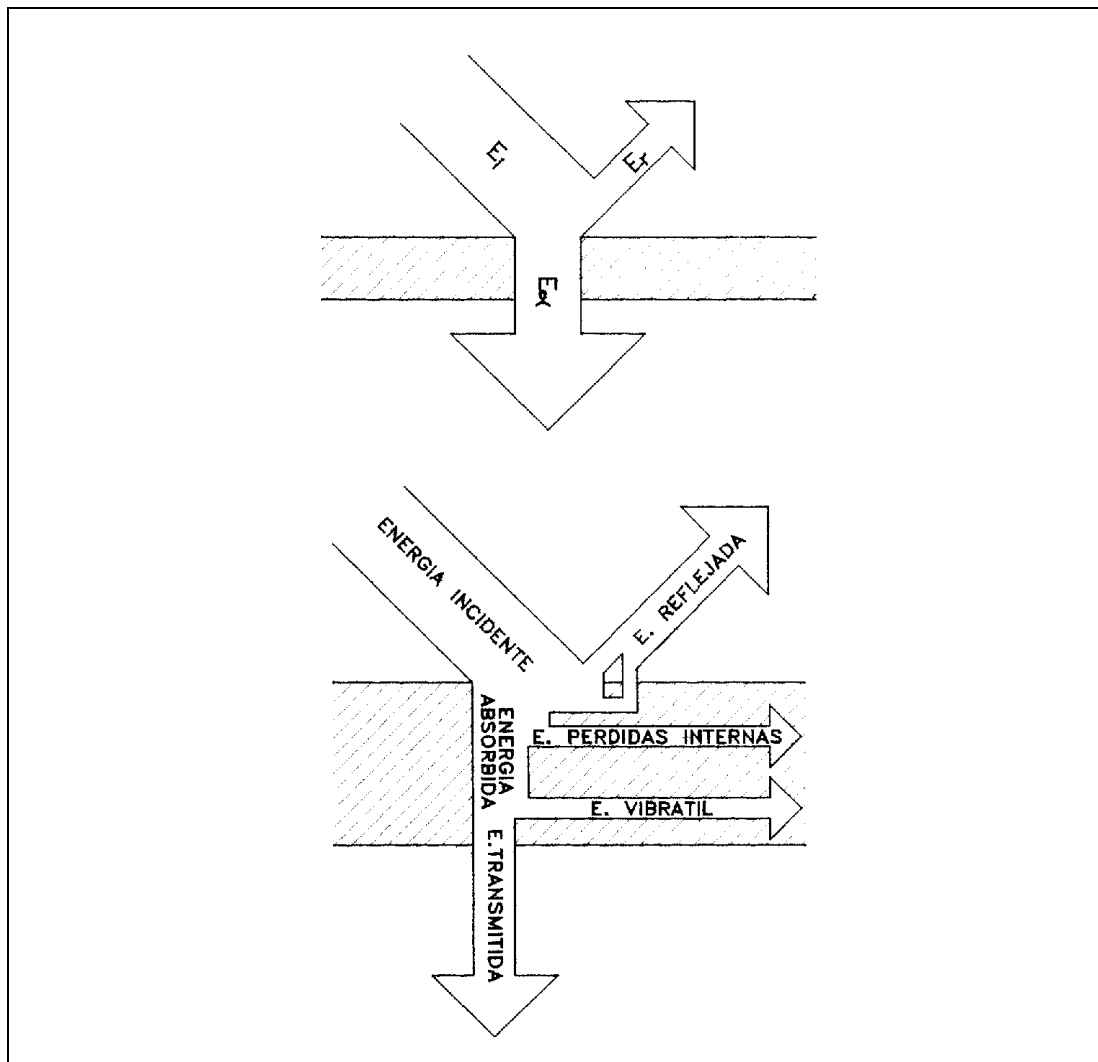


Fig. 2.15 Movimientos ondulatorios. Comportamiento frente a obstáculos

### 2.5.5 Comentario general del comportamiento frente a obstáculos

Como iremos viendo en el análisis detallado, el concepto de obstáculo puede ser muy diferente para los diversos fenómenos ambientales, a pesar de que existan analogías muy significativas entre las radiaciones electromagnéticas y los sonidos, hechos que justifican su comparación.

A continuación analizaremos, uno a uno, los diferentes efectos que se producen cuando los fenómenos ambientales se encuentran ante obstáculos. En este análisis, dejaremos sin tratar los fenómenos que tienen una repercusión ambiental menos directa.

## 2.6 Difracción de los fenómenos ambientales

Cuando la propagación de un movimiento vibratorio (sonido o radiación electromagnética) llega al límite de una barrera o a un agujero en ésta, se produce una difracción, y así el efecto se puede propagar por detrás del obstáculo, en puntos del espacio donde no llegaría la onda directa.

Es un fenómeno resultante del principio de Huygens: "En la propagación de un movimiento ondulatorio, cada uno de los puntos de un frente de ondas se convierte en generador de una nueva onda; la envolvente de todas las ondas secundarias así formadas genera un nuevo frente de onda".

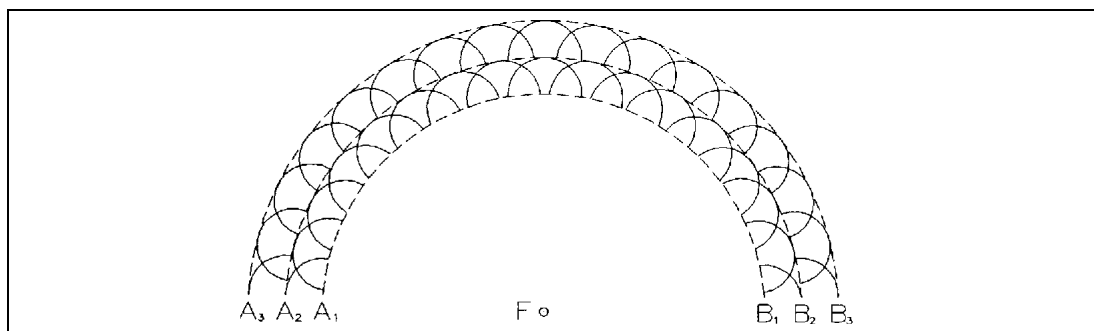


Fig. 2.16 Principio de Huygens.

La difracción se produce de forma más apreciable en el caso de que los objetos que interceptan el movimiento vibratorio tengan una medida comparable a la magnitud de la longitud de onda.

### 2.6.1 Radiaciones electromagnéticas

La difracción es poco notable en este caso, al ser la longitud de onda muy pequeña comparada con los elementos físicos con los que trabajamos en la arquitectura.

### 2.6.2 Sonidos

Las longitudes de onda tienen dimensiones entre centímetros y decímetros, por ello la difracción se hace notable y el sonido rodea el obstáculo, sobre todo si es grave (mayor longitud de onda).

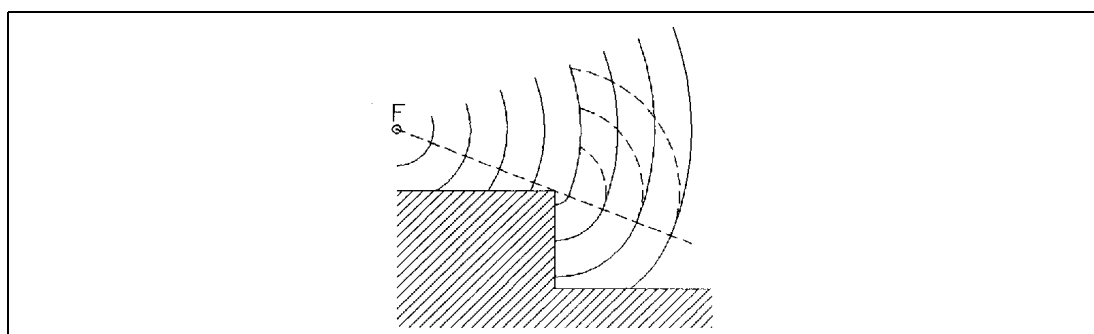


Fig. 2.17 Difracción.

## 2.7 Reflexión en los fenómenos ambientales

En la propagación de movimientos ondulatorios se manifiesta el fenómeno de la reflexión y presenta ciertas analogías interesantes con la difracción, especialmente en lo que respecta a su comportamiento geométrico. Sólo tiene sentido hablar de reflexión en el caso de movimientos ondulatorios, tanto si son radiaciones electromagnéticas como si son sonidos, por ello no consideramos aquí el calor ni el movimiento de aire.

### 2.7.1 Radiaciones electromagnéticas

Desde el punto de vista **energético**, las radiaciones se reflejan en mayor o menor proporción según sea la estructura microscópica de la superficie, que concretamente significa el color (claro o oscuro) en el caso de las radiaciones visibles y también del tipo de radiación incidente, o sea de su longitud de onda.

La capacidad de reflexión de las superficies se mide con su:

#### Reflectancia, ( $r$ ).

Relación entre el flujo reflejado en una superficie respecto al que incide.

$$r = N_r / N_i$$

#### Reflectancia específica, ( $r_g$ ).

Relación entre el flujo reflejado y el que incide, para una longitud de onda determinada  $\lambda$ .

#### Reflectancia media, ( $r_m$ ).

Valor medio ponderado de las reflectancias para las diferentes longitudes de onda de una radiación determinada (solar, de luz incandescente, etc.).

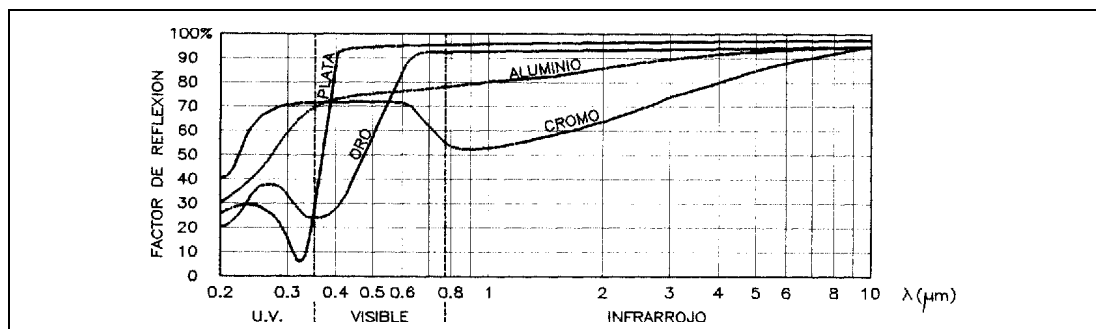


Fig. 2.18 Gráfica reflexión/Longitud de onda

En general, la radiación reflejada por una superficie reproduce el espectro de la radiación incidente, afectado por los valores de las diferentes ( $r_{\theta}$ ). El total de flujo reflejado no superará nunca el flujo incidente y tampoco lo hará para una longitud de onda determinada.

Debemos distinguir entre la radiación reflejada por una superficie y la que emite, por efecto térmico, la misma superficie. A pesar de que el origen de la radiación emitida pueda ser el aumento de temperatura producido por una radiación previamente absorbida, esta radiación emitida no reproduce el espectro de la incidente, aunque hay una ley general que relaciona las capacidades absorbentes y las emisoras de las superficies.

Resulta interesante hacer el estudio de las gráficas reflexión-longitud de onda de distintos materiales. Se debe tener en cuenta que los coeficientes de reflexión medios que se utilizan para la luz, o para la radiación en general, pueden cambiar mucho según el espectro de la luz o de la radiación incidente.

Desde el punto de vista **geométrico**, el acabado superficial de los cuerpos varía la geometría de la reflexión, dependiendo de la longitud de onda de la radiación incidente.

En la práctica, podemos distinguir tres tipos básicos de reflexión: **especular** (o regular), **difusa** y **dispersa**, los casos reales son una combinación de los tres tipos básicos en distintas proporciones.

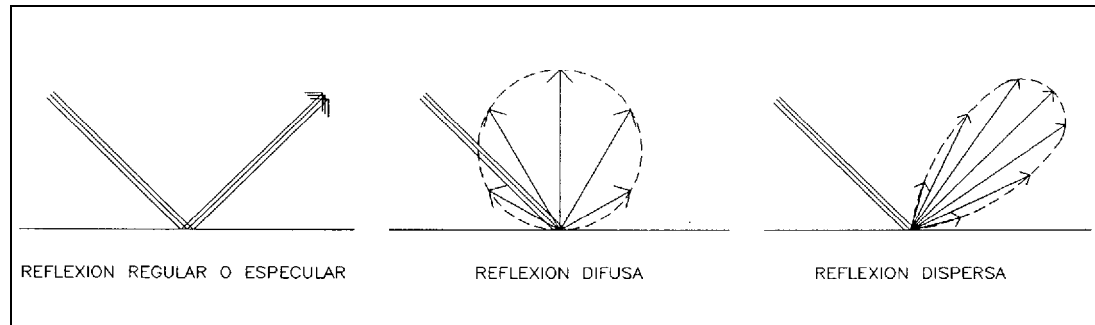


Fig. 2.19 Reflexión. Planteamiento teórico.

En general, el comportamiento se acerca a la reflexión regular si la medida de las irregularidades de la superficie (medida como diferencia de cotas entre puntos próximos) es inferior a  $1/4$  de la longitud de onda de la radiación incidente. Como las longitudes de onda de las radiaciones con las que trabajamos normalmente son muy pequeñas (del orden de micras), las superficies normales no tienen reflexión regular, excepto aquellas muy pulidas.

### 2.7.2 Sonido

Desde el punto de vista **energético**, también condiciona la reflexión de los sonidos el acabado superficial del obstáculo, a pesar de que, en este caso, existen otros factores, como las características mecánicas del material, su espesor, etc. que afectan la proporción de energía reflejada respecto de la incidente. En general, se produce una reflexión primaria en la superficie del material, a la cual se le añade una de secundaria en su interior.

La valoración de la capacidad reflectante se hace:

#### Coefficiente de reflexión, ( $r$ ).

Relación entre la energía acústica reflejada totalmente y la incidente sobre la superficie del obstáculo:

$$r = E_r / E_i.$$

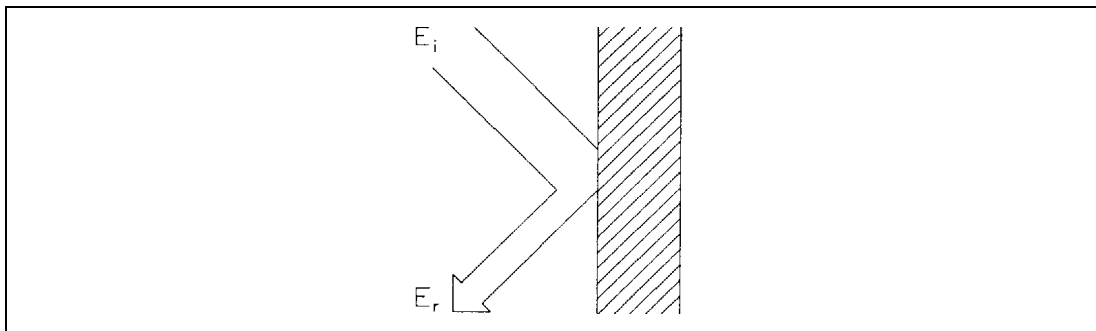


Fig. 2.20 Coeficiente de reflexión.

#### Coefficiente de reflexión específico, ( $r_f$ ).

Relación entre energía reflejada y energía incidente, para una frecuencia determinada:  $r_f = E_{r(f)} / E_{i(f)}$ .

$$r_{(f)} = E_{r(f)} / E_{i(f)}$$

#### Coefficiente de reflexión medio, ( $r_m$ ).

Valor medio de los coeficientes de reflexión específicos correspondientes a las seis frecuencias fundamentales: 128, 256, 512, 1024, 2048 y 4096 Hz.

$$r_m = \sum r_f / 6.$$

Desde el punto de vista **geométrico**, tal como pasaba en el caso de las radiaciones, es la textura de la superficie donde se refleja el sonido, en relación con la longitud de onda de ésta, la que determina el tipo de reflexión, más especular o más difusa. En el caso del sonido, las longitudes de onda se mueven entre centímetros y decámetros, dimensiones del mismo orden que las de los elementos arquitectónicos, y es más frecuente encontrar reflexiones regulares que con la luz y las radiaciones en general. En el caso de sonidos graves (frecuencias bajas y largas longitudes de onda), esta especularidad todavía es más usual.

La forma y dimensión de las superficies reflectoras determinan, en las reflexiones especulares, el reparto de la energía acústica en el espacio:

En el caso de **superficies planas**, la reflexión será equivalente a la emisión de un foco virtual,  $F'$  simétrico del original  $F$ , respecto al plano reflectante.

Si son **superficies convexas**, la reflexión se dispersará, hecho que normalmente es favorable.

En **superficies cóncavas**, las ondas tienden a concentrarse en determinadas zonas del espacio en detrimento de otras zonas, esto produce generalmente un efecto desfavorable.

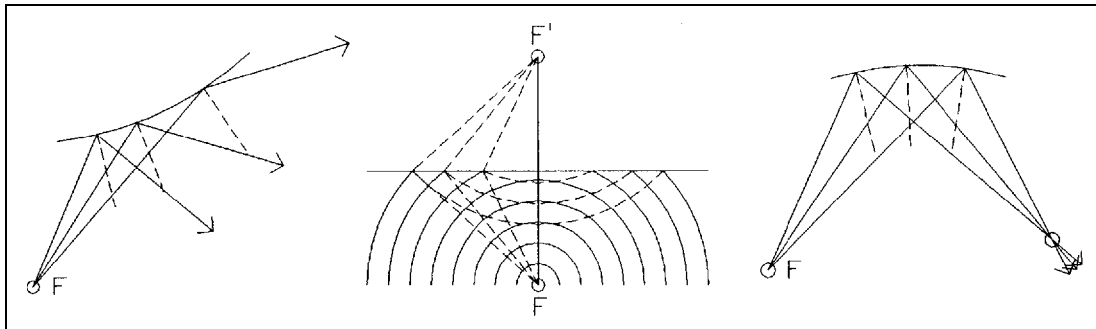


Fig. 2.21 Reflexión de los sonidos

Un fenómeno específicamente acústico es el **eco**. Se produce cuando en un punto del espacio incide una onda reflejada, con intensidad suficiente y con suficiente retraso respecto de la onda directa como para que pueda ser apreciada como independiente por el oído.

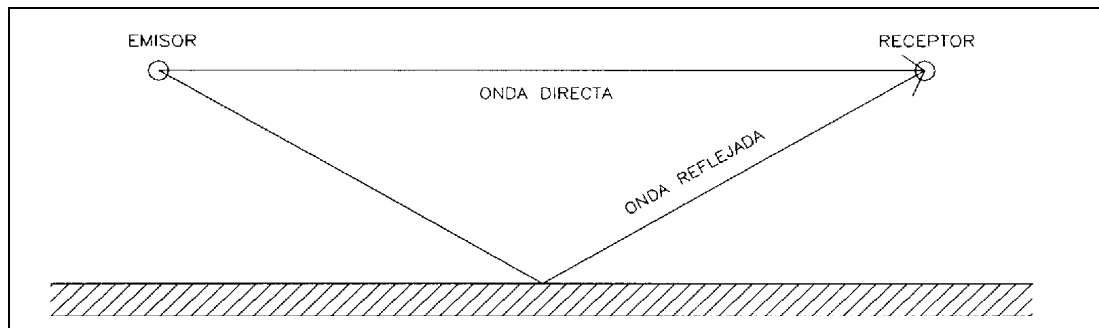


Fig. 2.22 Reflexión. Eco

Ya que nuestra fisiología pide una separación mínima de  $1/20$  de segundo entre sílabas, para poderlas considerar como independientes, se considera crítica una diferencia de caminos entre onda directa y reflejada de  $340 \text{ m/s} \times 1/20 \text{ s} = 17 \text{ m}$ . A partir de este valor, se produce un eco claro. En la práctica se fija el límite entre 12 m y 22 m, dependiendo del tipo de sonido emitido y de la importancia acústica del local.



## 2.8 Absorción de los fenómenos ambientales

La absorción en obstáculos se puede considerar, hasta cierto punto, como el complemento de la reflexión, en especial cuando se entiende, como en la acústica o la radiación incidente sobre cuerpos opacos, que toda la energía no reflejada es energía absorbida. Igual que en los casos anteriores, sólo tiene sentido la absorción en movimientos ondulatorios, sean radiaciones electromagnéticas o sonidos.

### 2.8.1 Radiaciones electromagnéticas

La absorción tiene importancia ambiental por su repercusión sobre las condiciones lumínicas y térmicas. La radiación absorbida depende de la longitud de onda y del tipo de superficie y se convierte en calor en estas superficies, lo que condiciona indirectamente su emisión de radiación térmica.

**Absorbancia (a).** Relación entre el flujo absorbido por la superficie de un cuerpo respecto del incidente:

$$a = M_a / M_i$$

**Absorbancia específica (a<sub>λ</sub>).** Relación entre el flujo absorbido y el incidente para una longitud de onda determinada.

**Absorbancia media (a<sub>m</sub>).** Relación entre el flujo absorbido y el incidente para todas las longitudes de onda de una determinada radiación y/o para una determinada zona del espectro (por ejemplo, para la luz solar y la radiación visible).

#### *Relación entre emitancia y absorbancia de un cuerpo.*

Siguiendo la ley de Kirchoff: "el cociente entre emitancia y absorbancia es constante para cada temperatura, independientemente de la naturaleza material de la superficie considerada":

$$M_{gT} / a_g = E_{gT}$$

Según ello las superficies absorbentes a una radiación de una longitud de onda determinada también serán buenas emisoras de dicha radiación. A partir de aquí se puede establecer una clasificación de los acabados superficiales, muy importante para juzgar su comportamiento frente a la radiación:

**Cuerpos grises.** Son aquellos que tienen una absorbancia constante para todas las longitudes de onda de la radiación considerada (normalmente, la solar).

**Cuerpos negros.** Aquellos cuerpos grises que tienen la absorción máxima (absorbancia = 1) en todas las longitudes de onda y que, según Kirchoff, también tendrán la máxima emitancia en todas las longitudes de onda.

**Cuerpos antinegros.** Aquellos cuerpos grises que tienen absorbancia nula (reflectancia = 1) en todas las longitudes de onda y, por tanto, su emitancia será mínima.

---

**Cuerpos selectivos fríos.** Aquellos que tienen diferentes absorbancias según la longitud de onda. Reflejan mucho (a. 0) las longitudes de onda más cortas (visibles y infrarrojo próximo) y absorben mucho (y, por lo tanto emiten mucho) las más largas (infrarrojo lejano). Este comportamiento les hace especialmente adecuados como revestimiento exterior en climas cálidos.

**Cuerpos selectivos cálidos.** Aquellos que absorben mucho las longitudes de onda más cortas y reflejan (y por lo tanto no emiten) las más largas. Son especialmente adecuados como elementos captadores de la radiación solar a efectos térmicos.

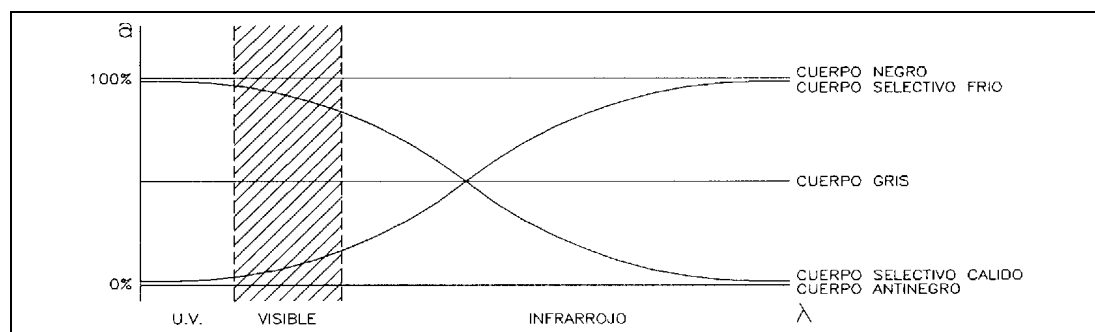


Fig. 2.23 Relación entre emitancia y absorbancia de un cuerpo con la longitud de onda

#### Aplicación de la ley de Kirchoff en el cuerpo negro.

Siendo una superficie que absorbe todas las longitudes de onda ( $a_g = 1$ ), resultará:  $M_{gT}(n) = E_{gT}$ ; como para una superficie cualquiera teníamos:  $M_{gT} / a_g = E_{gT}$ , resulta:  $M_{gT} / a_{gT} = M_{gT}(n)$ . Esto permite conocer la emitancia a una determinada temperatura de cualquier cuerpo que tenga una absorbancia conocida, a partir de la emitancia del cuerpo negro, que se puede saber a partir de la:

**Ley de Planck.** Nos indica la radiación total del cuerpo negro para cada temperatura y longitud de onda:

$$M_{gT}(n) = \frac{2 B h c^2}{8^5} \frac{1}{e^{hc/8K_B T} - 1}$$

donde:

- T = temperatura en graus Kelvin
- c = velocidad de propagación de la radiación electromagnética .  $3 \cdot 10^8$  m/s
- h = ct. de Planck =  $6,625 \cdot 10^{-34}$  (J s)
- $K_B$  = ct. de Boltzmann =  $1,38 \cdot 10^{-23}$  (J / K).

**Ley de Stefan Boltzmann.** Nos da la emitancia total del el cuerpo negro a una temperatura determinada, en  $W / m^2$ :

$$M_T(n) = 5,71 \cdot 10^{-8} T^4$$

## 2.8.2 Sonidos

La absorción de los sonidos al llegar a un obstáculo depende, de forma bastante compleja, de las características superficiales e internas de este obstáculo, a la vez que influyen en gran medida las frecuencias del sonido que se esté considerando. Debemos tener en cuenta que la absorción acústica se produce fundamentalmente en su recorrido dentro del espesor del material.

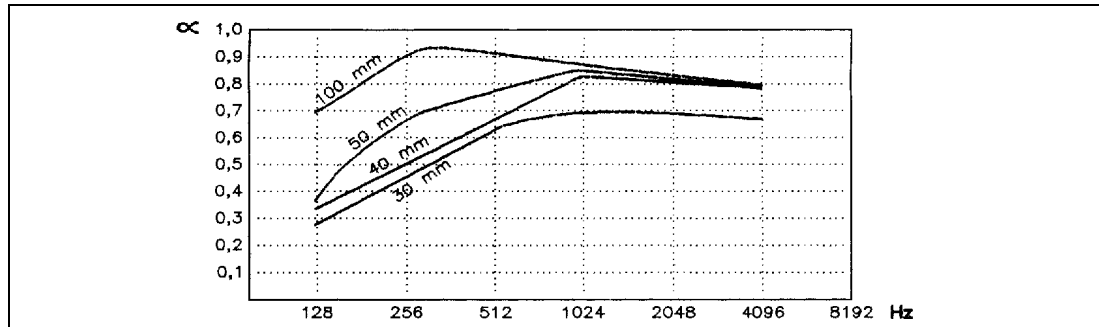


Fig 2.24 Absorción. Ejemplo de material poroso

### Coefficiente de absorción, ( $\alpha$ ).

Es la relación entre la intensidad sonora absorbida (que incluye la transmitida) y la incidente:

$$\alpha = I_a / I_i$$

En general puede hablarse de un **coeficiente de absorción específico**,  $\alpha_f$  para una frecuencia determinada (o para un campo limitado de frecuencias), y de un **coeficiente de absorción media**,  $\alpha_m$  para las seis frecuencias fundamentales.

### Unidad de absorción acústica (UA), o "sabine".

Es la equivalencia a la absorción de 1 m<sup>2</sup> de superficie que tiene un coeficiente de absorción  $\alpha = 1$ .

### Reverberación.

Relacionado directamente con la absorción acústica, existe el fenómeno de la reverberación, o sea, de la prolongación del sonido después de la extinción de la fuente, que se produce en un espacio o local determinado. La reverberación es debida a las reflexiones que se producen en las superficies de cerramiento del local, que van llegando a un punto cualquiera del mismo en momentos sucesivos, debido a la diferencia de caminos recorridos por las diferentes ondas, y que se aprecian debido a la velocidad relativamente lenta del sonido.

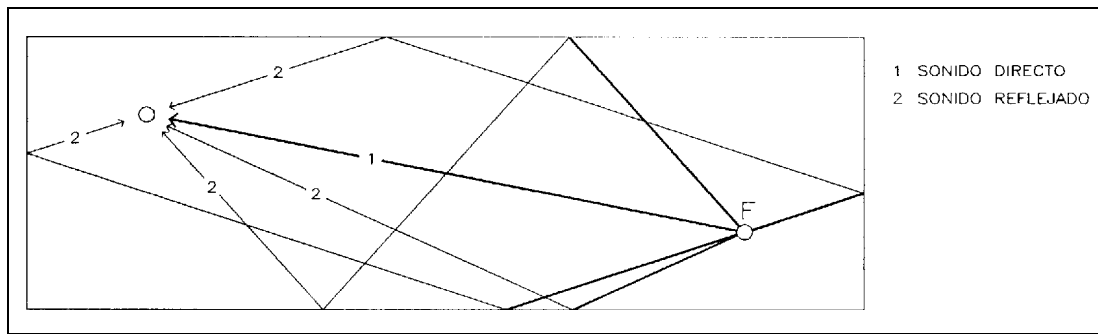


Fig. 2.25 Reverberación

Para hacer el análisis del fenómeno de la reverberación, consideramos cómo, en un punto de un local, llegan las ondas directas y reflejadas:

El **sonido directo** llega en primer lugar, con una intensidad que es función de la intensidad de la fuente sonora y del camino recorrido (según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia) y en un tiempo que depende de la distancia.

Los **sonidos reflejados**, van llegando a continuación, con una intensidad función de la intensidad de la fuente sonora, del camino recorrido y de los coeficientes de absorción de las reflexiones en los cerramientos y, a la vez, con unos retrasos correspondientes al camino recorrido por cada uno.

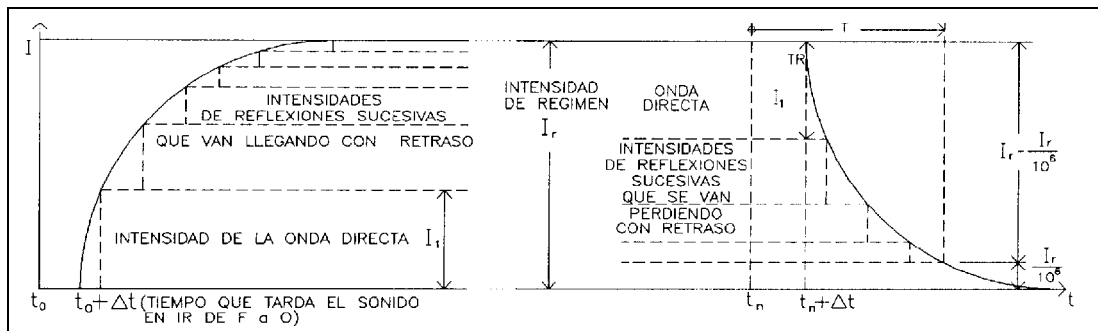


Fig. 2.26 Tiempo de reverberación

Si consideramos un local donde la distribución de energía acústica puede considerarse uniforme después de muchas reflexiones en las paredes (local reverberante), con un nivel de intensidad de régimen  $I_r$  igual en cualquier punto del local, podremos establecer que la potencia de la fuente es:

$$W = I_r E S''$$

es decir, que la energía producida por la fuente acústica en un instante determinado, debe ser igual en estado de régimen a la que están absorbiendo los cerramientos, con su total de unidades de absorción acústica o *sabines*.

Por otra parte, se caracteriza el **tiempo de reverberación** de un local, expresado en segundos para una frecuencia o una determinada banda de frecuencias, como el tiempo necesario para que la intensidad del sonido en el local decrezca hasta una millonésima parte de su valor, medido a partir del instante en que deja de emitir la fuente sonora. Este decrecimiento de intensidad expresado en decibelios, valdrá:

$$I_r = 10^6 I_{TR}$$

$$N_{TR} = 10 \log_{10} \frac{I_r}{I_{TR}} = 10 \log_{10} 10^6 = 60 \text{dB}$$

A partir de aquí se pueden buscar métodos para calcular el tiempo de reverberación que tendrá un local determinado, que siempre serán aproximados por el hecho de suponer un estado reverberante en el local. En este método, a partir de establecer un recorrido libre medio de las ondas entre reflexión y reflexión (función del volumen del local) y de las unidades de absorción de los cerramientos, que se suponen uniformemente repartidas, se determina el tiempo, en segundos, que tarda en extinguirse el sonido y que será independiente del nivel original de este sonido.

#### Fórmula de Sabine:

$$TR = 0,161 \frac{V}{S \alpha}$$

#### Fórmula de Eyring:

$$TR = 0,162 \frac{V}{S_{total} \ln(1 + \alpha_m)}$$

donde: TR = tiempo de reverberación, en segundos  
 V = volumen total del local, en m<sup>3</sup>  
 S = superficies interiores del local, en m<sup>2</sup>  
 " = coeficiente de absorción de cada superficie  
 " <sub>m</sub> = coeficiente de absorción medio ponderado

---

## 2.9 Transmisión de los fenómenos ambientales

El caso de la transmisión de una energía ambiental al otro lado del obstáculo se presenta, en una u otra variante, en todos los fenómenos estudiados. Debemos distinguir siempre el tipo de energía de que se trate, en especial para poder tener en cuenta la velocidad de propagación a través del obstáculo.

### 2.9.1 Radiaciones electromagnéticas

Igual que sucedía con la reflexión, podemos distinguir en la transmisión de las radiaciones dos puntos de vista diferentes, el simplemente energético y el geométrico.

Desde el punto de vista **energético**, la transmisión de la radiación para un determinado material depende de las características de éste y, a la vez, de la longitud de onda de la radiación y de su ángulo de incidencia sobre la superficie del obstáculo. Ya que, en el caso de la transmisión, tiene importancia el espesor del obstáculo, cambian las definiciones que se utilizan para caracterizar el fenómeno.

#### **Transmitancia** de un panel, **T**.

Es la relación entre el flujo incidente interiormente en una de sus caras y el que había entrado por la cara opuesta.

$$T = \frac{N_d}{N_0} = \frac{1}{e^{-\mu d}}$$

donde:  $\mu$  = absorción unitaria en una dirección determinada,  
(flujo absorbido por unidad de espesor y por unidad de flujo incidente)  
 $d$  = longitud de la trayectoria de la radiación dentro del panel.

#### **Índice o coeficiente de transmisión, t.**

Es la relación entre el flujo que sale por la parte opuesta del panel respecto del que incide

$$t = \frac{N_t}{N_i}$$

Este coeficiente dependerá de la transmitancia del material anteriormente definida (y por lo tanto de su espesor), pero también de las reflexiones parciales que se producirán en los dos cambios de medio que encuentra la radiación al penetrar y salir del obstáculo o panel.

En general, el coeficiente de transmisión variará según las longitudes de onda, esto origina la **transmisión selectiva** de la radiación a través del obstáculo. Este es el caso del cristal, que, aunque es un buen transmisor de la radiación visible y del infrarrojo próximo, no lo es del infrarrojo lejano. Este hecho es la causa del conocido "*efecto invernadero*", que hace que, detrás de un cristal expuesto al sol, se produzca un sobrecalentamiento al penetrar la radiación solar y no salir la de los materiales que detrás del cristal se calientan.

---

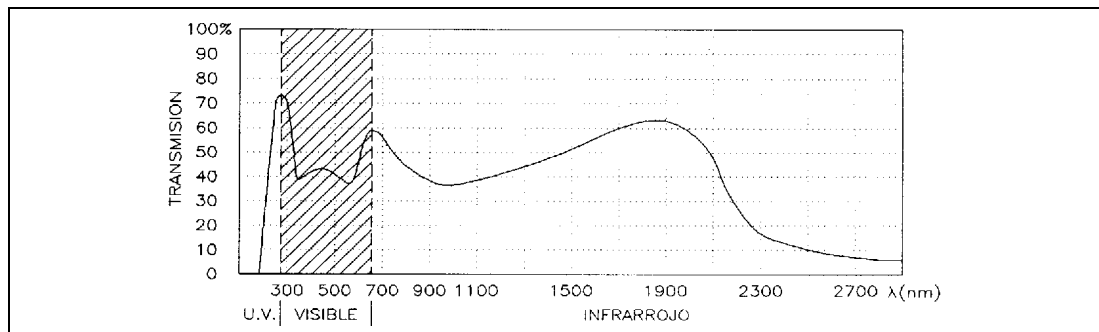


Fig. 2.27 Transmisión de la radiación a través de un cristal

Desde el punto de vista **geométrico**, el comportamiento a la transmisión de las radiaciones es parecido al caso de la reflexión. Según la estructura molecular interna y superficial del material, variará la distribución espacial de la radiación.

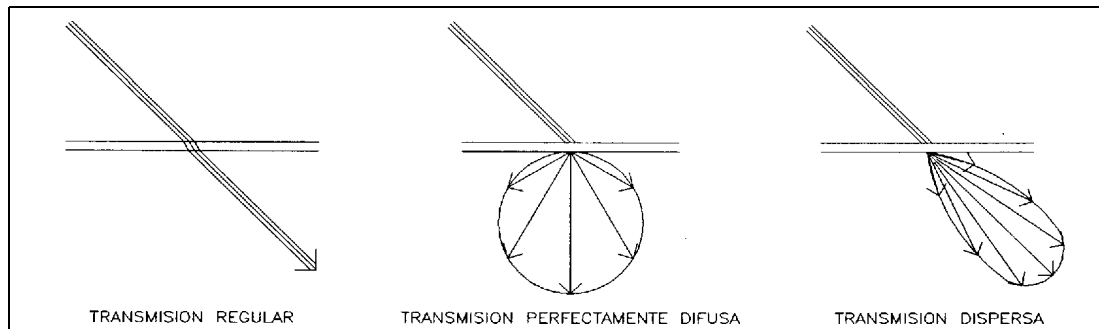


Fig. 2.28 Transmisión. Planteamiento geométrico

## 2.9.2 Calor

Dejando aparte la transmisión del calor por radiación, ya estudiada, consideraremos aquí la transmisión por conducción del calor, a través del material o materiales que constituyen el obstáculo.

El concepto fundamental consiste en considerar que los materiales componentes de un paramento que separa dos ambientes a diferente temperatura ofrecen una resistencia (dificultad) al paso del calor, que dependerá directamente del espesor del material e inversamente de su comportamiento característico (facilidad) como conductor de calor. Por otra parte, los cambios de medio, al pasar del aire al paramento o del paramento al aire, comportarán otra resistencia que encontrará la energía en su camino. La resistencia total será, lógicamente, la suma de las diferentes resistencias que encontrará el flujo de calor en su recorrido desde el medio más caliente al más frío.

**Resistencia total, R.**

$$R_T = r_{s1} + E r_i + r_{s2} \quad (\text{m}^2 \text{ EC} / \text{W})$$

$r_{s1}$  y  $r_{s2}$  son las resistencias superficiales en las dos caras del cerramiento

$$r_s = 1 / h$$

$h$  = coeficiente superficial de paso de calor entre una superficie y el aire ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ EC}$ ).

$r_i$  son las resistencias térmicas de los paneles que componen el paramento

$$r_i = e_i / \vartheta_i$$

$e_i$  = espesor, (m)

$\vartheta_i$  = conductibilidad térmica del material de la capa "i", ( $\text{W} / \text{m}^2 \text{ EC}$ ).

Valores aproximados de las resistencias térmicas al paso del calor de:

paramentos verticales, aire quieto, (superficie interior)	= 0,05 $\text{m}^2 \text{ EC}/\text{W}$
paramentos verticales, aire en movimiento, (superficie exterior)	= 0,15 $\text{m}^2 \text{ EC}/\text{W}$
cámaras de aire entre 5 y 20 cm de grosor	= 0,17 $\text{m}^2 \text{ EC}/\text{W}$

**Coefficiente de transmisión de calor de aire a aire, k.**

Normalmente, para cualificar el comportamiento como barrera térmica de un paramento, utilizamos el coeficiente de transmisión de calor de aire a aire ( $k$ ), o sea, el que mide la cantidad de calor por unidad de tiempo, o sea, la potencia calorífica que pasa por un  $\text{m}^2$  de cerramiento cuando entre los aires de una y otra parte hay una diferencia de temperatura de un grado Celsius. Este coeficiente será la inversa de la resistencia total del cerramiento:

$$k = \frac{1}{R_t} \quad (\text{W} / \text{m}^2 \text{ EC})$$

Con este coeficiente se pueden calcular los flujos caloríficos que pasan por un cerramiento determinado de una superficie  $S$ , cuando hay una determinada diferencia de temperatura entre los aires de las dos caras:

$$\text{Flujo de calor} = Q = k S (T_1 - T_2) \quad \text{en W.}$$

También es posible conocer las temperaturas de cualquier punto interior o superficial del cerramiento, simplemente igualando el flujo de calor total calculado de aire a aire con el flujo calculado desde uno de los aires hasta el punto considerado:

$$k S (T_1 - T_2) = \frac{1}{R_x} S (T_1 - T_x)$$

donde:  $R_x$  = suma de las resistencias hasta el punto considerado.

En la bibliografía técnica y en la normativa se encuentran valores normalizados de resistencias superficiales al paso del calor, de las cámaras de aire intercaladas en el paramento, de la conductibilidad térmica de distintos materiales, etc.



### 2.9.3 Aire

La transmisión del aire o de alguno de los gases componentes (como es el caso del vapor de agua) a través de un obstáculo queda, hasta cierto punto, fuera del interés de este estudio ambiental, a pesar de su importancia desde otros puntos de vista arquitectónicos. El paso del aire por la porosidad de un material o por rendijas microscópicas representa unos caudales muy poco influyentes en el ambiente, comparados con los caudales que se generan con las ventilaciones, voluntarias o no, de cualquier edificio.

### 2.9.4 Sonidos

El paso del sonido al atravesar un obstáculo sigue leyes aparentemente similares a las de las radiaciones, pero en realidad se trata de un fenómeno diferente. Dejando aparte otros componentes de la transmisión, lo que hace en realidad la energía acústica es poner en vibración el paramento que constituye el obstáculo y éste es el que hace vibrar el aire y genera el sonido en el ambiente receptor.

En este proceso, la energía acústica que normalmente pasa de un lado al otro del obstáculo es muy pequeña, por debajo del 1% de la incidente. A pesar de ello, debido a la relación logarítmica de la percepción respecto al estímulo, que aplicamos en el cálculo acústico en decibelios, el resultado consiste en que los sonidos son fácilmente perceptibles detrás de una barrera y es necesario reducir la energía transmitida a niveles muy bajos para conseguir un buen aislamiento acústico.

#### Factor de transmisión del sonido, $t$ .

Es la relación entre la energía que atraviesa el panel y la energía incidente, dependiendo de la frecuencia del sonido y de la composición, del tipo y del espesor del panel:

$$t = \frac{I_t}{I_i}$$

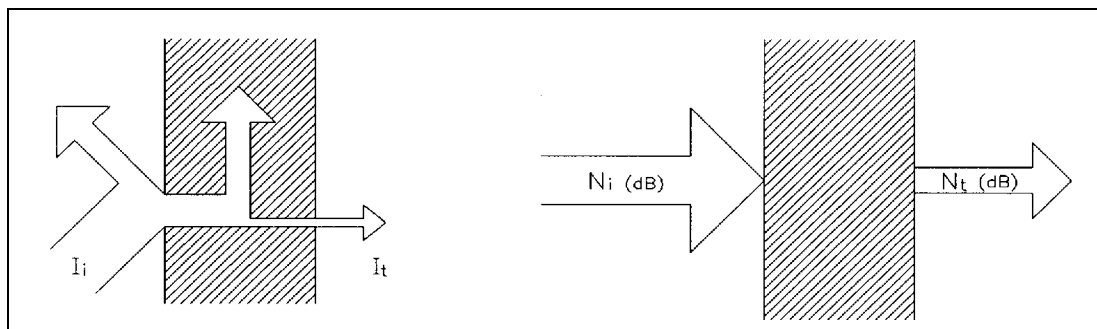


Fig. 2.29 Transmisión del sonido. Índice de aislamiento

### Índice de aislamiento del sonido, R.

Es la diferencia en dB, para una frecuencia determinada (o para el valor medio de las 6 frecuencias fundamentales), entre los niveles sonoros a uno y otro lado de un panel:

$$R = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_t} = 10 \log_{10} \frac{1}{t} = 10 \log_{10} \frac{I_i / I_0}{I_t / I_0} = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_0} - 10 \log_{10} \frac{I_t}{I_0} = N_i - N_t$$

El valor del índice de aislamiento de un cerramiento al sonido, sigue dos leyes fundamentales para la valoración de cualquier barrera acústica:

#### Ley de masas.

Para una frecuencia cualquiera, la R de un panel homogéneo aumenta proporcionalmente al aumento de masa por unidad de superficie del panel ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), con una pendiente aproximada de 6 dB cada vez que se dobla la masa, siguiendo la expresión:

$$R = 20 \log_{10} \frac{T \cdot m}{2 Z}$$

donde:  $T$  = frecuencia angular del sonido,  
 $m$  = masa del panel en  $\text{kg}/\text{m}^2$  y  
 $Z$  = impedancia del aire.

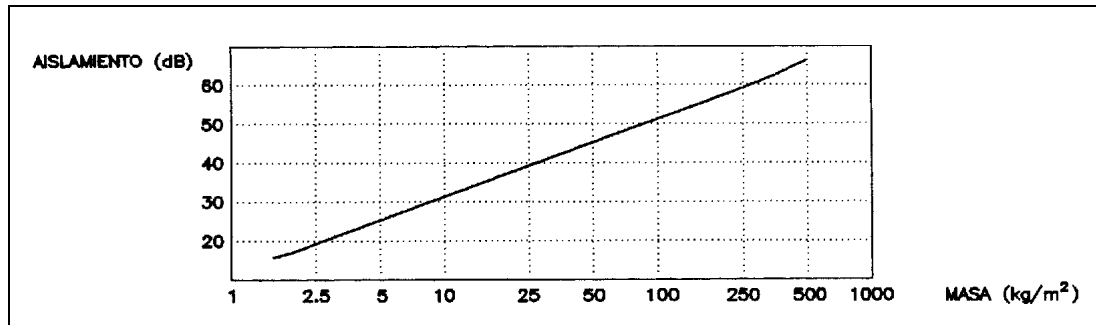


Fig 2.30 Ley de masas

#### Ley de frecuencias.

El índice de aislamiento de un panel (R) aumenta proporcionalmente al aumento de la frecuencia del sonido incidente, con una pendiente aproximada de 6 dB cada vez que se dobla la frecuencia. Esta ley presenta discontinuidades (aislamientos inferiores) para las frecuencias críticas y de resonancia del panel (zonas más graves y agudas del espectro).

Según se deduce de las leyes anteriores, el aislamiento de un cerramiento tenderá a ser siempre mejor para los sonidos agudos que para los graves y para los cerramientos pesados (y gruesos) que para los ligeros.

A pesar de esto, la propia esencia de la percepción acústica hace que, a partir de unos ciertos valores, aumentar el aislamiento en sólo 6 dB doblando la masa del panel representa llegar a soluciones constructivamente excesivas. En estos casos adquiere importancia el uso de soluciones complejas, con las cuales la mejoría depende de otras circunstancias.

#### **Aislamiento acústico de las cámaras de aire.**

Utilizando paredes múltiples, separadas por cámaras de aire, el aislamiento puede ser teóricamente mucho mayor que el que resulta de la ley de masas:

$$20 \log_{10} \frac{T m_1}{2Z} + 20 \log_{10} \frac{T m_2}{2Z} > 20 \log_{10} \frac{T (m_1 + m_2)}{2Z}$$

Este resultado no deja de ser teórico y en la práctica, el aislamiento depende del grosor de las cámaras, de las resonancias en estas cámaras, de la formación de ondas estacionarias, etc., hasta el punto de que, en casos extremos, el aislamiento puede ser peor que en un cerramiento sin cámara (dobles paredes con los dos paneles idénticos y cámara pequeña, donde resuenan conjuntamente y se crea el "*efecto tambor*"). Por esto, es recomendable hacer cámaras de más de 10 cm., con un material absorbente en el interior y, si es posible, con paneles de caras no paralelas y de distinta composición.

#### **Aislamiento acústico resultante.**

Será la diferencia en el nivel acústico entre el recinto emisor y el receptor, que dependerá de la R del cerramiento de separación, de la superficie de éste y de la absorción en el local receptor.

Para un cerramiento que separa dos locales, igualando la energía que penetra con la absorbida, por unidad de tiempo, resulta:

$$I_1 S t = I_2 A$$

donde  $I_1$  = intensidad en el local emisor, en  $W / m^2$   
 $S$  = superficie del panel separador, en  $m^2$   
 $t$  = coeficiente de transmisión  
 $I_2$  = intensidad en el local receptor, en  $m^2$   
 $A$  = unidades de absorción en el local receptor,  $m^2$

tomando logaritmos y multiplicando por 10, resulta:

$$R = N_1 + N_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A}$$

donde:  $N_1$  y  $N_2$  = niveles acústicos en el local emisor y receptor, respectivamente, en dB.

---

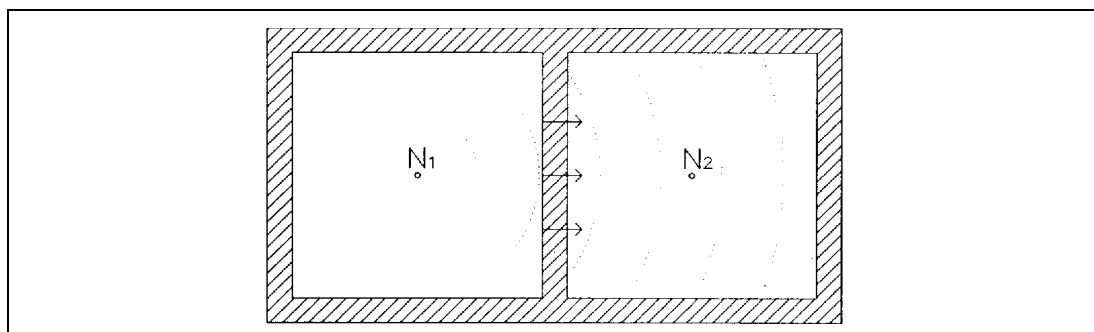


Fig. 2.31 Aislamiento acústico resultante

### Transmisión de ruidos de impacto.

Se produce en el caso de que un impacto sobre un elemento sólido de un edificio repercuta como un ruido aéreo en otro local continuo. Es el caso típico de los golpes o pasos sobre un pavimento, que en el piso inferior se oyen como ruidos, a veces muy molestos. Estos ruidos dependerán de las características y dimensiones del cerramiento separador que recibe los golpes, de la frecuencia de la perturbación sonora, del factor de amortiguamiento del cerramiento, y en último término, de la absorción del local receptor. Para caracterizarlos se usa:

#### Índice " (dB).

Representa la mejora de aislamiento de un forjado para un ruido de golpes tipificado, respecto a un forjado de referencia (losa de hormigón de 20 cm. de grosor), al cual se le atribuye un índice " =0.

Un buen índice " se puede conseguir con revestimientos flexibles del pavimento que recibe los golpes, con un forjado de gran masa y rigidez y con la creación de un cielo-raso elásticamente suspendido que forme una cámara de aire. En todo caso, la mejor solución sin duda alguna, es la creación de un pavimento flotante encima del forjado, con la interposición de un material elástico debajo de una losa de hormigón que soporta el pavimento.

## Capítulo 3 Definición fisiológica del ambiente

### 3.1 Principios de la sensación y de la percepción

La percepción humana es un fenómeno muy complejo, pero que se debe intentar comprender a pesar de esta complejidad, para poder actuar eficazmente en la arquitectura desde el punto de vista ambiental. El proceso global de la percepción del entorno por parte del hombre, se puede esquematizar de la siguiente forma:

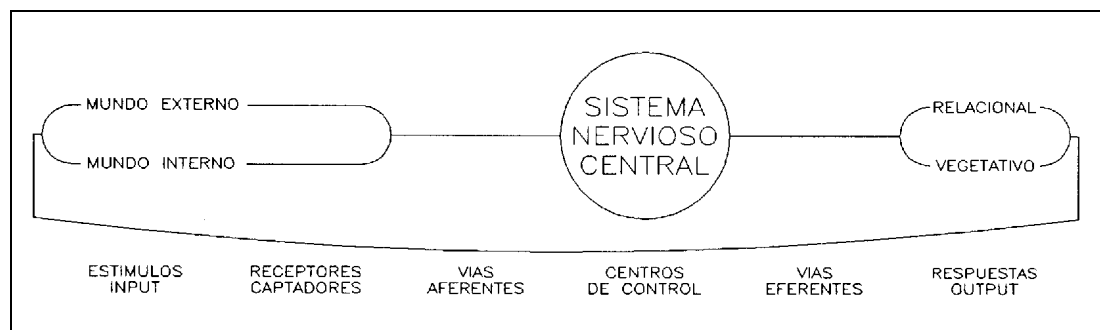


Fig. 3.1 La percepción

El ser humano capta el medio (mundo externo e interno) mediante órganos especializados, llamados **receptores**, cada uno de ellos sensibilizado para unos estímulos específicos. Los cambios en estos estímulos hacen que los receptores generen mensajes que se transmiten por las **vías aferentes** hacia el **sistema nervioso central**.

Estos mensajes están constituidos con un vocabulario muy sencillo, el mismo para los distintos tipos de receptores, consistente en series de impulsos eléctricos breves, uno para cada fibra y que tanto pueden servir para producir sensaciones luminosas, como táctiles, dolorosas, etc.

Los impulsos transmitidos al sistema nervioso central son interpretados conjuntamente y la sensación depende de la procedencia de la señal y no de su tipo, ya que éste siempre es igual.

El resultado de la interpretación es normalmente una respuesta, en forma de nuevos impulsos, que se conducen por las **vías eferentes**. Estas respuestas llegan hasta los sistemas musculares (respuestas relacionales) o a las glándulas (respuestas vegetativas) y con ellas se actúa directamente sobre el medio (interno o externo), modificándolo. Este hecho puede provocar que los estímulos cambien en un sentido favorable, y con esto cambian las respuestas posteriores, etc.

En todo este complejo proceso de la percepción medio intervienen:

#### **Estímulos.**

Cambios energéticos en el medio que envuelve un tejido sensible y que son capaces de excitarlo. Pueden no ser apreciables si no llegan a una intensidad mínima (umbral de sensación) y, por otra parte también es necesario que los cambios sean lo suficientemente rápidos. La eficacia de un estímulo dependerá pues a la vez de su intensidad y de la velocidad de cambio.

#### **Receptores.**

Estructuras fisiológicas, de morfología y funcionamiento específico, donde, cuando inciden estímulos procedentes del mundo externo o interno, se produce una codificación de la energía recibida, que es transformada en impulsos nerviosos.

#### **Fibras transmisoras aferentes y eferentes.**

Son las que conducen los impulsos iniciados en los receptores hacia los centros nerviosos y a la inversa, de los centros nerviosos hacia los sistemas de respuesta.

#### **Sistema nervioso central.**

Centros nerviosos donde se interpretan los impulsos y se emiten las respuestas adecuadas, bajo el control de supraestructuras que miden la cantidad y el tipo de las respuestas e informan de ello a otros centros nerviosos de orden superior, los cuales, comparando la información recibida con el patrón con el cual trabajan, pueden mantener, aumentar o disminuir el nivel de la respuesta.

---

### 3.2 Los sentidos humanos

Los receptores humanos son los sentidos, que tienen las siguientes características funcionales:

- a) **Especificidad:** Cada receptor es estimulable por una energía específica. Sólo en casos excepcionales, un receptor puede ser estimulado por un estímulo inadecuado (ver las estrellas por un golpe en el ojo), pero siempre con un consumo de energía muy superior que en el caso del estímulo adecuado, en el cual el consumo siempre es mínimo.
- b) **Limitación:** Todos los receptores trabajan dentro de unos límites, fuera de los cuales un estímulo, aunque sea el adecuado, no resulta suficiente.
- c) **Adaptación:** Si un estímulo se repite, el receptor puede perder sensibilidad a este estímulo.
- d) **Excitabilidad:** Los receptores distinguen estímulos ligeramente distintos en cantidad de energía, pero las fibras transmisoras de los impulsos no lo hacen, por ello existen cambios mínimos necesarios para que la sensación se note distinta.

Los receptores o sentidos humanos se pueden clasificar en:

**Endoperceptivos**, que perciben el mundo interno, y pueden ser:

**Cenestésicos.** Informan del estado visceral y tienen influencia indirecta sobre la percepción.

**Cinestésicos.** Informan de la posición de nuestro cuerpo e influyen en la estabilidad del movimiento (sentido del equilibrio).

**Extraperceptivos**, que perciben el mundo exterior, y son:

**Vista.** El más abstracto y cerebral de los receptores, con capacidad para percibir el detalle y con un campo de percepción muy direccional.

**Oído.** Sentido más instantáneo y pluridireccional.

**Olfato y gusto.** Sentidos muy interrelacionados, con un campo de percepción genérico pero poco controlado, el primero, y sin extensión espacial, el segundo.

**Tacto.** Es el menos abstracto de los sentidos, con un campo limitado a donde llega el cuerpo humano y que da el máximo de seguridad en el dominio del entorno.

**Sentido álgico.** El que produce sensación de dolor y protege de la agresividad del entorno. Su campo es similar al del tacto, con sensibilidad variable según el lugar en el cuerpo.

**Sentido criostésico.** Sentido térmico que ayuda a regular la temperatura del cuerpo, y tiene el alcance teórico del tacto. Puede apreciar algunas características del espacio arquitectónico por los efectos de la radiación y de los movimientos del aire.

---

### *Funcionamiento biológico de los principales sentidos*

Desde el punto de vista del ambiente arquitectónico, podemos considerar que unos sentidos son más críticos que otros, tanto en la percepción del espacio como desde el punto de vista del confort. Por ello es interesante conocer, con una cierta aproximación, el funcionamiento biológico de los principales sentidos, para entender mejor las respuestas humanas a los cambios ambientales.

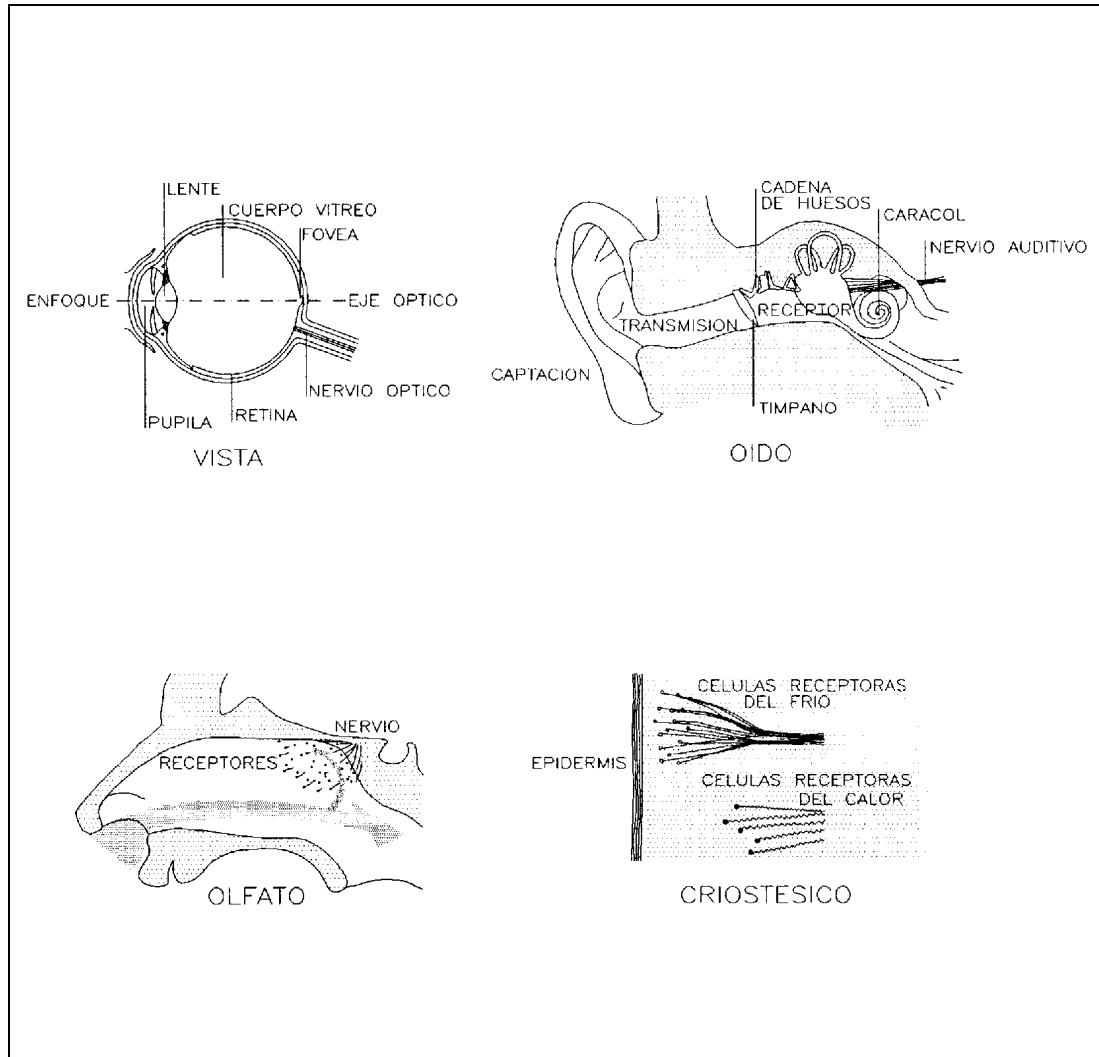


Fig. 3.2 *Funcionamiento biológico de los sentidos*

Para conocer este funcionamiento biológico de los sentidos, resumiremos a continuación sus principios.



La **vista** tiene la *pupila*, que regula la cantidad de luz que penetra mediante su abertura (variable de 1 a 16 veces en superficie); teniendo en cuenta que se obtiene más profundidad de campo cuando más cerrada está. El *crystalino* es una lente que regula el enfoque con su deformación. La *retina* es una película que reviste el fondo del ojo, sensible a la cantidad de luz por medio de unas células llamadas "bastoncillos", y sensible a la cantidad de luz y al color por medio de otras células llamadas "conos".

El sistema visual tiene capacidad, tanto para detectar la cantidad de energía que incide, como para reconocer el espectro de estas ondas a las que es sensible. Por otra parte también tiene capacidad para regular diversos efectos, como es la cantidad de luz o el enfoque de las imágenes.

El **oído** tiene el *tímpano*, que es una membrana que recibe la presión sonora, entra en vibración y la transmite a la *cadena de huesecillos* del oído interno. Esta vibración se prolonga en el caracol, donde existen unos órganos sensibles, con células especializadas a la frecuencia. Desde aquí el sonido, convertido en impulsos nerviosos, se transmite hacia el cerebro por el *nervio auditivo*.

Con este sistema se capta la cantidad de energía según la amplitud de la señal que reciben los sensores y también su frecuencia, según la localización de las presiones en el caracol.

El **olfato** funciona mediante una *cavidad olfativa* que está situada en derivación de la corriente respiratoria, de tal manera que entre un 2-4% del total del aire que circula puede llegar por la nariz (olor ambiente) o por la faringe (olor alimentos). Esta cavidad está tapizada con una *mucosa* que selecciona las moléculas y unos *filamentos* con tres o cuatro pestañas vibrátiles, compuestas por células sensibles químicamente a determinadas moléculas del aire.

El sistema tiene capacidad para detectar cantidades muy pequeñas de determinadas sustancias, según la afinidad química particular de los puntos receptores de la superficie de estas pestañas.

El **sentido criostésico** detecta la entrada o salida de calor en cada área de la piel, mediante dos tipos de sistemas sensibles repartidos irregularmente por toda la superficie del cuerpo. Los *corpúsculos de Krauss*, con una densidad media de 15 por cm<sup>2</sup> de piel, a una profundidad aproximada de 0,17 mm, detectan el frío (salida de calor). Los *corpúsculos de Ruffini*, con una densidad media de uno por cm<sup>2</sup> de piel y una profundidad mayor (0,3 mm); detectan la entrada de calor.

En realidad, las sensaciones locales de temperatura, que no debemos confundir con las de sensación de frío y calor del conjunto del organismo (que dependen de otros parámetros), se producen por la combinación de las señales que los dos tipos de corpúsculos transmiten al cerebro.

---

### 3.3 Reacción de los sentidos al nivel energético y la longitud de onda

Los sentidos en general tienen una respuesta a los estímulos de característica no lineal, y ello significa que, a variaciones iguales de la energía excitante, no siempre corresponden sensaciones equivalentes. Las respuestas sensoriales siguen una ley de tipo aproximadamente logarítmico, lo cual permite abarcar un campo energético de percepción más amplio que en el caso de una respuesta de tipo lineal. Así, para pequeñas cantidades de energía se distinguen variaciones también pequeñas; en cambio, con mayores intensidades energéticas, se necesitan variaciones mayores para que sean perceptibles.

Todo se expresa con la **ley de Weber-Frechner**:  $S = K \log E + B$

donde: S = sensación  
E = estímulo  
B y K = constantes

También se puede expresar con más exactitud con:  $S = K (E - E_0)^n \cdot K E^n$

siendo:  $E_0$  = umbral de sensación, por debajo del cual el estímulo no es perceptible.

Los valores del exponente "n" varían según el tipo de sensación :

luz	= 0,33
olfato	= 0,2-0,3
gusto dulce	= 1,3
frío (brazo)	= 1
calor (brazo)	= 1,5
sonido	= 0,3
esfuerzo de habla	= 1,1
corriente eléctrica (en el dedo)	= 3,5
vibraciones (en el dedo)	= 1 (50 Hz) 0,6 (250 Hz)

Seguidamente comentaremos la reacción a la energía y la longitud de onda para los sentidos.

#### 3.3.1 Sentido de la vista

En la vista los mecanismos de adaptación a los niveles energéticos son dobles. En primer lugar, la **pupila** varía su superficie entre 1 y 16 veces, con un mecanismo de tipo retroactivo, que se adapta a la cantidad de luz que llega. Por otra parte, las **células de la retina** cambian su sensibilidad para abarcar variaciones aún mayores en la percepción, según esto:

Los **bastoncillos** son útiles por debajo de luminancias de 0,001 cd/m<sup>2</sup>, y aprecian la cantidad de luz y no su longitud de onda.

Los **conos** trabajan por encima de 0,03 cd/m<sup>2</sup>, y aprecian la cantidad de luz y su color.

Entre ambos límites trabajan simultáneamente los dos tipos.

El ojo puede percibir los colores mediante la acción de los conos, aunque con distinta sensibilidad según la longitud de onda. La máxima sensibilidad corresponde a un color amarillo-verdoso, desde éste y hacia los dos extremos del espectro, la sensibilidad decrece hasta anularse. Este tipo de visión con los conos es llamada **visión fotópica**.

La visión con los bastoncillos es llamada **visión escotópica** y trabaja a niveles muy bajos de energía incidente. En este caso no hay sensibilidad al color y el máximo de sensibilidad se mueve hacia la izquierda del espectro visible (menores longitudes de onda), esto se conoce como "efecto Purkinje".

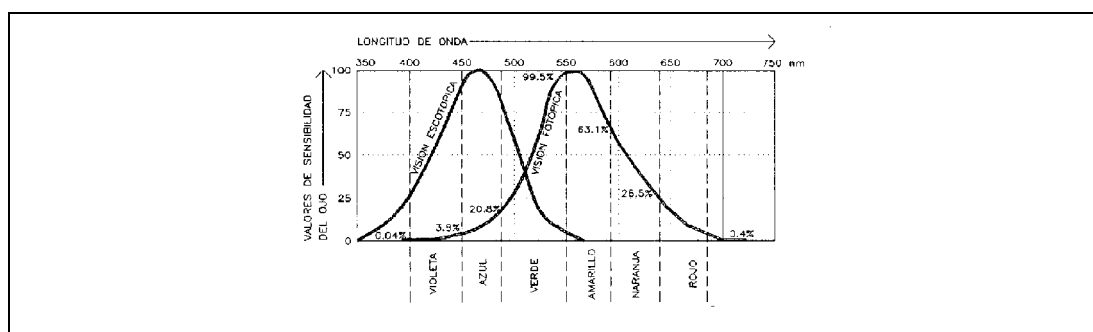


Fig. 3.3 Curva de sensibilidad del ojo humano

La curva de sensibilidad del ojo con visión fotópica es la que sirve de base para establecer las unidades de luz que definíamos a nivel físico (ver 2.3.1). Así, el **flujo luminoso** será el resultado de afectar el flujo radiante por el coeficiente de sensibilidad para cada longitud de onda.

$$M_l = M_r V_g$$

donde  $M_l$  = flujo luminoso, en lumen  
 $M_r$  = flujo radiante, en watts (1 watt de radiación = 680 lumen)  
 $V_g$  = coeficiente de sensibilidad del ojo para cada longitud de onda.

El valor máximo del coeficiente de sensibilidad es de 1 para 555 nm de longitud de onda, que corresponde al color amarillo-verdoso.

Además de la sensibilidad a la cantidad de energía, debemos tener en cuenta también aquí otros efectos lumínicos. Por una parte, está el efecto de la **fusión** de dos señales simultáneas que, en el caso de la luz, hace que dos colores distintos se mezclen y den un nuevo color donde no se distinguen los componentes.

Igualmente es importante el efecto de **enmascaramiento**, donde una señal muy fuerte puede hacer que se dejen de percibir otras más flojas, aunque sean de longitud de onda diferente.

### 3.3.2 Sentido del oído

Para el sentido del oído el campo de percepción es mucho más amplio, desde frecuencias de 16 Hz hasta 20.000 Hz. Dentro de este campo de frecuencias la sensibilidad es variable, con valores máximos en la zona entre los 2.000 y los 5.000 Hz, que se anulan paulatinamente hacia frecuencias más altas y más bajas.

La respuesta auditiva se representa normalmente con el **audiograma normalizado del oído**, que nos muestra una familia de curvas para diferentes frecuencias, que señalan el nivel de intensidad sonora necesario (expresado indistintamente en dB y en  $W/m^2$ ), en cada una de las frecuencias para producir una misma sonoridad aparente. Estas curvas se denominan isofonas. Las unidades en las que vienen expresadas son los **fonios**, que coinciden a los 1.000 Hz con el nivel en decibelios.

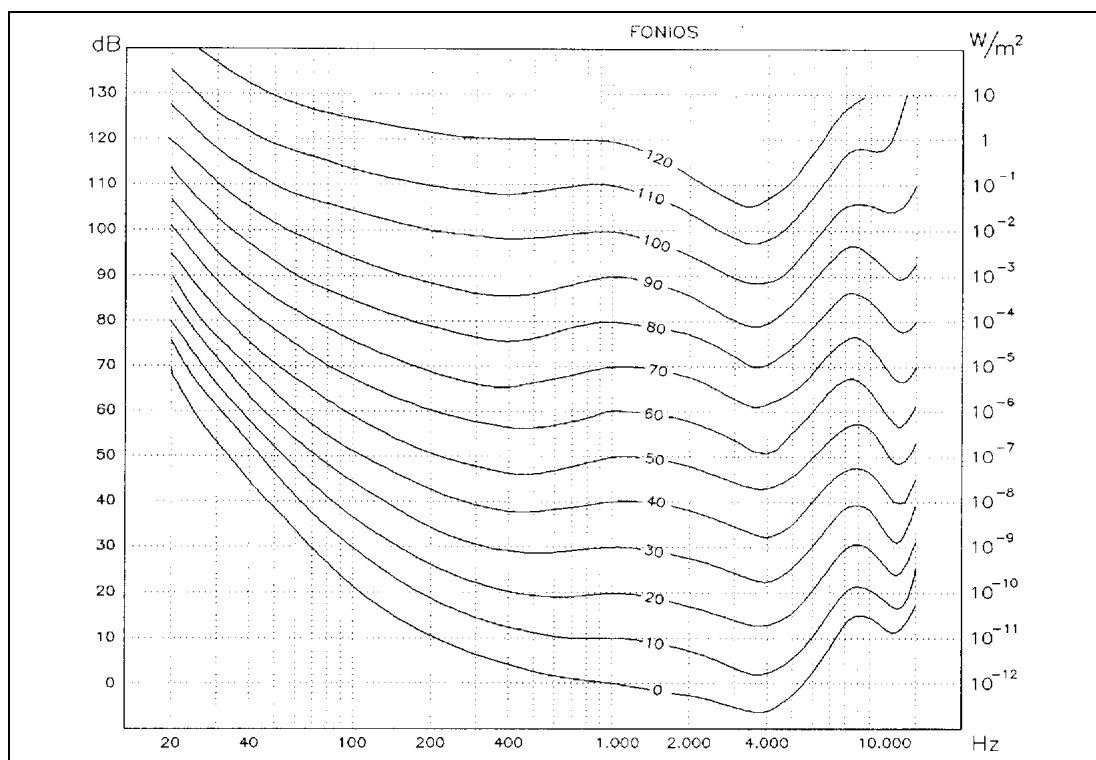


Fig. 3.4 Audiograma normalizado del oído

Recordemos que las unidades acústicas utilizadas normalmente resultan de la aplicación de Weber-Frechner. La distinción entre dos niveles no se hace restando sus valores, sino con el logaritmo del cociente entre estímulos, o sea que lo que importa no son los valores absolutos sino la relación entre ellos. De esta forma, siendo E = energía y S = sensación.

$$S_1 - S_2 = K \log E_1 - K \log E_2 = K \log ( E_1 / E_2 )$$

Para fijar las unidades que se utilizan en acústica, debemos tener presente cuál es la sensibilidad diferencial o diferencia mínima perceptible entre dos estímulos acústicos, y por otra parte, cuál es el estímulo umbral de percepción o mínimo perceptible, que no es el mismo para diferentes frecuencias.

Establecemos las unidades a partir de la ley general de Weber-Fechner, relacionando el estímulo (E) con la sensación (S),

$$S = K \log E + B$$

empezando por determinar el valor de las constantes (K y B).

La **constante B** está referida al umbral de sensación  $S_0$  al cual le atribuimos el valor 0, para un estímulo del umbral ( $E_0$ ),

$$0 = K \log E_0 + B$$

En consecuencia esta constante vale:  $B = -K \log E_0$ , que, para un sonido cualquiera de estímulo (E) y relacionándolo con el valor ( $E_0$ ) correspondiente al umbral, resulta que la **sensación** producida es

$$S = K \log E - K \log E_0 = K \log E / E_0.$$

La **constante K** está referida a la sensibilidad diferencial del oído, que vale aproximadamente una unidad (1 dB) cuando  $K = 10$ .

Definidas las dos constantes podemos decir que **el nivel de sensación sonora (N) expresado en decibelios** es

$$N(\text{dB}) = 10 \log E/E_0$$

Si tomamos como valor del estímulo (E) el de una intensidad acústica (**I**) y como valor umbral el de la intensidad mínima perceptible a una frecuencia de 1.000 Hz, que vale  $10^{-12} \text{ W/M}^2$ , podremos expresar cualquier **nivel de intensidad ( $N_I$ ) en decibelios**, con la siguiente expresión:

$$N_I(\text{dB}) = 10 \log I/10^{-12}$$

De la misma manera, si tomamos como estímulo el de una presión sonora (P), el **nivel de presión sonora ( $N_p$ ) en decibelios**, es:

$$N_p(\text{dB}) = 10 \log P^2/P_0^2 = 10 \log (P/P_0)^2 = 20 \log P/P_0.$$


---

Los aparatos de medición de fenómenos acústicos (decibelímetros), utilizan curvas de respuesta normalizadas de ponderación, A, B, C y D. La de tipo A, reproduce bastante bien la sensibilidad del oído humano con intensidades no muy altas y la de tipo D está adaptada a la respuesta del oído alrededor de los 2.000 Hz, donde son más importantes los ruidos que producen los aviones a reacción.

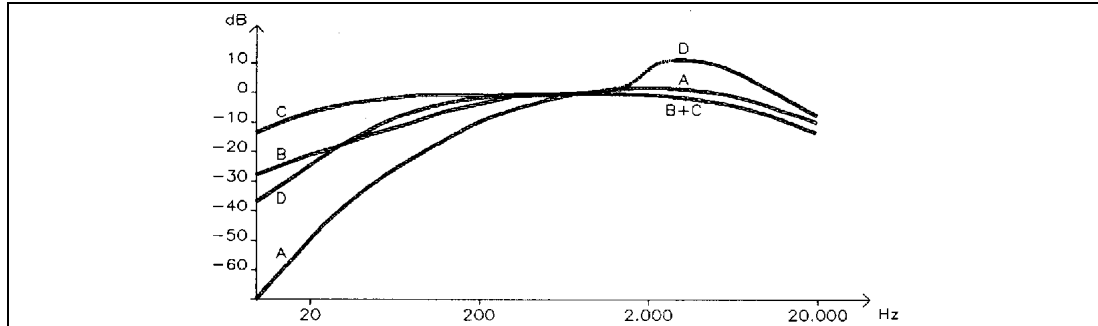


Fig. 3.5 Curvas de ponderación acústica

En lo que respecta a otros efectos acústicos, existen diferencias respecto al sentido de la vista. En la **fusión** entre sonidos simultáneos estos se distinguen sin mezclarse. Mientras que, por otra parte, el efecto de **enmascaramiento** se produce fácilmente entre sonidos de frecuencias próximas, si los niveles de los dos no son muy distintos.

Finalmente, debemos recordar que las sensaciones de dos sonidos simultáneos no se pueden sumar simplemente, ya que la relación logarítmica estímulo-sensación no lo permite. Si se trata de sonidos de frecuencias muy diferentes, la suma de intensidades energéticas no tiene tampoco sentido, al producir una sensación donde ambos sonidos se perciben independientemente.

### 3.3.3 Sentido criostésico

Para este sentido, la respuesta al nivel de energía y al tipo de estímulo es menos exacta que para la vista o el oído. Los corpúsculos de Krauss (frío) y de Ruffini (calor) perciben la salida o entrada de calor, con más velocidad de respuesta los primeros, que son más numerosos y superficiales.

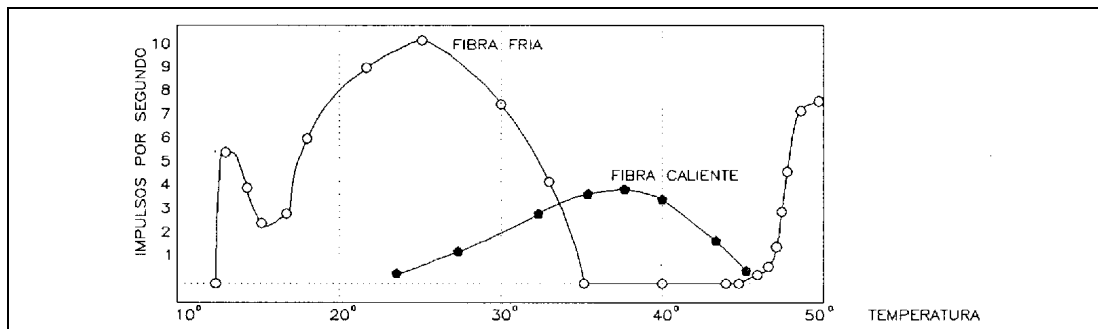


Fig. 3.6 Sentido criostésico

La respuesta térmica no sigue una ley uniforme, e incluso la denominación de fibra fría y caliente sería

discutible, ya que las curvas se superponen en ciertas zonas, desaparecen y reaparecen, etc. Por ello, en este sentido es muy importante la información añadida por otros sentidos y por la educación.

Respecto al efecto de **fusión**, en este caso la mezcla de frío y de calor produce una sensación difícil de evaluar, como la de una quemadura. También puede producirse **enmascaramiento** en el caso de sensaciones sucesivas, ya que existe una marcada persistencia de la sensación, o en el caso de áreas estimuladas próximas, con predominio en general de las sensaciones de frío sobre las de calor.

### 3.4 Sensibilidad de los sentidos al espacio

Percibimos el espacio con los dos sentidos que nos informan con más precisión de sus características, que son la vista y el oído. Normalmente ambos sentidos se complementan más de lo que imaginamos. La información acústica nos permite evaluar características del espacio que la visión, por otra parte más precisa, no puede controlar. Así, comparando los dos campos perceptivos, observamos que la limitación de la vista en la dirección posterior la compensa eficazmente el oído.

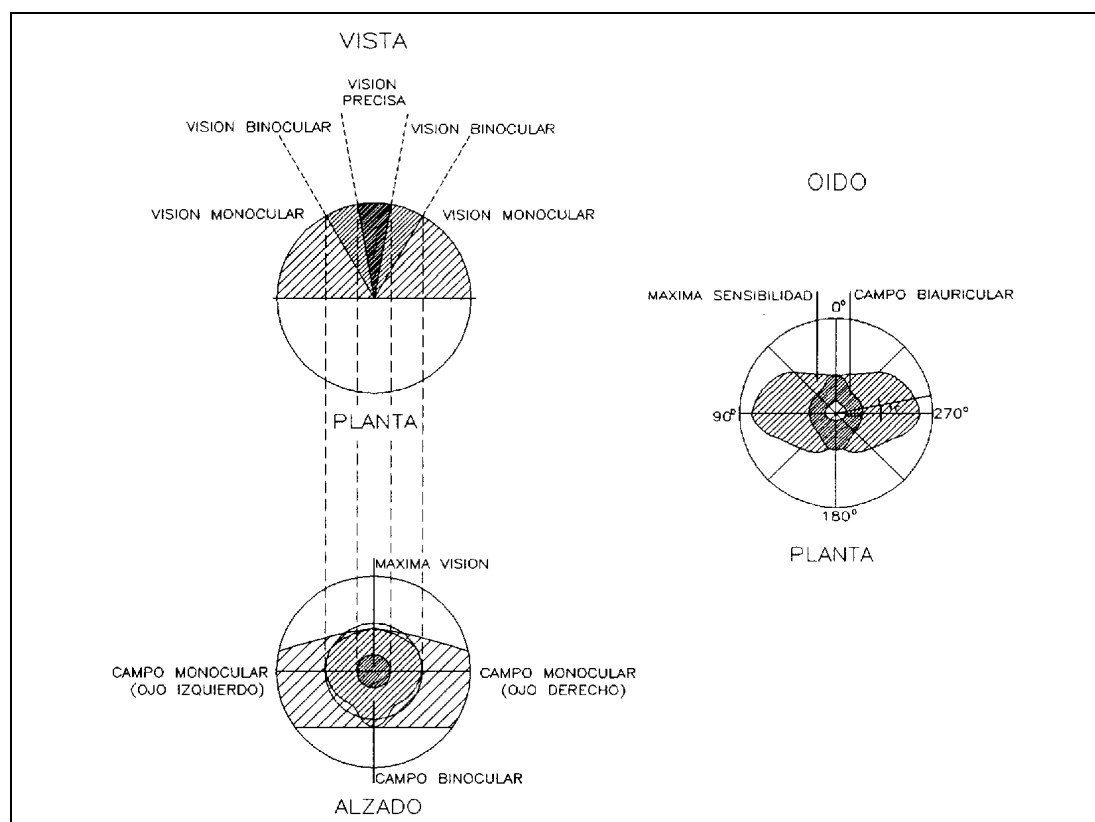


Fig. 3.7 Sensibilidad al espacio

Complementando la percepción del espacio es importante la **localización de la dirección** que, en el

caso de la vista, se hace según la dirección de la cabeza, en primer lugar, y según la dirección de los ojos después. Todo esto se controla por la acción de los músculos que controlan la orientación, que informan al cerebro, que interpreta estas señales basándose también, en gran parte, en la experiencia. En el caso del oído, en cambio, es la dualidad de los órganos sensibles (biauralidad) la que, conjuntamente con la experiencia, nos informa de la dirección de procedencia de los sonidos, con la limitación de que no se distingue la posición en altura, al estar las dos orejas al mismo nivel.

Otro elemento de la percepción del espacio es la **apreciación de la distancia** que, en el caso de la vista, se hace por combinación de distintos mecanismos. Por una parte, la deformación de la lente que se produce al enfocar la imagen permite la evaluación a cortas distancias. Por otra parte, la visión binocular permite, al cambiar la imagen de un ojo respecto a otro, saber la situación relativa de los elementos dentro del campo visual y, a la vez, por el efecto de convergencia de los ojos, evaluar las distancias próximas. Finalmente, el aprendizaje es lo que más utilizamos para saber la distancia a la que están las cosas, mediante la medida aparente de los objetos conocidos por experiencias previas, aunque nos podemos engañar fácilmente en entornos nuevos o de escala diferente a la normal.

### 3.5 Sensibilidad de los sentidos en relación al tiempo

En el caso de sensaciones persistentes o repetidas es importante saber cómo responden temporalmente los sentidos al efecto del tiempo. Existe en general una adaptación (o sea, una pérdida de sensibilidad) en los estímulos constantes, que se produce tanto a nivel del mismo órgano sensible como a nivel del cerebro. Por otra parte, también hay una persistencia de la sensación al extinguirse el estímulo, del orden de 1/10 hasta 1/20 de segundo, dependiendo de la intensidad de aquél y de la acomodación previa del sentido al estímulo. Esta persistencia es la que permite, en el caso de la luz, ver imágenes sucesivas de movimientos como continuas y que, en el caso del oído, nos obliga a separar la audición de las sílabas de las palabras para no oír las sobrepuestas.

Estos dos hechos relacionados con el tiempo son importantes, ya que influyen en nuestra adaptación a cambios de condiciones ambientales (o a cambios de ambiente) y por el hecho de que tienden a valorar siempre más la novedad que la situación estable.

En el caso de la **vista**, los conos y los bastoncillos se sensibilizan a la luminancia media del campo visual en cada momento, pero se necesita un cierto tiempo para adaptarse a condiciones nuevas eficazmente. En general, se menciona un tiempo superior a 30 minutos para pasar de la luz a la oscuridad y de más de 30 segundos para hacerlo de la oscuridad a la luz. En realidad, se trata de una curva de adaptación de tipo logarítmico, con adaptación más rápida al principio y más lenta al final.

En el caso del **oído**, los órganos de Corti también se adaptan al estímulo, pero, en este caso, tendiendo a perder sensibilidad cuando se trata de un sonido constante, cosa que hace menos molestos los sonidos uniformes que los esporádicos.

---



### 3.6 Principios generales del confort ambiental

Hasta ahora hemos analizado a nivel fisiológico los procesos perceptivos, que básicamente nos permiten conocer nuestro entorno. Además de este punto de vista, hay otro muy importante en la arquitectura, que es el de la molestia o comodidad que pueden producirnos las características ambientales de un espacio determinado. Este concepto, que normalmente designamos con la palabra "*confort*", puede ser, hasta cierto punto, independiente del de la percepción que hemos visto hasta ahora, esto queda de manifiesto al ver cómo el confort (o disconfort) puede ser una sensación inconsciente, que en muchos casos sólo reconocemos si alguna circunstancia hace que nos fijemos.

Veremos cómo en la sensación de confort de un ambiente influyen simultáneamente los estímulos recogidos por todos los sentidos, además de otros factores a veces muy difícilmente reconocibles. A pesar de ello, clásicamente se ha analizado por separado el confort dependiente de cada sentido y es curioso cómo aquel que en principio es menos "informativo" a nivel consciente (el sentido criostésico), resulta ser más importante a nivel de confort que los otros (vista y oído).

Antes de empezar con el análisis del confort de cada uno de los sentidos, deberemos distinguir claramente cuáles son los dos tipos de agente que influyen en este confort:

#### **parámetros ambientales de confort** **factores de confort del usuario**

Los **parámetros ambientales de confort** son manifestaciones energéticas, que expresan las características físicas y ambientales de un espacio habitable, independientemente del uso del espacio y de sus ocupantes. Estos parámetros pueden ser **específicos** de cada uno de los sentidos (térmicos, acústicos o visuales), y ello permitirá que, en muchos casos, se puedan "*calcular*" con unidades físicas ya conocidas (grado centígrado, decibelios, lux, etc.), al ser simplemente unidades de medida de las condiciones energéticas que se producen en un ámbito determinado. Otro tipo de parámetros son los **generales**, que afectan a todos los sentidos a la vez, como las dimensiones del espacio, el tiempo, etc.

Los **factores de confort del usuario** son condiciones exteriores al ambiente que influyen sobre la apreciación de éste. Un mismo espacio, con idénticos parámetros de confort, puede tener respuestas muy distintas según las condiciones de sus usuarios. Estas condiciones personales se clasificarán en distintos grupos, según se traten de: condiciones **biológico-fisiológicas** (herencia, sexo, edad, etc.), condiciones **sociológicas** (tipo de actividad, educación, ambiente familiar, moda, tipo de alimentación, etc.) y condiciones **psicológicas** de cada uno de los usuarios.

El confort de un ambiente, en cada uno de los casos, dependerá tanto de sus parámetros objetivos como de los factores de los usuarios. La tarea básica del arquitecto es el diseño de los ambientes habitables; su trabajo se realizará sobre los parámetros de confort, pero necesitará un buen conocimiento de la influencia de los factores para saber la repercusión real de sus decisiones.

---

### 3.7 Confort visual

La comodidad visual depende, como es lógico en un sentido básicamente informativo, de la facilidad de nuestra visión para percibir aquello que le interesa. En este sentido, el primer requerimiento será que la cantidad de luz (iluminancia) sea la necesaria para que nuestra agudeza visual nos permita distinguir los detalles de aquello que miramos. De acuerdo con esto, el primer "parámetro" es la **iluminancia (lx)**, con valores recomendables que varían según las circunstancias y las condiciones de deslumbramiento (que será el segundo parámetro que se deberá considerar en el confort visual).

El **deslumbramiento**, considerado como "*parámetro de confort*", es el efecto molesto para la visión debido a un excesivo contraste de luminancias en el campo visual. En general, este efecto se debe a que existe una pequeña superficie de mucha claridad (luminancia) en un campo visual con un valor medio bastante más bajo, normalmente a causa de la presencia de una luminaria o de una ventana.

Se distinguen fisiológicamente dos tipos de deslumbramientos: denominamos **por velo** al que produce un punto luminoso sobre un fondo muy oscuro, como una farola o una estrella en la noche, al penetrar en el ojo el rayo de luz y producirse una cierta difusión del mismo en el humor vítreo, que hace que veamos el punto luminoso envuelto de un velo o de rayos formando una cruz o estrella. Otro tipo, llamado deslumbramiento **por adaptación**, es más importante en el diseño arquitectónico, se produce al adaptarse el ojo a la luminancia media de un campo visual donde hay valores muy variables de ésta, con extremos que quedan fuera de la capacidad de adaptación visual y que, por lo tanto, no se ven.

Otra distinción de los tipos de deslumbramiento se puede hacer al considerar la incidencia en el ojo del rayo de luz excesivo. Se considera **deslumbramiento directo** el que incide en la fovea, que también se llama "*incapacitante*", ya que no permite ver prácticamente nada. Si la incidencia se da en el resto de la retina, se considera **deslumbramiento indirecto**, que puede perturbar la visión sin impedirla, y se llama también "*molesto o perturbador*". También es necesario considerar que, en muchos casos, esta misma denominación (directo/indirecto) se utiliza para definir y distinguir los deslumbramientos producidos por una fuente de luz, bien directamente, bien por reflexión en una superficie brillante (como puede ser una mesa recubierta con un cristal).

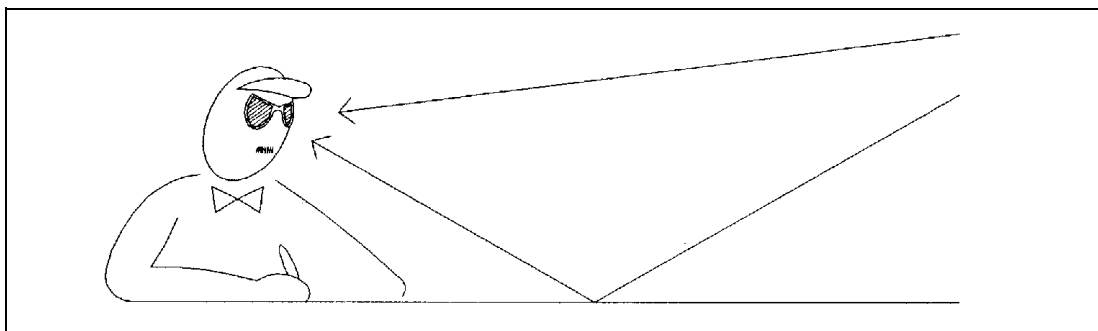


Fig. 3.8 Deslumbramiento directo y reflejado

El deslumbramiento es un fenómeno de difícil valoración, aunque se puede evaluar mediante el análisis de las diferentes luminancias presentes en el campo visual. En primera aproximación se recomiendan como valores "adecuados" para un entorno de trabajo, los contrastes de 1 a 3 entre el objeto observado y su fondo próximo, de 1 a 5 con la superficie de trabajo en general, y de 1 a 10 con otras superficies del campo de visión. En un análisis más exacto se usan los conceptos siguientes:

$$g = \frac{L_S^a T^b f(2)}{L_B}$$

donde:

$L_S$	=	luminancia de la fuente luminosa
$T$	=	ángulo sólido de la fuente desde el ojo
$f(1)$	=	función de la dirección en que llega la luz (valor 1 si llega perpendicularmente al ojo y valor 0 si llega lateralmente)
$L_B$	=	luminancia del fondo de la fuente de luz
a y b	=	coeficientes con valores típicos 1,8 y 0,8

La sensación de deslumbramiento crece con el incremento del valor de esta constante de deslumbramiento  $g$ . Como subjetivamente los incrementos de molestia por deslumbramiento siguen aproximadamente la ley logarítmica de la sensación, se define el **índice de deslumbramiento (G)**:

$$G = 10 \log_{10} g$$

A partir de un valor 10 del índice G, el deslumbramiento es perceptible, de 16 a 22 es soportable, de 22 a 28 incómodo y para valores superiores, intolerable.

Un tercer parámetro de confort visual es el **color de la luz**; mediante los conceptos de "temperatura de color" y de "índice de rendimiento en color" (ver 2.3), el tipo de color de la luz representa, además de un factor de calidad en la percepción, un elemento de molestia o comodidad a considerar. En este sentido, la gráfica de Kruithof relaciona la temperatura de color de la luz con la iluminancia, y define un campo de compatibilidad entre ambos valores.

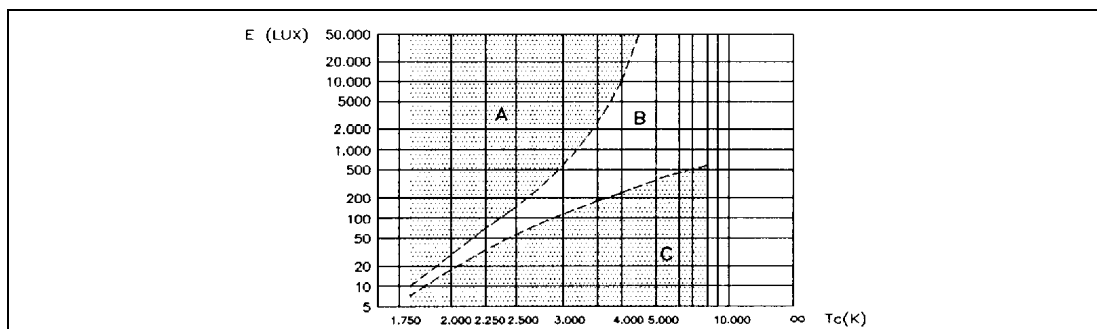


Fig. 3.9 Gráfica de Kruithof

### 3.8 Confort acústico

El confort acústico acostumbra a asociarse únicamente a la existencia de un ruido molesto. A pesar de que debemos entender como ruido la definición más amplia de este concepto (todo sonido no deseado), existen también otros factores acústicos que son importantes por su influencia en el confort.

En realidad, debemos plantear, antes del problema del ruido, cuáles son las propiedades acústicas de un espacio y su respuesta al sonido que en él se produce, incluyendo su **tiempo de reverberación**. También se debe considerar el tipo de sonido, con su **nivel** en dB y su **espectro**, o sea la repartición energética para las diferentes frecuencias y su variación en el tiempo. Por último, consideramos el contenido informativo del sonido (si lo tiene) y en consecuencia, si es un sonido deseado o no.

Clásicamente, se distinguen como tipos de ruidos, **según su nivel**:

*destructores*, cuando tienen más de 95-100 dB y afectan físicamente el sentido del oído de manera permanente,

*excitantes*, cuando tienen entre 50-90 dB y 95-100 dB, muy molestos pero sin llegar a causar lesiones permanentes,

*irritantes*, para niveles inferiores, donde se produce molestia por el hecho de ser sonidos indeseados.

Otra distinción más significativa, es **según su repercusión**, distinguiendo los sonidos que molestan:

*por su nivel*, según los dos primeros tipos del párrafo anterior, de los que lo hacen

*por su tipo*, claramente sonidos no deseados y que normalmente tienen su origen en sonidos informativos que no nos interesan para nada y que podríamos llamar "*de información sobrante*".

Finalmente, existen los sonidos "*de enmascaramiento*", que nos molestan porque no nos dejan oír aquello que queremos percibir. Estos son a menudo sonidos de información sobrante, pero pueden ser simplemente el resultado de pérdidas acústicas de motores, vehículos, etc. sonidos que podríamos llamar de "*contaminación o escoria acústica*".

Al ser muy difícil la clasificación de los ruidos según su carácter, lo que se hace normalmente es prescindir de su composición y clasificarlos según su nivel y su distribución temporal.

Desde este punto de vista, se debe tener presente cómo la molestia del ruido depende en gran medida de su constancia en el tiempo, hasta el punto de que, a menudo, es más molesto un ruido discontinuo que uno constante, que llega a convertirse en un ruido de fondo del cual perdemos consciencia de su presencia. Debido a ello, normalmente se valora el ruido en el tiempo distinguiendo el "*ruido punta*" que sólo se produce en intervalos pequeños de tiempo, del "*ruido de fondo*", que es prácticamente constante todo el tiempo. Los valores en dB de los dos tipos, y especialmente su diferencia, son lo que nos informa mejor de la molestia producida.

---

### 3.9 Confort climático

Al considerar el confort climático distinguimos dos campos generales (aunque, a veces, relacionados): el primero es la **calidad del aire** para la respiración, con sus posibles olores, tema de difícil evaluación y que, en la práctica se considera indirectamente, fijando como parámetro la **renovación del aire** del local, con su caudal absoluto ( $m_3/h$ ) o relativo al volumen del local ( $r_h = m^3/m^3h$ ).

El segundo campo a considerar, mucho más estudiado, es el del **confort térmico**, donde intervienen los complejos fenómenos energéticos de intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente. El ser humano, como animal de sangre caliente, mantiene una temperatura interior constante frente a las variaciones exteriores y usa para ello los mecanismos de regulación conocidos como "homeostasis".

El cuerpo produce energía a partir de los alimentos, por procesos metabólicos (oxidación de grasas), que hacen funcionar los distintos órganos del cuerpo y sirven para fabricar tejidos. En general, el consumo de energía es proporcional al peso de la persona y depende de su grado de actividad.

Cuando se realiza un trabajo, un 20% de la energía usada se transforma en trabajo mecánico, mientras que el resto se transforma en calor. Esta producción de calor compensa las pérdidas que tenemos hacia el exterior, y mantiene estable la temperatura, que es lo que da sensación de confort. Si el equilibrio no existe, al aumentar o disminuir la temperatura interna, se produce una sensación de molestia.

La disipación de calor se produce en gran parte por la piel, mediante el proceso de conducción-convección del aire y el de radiación, todo ello **calor sensible** juntamente con la mayor temperatura del aire espirado en relación al inspirado. Además, también existe la eliminación de calor por evaporación mediante la transpiración y con el agua eliminada en la respiración, que es **calor latente**.

Estos sistemas de eliminación de energía están gobernados por la homeostasis, que permite que el cuerpo regule la producción de calor y su pérdida para mantener el equilibrio. Estos órganos actúan modificando el flujo sanguíneo, el metabolismo, la cantidad de transpiración y el ritmo respiratorio.

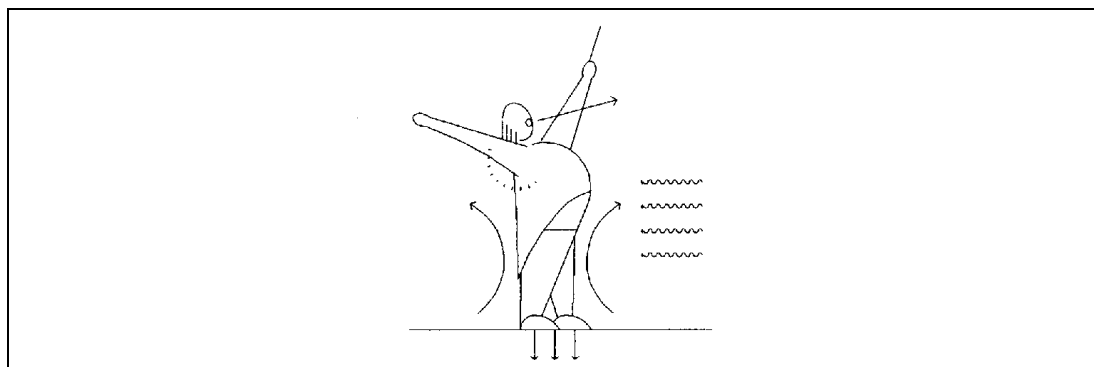


Fig. 3.10 Sistemas de intercambio energético cuerpo-ambiente

De acuerdo con estos sistemas de eliminación de energía del cuerpo humano, los "parámetros térmicos" de un ambiente serán los que influyen sobre los mismos, o sea:

**Temperatura del aire** que envuelve el cuerpo, que regula la cesión de calor por conducción-convección y por respiración.

**Temperatura de radiación**, media ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes.

**Humedad relativa del aire**, que modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración.

**Velocidad del aire** respecto al cuerpo, influyente en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración.

La acción de los cuatro parámetros es conjunta, aunque actúen sobre mecanismos hasta cierto punto diferentes. La sensación global del cuerpo puede ser independiente de que un mecanismo determinado o una parte del cuerpo concreta esté recibiendo una percepción contraria al efecto conjunto. Este hecho hace que, hasta cierto punto, se puedan compensar sensaciones exageradas y que cualquier evaluación de las cualidades térmicas de un espacio deba tener en cuenta obligatoriamente los cuatro parámetros a la vez.

Respecto a los "factores de confort térmico", el más importante es el **grado de actividad** que, influye directamente sobre el metabolismo. También es muy importante el **tipo de vestido**, barrera térmica que influye sobre todo por su resistencia térmica, pero también por su comportamiento al paso de la humedad. En sentido estadístico, influyen **la edad, el sexo y la educación**, dependiendo además todos ellos, del grado de **habitación** a unas determinadas circunstancias climáticas. En este mismo sentido también influye la **situación geográfica** (más resistencia al frío en los países de clima más frío) y la **época del año**, donde a temperaturas iguales corresponden sensaciones diferentes (el frío se nota más en verano), quizás debido a la variación del ritmo vital según las estaciones, hecho que se acusa más en las personas que viven al aire libre.

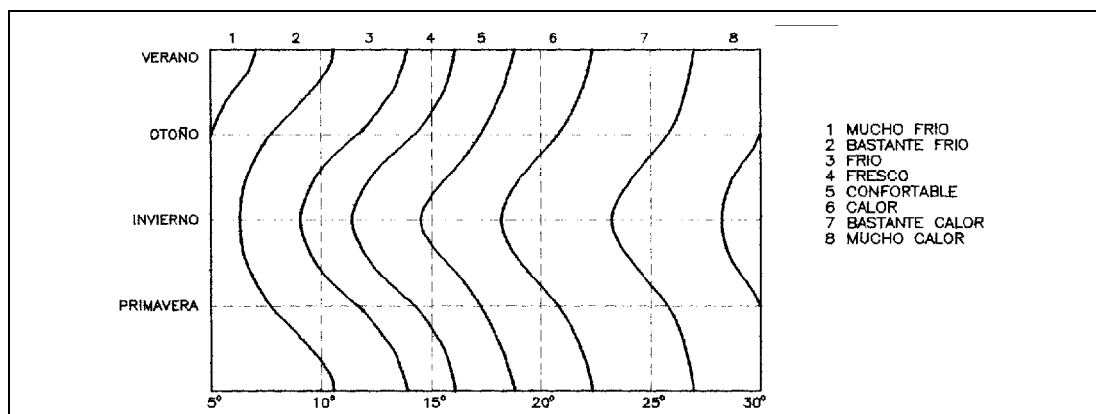


Fig. 3.11 Gráfica de sensación biotérmica

A partir de los parámetros y de los factores de confort térmico comentados, se han hecho diversos intentos de valoración conjunta de una parte o de todos ellos, intentando calcular estadísticamente el confort que producen. Entre estos estudios comentaremos algunos de los más conocidos:

### Gráfica de Victor Olgyay

Es una gráfica que estudia el medio ambiente exterior, teniendo presentes directamente dos parámetros de confort térmico: la temperatura del aire y la humedad relativa. Considera indirectamente como correcciones los otros dos parámetros: radiación y movimiento del aire. Define una "zona de confort" muy amplia, sin valorar los factores de confort, que podrían hacerla cambiar bastante. Resulta una gráfica útil para estudiar la variación diaria o anual del clima típico de un emplazamiento, ya que se pueden representar las condiciones de éste sobre la gráfica.

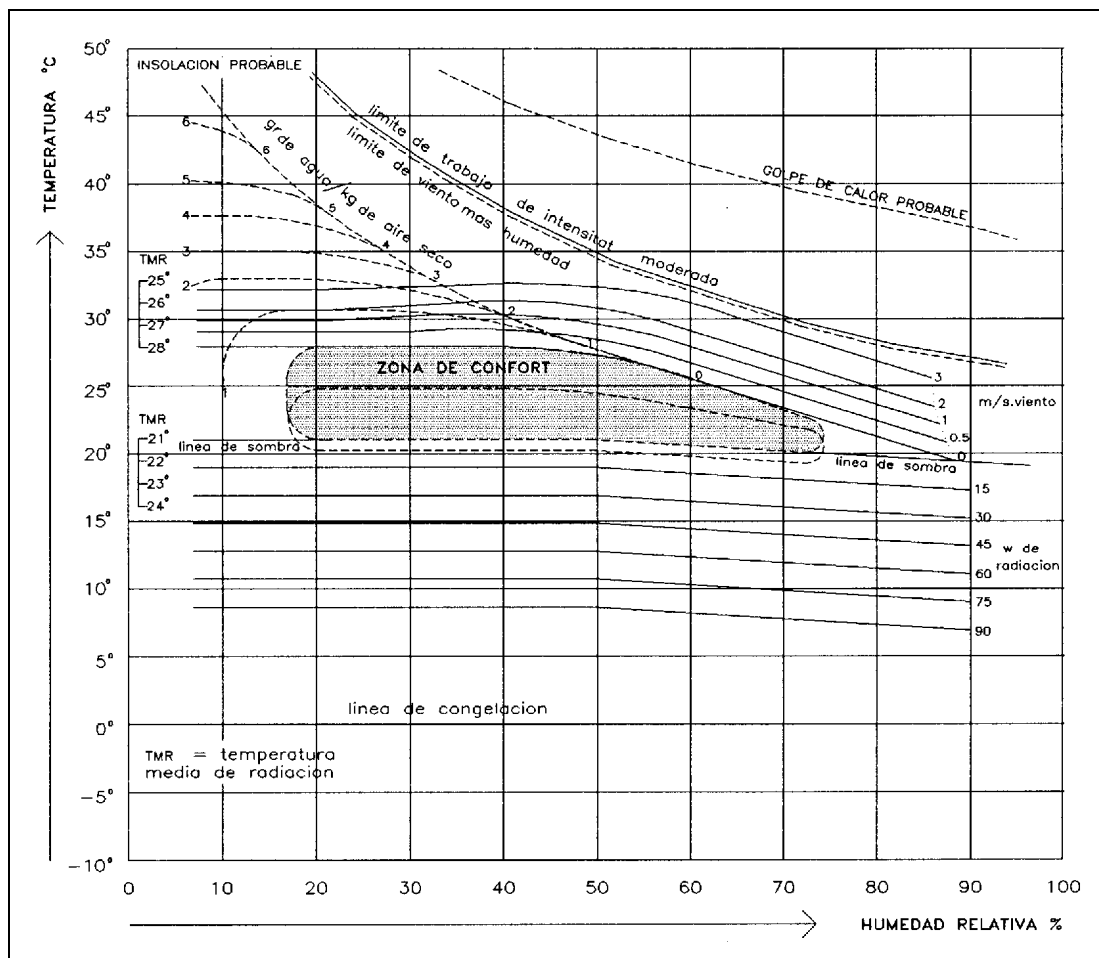


Fig. 3.12 Gráfica de Victor Olgyay

### Ábaco de Missenard

Nos relaciona los dos parámetros de confort térmico expresables como temperatura, o sea, la temperatura del aire y la de radiación. En su momento representó una forma nueva y más completa de valorar el confort de invierno, que hasta entonces sólo se hacía con la temperatura del aire.

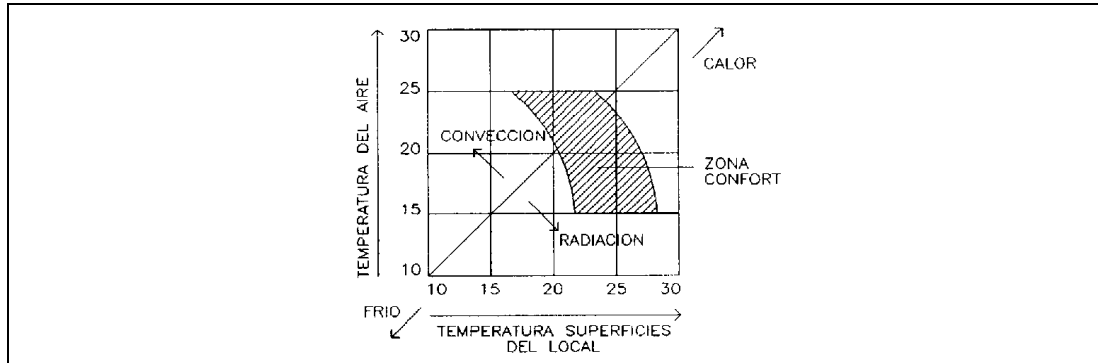


Fig. 3.13 Ábaco de Missenard

### Ecuación y ábaco de Givoni

Estableciendo la teórica situación de equilibrio entre pérdidas y ganancias del cuerpo, resulta:

$$M - W \pm R \pm C - E = \dot{Q}$$

donde:

- M = metabolismo
- W = energía transformada en trabajo mecánico
- R = intercambio de calor por radiación
- C = intercambio de calor por convección
- E = refrigeración evaporativa de la transpiración
- $\dot{Q}$  = variación del contenido calorífico del cuerpo (en condiciones normales  $\dot{Q}$  . constante).

Para valorar, a partir de aquí, la sensación de confort, Givoni hace la evaluación de la cantidad de transpiración necesaria S (sudoración, valorada en unidades energéticas por unidad de tiempo), para mantener el equilibrio térmico del cuerpo. Este sistema tiene sentido especialmente en situaciones de exceso de calor, y su desarrollo es de la forma siguiente:

$$E = M - W \pm R \pm C - \dot{Q}$$



Esta refrigeración **E**, depende de dos valores:  $E = fS$

donde: **E** = refrigeración evaporativa por transpiración  
**f** = eficacia fisiológica de la refrigeración de la transpiración  
**S** = cantidad de transpiración (en unidades de calor por tiempo)

El coeficiente **f** expresa cómo la refrigeración del cuerpo por evaporación de la transpiración no es igual al calor latente potencial de esta transpiración, al perderse una parte de la evaporación en el aire ambiente y no en la piel. Este coeficiente se puede valorar:

$$f = e^{0,6} (E/E_{\text{máx}} - 0,12)$$

donde: **E** = refrigeración por transpiración ya definida  
**E<sub>máx</sub>** = capacidad máxima por persona de evaporación de aire =

$$E_{\text{máx}} = p v^{0,3} (42 - v \text{ Pa})$$

donde: **v** = velocidad del aire en m/s  
**Pa** = presión del vapor en mm Hg  
**p** = coeficiente según vestido: **p** = 31,6 semidesnudo  
**p** = 20,5 ropa de verano  
**p** = 13 ropa de invierno

El esfuerzo fisiológico de la sudoración, representado por el valor de **S**, nos representará los efectos combinados del metabolismo, de los 4 parámetros ambientales de confort térmico y del vestido:

$$S = E / f$$

Además de este análisis del confort, también realizó Givoni un estudio en el ábaco psicrométrico de la zona de confort y de la relación de ésta con los posibles sistemas de corrección mediante soluciones arquitectónicas, para condiciones fuera de la citada zona.

Las posibles correcciones se definen con zonas del ábaco donde se considera que se puede volver al confort usando, según los casos, refrigeración evaporativa, inercia térmica, movimiento del aire, etc.

---

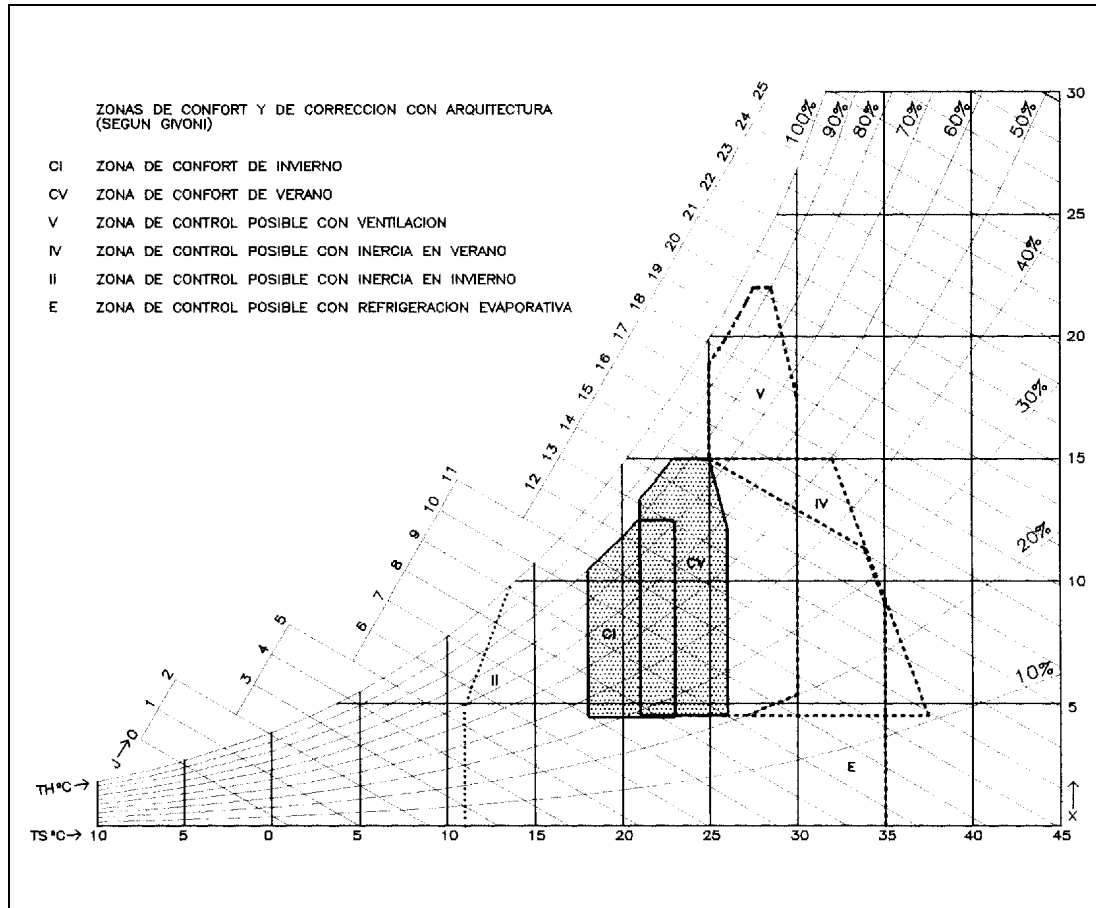


Fig. 3.14 Zonas de corrección arquitectónica sobre el ábaco psicrométrico

La definición de una zona de confort debe considerarse siempre como relativa, teniendo presente los cambios que pueden representar los factores de confort que no se definen. De este modo, la zona de confort para invierno se debe considerar a temperaturas más bajas que la de verano, así como la correspondiente a un alto grado de actividad o a un vestuario más pesado. Por este motivo, tanto en este gráfico como en los otros, debemos considerar flexiblemente las zonas de confort y las posiciones que ocupan las correcciones para condiciones fuera del confort.

### Ecuaciones de Fanger

P. O. Fanger plantea una ecuación similar, con datos estadísticos obtenidos a partir de las respuestas en laboratorio de gran cantidad de personas. Fanger varía, no solo los cuatro parámetros, sino también algunos factores: trabajo mecánico, aislamiento de la ropa, relación superficie vestida/desnuda, etc. En su estudio se define la resistencia térmica de la ropa con una nueva unidad, el CLO, donde el traje típico de trabajo masculino vale 1 CLO (equivalente a  $0,155 \text{ m}^2 \text{ EC/W}$ ), el esquimal 3 CLO, etc.

En la ecuación de equilibrio:  $M - W = E \pm R \pm C \pm Q$ , Fanger modifica sistemáticamente cada variable y las relaciona con distintos factores, hasta obtener las condiciones equivalentes de confort. Los resultados se analizan con siete respuestas tipificadas:

mucho frío	=	-3
un poco de frío	=	-2
neutro	=	0
un poco cálido	=	+1
cálido	=	+2
muy cálido	=	+3.

Estos resultados demuestran que siempre se encuentra, como mínimo, un 5% de insatisfechos.

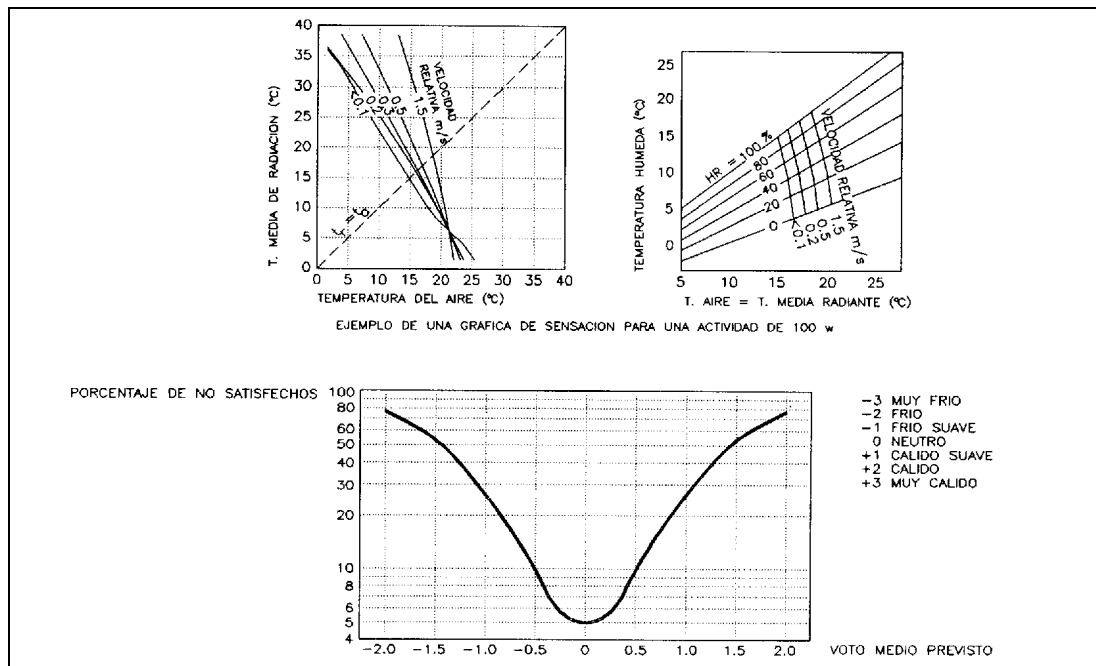


Fig. 3.15 Gráfica de confort de P. O. Fanger

Otros análisis posteriores han intentado, más que definir zonas de confort estrictas, valorar con más elasticidad las relaciones entre los diferentes parámetros y la de éstos con los factores.

### Parametrización simplificada del confort térmico

Existen diversos sistemas, además de los considerados, para evaluar los estados de confort térmico con diferentes valores de los parámetros básicos de confort. Uno de los más simples y útiles, en una aproximación arquitectónica, es el de establecer para conjunto de los cuatro parámetros (temperatura del aire, temperatura de radiación, humedad y velocidad del aire) un valor de temperatura equivalente.

Diferentes autores han propuesto fórmulas de este tipo. En nuestro caso utilizamos la siguiente:

$$T_{\text{equivalente}} = 0,6 T_{\text{aire}} + 0,4 T_{\text{radiación}} + 2,85 \ln(v + 1) \operatorname{Th}\left(\frac{T_{\text{aire}} + 37,5}{5}\right) + 2 \operatorname{Sgn}(0,5 + \operatorname{HR}) \operatorname{Th}\left(\frac{17 + T_{\text{aire}}}{4}\right) \operatorname{Th}\left(\frac{\operatorname{HR} + 0,5}{0,25}\right)$$

- donde:  $T_{\text{aire}}$  = temperatura del aire
- $T_{\text{radiación}}$  = temperatura media de las paredes
- $v$  = velocidad del aire interior
- $\operatorname{HR}$  = humedad relativa unitaria
- $\operatorname{Th}(x)$  = tangente hiperbólica de  $x$
- $\operatorname{Sgn}(x)$  = signo de  $x$

Las funciones tangente hiperbólica y signo tienen los valores siguientes:

$$\operatorname{Th}(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

$\operatorname{Sgn}(x)$	= +1	si $x > 0$
	= -1	si $x < 0$
	= 0	si $x = 0$

Esta fórmula tiene presentes los efectos negativos de la humedad en condiciones de invierno y una valoración no lineal del efecto del viento, hecho que en este momento no hacen otras fórmulas.

---

### 3.10 El confort global

Al considerar el confort de un ambiente se deberán tener en cuenta simultáneamente los estímulos que llegan al ocupante por los diferentes sentidos y especialmente, desde el punto de vista arquitectónico, por la vista, el oído y el sentido criostésico. Está demostrado que existen influencias de distintos tipos entre las percepciones de los diferentes sentidos, por lo que el análisis independiente puede llevar a errores graves en la valoración de la comodidad de un espacio determinado.

Por otra parte, en muchos casos, no existe una distinción clara entre sensación y percepción. Aunque la consciencia de la reacción que nos provoca un estímulo no significa que cambie nuestra sensación, en muchos casos existen reacciones claramente provocadas por el "*conocimiento*" de la presencia del estímulo, hecho que se deberíamos tener en cuenta. Este tipo de reacciones corregidas por el "*conocimiento*" pueden seguir leyes de respuesta comunes para los diferentes sentidos.

De la misma manera se ha probado, en estudios que comentaremos más adelante, que existen interrelaciones a nivel psicológico entre las percepciones de diferentes sentidos (sinestesias), hecho que también confirma el interés en plantear globalmente el tema del confort.

Antes de tratar los posibles caminos de evaluación del confort global haremos una **crítica general a los sistemas de valoración del confort**. Los actuales métodos dan, en las mejores condiciones, un porcentaje de entre un 5 y un 10 % de gente insatisfecha, y podemos atribuir esto a diferentes causas:

- a) Errores en la recogida de los datos experimentales, que podríamos llamar "*ruido de fondo*".
- b) Ausencia de registro de las correlaciones de tipo psicológico, como los efectos "*sinestésicos*" entre diferentes sentidos, estado psicológico de los sujetos experimentales, ausencia de conocimiento del tipo psicológico de cada uno, etc.
- c) Dispersión, a nivel puramente fisiológico, de las necesidades individuales, según edad, sexo, salud, etc., no registrada en la evaluación.
- d) Efecto de la "*variabilidad temporal*", donde deberíamos tener presente que el ser humano tiene una necesidad fisiológica y psicológica de recibir estímulos cambiantes, y muchas veces esto se olvida en diseños de ambientes teóricamente "perfectos", pero muy "estáticos". A este respecto, deberíamos también considerar el efecto del cambio de condiciones sobre la adaptación de los individuos, tantas veces olvidado al valorar el confort de los espacios.

A partir de aquí, establecemos las bases para un **método general de evaluación del confort global**, que debería incluir, en primer término, las funciones correspondientes a las sensaciones visuales, auditivas y climáticas (térmicas y de calidad del aire). Estas funciones deberán relacionarse entre ellas formando una nueva función general de confort, donde intervendrán los elementos antes citados.

---

En primer lugar, los parámetros generales actuarán sobre las diversas funciones, con diferentes coeficientes para cada una.

En segundo lugar, los factores sociales, fisiotemporales, fisiológicos y psicológicos, modificarán los índices de las funciones, y también se establecerán las correcciones para efectos sinestésicos en cada una de ellas.

Finalmente la valoración global se hará ponderando relativamente los efectos parciales de confort, de acuerdo con su importancia, según los factores más críticos para cada sentido.

En todo el proceso no se puede considerar únicamente el confort en un sentido negativo "*de ausencia de molestia*", ya que, en muchos casos, pueden existir efectos positivos de mejora que las fórmulas han de poder expresar.

Empecemos por resumir los elementos que intervienen en la valoración:

### **PARÁMETROS DE CONFORT AMBIENTAL**

En primer lugar tenemos la tabla que resume los **parámetros específicos** de confort ambiental, en función de los sentidos, y a continuación un resumen de los **parámetros generales**.

SENTIDOS	EFEECTO ENERGÉTICO	PARÁMETROS ESPECÍFICOS	UNIDADES
<b>térmico</b>	$I_t = I_{\text{conducción/convección}}$ + $I_{\text{radiación}}$ + $I_{\text{evaporación}}$	Temperatura del aire....(Ta) Efecto radiante.....(Tr) Humedad.....(h) Velocidad del aire.....(v)	EC W/m <sup>2</sup> gr/kg m/s
<b>acústico</b>	$I_{\text{acústica}}$	Distribución espectral de intensidades... $I_{(f)}$	W/m <sup>2</sup> /Hz
<b>visual</b>	$I_{\text{luminica}}$	Iluminancia energética.... $E_{(f)}$	W/m <sup>2</sup> /m

<b>PARÁMETROS GENERALES</b>
direccionalidad de los efectos
variaciones en el tiempo
variaciones en el espacio

## FACTORES DE CONFORT

Aquí resumimos en una tabla los factores de confort del usuario.

FACTORES DE CONFORT	
<b>sociales</b>	tipo de actividad, vestido, etc.
<b>fisiotemporales</b>	aclimatación en períodos cortos o largos
<b>fisiológicos</b>	anatomía y fisiología del usuario
<b>psicológicos</b>	tipo de carácter, educación, sinestias

A partir de aquí, podemos plantear las siguientes relaciones:

$$\text{Sensación térmica: } S_{\text{térmica}} = f(T_a, T_r, h, v)$$

$$\text{Sensación lumínica: } S_{\text{lumínica}} = f(E, L, T_c, I_{rc})$$

$$\text{Sensación acústica: } S_{\text{acústica}} = f(N, f, T_r)$$

$$\text{Sensación global: } S_{\text{global}} = f(S_{\text{térmica}}, S_{\text{lumínica}}, S_{\text{acústica}}, \text{param. gen., factores})$$

En términos más generales, la ecuación puede presentarse:

$$S_k = f_{i=k}(P_i, P_i^t, Fc) + E_{j=k} f_j(P_j, P_j^t, P_j^e, Fc)$$

$$S_{\text{global}} = M(S_k)$$

- siendo:
- $S_k$  : cálculo del confort (térmico, acústico o lumínico)
  - $f_{i=k}$  : influencia de un parámetro determinado en el cálculo del confort k considerado
  - $P_i$  y  $P_j$  : los parámetros específicos para cada sentido
  - $P_i^t$  : la derivada en el tiempo del parámetro específico i o j
  - $P_i^e$  : la derivada en el espacio del parámetro específico i o j
  - $Fc$  : los factores de confort aplicables en cada caso
  - $f_{j...k}$  : influencia de los restantes parámetros en el cálculo del confort k considerado
  - $S_{\text{global}}$  : cálculo del confort global, incluyendo los efectos sinestésicos
  - $M$  : función que relaciona los diferentes tipos de sensaciones

La definición de esta fórmula se está desarrollando actualmente, aunque la variación de todas las influencias que aparecerán como parámetros o coeficientes requerirá una larga tarea de toma de datos y de experiencias.

## Capítulo 4 Definición psicológica del ambiente

### 4.1 La sensación y la percepción

Muchas veces en psicología experimental se habían considerado las sensaciones y percepciones como procesos diferenciados, que participan de manera diversa e individualizable en la relación organismo-ambiente, pero actualmente este punto de vista no está aceptado por la mayoría de los especialistas.

Las sensaciones se consideraban como elementos sencillos formando parte de la percepción, que no era más que el resultado de la elaboración y organización de las sensaciones hecha en el sistema nervioso central del individuo.

Diferentes experimentos prácticos demostraron que esta hipótesis no era válida, como, por ejemplo, al estudiar el tiempo de reacción al estímulo de letras aisladas o de palabras cortas, que era más rápida en el caso de las palabras (elaboración) que en el de letras (unidades de estímulo . sensación).

Al no poder hacer una distinción clara entre sensación y percepción, se empezó a considerar la primera como una construcción hipotética, y se tendió a utilizar el término "*respuesta sensorial*" en lugar de sensación. Según esto, la percepción se define como una "*respuesta sensorial influenciada por el aprendizaje y la experiencia previas, teniendo, además, una intencionalidad*". Como conclusión, todo se reduce a respuestas sensoriales, que pueden ser de dos tipos, unas "*fijas*" (sensaciones) y otras "*variables*" (percepciones), con lo cual volvemos en cierta forma al principio, percepciones y sensaciones forman parte de un mismo fenómeno de forma inseparable y en el mismo la percepción puede caracterizarse un poco más, ya que presupone un grado superior de "*consciencia*" del individuo.

---



## 4.2 El aprendizaje del proceso perceptivo

Entendemos que el proceso perceptivo empieza con la captación, mediante unos receptores (los sentidos) de los estímulos complejos, cambiantes y confusivos del entorno. Estos estímulos (luz, presión, calor, etc.), son transformados en impulsos nerviosos mediante una "*primera codificación*". Los impulsos se transmiten por el sistema nervioso hasta el cerebro, donde son interpretados y generan "*imágenes*", o sea que se produce una "*segunda codificación*" del ambiente que nos rodea.

Podemos suponer que la primera codificación, estímulo-impulso, forma parte de los mecanismos reflejos innatos. Por contra, la segunda codificación, impulso-imagen mental, requiere un aprendizaje que la mente humana va desarrollando en un proceso complejo, del cual podemos resumir algunas etapas:

- a) Entre los 3 y 5 meses de vida se realiza la asociación de las diferentes impresiones sensoriales.
- b) Hacia los 12 meses comienza la interiorización de la permanencia del objeto, y se inicia la correspondencia imagen-palabra.
- c) Hacia los 24 meses, los objetos ya están clasificados según sus cualidades y existe un **código de referencia**, donde sensaciones determinadas se asocian con una **imagen mental** preexistente.

Poco a poco, el código se va perfeccionando con el incremento del número de imágenes. En muchos casos, cuando no existe la imagen previa, se capta pero no se puede interpretar. En estos casos existen dos opciones: o bien se rechaza la "*impresión*" y no hay percepción consciente, o bien se produce una ampliación del código, incluyendo en él la nueva "*impresión*". Este proceso se da también en los adultos, con dificultad creciente con la edad para integrar nuevas imágenes o conceptos en el código.

Como veremos más adelante, este sistema del código de referencia comporta, además, la existencia de un **lenguaje**, donde cada una de las imágenes lleva asociada una **palabra** que la define. Es importante comprobar que sin lenguaje no existe realmente percepción o, como mínimo, que esta percepción no puede manifestarse. Existe, pues, una asociación estrecha imagen-palabra, que no puede romperse, y que condiciona totalmente nuestra comprensión del mundo.

Resumiendo el proceso, cualquier conocimiento de la realidad objetiva nace de la excitación sensorial producida al captarse, a través de los receptores altamente especializados de los sentidos, las diferentes manifestaciones energéticas del ambiente, analizables como hechos objetivos. Sólo podemos, por lo tanto, contactar con nuestro entorno mediante un proceso tan discriminado como éste. A pesar de ello, este proceso de captación discriminado culmina en una integración globalizadora, con la cual se llega a establecer la "*relación biunívoca*" entre el conocimiento subjetivo de la realidad y la propia realidad objetiva. Esta integración de las partes es lo que llamamos normalmente "percepción" y, en cambio, la simple captación de las partes la consideramos "*excitación sensorial*".

---

Todo el aprendizaje del proceso perceptivo está condicionado doblemente. Por una parte influyen las **características fisiológicas** del individuo (sordos, ciegos a los colores, etc.) y, por otra, lo hacen los **aspectos histórico-culturales** involucrados en el aprendizaje, todo ello a nivel de asociación total de los diferentes estímulos sensoriales.

A veces, la asociación de las impresiones sensoriales es contradictoria, y se producen las que conocemos como "*ilusiones ópticas*", llamadas así porqué, en general, un 80% de nuestras impresiones son captadas por la vista. Ejemplos de estas ilusiones son el experimento de las gafas inversoras con el que comprobamos que podemos llegar a habituarnos a una visión invertida del mundo, o el experimento de Ames, por el que percibimos como distintas en tamaño dos figuras iguales, engañados por las leyes de la perspectiva.

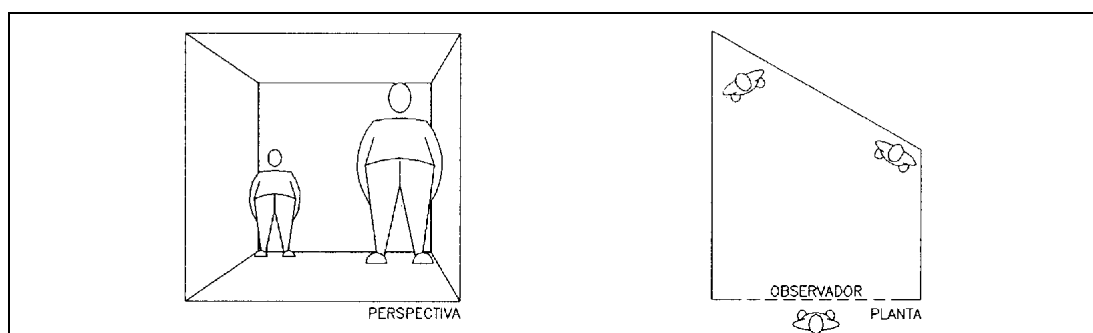


Fig. 4.1 Experimento de Ames

Aunque los niveles físico y fisiológico de la percepción son básicamente de tipo hereditario, lo que significa que son más constantes en la vida de los individuos, el nivel psicológico, en cambio, se adquiere básicamente por aprendizaje, lo cual lo convierte en más variable. En este sentido debemos tener presente que, en el ser humano, el período de aprendizaje abarca un período de tiempo muy superior al de los otros animales.

A partir de la existencia de un código de imágenes sensoriales, que es el que permite interpretar las impresiones sensoriales, la reacción individual frente a un ambiente determinado se condiciona a causa de la existencia, para cada caso en particular, de dos tipos posibles de estímulos:

Los **inmutables** o conocidos, que ofrecen facilidad de interpretación, tranquilidad y regularidad.

Los **mutables** o desconocidos, que producen dificultades de interpretación, tensión e inseguridad respecto del entorno.

Más adelante veremos cómo estas reacciones deben ser consideradas en cualquier proceso de diseño ambiental.

### 4.3 Principios fundamentales del proceso perceptivo

El proceso perceptivo incluye en su desarrollo una compleja interacción de los diferentes estímulos sensoriales. Aunque es muy difícil establecer reglas generales de un proceso aún poco conocido, está comprobado que existen unos principios fundamentales que siempre se cumplen.

- 1°. **Cualquier percepción no es el resultado de una única estimulación**, siempre que existan diferentes estímulos simultáneos, internos o externos. De acuerdo con esto:
  - a) No existen estímulos aislados de la realidad y sólo se puede plantear este caso como una abstracción teórica.
  - b) El estado de ánimo y la motivación afectan, como estímulos internos, a cualquier proceso perceptivo.
  - c) Una vez ha sido establecida una conducta bajo unos estímulos determinados, frecuentemente ésta se mantiene al cambiar alguno de los estímulos y mantenerse los otros (principio de generalización o de inducción de los estímulos).
- 2°. **Toda percepción es el resultado de las características innatas del individuo y, a la vez, de un proceso de aprendizaje**. De acuerdo con esto:
  - a) Las características psicológicas condicionan el proceso perceptivo.
  - b) La herencia cultural y de aprendizaje de nuestros antepasados puede llegar a condicionar, desde el primer momento, nuestro propio proceso perceptivo (en los experimentos del profesor Lorenz, los patos recién nacidos siguen el primer objeto móvil que ven al nacer, como si fuese su madre, tanto si es una caja con ruedas como el propio profesor).
  - c) El aprendizaje y la experiencia actúan como reguladores y jerarquizadores de las diferentes estimulaciones. Ésto facilita, a veces, el proceso perceptivo (situaciones usuales reconocidas) y, otras veces lo dificultan (situaciones extraordinarias, ilusiones perceptivas, etc.).

### 4.4 Los factores de la percepción y la Gestalt

Haciendo un análisis experimental de las respuestas a unos estímulos perceptivos determinados, visuales, se definieron unas pautas de respuesta que quedan recogidas en los llamados "*factores de la percepción*". Estos factores se pueden clasificar en dos grupos, los constantes y los variables.

**a) Factores constantes** son los que evidencian que, en la percepción de una serie de elementos, éstos se tienden a agrupar en lugar de quedar aislados individualmente. Los principios o "*leyes de agrupación*" que rigen la captación visual de los objetos son los siguientes:

---

**Proximidad:** Los elementos en proximidad de otros elementos, o próximos entre sí, tienden a verse como integrados.

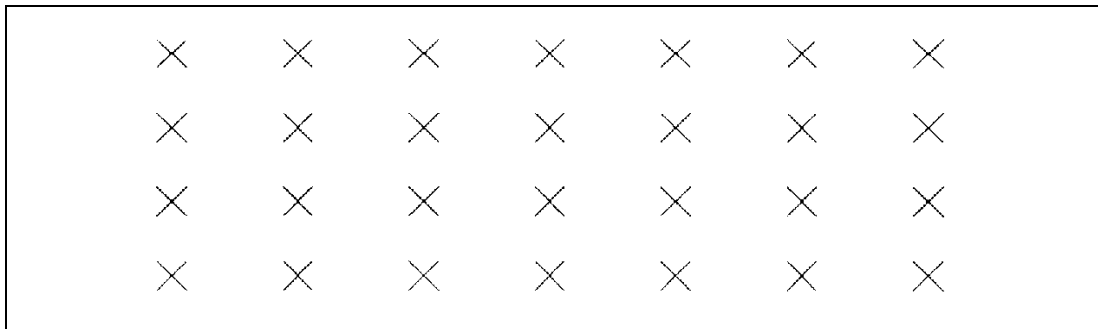


Fig. 4.2 Proximidad

**Semejanza:** Los elementos parecidos entre sí se agrupan, con exclusión de otros elementos diferentes que puedan estar presentes.

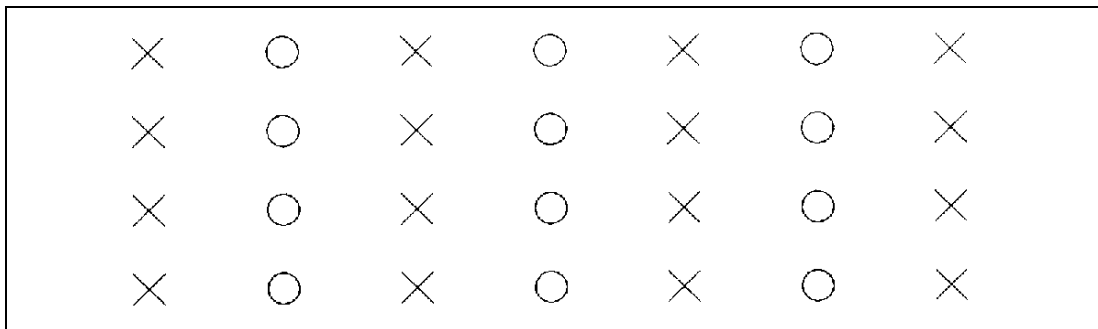


Fig. 4.3 Semejanza

**Dirección:** Los elementos que continúan la dirección de la colocación de elementos anteriores, tienden a verse agrupados con éstos.

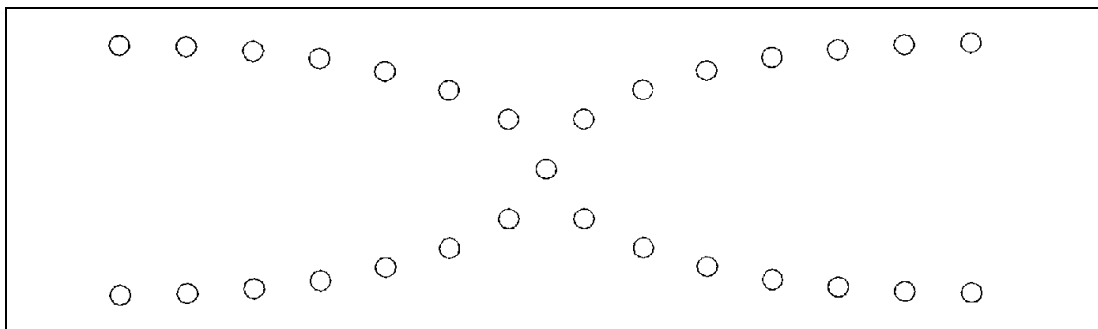


Fig. 4.4 Dirección

b) **Factores variables** son los que demuestran que la percepción no consiste en la simple adición de sensaciones, sino en una cualidad que resulta de interacciones dinámicas. Esto se presenta según los factores siguientes:

**Cambio:** El valor perceptivo de un elemento simple depende del valor perceptivo de los elementos que lo rodean. Según esto, un elemento toma su significado de acuerdo con el fondo en que se encuentra (un papel gris sobre un fondo rojo tiene un tono verde-azulado y sobre un fondo azul intenso queda amarillento).

**Constancia:** Es el factor que permite identificar los objetos y que se presenta en diferentes variantes:

La **constancia del objeto** es la que hace reconocer éste en distintos puntos de vista en los que su forma se ve cambiada (el plato donde comemos puede aparecer como un círculo, una elipse o una línea, pero, para nosotros, es siempre el mismo plato).

La **constancia de la medida** es la que hace que veamos siempre de la misma medida un objeto conocido, aunque ópticamente se vea distinto según la distancia (una persona observada en una calle no parece que vaya creciendo al acercarse).

La **constancia del color** es la que nos hace ver un objeto del color "*previsto*", aunque las condiciones de observación hayan cambiado su verdadero color (la nieve, que vemos blanca de noche, cuando objetivamente es oscura, una vaca negra a la luz del sol y una blanca a la sombra, que conservan su color aunque la negra se presenta "*objetivamente*" a nuestros ojos con un color más claro).

**Fluctuación:** Caso paradójico que se presenta cuando una figura, que por un lado hemos visto que cambia según su entorno y que a la vez se mantiene constante para nosotros a pesar de los cambios, además resulta que presenta esta dualidad en un objeto fijo y en condiciones invariables. Es el caso de figuras que permiten dobles interpretaciones, entre las cuales "*fluctúa*" la percepción.

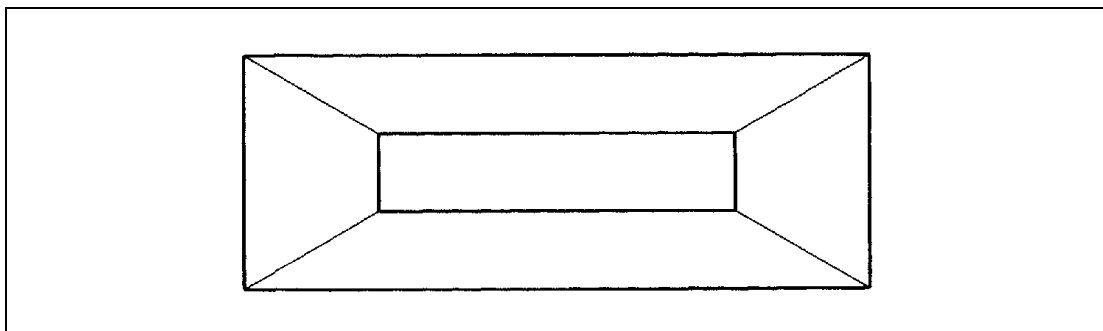


Fig. 4.5 Fluctuación

A partir de todas estas consideraciones llegamos al concepto de "*gestalt*" (estructura), según la cual, todas las partes que forman un "*todo*" tienen su valor específico sólo en su configuración concreta. Tanto es así que una "*gestalt*" no puede dividirse en sus elementos sin que pierda su significado como totalidad y sin que cambie el valor de cada una de sus partes. Este concepto de "*gestalt*" como un todo indivisible es el opuesto al concepto de "*mosaico*", que no es más que la suma de los elementos componentes, que forman el total por agregación en una composición jerarquizada.

Según la psicología de la Gestalt, la percepción sigue leyes que, provenientes de los mismos objetos de la percepción, estimulan procesos intrínsecos del organismo, que actúan de forma interdependiente entre ellos. De esta forma, el acto perceptivo es un acto de integración y de síntesis y, según los psicólogos de la Gestalt, la ley básica para esta organización perceptiva es:

**Ley de Prägnanz:** Quien recibe unos estímulos organizará la percepción de tal forma que el ambiente parezca tan simple y ordenado como se pueda. Esta característica es innata al organismo y presupone que las "*buenas figuras*" tienen propiedades de simplicidad, simetría, equilibrio y facilidad para ser recordadas.

Este principio explica los experimentos que demuestran la tendencia humana a identificar la estructura básica de los objetos que se perciben (ley de la buena forma), como ocurre cuando vemos una figura geométrica incompleta, que recordamos después como "*perfecta*".

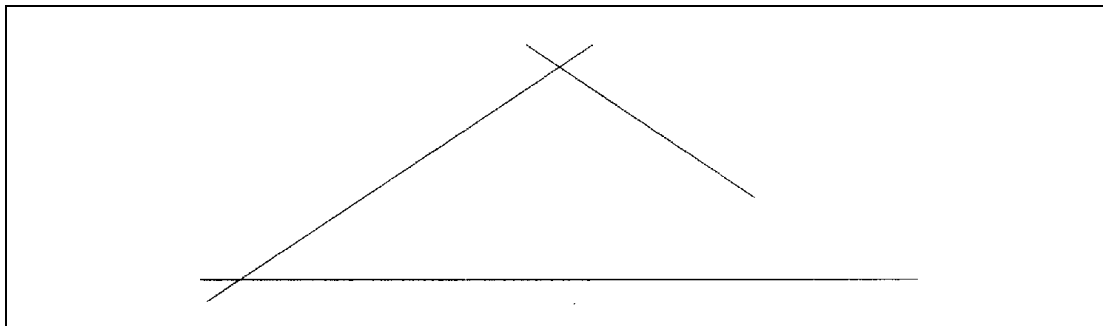


Fig. 4.6 Ley de la buena forma

Esta tendencia a ver como un todo un conjunto de elementos cualquiera y, más en general, a interpretar la realidad de la "*mejor forma*" posible, constituye una de las bases más importantes de nuestra percepción.

---

### 4.5 Las percepciones asociadas y la sinestesia

Una vez establecido el principio de interacción de los estímulos sensoriales en el proceso global de la percepción, podemos aceptar como corolario el de la inducción de los estímulos, según el cual, estímulos correspondientes a un sentido determinado también influyen en las respuestas de otros campos sensoriales.

Considerando un estímulo determinado (un sonido, un color, etc.), no de forma aislada, sino dentro del conjunto de estímulos a los que está asociado, podemos suponer que, al ir generalmente acompañado de otras sensaciones o por el hecho de generar dentro del organismo humano procesos perceptivos complejos, queda asociado a un determinado conjunto de sensaciones. De la misma manera y en sentido inverso, determinados estímulos o conjuntos de estímulos, pueden estar asociados con el estímulo concreto al que nos referíamos.

Estímulo  $E_a$  -----> asociado a las sensaciones  $S_1, S_2, \dots, S_n$   
 Sensación  $S_i$  -----> asociada al estímulo  $E_a$ .

En general, el proceso a seguir sería:

Estímulo  $E_a$  -----> percepción  $P_1$   
 receptor A  
 Estímulo  $E_i$  -----> percepción  $P_i$   
 receptor I

Si  $P_1$  tiene relación con  $P_i$ , diremos que el estímulo  $E_a$  induce  $P_i$  y, como consecuencia, está asociado al estímulo  $E_i$ .

Todo este proceso se traduce en la práctica en expresiones del lenguaje normal como: "el color verde da sensación de paz", "los sonidos agudos parece que pinchen", "el frío es de color azul", etc.

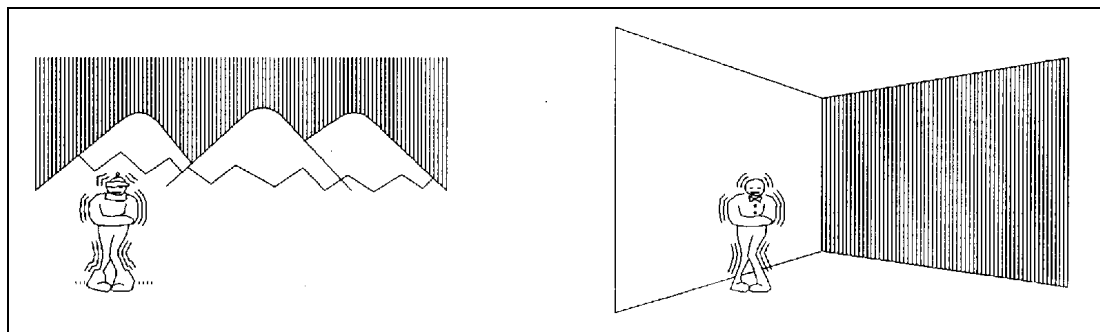


Fig. 4.7 Percepciones asociadas

Se llama **sinestesia** al efecto de asociación de estímulos diferentes, que puede producir modificaciones en las consecuencias sensoriales o perceptivas de estos estímulos, incrementando o disminuyendo las respuestas que producirían en una situación neutra.

Resulta muy difícil es establecer una evaluación de estos efectos sinestésicos. Por una parte, es relativamente fácil conocer qué estímulos pueden producir determinadas respuestas asociadas en otros receptores, e incluso se puede conocer el sentido de estas respuestas. Para ello, es suficiente hacer una prueba con un grupo de personas estadísticamente válido, con lo que es inmediato conocer estas relaciones para un contexto cultural determinado. De esta forma en textos sobre psicología, sobre arte, sobre color, etc., es fácil encontrar pautas de respuestas sinestésicas tipo.

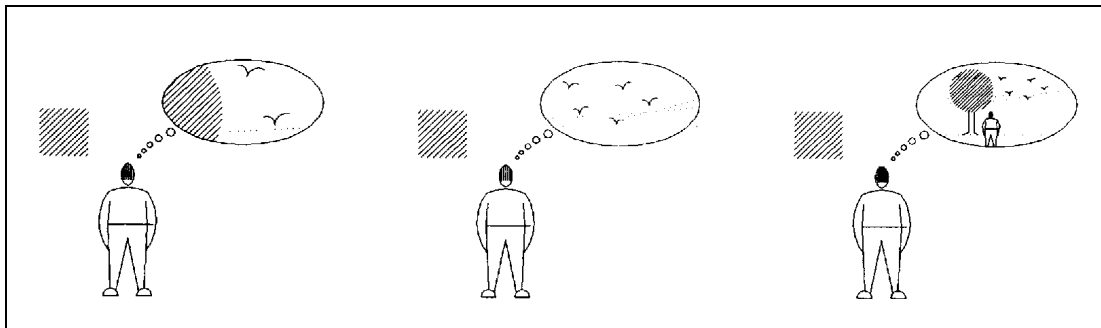


Fig. 4.8 Efectos sinestésicos

Más difícil resulta valorar estos efectos en términos numéricos. El alto número de causas concurrentes y el complicado cálculo de las mismas, hace que, por ahora, sea imposible obtener una valoración exacta. A pesar de ello, no debemos olvidar estos efectos al realizar cualquier cuantificación ambiental, aunque sea estableciendo una valoración aproximada que, como mínimo, tendrá el sentido adecuado y nos evitará errores mayores.



#### 4.6 El lenguaje como base de la percepción

Como ya hemos citado en el apartado 4.2, el conocimiento de cualquier idioma es a la vez **un instrumento** para interpretar el mundo y para comunicarse y **una trampa** que nos limita perceptivamente y de la cual es muy difícil escaparse. Así es como, por ejemplo, el lenguaje de los ordenadores nos permite realizar con mucha rapidez distintos trabajos, pero a la vez tiende a eliminar todo aquello que no está previsto en este lenguaje. Con este tipo de procesos se dan fácilmente modelos erróneos de la realidad.

Por otra parte, siempre es interesante **aprender a utilizar nuevos lenguajes**, ya que cualquier léxico nos permite conocer una nueva forma de interpretar la realidad. La sensibilidad y la toma de consciencia de las cosas cambia fuertemente cuando se introducen referencias nuevas para su análisis. Así, podemos decir que las teorías marxistas dieron, en su día, nuevas claves para interpretar la historia, o que el lenguaje freudiano permitió interpretar el funcionamiento de la mente humana.

Las **teorías de la comunicación**, como la semiología, sirven, desde el punto de vista de la arquitectura, para entender el diseño desde un nuevo punto de vista, a la vez que nos puede dar una mejor consciencia de nuestras propias motivaciones.

Si consideramos el papel del **diseño como instrumento de comunicación** debemos empezar definiendo la secuencia que se da normalmente:

EMISIÓN	----->	CONDUCCIÓN	----->	RECEPCIÓN	----->	MENSAJE	----->	RESPUESTA
diseñador		objeto		usuario		uso previsto		uso real

En este proceso teórico nos encontramos a menudo con que hay una falta de correspondencia entre el uso previsto y el uso real, ello es debido en parte a la falta de conocimiento de las apetencias del usuario por parte del diseñador, pero sobre todo es la lógica consecuencia de que el diseñador intenta (de forma consciente o inconsciente), satisfacer con el diseño sus propias apetencias antes que las del usuario.

Para poder analizar el papel del diseño ambiental desde la psicología, se debe tener presente cómo el lenguaje propio y, en concreto, el contenido semántico de los elementos del ambiente son interpretados por el diseñador y por el usuario. Tanto al usuario como al diseñador son influidos por necesidades reales a la vez que por otras más simbólicas, y es muy difícil a veces escoger cuáles son las más válidas desde el punto de vista de la eficacia real del diseño.

#### 4.7 La percepción del espacio y la reacción individual

El ser humano aprecia de su entorno sólo aquello que sus sentidos, su aprendizaje y su constitución le permiten, y elabora a partir de aquí su imagen del mundo. Pero, además, su psicología aún limita más su campo perceptivo, haciendo que normalmente sólo se tenga consciencia de la existencia de aquello que tiene un interés cualquiera para el observador. Es el caso de una misma calle recorrida por un comerciante, por un arquitecto, por un niño o por un policía municipal; el relato que nos puedan hacer de la calle estas diferentes personas difícilmente haría pensar que todos ellos han hecho el mismo camino.

Con estas premisas se puede ver como, para cada persona, existen en su campo perceptivo diferentes tipos posibles de elementos, como son:

**objetos neutros**, sin ningún interés particular para el observador, que se convierten en un fondo indiscriminado de la percepción general.

**objetos afectantes**, que son los que realmente captamos con nuestra percepción y podemos distinguir entre ellos los **dominantes**, sobre los cuales no tenemos control y que nos pueden resultar molestos o peligrosos, y los **dominados**, que controlamos y/o nos pertenecen.

Gran parte de los esfuerzos del ser humano a lo largo de su vida consisten en intentar convertir en dominadas partes del entorno que no lo eran, para conseguir más seguridad. En este proceso, que se evidencia en las decoraciones a menudo superfluas de vehículos o de mesas de trabajo, ocurre normalmente que los objetos "*dominados*" acaban convirtiéndose en "*neutros*", en la medida en que la percepción acaba perdiendo estímulos en entornos demasiado conocidos.

Partiendo de estas relaciones del ser humano con su entorno, podremos ver cómo su reacción frente a un espacio determinado sigue en conjunto las mismas leyes. Los espacios sociales o comunales donde se mueven las personas también pueden clasificarse, según esto, en:

**Espacios dominantes**, que serían el equivalente de la primitiva selva, donde el conjunto del ambiente es incontrolado y puede ser peligroso.

**Espacios neutros**, tipo desierto, donde el único peligro es la ausencia de estímulos.

**Espacios dominados**, como la vivienda, donde es posible abandonar prevenciones y actitudes defensivas rodeados de elementos "seguros".

En general, los estímulos inmutables (aquello que no se mueve y que, por lo tanto, no nos puede sorprender) ofrecen siempre más seguridad y tranquilidad y, por contra, los mutables o cambiantes nos crean más dificultades de interpretación, tensión e inseguridad.

---

Para entender cómo marcan nuestra vida diaria estos conceptos sólo tenemos que observar la actitud de una persona conocida interpretando sus gestos y su actitud cuando está en casa (espacio dominado), o cuando sale a la calle o entra en un edificio desconocido a hacer una gestión difícil (espacio dominante).

Un último aspecto, muy importante para establecer la reacción individual en relación al entorno, es la existencia de ámbitos diferentes según la distancia de las cosas a la persona que las observa. Podemos hablar así de unos "*campos*" de relación según estas distancias, muy cambiantes para diferentes culturas y que en nuestro caso son, aproximadamente:

**El campo de la "indiferencia"** es aquel suficientemente lejano como para que no nos veamos obligados ni tan solo a saludar una persona conocida, o sea el que está al límite del reconocimiento visual.

**El campo de la "relación gestual"** comprende la distancia donde nos comunicamos pero no podemos mantener una conversación en un tono normal.

**El campo de la "relación íntima"** comprende ya el que corresponde al dominio del sentido del tacto o de la voz baja.

Finalmente, **el campo de la "relación afectiva, amorosa o sexual"** comprende la relación más estrecha con las personas o las cosas.

Cualquier elemento perturbador produce sensaciones molestas, que pueden llegar a cambiar las percepciones ambientales hasta el punto de ocasionar sensación de incomodidad. Es el caso de un ambiente demasiado ruidoso, que no permite mantener el "*campo de la relación social*" en una conversación y obliga a entrar en un campo íntimo con personas con las cuales no se querría, o también el caso de un recorrido en un ascensor lleno, donde se roza el "*campo afectivo*" con desconocidos.

#### **4.8 Los tipos de carácter**

Desde el punto de vista psicológico es posible distinguir tipos diferentes de carácter en las personas individuales, cosa que, lógicamente, cambiará radicalmente su reacción frente a las características del ambiente.

Sin intentar realizar una valoración, ni pretender clasificar las personas de una manera cerrada, podemos hacer una lista de dualidades o tendencias contrapuestas en el carácter de dichas personas:

---

**Introversión/extroversión.**

Nos manifiesta la inclinación de la persona en contra de la relación con el entorno o a su favor.

**Actividad/pasividad.**

Nos clasifica la tendencia individual hacia la acción sobre el entorno, o hacia la no acción.

**Claustrofobia/agorafobia.**

Nos plantea la diferencia entre el rechazo individual de los espacios demasiado pequeños o del de los demasiado grandes.

**Individualismo/gregarismo.**

Inclinación del individuo a preferir hacer las cosas solo o en compañía de otros.

**Apoliniano/dionisiaco.**

Tendencia a interpretar la realidad por un proceso de análisis, suma de componentes que tienen entidad individual propia, o de hacerlo siempre en términos globalizadores, sin posible abstracción de una parte del todo.

**Neofilia/neofobia.**

Inclinación a preferir todo lo que es nuevo, o al contrario, a rechazarlo.

Podrían hacerse muchas más categorías, pero estas son probablemente las más importantes en relación al diseño ambiental. En todo caso, debemos tener presente la relatividad de estas clasificaciones, el hecho que, en diferentes momentos o circunstancias el carácter de las personas puede cambiar, etc.

#### 4.9 Percepción ambiental y estética

Relacionado con el apartado anterior, es interesante comentar cómo, desde el punto de vista perceptivo, es importante la relación entre los elementos del ambiente, relación que puede ser objeto de diseño consciente en un intento de mejorar su rendimiento funcional o estético. En este aspecto, se pueden distinguir dos tendencias básicas fundamentales:

La **armonía**, tendencia a hacer que los elementos no se contrapongan entre sí, sino que se busca su combinación por similitud y normalmente produciendo economía de los medios utilizados en el proceso y en la realización del diseño.

El **contraste**, técnica más dinámica, buscando la contraposición entre los elementos del ambiente, más costosa en recursos y más impactante perceptivamente.

---

Si hacemos, según esto, un análisis de lo que podríamos llamar "*técnicas o recursos de diseño*", y los distinguimos mediante dualidades contrapuestas, podemos presentar la lista siguiente:

CONTRASTE	ARMONÍA
Exageración	Reticencia
Espontaneidad	Predictabilidad
Acento	Neutralidad
Asimetría	Simetría
Inestabilidad	Equilibrio
Fragmentación	Unidad
Profusión	Economía
Audacia	Sutileza
Complejidad	Sencillez
Distorsión	Realismo
Actividad	Pasividad
Aleatoriedad	Secuencialidad
Irregularidad	Regularidad
Angularidad	Redondez
Verticalidad	Horizontalidad
Calidez	Frigidez
.....	.....etc.

Aunque no se puede pretender que existan "*leyes estéticas*" válidas para diseñar la belleza con seguridad, al estilo de ciertos tratadistas clásicos, podemos reconocer que existen "*recursos estéticos*" o "*instrumentos compositivos*", del tipo de los citados anteriormente, que siempre han estado utilizados en todo aquello que calificamos como "*obra de arte*". A partir de ello, podemos afirmar que estos instrumentos y, especialmente, **el contraste, el ritmo y el énfasis**, pueden ser fácilmente utilizados en el diseño ambiental (luz, sonido, calor, etc.), y ello nos hace defender que, dentro de este diseño, es posible y procedente pensar que se pueden utilizar "estéticamente" estos instrumentos.

Con	la LUZ	
	el SONIDO	
	el CALOR.....	puede crearse:
		Contraste de espacios
		Contraste de elementos
		Ritmo en el espacio
		Ritmo en el tiempo
		Énfasis puntual
		Énfasis creciente
		Énfasis decreciente
		.....etc.

## **Capítulo 5 Inicio del lenguaje, parámetros y definidores ambientales**

### **5.1 El lenguaje ambiental**

En los capítulos precedentes se ha considerado el ambiente arquitectónico desde los puntos de vista más generales, recordando los aspectos, las leyes y los principios que nos han de permitir mejorar su funcionamiento mediante el diseño. A pesar de ello, aún queda un difícil problema para resolver, que es el hecho de que, como arquitectos, nuestros instrumentos normales de trabajo (básicamente gráficos) nos sirven poco para trabajar con una serie de conceptos que, por ahora, no tienen demasiados sistemas de expresión con estos instrumentos. Es por este motivo que creemos que se debe realizar una doble tarea: por una parte, adaptar nuestros instrumentos, como el dibujo, para poder representar mejor los efectos ambientales; y por otra, intentar adquirir instrumentos nuevos que nos ayuden a diseñar con el ambiente.

Para poder llevar adelante estas tareas, la base insustituible será conocer, poder trabajar y poder transmitir los conceptos ambientales, cosa que ya hemos visto como depende de la existencia de un vocabulario (y de un cierto lenguaje) sobre estos términos. Llamaremos así "*parámetros o definidores ambientales*" aquellos términos técnicos, científicos o artísticos, que deberemos conocer para trabajar en el diseño ambiental arquitectónico con un mínimo de eficacia.

---

## 5.2 Necesidades y apetencias humanas

El ser humano tiene, frente al ambiente, un conjunto de requerimientos que afectan a la percepción del mismo y a su comodidad, estas necesidades pueden ser de tipo fisiológico y de tipo psicológico.

a) Las **necesidades de tipo fisiológico** comprenden, desde disponer de aire respirable o de luz para ver, hasta no tener frío o calor excesivos. Son necesidades que afectan, en primer término, a la supervivencia y que llegan hasta conceptos mucho más relativos de confort o comodidad. En cualquier caso, se trata de requerimientos variables individualmente, pero hasta cierto punto objetivizables mediante estudios de tipo estadístico, que permiten obtener datos relativamente válidos sobre las condiciones recomendables para los ambientes.

b) Las **necesidades de tipo psicológico** son de más difícil evaluación y han sido mucho menos estudiadas, razones por las cuales no se toman normalmente en consideración al tratar el diseño ambiental. En este tipo de requerimientos, su variabilidad individual es aún mayor que en el caso de las anteriores, y se presentan incluso contradicciones entre requerimientos de una misma persona.

Estas necesidades psicológicas dependen de muchos factores de la personalidad y de la educación de los individuos (o de los grupos coherentes de individuos) pero, en términos generales, pertenecen a dos grupos principales:

Las necesidades según el "*tipo de carácter*", que han sido expresados como dualidades en el capítulo anterior. Son de especial importancia en las sensaciones inconscientes de comodidad, como es el caso de un agorafóbico recogido en un espacio de dimensión limitada, o de un neofílico rodeado de objetos muy conocidos.

Las necesidades según las "*apetencias simbólicas*", también tratadas antes, corresponden a reacciones más inconscientes de atracción o de rechazo frente a determinados elementos ambientales, debidas al significado (éste sí, conscientemente) que estos elementos tienen para el usuario. A menudo estas apetencias hacen que las personas prefieran soluciones ambientales (o no ambientales) de diseño que no serían las más adecuadas desde el punto de vista fisiológico o de carácter.

Estas apetencias simbólicas dependen normalmente de modas o costumbres y, por lo tanto, tienen una perennidad superior a la de otros tipos de necesidades. Es el caso, por ejemplo, del director de empresa que quiere una iluminación de su despacho parecida a la que él cree, o ha visto, que tienen los altos directivos de grandes empresas, a pesar de que no sea el tipo de luz adecuada al trabajo que él hace en el despacho y que ni tan sólo corresponda a la luz que convendría a su carácter.

---

### 5.3 Las voliciones ambientales

Entendemos como "*voliciones*" el conjunto de deseos o tendencias que, dentro del proceso de diseño, se consideran indicadas para obtener en un determinado ambiente, normalmente para unas funciones y para unos usuarios definidos. El origen o base para conocer cuáles deben ser las voliciones se encuentra normalmente en el programa de necesidades del proyecto que se debe realizar, en las características de los usuarios previstos y, lógicamente, en las intenciones del mismo diseñador.

Estas voliciones ambientales podrán ser, a veces, concretables con valores determinados de unos "*parámetros ambientales*", pero se deberán considerar independientemente de las condiciones preexistentes del lugar donde se hace el proyecto, y tratarlas en abstracto para una mejor claridad y concreción. En un enfoque general, podemos decir que las **voliciones**, conjuntamente con las **preexistencias**, son bases independientes necesarias para empezar correctamente cualquier proyecto.

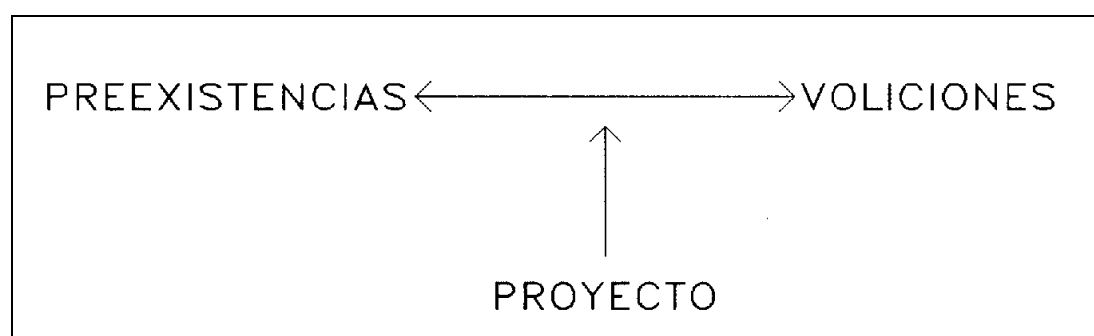


Fig. 5.1 La intervención del proyecto

La **determinación de las voliciones ambientales** es otro punto de difícil decisión. Normalmente, se pueden utilizar los numerosos datos estadísticos que existen, donde se muestran las condiciones que se consideran ideales para unas determinadas actividades. Pero este sistema tiene un problema, el de la falsa seguridad que da, al escoger unos parámetros ambientales que creemos que satisfacerán a los usuarios cuando, en la realidad, es muy probable que esto no sea así.

Esta forma de trabajar, llamada a veces "*ingeniería humana*", busca una determinación unívoca de las condiciones de un ambiente a partir de tablas, ábacos y fórmulas, obtenidas a partir de estudios con grupos humanos numerosos e intentando definir las "*condiciones ideales de confort*" para cada actividad. Los resultados son muy discutibles, ya que se quieren obtener datos exactos y generalizables sin considerar y valorar todos los factores que inciden (psicofisiología, variación temporal, etc.).

Enfrentada a esta actitud, el "*diseño humano*" intenta, por contra, formular voliciones abiertas, sin valores exactos y expresadas más como tendencias a conseguir que como valores óptimos. Se trata, por lo tanto, de un sistema más flexible que puede globalizar mejor el problema del confort en una determinada situación incluyendo más factores. A pesar de ello, su base de partida son siempre los aspectos evaluables numéricamente con los datos procedentes de la ingeniería humana.



## 5.4 Los definidores ambientales

Entendemos como definidores ambientales todo el conjunto de datos, denominaciones y parámetros que nos sirven para calificar un espacio desde el punto de vista energético. Estos definidores hacen referencia a todo aquello que interviene en un ambiente, excitando a los receptores sensibles o al equilibrio homeostático de los habitantes.

Entre las diferentes relaciones posibles de definidores ambientales, a continuación mostraremos las que consideramos más características. Debemos tener presente que son listas no exhaustivas de parámetros que sirven para definir ambientes donde, en cada caso, unos pueden ser más importantes que otros, unos son medibles y otros no, etc.

### PARÁMETROS GENERICOS (importantes especialmente para la percepción)

TIPO	CONCEPTO		SÍMBOLO	UNIDAD	LEXICO
<b>VISUALES</b>	Iluminancia (nivel)		E	lux	alto/bajo
	Luminancia (contraste)		L	-----	alto/bajo
	Direccionalidad (efecto sombra)		-----	-----	difuso/dirigido
	Color luz	Temper. color	Tc	K	frío/cálido
		Rendim. color	IRC	%	bueno/malo
	Color del ambiente		-----	-----	neutro/vivo
<b>ACÚSTICOS</b>	Nivel sonoro		N	dB	alto/bajo
	Tono (frecuencia fundamental)		f	Hz	agudo/grave
	Timbre (composición espectral)		-----	-----	tipo...
	Direccionalidad		-----	-----	difuso/dirigido
	Reverberación (tiempo de)		TR	s	alto/bajo
<b>CLIMÁTICO</b>	Temperatura	del aire	Ta	EC	alto/bajo
		de radiación	Tr	EC	alto/bajo
	Humedad relativa		HR	%	húmedo/seco
	Movimiento del aire		v	m/s	fuerte/flojo
	Composición del aire		-----	-----	limpio/sucio

Otro tipo de parámetros, diferentes de los anteriores, son los referentes a la misma estructura o

disposición ambiental de un espacio determinado. Esta estructura puede depender de su función, de la disposición del mobiliario, etc. pero en nuestro caso nos interesa ver como, con la disposición y el reparto de los agentes lumínicos, acústicos y climáticos, puede reforzarse o no esta estructura espacial. Al ser estos parámetros difícilmente evaluables se tratan considerandolos en diferentes aspectos, y para cada uno, se presentan dualidades entre las que puede variar la solución de diseño.

#### PARÁMETROS DE ESTRUCTURA DEL ESPACIO (relacionados con el diseño)

ASPECTOS	VARIACION	ESTRUCTURA ESPACIAL	
Posición	centro	ambiente organizado alrededor de la fuente	
	contorno	ambiente definido por su contorno o límite	
Concentración	centrípeto	espacio que se concentra por la acción ambiental	
	centrífugo	espacio que se expande por la acción ambiental	
Direccionalidad	circulación	el ambiente favorece el movimiento en un sentido	
	barrera	el ambiente dificulta el movimiento en un sentido	
Unidad	global	el efecto ambiental unifica el espacio	
	agregado	el efecto ambiental compartimenta el espacio	
Apariencia	aparente	el origen del efecto ambiental es apreciable	
	oculto	queda escondido el origen del efecto ambiental	
Control	regulable	el usuario puede cambiar el efecto ambiental	
	fijo	no se puede actuar sobre el efecto ambiental	
Estabilidad	constante	constante en el tiempo	
	variable	variable en el tiempo	

#### 5.5 Valores típicos de los definidores ambientales

En este apartado se dan orientaciones sobre los valores más recomendables de los parámetros de confort de diferentes tipos de ambientes o actividades. Aunque ya ha sido remarcado anteriormente el valor relativo de estos datos, no dejan de ser interesantes como primera aproximación al problema de fijar las voliciones ambientales más adecuadas en un diseño determinado.

### 5.5.1 Definidores lumínicos

<b>ILUMINANCIA</b> (valores generales)	
actividades con esfuerzo muy alto: dibujo de precisión, joyería, etc.	1.000 lux
actividades con esfuerzo visual alto o muy alto de poca duración, lectura, dibujo, etc.	750 lux
actividades con esfuerzo visual medio o alto de poca duración: trabajos generales, reuniones, etc.	500 lux
actividades de esfuerzo visual bajo o medio de poca duración: almacenaje, circulación, reunión, etc.	250 lux

<b>FACTORES MODIFICADORES DE LOS VALORES GENERALES DE ILUMINANCIA</b>		
<b>x 0,8</b>	<b>x 1</b>	<b>x 1,2</b>
edad + 35 años actividad poco importante actividad fácil	edad de 35 a 55 años actividad importante dificultad regular	edad , 55 años actividad crítica y poco usual alta dificultad

<b>VALORES DE LUMINANCIAS</b> (Con su correspondencia con iluminancias)		
<b>Código visual</b>	<b>Luminancia</b> (cd/m <sup>2</sup> )	<b>Iluminancia horizontal</b> (lux)
rostro humano muy poco visible	1	20
visión correcta del rostro	10-20	200
óptimo con trabajos normales	100-400	2.000
superficies con reflexión >0,2 muy iluminadas	>1.000	20.000

<b>ÍNDICES DE DESLUMBRAMIENTO (G)</b>	
Condiciones muy críticas, con trabajos difíciles, situaciones peligrosas, etc.	INAPRECIABLE < 13
Condiciones de trabajo largo con dificultad normal, espacios de reposo, etc.	BAJO 13-16
Condiciones de trabajo ligero o de duración corta, espacios de relación, etc.	MEDIO 16-19
Condiciones poco críticas, espacios de corta ocupación, ciuculaciones, etc.	ALTO 19-22
Condiciones sin requerimientos visules, donde el deslumbramiento no es problema	MUY ALTO > 22

<b>COLOR DE LA LUZ</b> (características recomendadas según el uso)			
<b>Tipos de espacio</b>	<b>condiciones</b>	<b>IRC (%)</b>	<b>Tc (K)</b>
Espacios donde el color es muy importante	de trabajo de reposo	> 85	4.500-6.000 2.500-4.000
Espacios donde el color no es crítico pero importa	de trabajo de reposo	70-85	>4.000 <4.000
Espacios donde importa poco el reconocimiento cromático	de trabajo de reposo	< 70	>4.500 >4.500
Espacio sin visión cromática		+ 40	indiferente

### 5.5.2 Definidores acústicos

<b>NIVELES DE RUIDO ADMISIBLE</b> (máximo en dB según frecuencias)			
Tipo de espacio	<b>125 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>2.000 Hz</b>
Gimnasio /Cine /Estación /Bar	66	55	50
Restaurante /Oficina /Industria	59	46	38
Vivienda /Sala de baile / Despacho	51	37	30
Dormitorio /Aula de música / Aula	49	35	30
Auditorio /Aula de música /Estudio TV	43	28	20
Teatro ópera /Sala conciertos /Estudio radio	38	23	15

### TIEMPOS ÓPTIMOS DE REVERBERACIÓN

El tiempo óptimo de reverberación se calcula según una fórmula empírica que resulta de la experiencia realizada con un cierto número de individuos en salas de diferentes volúmenes. Recoge las opiniones de la gente e influyen el uso y el volumen de la sala.

La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$T = m V^n - A$$

donde:  $m =$  **0,42** (125 Hz)    **0,69** (500 Hz)    **0,46** (2.000 Hz)

$n =$     **0,2** (125 Hz)    **0,1** (500 Hz)    **0,12** (2.000 Hz)

$A =$     **0** (auditorios para la palabra y la música)

**0,1** (cines, música de cámara y solistas)

**0,2** (estudios de grabación, discotecas).

### 5.5.3 Definidores climáticos

La siguiente tabla nos da temperaturas recomendadas y renovaciones de aire, para condiciones de invierno. Estos definidores son los que se consideran más críticos en nuestros climas.

<b>TEMPERATURA Y RENOVACIONES DE AIRE EN CONDICIONES DE INVIERNO</b>			
<b>Tipo de local</b>	<b>temperatura (EC)</b>	<b>renovación de aire</b> (m <sup>3</sup> /h/persona) (rh=m <sup>3</sup> / m <sup>3h</sup> )	
<b>vivienda</b>			
dormitorios .....	16 - 18	30	2
salas de estar .....	18 - 20	35 - 40	2
cocinas .....	15 - 18	40 - 45	3-8
baños .....	20 - 22	35 - 50	2-3
<b>hospitales</b>			
consultorios .....	19	45 - 50	3
salas de operaciones .....	25	75 - 100	3-5
habitaciones de enfermos .....	18 - 21	30 - 60	3-4
<b>oficinas</b>			
despachos individuales .....	18 - 19	32 - 40	2-4
salas colectivas .....	17 - 19	30 - 45	2-5
<b>escuelas</b>			
aulas .....	18	25 - 35	2-3
comedores .....	16 - 19	40 - 50	3-4
<b>otros</b>			
teatros .....	17 - 20	15 - 20	1
iglesias .....	12 - 26	12 - 16	1
industrias .....	12 - 17	20 - 80	2-5

Los definidores que se consideran más críticos en condiciones de verano son la temperatura y la humedad, por el efecto que producen en la apreciación global de confort higrométrico. En la siguiente tabla podemos encontrar valores de temperaturas de aire y de humedades relativas recomendadas para cada tipo de local, según el grado de actividad que se realiza.

<b>TEMPERATURAS Y HUMEDAD DEL AIRE EN CONDICIONES DE VERANO</b>		
<b>Tipo de local</b>	<b>Temperatura (EC)</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>
Viviendas/hoteles . . . . .	25 - 27	50 - 55
Oficinas . . . . .	25 - 26	50 - 60
Iglesias/teatros/Salas de fiestas/restaurantes/cines . . . . .	24 - 27	45 - 55
Tiendas/almacenes/bares/salas (+40') . . . . .	26 - 28	40 - 55
Estaciones . . . . .	24 - 27	40 - 55
Aviones . . . . .	23 - 25	47 - 53
Bibliotecas/museos . . . . .	23 - 24	47 - 53
Industrias, según su tipo . . . . .	22 - 27	40 - 60
Locales en regiones muy cálidas . . . . .	$T_{int} , T_{ext} - 10$	-----

---

**2ª parte**

**El control ambiental en el tiempo y en el espacio**

---



## Capítulo 6 Evolución del control ambiental en la arquitectura

### 6.1 Introducción, limitaciones del análisis

Antes de realizar un análisis histórico de los medios arquitectónicos de control ambiental, es conveniente sentar ciertas premisas, para ponderar el alcance y los objetivos de este análisis, sobre todo comparativamente con otras visiones posibles de la historia de la arquitectura. Haremos, por lo tanto, algunas consideraciones previas, fundamentadas en tres aspectos principales:

a) En primer lugar deben distinguirse, en ser humano que busca solución a un problema ambiental determinado, dos posibles posiciones de principio: la **estructural** y la **energética**, que también podríamos llamar, como hace Reyner Banham "*técnicas conservativas-selectivas*" o "*naturales*" y "*técnicas regenerativas*" o "*artificiales*".

La **orientación estructural** concebirá la defensa o selección ambiental primordialmente mediante sistemas estáticos y perennes, como son los muros y cubiertas en los edificios convencionales, ubicaciones fijas de elementos y actividades en las viviendas, etc. Calificaremos a estos sistemas como **medios naturales de control ambiental**.

La **orientación energética** elegirá para controlar el ambiente recursos fungibles y que precisan renovación constante, dinámicos y de mayor flexibilidad; se preferirá así utilizar unos troncos para hacer fuego en lugar de construir una pared, suponiendo la misma capacidad de lucha contra el frío en ambos casos. Estos sistemas se llamarán **medios energéticos de control ambiental**.

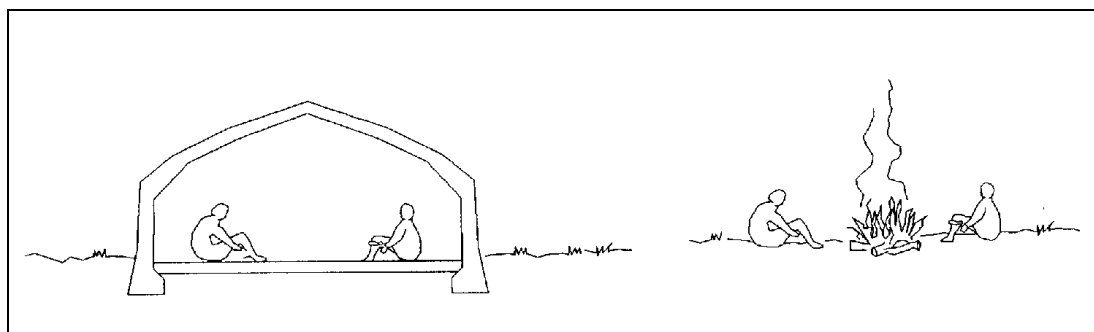


Fig. 6.1 Orientación constructiva o energética de la arquitectura

Es curioso observar cómo, históricamente, distintos pueblos humanos han elegido uno u otro tipo de solución frente a un mismo problema ambiental, esta elección la han realizado de acuerdo, no sólo con las variadas circunstancias que la hacen más rentable, sino también según las costumbres ancestrales del pueblo o raza de que se trate. En términos generales influirá decisivamente la tradición más o menos nómada del pueblo, que les hará elegir entre la estable estructura o la rápida y elástica solución energética, aunque esta explicación no es a menudo suficiente para interpretar la elección ambiental realizada.

Ahora bien, en el momento en que se efectúa un estudio histórico de arquitectura, lo observable, arqueológicamente o no, son hechos y formas estructurales, que son las únicas que han llegado a nosotros. La perennidad de los sistemas conservativo-selectivos e incluso una cierta preferencia de principio de nuestra cultura occidental sedentaria por estos sistemas, hacen que nuestros recuerdos históricos de arquitectura sean ricos en sistemas estructurales y pobres en energéticos. Nuestra civilización, marcadamente agrícola y arraigada al terreno, ha preferido siempre la estabilidad de estas defensas ambientales, con sus colaterales ventajas inherentes de privacidad y defensa contra los enemigos.

De todo ello se deduce un cierto parcialismo en nuestra visión del pasado arquitectónico, propio o ajeno, y un vacío en el conocimiento de aquellos sistemas que resultan destruidos en el mismo hecho de su empleo. Incluso podríamos hablar, a un nivel general de la arquitectura, de una preferencia por los hechos constructivos y su evolución antes que por los hechos ambientales (luz, calor y sonido) que son en realidad la justificación y resultado de aquéllos.

b) En segundo lugar, dentro de la historia de la arquitectura estructural y partiendo de un análisis que realiza Amos Rappoport, podemos distinguir dos **tipos de arquitectura** diferentes: la de **estilo** y la **popular**.

La **arquitectura de estilo** es la que realiza la "élite" para impresionar al pueblo con su poder, aquella cuyos edificios dominan y a menudo destruyen a la naturaleza, está cargada de preocupaciones teóricas y estéticas y tiende, en fin, a crear nuevos ambientes frente a los preexistentes. Resumiendo, es la arquitectura de los "edificios importantes", con autor conocido y que caracterizan las tendencias históricas arquitectónicas en la opinión de los críticos e historiadores.

La **arquitectura popular** es la realizada por el pueblo y que corresponde a sus necesidades y valores, sus edificios muestran un mayor respeto al ambiente preexistente, sea natural o artificial. No responde a pretensiones de estética teórica y tanto la composición de los poblados, como la jerarquía de las calles, del interior de las viviendas, etc. corresponde a modelos estrictos, resultado de las leyes socioculturales, del clima y la tecnología.

---

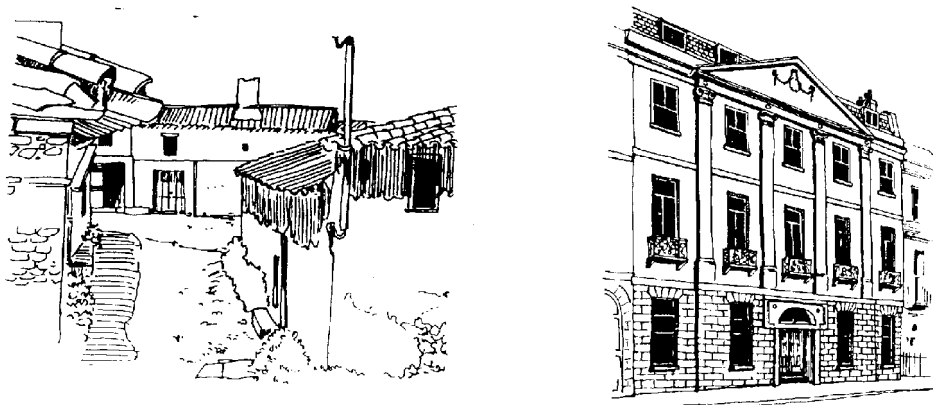


Fig. 6.2 Arquitectura popular y arquitectura de estilo

Para nuestro análisis de la evolución histórica de los medios de control ambiental, es preferentemente la arquitectura popular la que puede interesarnos, en contraste con los clásicos tratados de historia de la arquitectura, que prácticamente sólo hacen referencia a la arquitectura de estilo. Este hecho por si solo, también limita mucho la toma de datos que nos sería útil para nuestro enfoque.

c) En tercer y último lugar, debemos dejar claro el tipo de **interpretación histórica** que usamos en nuestro análisis. La falta de espacio y de información útil nos hace interpretar la historia muy esquemáticamente, dejando aparte muchos aspectos interesantes de la misma y con un importante error de partida, consistente en realizar una interpretación lineal de la historia, sistema que hace tiempo ha demostrado su poca utilidad frente la realidad de los desarrollos y cambios históricos, más próximos al complejo diseño de un tapiz de hilos y colores diversos entremezclados, que no al de una cuerda continua, que es como la interpretaba la historia clásica.

Como aquí se trata, solamente, de hacer un esbozo de lo que podría ser una historia del control ambiental, aceptamos seguir un esquema muy primario, dividido en Prehistoria, Edad Antigua, Edad Media, etc., suficiente para el tipo de análisis que emprendemos.

---

## 6.2 Los tiempos primitivos, refugio básico

Los escasos conocimientos arqueológicos que poseemos sobre la evolución primitiva del ser humano no permiten explorar adecuadamente sus condiciones de vida en los distintos períodos de este largo camino, ni conocer concretamente los medios de que dispone para mejorar su ambiente próximo.

Sin embargo, en términos generales, podemos afirmar que en la prehistoria humana la lucha contra el clima es, después del problema de la alimentación, un importante factor que presiona al animal humano en el desarrollo de ingenios técnicos, que serán la base de lo que posteriormente llamaremos civilización.

En una primera etapa del desarrollo humano, aparece como evidente la carencia de cualquier tipo estable de defensa del medio ambiente. El hombre lleva una vida nómada en pequeñas agrupaciones y en ningún sentido puede hablarse de construcciones o, en nuestro lenguaje, de medios naturales de control ambiental. Evidentemente todavía menos puede hablarse de medios energéticos de control ambiental, pues el dominio del fuego todavía está muy lejos de la capacidad del ser humano.

En etapas posteriores podemos considerar que la vida del ser humano se hace más sedentaria y comienza a buscar refugios estables donde habitar; grutas naturales o artificiales sirven para este fin y constituyen probablemente el primer tipo de hábitat permanente.

En etapas sucesivas, cuando aparece en Europa el hombre de Cromagnon, surgen ya los sistemas de control ambiental más primarios. El hombre aprende a protegerse individualmente con pieles de animales, construye sus primeros refugios elementales fuera de las cavernas e intenta acondicionarlos para la vida familiar en forma de chozas o cabañas y por último, como elemento muy importante, el conocimiento y dominio del fuego le permite disponer de un nuevo sistema de control ambiental valiosísimo.

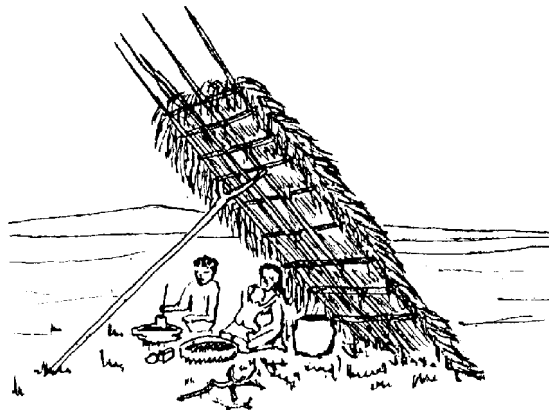


Fig. 6.3 El refugio elemental

Así, en este momento, el hombre dispone ya de dos tipos de control ambiental, el estructural y el energético. Estos dos tipos le permitirán controlar su ambiente inmediato, con escasas variaciones en su concepción y empleo durante la mayor parte de esta historia humana.

Desde estas últimas etapas del Paleolítico, y en períodos posteriores, el ser humano refina los aspectos principales de su vida y la vivienda. Ésta se hace más organizada y compleja, hasta llegar a la estabilización de la misma, ligada con los primeros escarceos de cultivo del terreno que convertirán al hombre de cazador en agricultor.

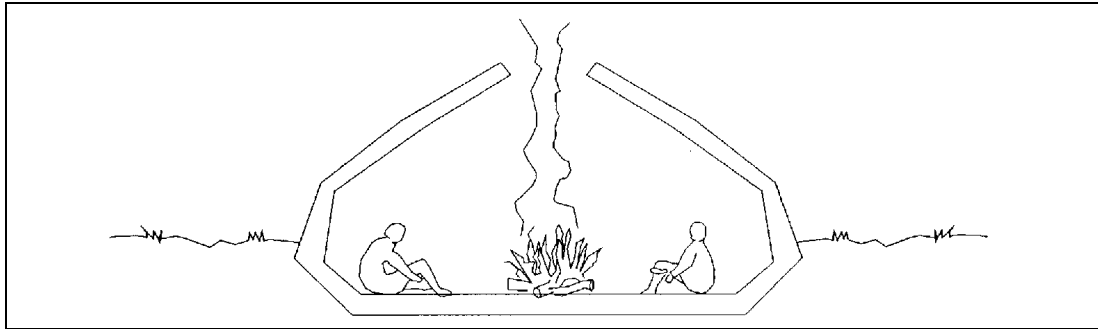


Fig. 6.4 Esquema básico de hábitat primitivo

En estos ejemplos de viviendas primitivas ya aparecen las dos formas básicas que se repiten en todas las culturas y en todas las situaciones geográficas. Son el modelo **central** y el **lineal**. El modelo **central** se forma con el cerramiento perimetral del espacio circular que se podría considerar generado por un fuego de campamento, tiene una abertura central en la cubierta y el ambiente resultante es isótropo con marcado acento central. El modelo **lineal** procede de las grutas o de las cabañas rectangulares de sencilla construcción con palos, cañas, paja, etc., su ambiente es variable en profundidad, desde el acento situado en un lado pequeño del rectángulo, desde donde disminuye la cantidad de luz y crece la protección térmica y la privacidad.

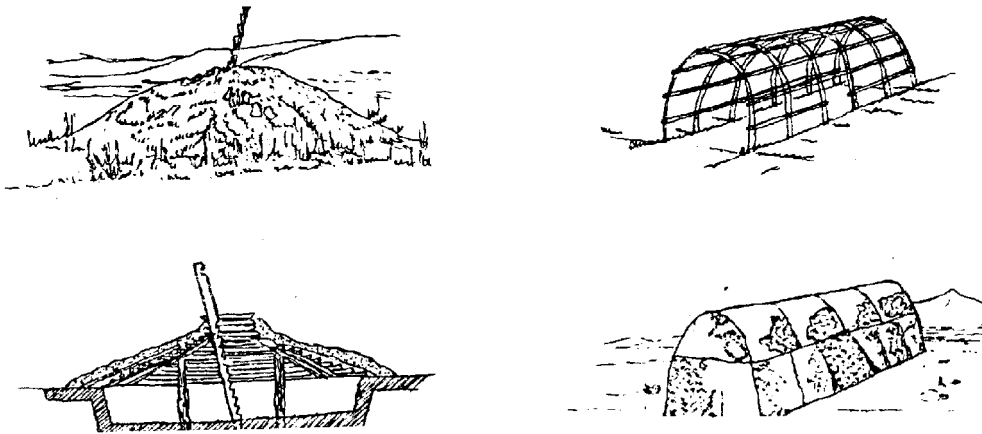


Fig. 6.5 Formas básicas de vivienda; central y lineal

Estos dos modelos y sus evoluciones se repiten incansablemente a lo largo de todos los períodos de la arquitectura. El modelo central tiene su continuidad, no solamente en el Panteón, espacio "central" paradigmático, sino también en los edificios clásicos con doble simetría y sobre todo, en todas las variantes de las viviendas con patio. El modelo lineal genera por partición la vivienda lineal compartimentada, los templos y las naves basilicales, etc.

Paralelamente a esta arquitectura funcional, encontramos ya en estos períodos la que podríamos designar como arquitectura de estilo, como son el menhir, el dolmen, etc.. Esta no es menos utilitaria que la otra, ya que también cumple unas funciones básicas para el hombre, pero no entra tan claramente dentro del campo de nuestro actual análisis.



*Fig. 6.6 Arquitectura de estilo primitiva*

### **6.3 Civilizaciones mediterráneas, forma y función**

En el momento en que el hombre abandona la Prehistoria y empieza a registrar con la escritura los hechos de la vida, inicia un nuevo ciclo de existencia que permite análisis más complejos de su vida e intereses. Evidentemente la escritura no es un hecho único, sino que está acompañado de cambios fundamentales en las condiciones de vida, en la agrupación humana en mayores unidades (pueblos y ciudades) que llegarán luego al estado y en la mayor complejidad y diferenciación, en las construcciones que todo ello comporta.

Así la historia borra rápidamente el lento devenir de la choza al poblado y de éste a la ciudad, donde, entre otras cosas, las defensas ambientales se coordinan entre sí, se apoyan unas a otras y al mismo tiempo se especializan algunas (lluvia, privacidad...) a nivel individual de cada vivienda y otras se hacen globales (vientos, enemigos...) para toda la agrupación. Esta especialización no es sólo ambiental, ya que también se da en el trabajo y se crean las primeras clases sociales y con ello cobra nueva vida la arquitectura de estilo, palacios, templos, etc., de los que nos han quedado como restos magníficos ejemplos. A diferencia de ello son escasas las muestras de arquitectura popular que nos han quedado, a pesar de que es la que más interesa analizar desde el punto de vista ambiental, pues esta es la arquitectura que se vive, la que requiere este control ambiental en mayor medida y no la que está destinada sólo a ser contemplada, donde el ambiente es menos crítico.

---

De todas formas esta arquitectura representativa refleja en algún caso las formas populares de construir e incluso presenta soluciones específicas ambientales de luz o acústica que pueden ser ilustrativas del sentir de una determinada civilización.

En el momento de buscar ejemplos para analizar los problemas y soluciones ambientales de la Edad Antigua, los encontraremos entre las primeras civilizaciones que, según la historia clásica, emergieron finalmente de la prehistoria. Como es lógico las encontramos asentadas en zonas de clima templado, donde la lucha contra las condiciones ambientales no era tan dura como para dificultar las más complejas organizaciones de una civilización estable. Empezaremos, por tanto, por repasar, a grandes trazos, algunas características de la arquitectura de estas civilizaciones.

Considerando en primer lugar el caso de las **ciudades mesopotámicas**, nos encontramos en una situación de clima cálido extremado, con altas temperaturas y fuertes saltos térmicos día-noche y con la peculiaridad de una relativa escasez de madera como material constructivo. Todo esto se evidencia en las formas de la arquitectura popular, donde se utilizan como medios naturales de control los muros de gran espesor (adobe), con reducidas aberturas, las viviendas cerradas hacia el exterior con estancias que se abren hacia un patio central único, etc. Con todo ello se busca la máxima inercia térmica y la conservación durante el día del frescor y de la humedad de la noche.

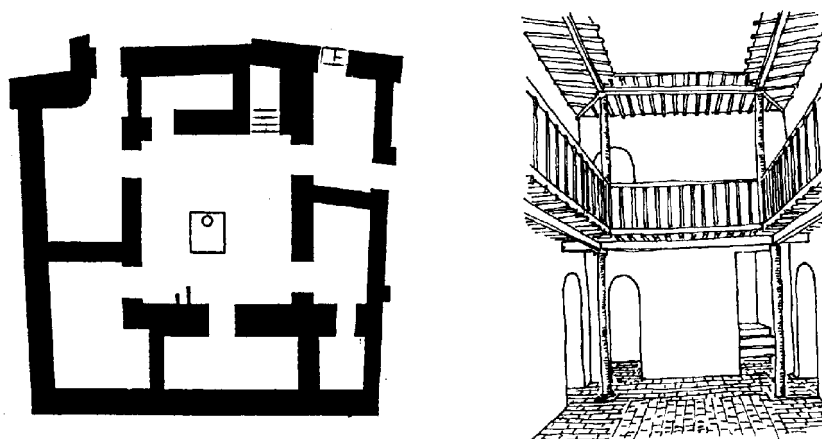


Fig. 6.7 Vivienda mesopotámica con patio

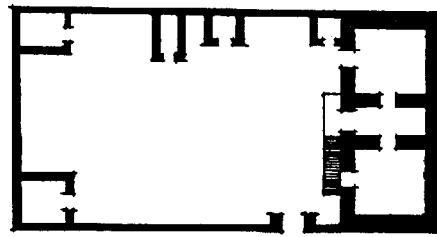
Entre tanto, la arquitectura de estilo, zigurats y palacios, reproducía a gran escala estas mismas características, grandes volúmenes de materiales cerámicos, pequeñas aberturas, patios a menudo múltiples en un mismo edificio y el acento ornamental del relieve y sobre todo del color.

---

En **Egipto**, con un clima parecido al anterior, fuerte radiación solar, ausencia de madera y una estructura social ya compleja, existen muy diversos tipos de construcciones que van desde viviendas imperiales, templos y pirámides hasta la casa de barro del pueblo, que aún pervive en nuestros días.

Esta vivienda de adobe (barro y paja prensados) estaba constituida por una única habitación de planta rectangular, techo de hojarasca sostenido por palos y recubierto de barro. La entrada estaba dominada por un dintel de madera abierto en uno de los lados menores, y con una ventana en el lado opuesto se aseguraba la ventilación cruzada.

Las casas de familias más acomodadas presentan una estructura más compleja, con pórticos de columnas en las más ricas y compartimentación interior, hasta llegar a la vivienda de varios pisos de la clase media. En cualquier caso, siempre hay escasas aberturas para limitar la entrada de calor, techos planos (escasez de lluvias) y techos altos en las viviendas más acomodadas para evitar el exceso de calor.



*Fig.6.8 Planta de vivienda rural egipcia*

En cuanto a la arquitectura de estilo, con recursos técnicos más avanzados, conforman la arquitectura de los templos egipcios los dobles techos muy aislantes de gres cerámico sobre forjado de losas graníticas, los pórticos y columnatas simples y dobles en patios sucesivos, etc. Es en este templo donde encontramos una transposición, empleada con sentido místico, de un efecto propio de la arquitectura popular. La gradación exterior-interior, de menor a mayor privacidad de la típica vivienda lineal, se refleja en los espacios sucesivos del templo, donde la penetración hacia el santuario se acompaña arquitectónicamente con gradaciones de mayor a menor luz, de menor a mayor misterio hasta llegar a la celda del dios, pequeña, oscura y con una débil y vacilante llama, en un impresionante despliegue del poder de la religión.

---



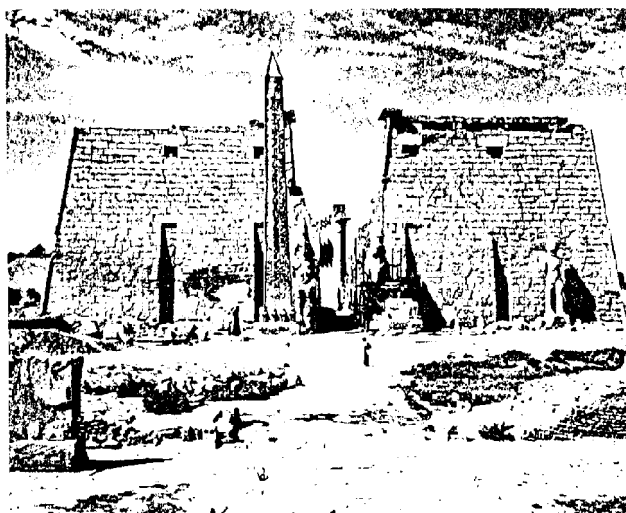


Fig. 6.9 Templo egipcio

Otra civilización importante de la antigüedad es la de **Creta** y su continuidad en **Grecia**. En este caso el clima es más suave que en los anteriores, aunque con mayor humedad. Aparece aquí una especial estructura social (la polis y sus variantes) y familiar (familia monogámica como célula social mínima) que condicionan un tipo de vida de puertas hacia fuera y una arquitectura consecuente con ello. El griego pasa la mayor parte del día en lugares públicos y por ello se hace sentir menos la necesidad de un ambiente doméstico cerrado, aunque esté dotado de habitaciones confortables y amplios patios.

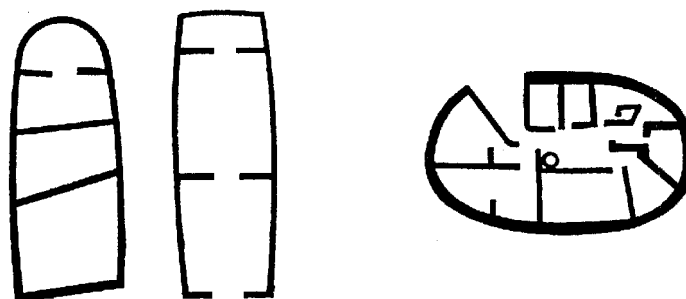


Fig. 6.10 Plantas de cabañas neolíticas griegas

La arquitectura doméstica en Grecia nace de la cabaña neolítica y de la Edad de Bronce; de forma circular, ovoidal y rectangular, esta última se desarrolla añadiendo un pórtico en la fachada y una o dos habitaciones en la parte posterior. En este embrión ya aparece la forma del "megarón", la sala que es centro de la vida familiar y que derivará, en la arquitectura de estilo, en morada del rey (sala del trono) o de la divinidad. La vivienda evoluciona lentamente pero siempre conteniendo su complejidad, mucho más de lo que sucede en otras culturas. Vitrubio ya observa la ausencia de atrio y la existencia de separaciones internas de tipo genérico (hombres y mujeres, por ejemplo) en las viviendas de dos plantas griegas, a diferencia de la duplicidad de patios y del acceso más gradual en las romanas.

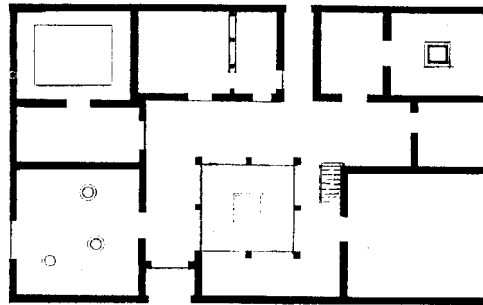


Fig. 6.11 Planta de vivienda griega clásica

En general, en esta arquitectura, respecto a la egipcia o mesopotámica, aumenta la proporción de huecos, aparece el techo con terraza (presente ya en ejemplos cretenses de 2.000 años a.C., ejemplo más antiguo de esta cobertura típicamente mediterránea), casas, en general, más extrovertidas, con menos condicionantes climáticos o sociales que obliguen a separarse del exterior. Son viviendas abiertas física y simbólicamente al sol, que aquí deja de ser un nocivo agente exterior y pasa a ser un elemento positivo de la vida del hombre, hasta el punto que Hipócrates ya señala, en las condiciones de la polis ideal, la necesidad de orientar al Sur las fachadas de sus viviendas.

Al margen de esta arquitectura popular, aunque a veces sus logros se inspiran en la misma, existe en estas culturas una valiosa y característica arquitectura de estilo. Ya en la cultura cretense encontramos un interesante ejemplo en los palacios reales, varias veces destruidos, varias veces reedificados sobre sus propias ruinas, con su intrincadísima geometría de cámaras, salas, almacenes, terrazas, patios y pasadizos, distribuidos en varios niveles, que ha centrado la fantasía de los antiguos griegos, dando alas a la leyenda del laberinto. En cualquier caso, estos palacios trascienden ya el concepto de edificio y pasan a formar una unidad superior, de edificio-ciudad, donde los pasadizos son calles, los salones plazas y donde hay un entorno ambiental común, cerrado al exterior y al fresco frente al calor exterior y protegido de los vientos fríos en invierno y, en cierto sentido, se aproxima a conceptos actuales de supraciudades.

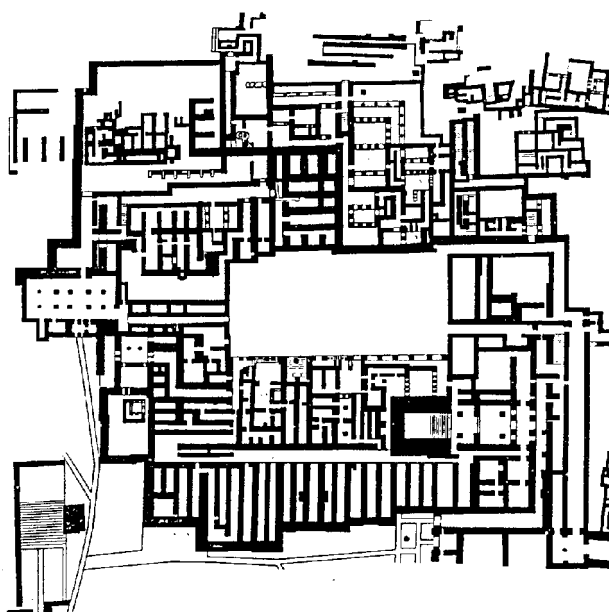


Fig. 6.12 Palacio de Cnosos en Creta

En la Grecia clásica, la importante vida comunitaria de la polis genera espacios exteriores adecuados, pórticos múltiples que protegen del sol, ámbitos urbanos (plazas) a modo de salones, etc; siempre se cuenta con la permisividad de un clima templado, gracias al cual, se da la paradoja de que los más monumentales templos carecen prácticamente de espacio interior.

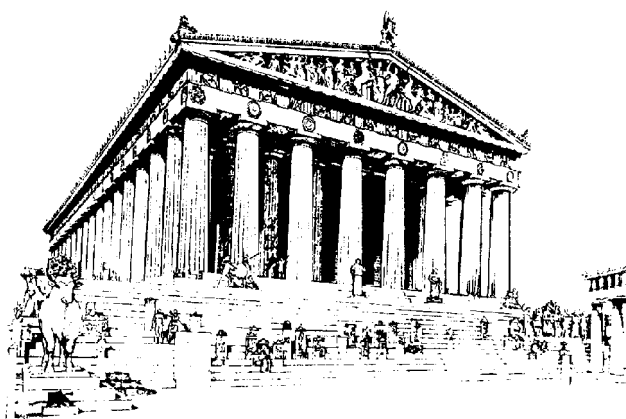


Fig. 6.13 El templo griego, espacio interior poco importante

A este nivel de edificios públicos, y como nueva aportación ambiental, está ampliamente comentada en todos los textos históricos la realización acústica del teatro griego donde, con una sencillez de medios realmente ejemplar (reflexión en superficies planas entre actores y público, y máscaras a modo de megáfonos), consiguen ampliar la comunicación acústica de la voz humana, a una amplia concurrencia. Es el primer ejemplo conocido y estudiado de preocupación por la acústica de salas (en este caso al aire libre) en nuestra cultura.

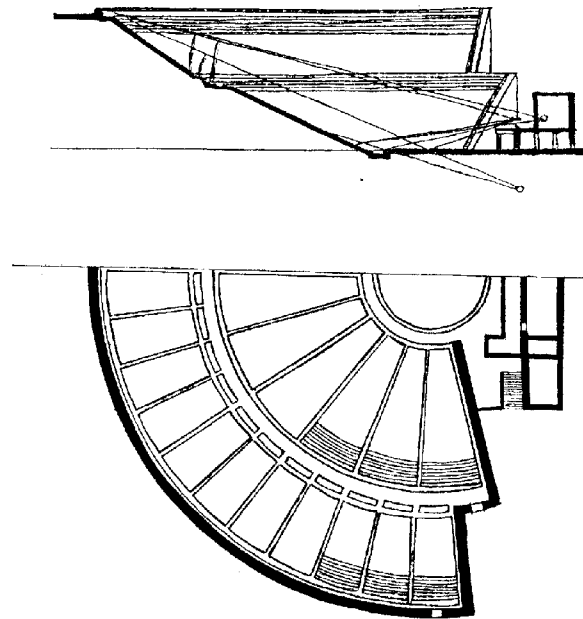


Fig. 6.14 Planta y sección del teatro griego

De la cultura griega es obligado pasar a la de **Roma**, en muchos sentidos su heredera aunque, concretamente en el Imperio Romano, encontremos un nuevo sentido de la relación entre técnica y control ambiental que, utilizando tecnologías propias de multitud de culturas, las desarrolla con una mentalidad distinta.

En Roma se dan unas nuevas circunstancias respecto a ejemplos anteriores, que influirán sobre sus formas técnicas y culturales. En primer lugar está el hecho de que por primera vez se forma una aglomeración urbana de gran tamaño, con una densa ocupación y con una marcada jerarquización social. En esta aglomeración aparecen, lógicamente, importantes muestras de arquitectura de estilo, ampliamente conocidas y estudiadas (termas, circos, anfiteatros, basílicas, templos, foros, etc.). Pero además de la magnificencia de estas grandes obras, también nos impresionan las realizaciones técnicas que las acompañan y que demuestran incluso el nacimiento de una nueva filosofía, más pragmática que las de las anteriores culturas.

Entre estas realizaciones técnicas destacan las que han podido estudiarse en las termas (clubs de baños), donde complicados conductos empotrados en paredes y pavimentos distribuyen el calor por las salas y conducen los gases quemados al exterior. Estas soluciones de calefacción a distancia por conductos empotrados en el pavimento, las vemos luego aplicadas en las viviendas de las familias acomodadas.

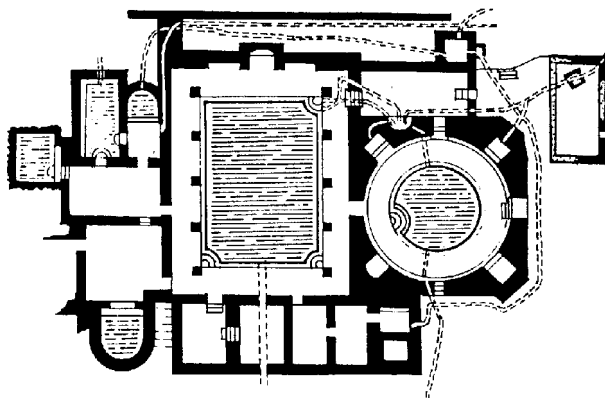


Fig. 6.15 Termas romanas (aquae flavianae)

Otra de las realizaciones más espectaculares y conocidas es la de los acueductos romanos; a la ciudad de Roma llegaba un caudal de 1.500 l/s a través de 11 acueductos, resolviendo con ello el problema hidráulico de la gran aglomeración. Estas impresionantes obras de ingeniería parecen hoy incluso exageradas en su resolución, ya que, cuanto más fácil es enterrar un conducto siguiendo el perfil del terreno, que no construir el acueducto; pero debe considerarse aquí que para ellos era mucho más costosa la construcción de tuberías a presión en plomo o bronce, que la realización del acueducto con la explotación de la abundante mano de obra de los esclavos.

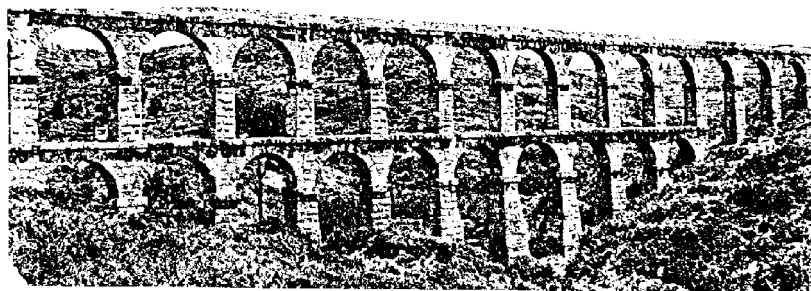


Fig. 6.16 Acueducto romano de Tarragona

Un ilustrativo ejemplo de la diferente mentalidad técnica romana nos lo ofrecen las soluciones aplicadas en algunas de sus construcciones para teatros. Mientras veíamos en el teatro griego como su forma se adaptaba al máximo a la natural del terreno, utilizando la extensa superficie del coro como reflector reforzante de las ondas directas de la voz de los actores, en el teatro romano, aunque se repiten parcialmente estas soluciones, en otros se buscan otros recursos, reforzando el sonido con la reflexión en la parte posterior de la escena construida expresamente para este fin, e incluso en algún caso utilizando conductos bajo las gradas de espectadores, parece ser que como transportadores del sonido a las últimas filas, (e incluso podían servir para difundir aromas agradables en el curso de las representaciones) o vasijas enterradas bajo las gradas, que se interpreta que podrían servir también, para reforzar el sonido, actuando como resonadores.

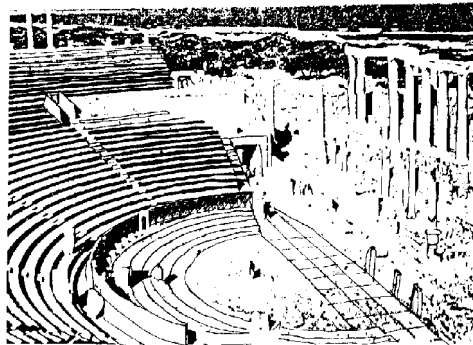


Fig. 6.17 Teatro romano de Leptis Magna (S.II)

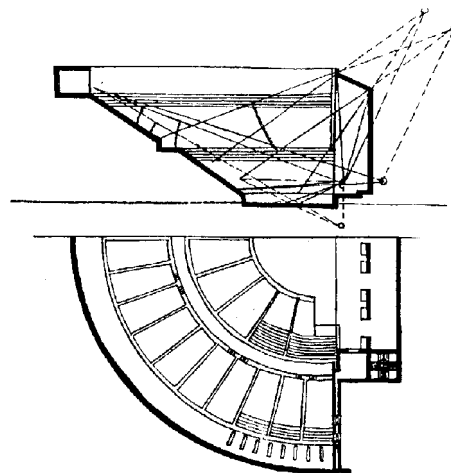


Fig. 6.18 Acústica del teatro romano

Si abandonamos ahora la arquitectura representativa y de estilo, y consideramos nuevamente el funcionamiento de la vivienda común, observamos que en ella también se recogen y aplican soluciones ya experimentadas en otras culturas y que en Roma se convierten en soluciones complejas tipificadas.

---

Para llegar a la típica casa romana con atrio, es decir, con patio central cubierto, común en los últimos siglos de la República, es difícil encontrar el camino seguido desde la típica casa etrusca. La fusión de esta casa romana con atrio, con la del peristilo, de tradición helénica, la encontramos posteriormente, y con múltiples ejemplos, en Pompeya y Herculano. Se crea entonces una vivienda grande, única, en la que la casa con atrio constituye la parte anterior, que comunica con la calle a través del vestíbulo, y el peristilo con columnas forma la parte posterior, más íntima y lujosa.

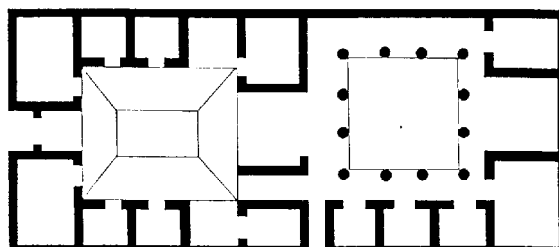


Fig. 6.19 Planta de vivienda romana

En este punto quizás es conveniente recalcar el importante papel del patio interior en toda la vivienda mediterránea y del que la vivienda romana es un clásico exponente. El patio mediterráneo cumple unas importantes funciones climáticas, disipación del calor y creación de zonas sombreadas durante el día y acumulación de aire fresco durante la noche, aunque su funcionamiento no sea el más apropiado para zonas húmedas, sobre todo en invierno, por convertirse también en un foco de humedad dentro del edificio. Además de estas funciones climáticas, el patio cumple también otras de privacidad y protección visual, reflejando en realidad un especial sentido de introversión, que tantas otras veces queda en contradicción en la vivienda mediterránea.

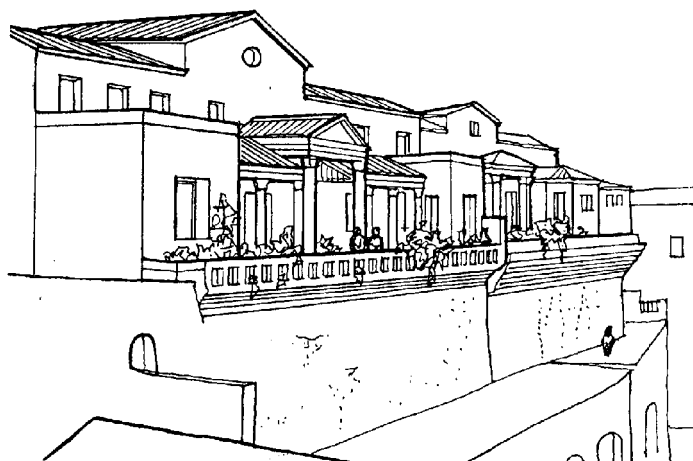


Fig. 6.20 Fachada sur de dos viviendas en Herculano

Pero, además de la típica vivienda con atrio y peristilo, en Roma se presentan ya sistemáticamente construcciones de varios pisos, la aglomeración urbana y el empleo del cemento permitirán la proliferación de altas construcciones sobre pilares de piedra y con ello la vivienda plurifamiliar. Las "ínsulas" o manzanas de casas situadas entre cuatro calles y con muchas viviendas comunicadas con distintas escaleras de acceso, llegan a formar conjuntos realmente complejos, con zonas públicas y patios porticados con arcadas que van mucho más allá del atrio o del peristilo, etc. Aquí se abandona el concepto de casa mediterránea, cerrada a las miradas indiscretas de los extraños, para entrar en el de relación pública, más conocido por nosotros hoy en día. En estos edificios, el concepto climático y ambiental pasa a un segundo término en su diseño, debido a razones especulativas y de aprovechamiento del terreno ante todo. De esta forma empieza la despreocupación por los factores ambientales, que hasta entonces tanto habían influido en la ubicación, orientación y distribución de los edificios.

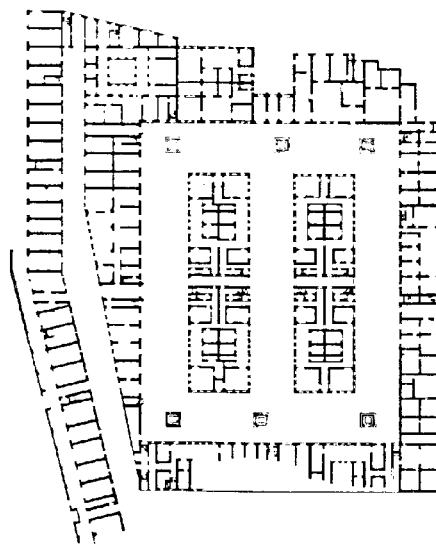


Fig. 6.21 Edificios romanos de viviendas colectivas

Con esta nota negativa del ya antiguo abandono de los condicionantes ambientales en la arquitectura, dejaremos aquí el estudio de las culturas clásicas, de las cuales el Imperio Romano representa el punto culminante, para empezar a recorrer el largo camino que, desde allí y a través de la Edad Media, llega hasta nuestros días.



## 6.4 Crecimiento de Europa, el frío y la luz

Al plantear la siguiente etapa de evolución en los medios de control ambiental, encontramos un profundo cambio en la situación política y social, que en muchos casos hace olvidar los progresos técnicos ya conseguidos. Pero además de ello y como factor de mayor repercusión a nuestros efectos, sucede que los mayores centros de cultura y desarrollo, de los que ha llegado información hasta nuestros días, se desplazan geográficamente hacia el norte, por lo que se sitúan en zonas más frías.

Este hecho comportará que, al analizar la arquitectura popular de esta época, los problemas térmicos, de aislamiento del frío y de producción de calor mediante un hogar, pasan a ser los más importantes definidores de estas arquitecturas. Esto no significa que en épocas anteriores, en el Imperio Romano por ejemplo, no existiese el problema del frío. En la casa romana estaba previsto un lugar para el fuego y los braseros, e incluso sistemas de calefacción por el pavimento, pero éste no era un factor decisivo en el diseño de la vivienda romana, y en cambio sí lo será en el de las viviendas medievales.

Conjuntamente con el problema del frío, aunque menos crítico que éste, está el de la luz. Tanto la luz artificial, como la natural, son un factor importante en zonas donde el invierno es largo y con cortas jornadas diurnas. Este factor lumínico ya ha sido analizado en los clásicos tratados de arquitectura, pero refiriéndose siempre a la arquitectura de estilo. Existen análisis muy sutiles de la evolución de la iglesia románica y gótica, en el aligeramiento de sus estructuras en la búsqueda de la luz. Este hecho se reproduce, aunque esté menos estudiado, en la arquitectura de la vivienda, aunque sea, sobre todo, en la de la vivienda de las clases más pudientes de la sociedad medieval.



Fig. 6.22 Evolución de las fachadas holandesas medievales (S. XII-XV)

Es curioso ver que, así como la arquitectura de estilo reaprovecha algunos temas básicos de la popular, convirtiéndolos en motivos simbólicos de su estructura espacial (templo egipcio), la arquitectura popular también intenta a menudo dignificarse tomando motivos formales de la de estilo.

---

Al estudiar genéricamente las viviendas medievales, encontramos dos tipos principales, la casa de madera y la casa de obra. La primera tiene sus orígenes en la arquitectura popular de estas zonas europeas y la segunda los tiene en los restos de la arquitectura ciudadana latina, que al norte de los Alpes había tenido poco o inadecuado empleo, por su difícil adaptación a los climas más húmedos o fríos. Incluso se advierte esta dualidad a nivel político social, a finales del siglo XI, allí donde gobierna la Iglesia mediante los monasterios, dominan las construcciones de piedra, mientras que donde prevalecen los feudos laicos, predominan las de madera, de construcción más económica y que permitía resolver el problema del frío con mayor eficacia.

Esta casa de madera es la que evoluciona, al escasear la materia prima durante los siglos siguientes, hacia el típico edificio de tipo mixto, aún hoy en uso, donde la madera forma una estructura reticular de sostén y la función de cierre se confía a otros materiales, menos resistentes a las fuerzas estáticas, pero más activos contra la intemperie, más aislantes y que ajustan más herméticamente.



*Fig. 6.23 Edificio en Magdeburg con estructura de madera*

Los edificios de piedra, en contrapartida, eran más propios de la arquitectura de estilo, religiosa, paramilitar, etc., y de sus áreas de influencia más directa, o de lugares donde existiesen facilidades locales de material. En estos edificios, la gran inercia térmica es la característica principal desde el punto de vista ambiental. Esta inercia térmica resulta un factor positivo en épocas de calor, sobre todo en los climas más extremados, pero en cambio es una característica molesta en zonas húmedas y frías y sobre todo en edificios cuya ocupación es discontinua.

---



Fig. 6.24 Vivienda medieval de piedra

De todas formas, para juzgar el papel del control climático dentro de los edificios medievales de una cierta importancia y tamaño, conviene tener en cuenta la forma de vida que se desarrollaba dentro de los mismos. En estos edificios la ocupación era, en cierta forma, la de un campamento colocado dentro de una construcción. Existía un acentuado nomadismo en la ocupación temporal de edificios y en la de espacios diferentes de un mismo edificio.

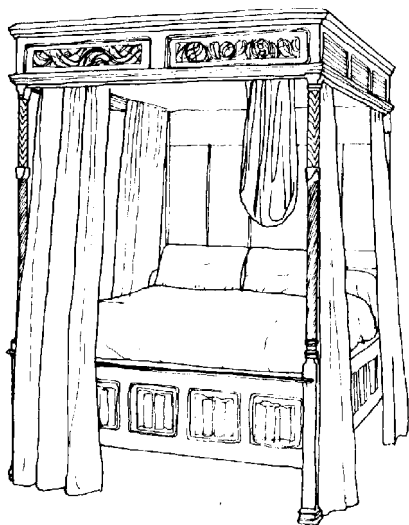


Fig. 6.25 Muebles que se convierten en habitaciones

Por este motivo, la mayor parte del mobiliario era móvil y transportable (arcones, cortinajes, sillas y sillones plegables, etc.) y la compartimentación de los espacios se realizaba con elementos muebles, dentro de espacios mayores, que estaban ocupados por toda la familia, sirvientes, allegados, etc. Un ejemplo claro es el de los lechos-dormitorio, donde cada cama era una pequeña habitación dentro de una sala.

Este funcionamiento se correspondía con el funcionamiento climático de los edificios, con un clima interior poco controlado y por ello eran siempre necesarios sistemas de corrección térmica.

Como elemento básico en este aspecto térmico, el **fuego** cumplía en gran parte el mismo papel que podía haber cumplido un fuego de campamento. Situado en el centro de una gran estancia, la principal del edificio, carecía de conducciones de evacuación de humos, y estos lógicamente ennegrecían la parte alta de las estancias, para acabar escapando por las grietas y agujeros existentes en la parte alta de las mismas.

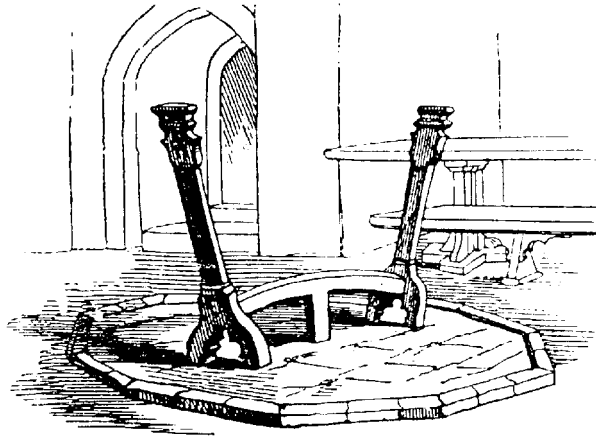


Fig. 6.26 El fuego en el suelo como centro del espacio

La vida invernal dentro de los edificios se organizaba tomando el fuego como base, incluso en relación con la gradación social de los habitantes, que se reflejaba en su orden de colocación respecto al mismo. Este elemento era el de más crucial papel en la existencia y supervivencia de la familia. Hasta tal punto es importante el fuego, que en numerosas crónicas medievales, encontramos razón y única referencia del tamaño de las poblaciones, a través de la mención que en ellas se hace del número de fuegos existentes en la población en un determinado momento histórico.



Fig. 6.27 La vida tomando el fuego como base

Durante toda la Edad Media, a partir de la necesidad de calor, se desarrollan ingeniosas soluciones para acercar el fuego al usuario cuando éste debe alejarse del hogar, aparecen así curiosos diseños de calentamanos, braseros, calentacamas, etc. Todos ellos más entendibles con el carácter seminómada que a veces presentaba esta sociedad en sus clases más pudientes.

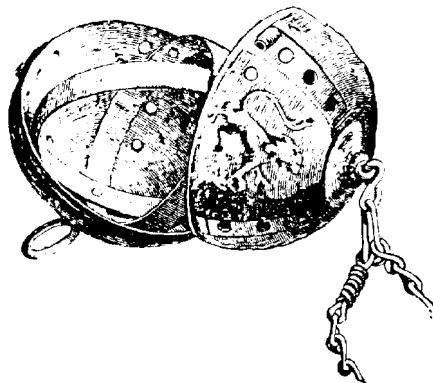


Fig. 6.28 Utensilios para acercar el fuego al usuario (calentamanos)

Mientras tanto también evoluciona el diseño de los edificios, en relación a la situación del hogar dentro de ellos. La solución de fuego central libre resultaba engorrosa y molesta, aunque permitiese el ahumado perfecto de ciertas viandas. Se comienza a considerar la posibilidad de conducir el humo del hogar, con una especial estructura que lo cubre y lo conduce al exterior por un orificio, al estilo del típico "escó" catalán (hasta cierto punto habitación-hogar) y precursor de la campana de humos, típica del hogar más moderno.

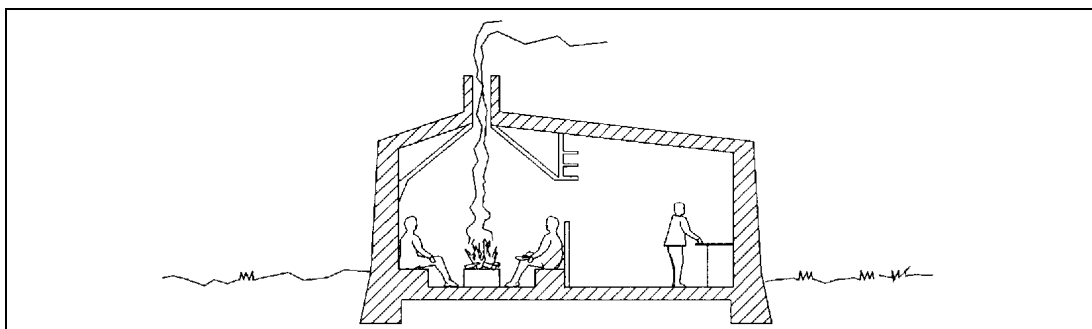


Fig. 6.29 Habitaciones-hogares de fuego, espacios térmicamente controlados

Con ello el fuego se desplaza del centro a la periferia de las estancias, se multiplica a veces su número para conservar su eficacia y, sobre todo, se le dota de chimenea adosada a los elementos estructurales. Esta chimenea, favoreciendo el tiraje, empieza a permitir superar la clásica equivalencia hogar-humo. Para ello es ayudada por la mejora en la hermeticidad general de los edificios y de las ventanas de en particular, lo que justifica la mejora del diseño de dicho hogar.

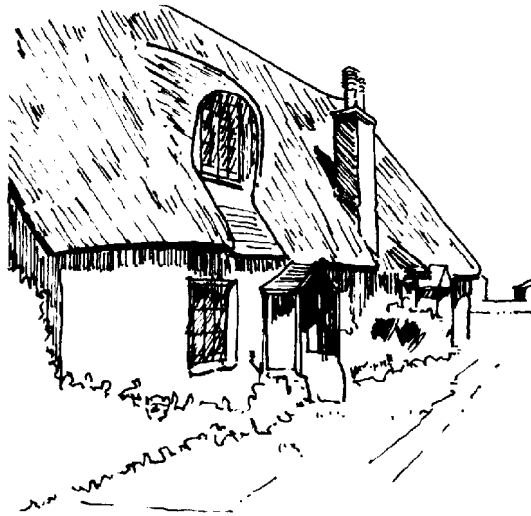


Fig. 6.30 El hogar pasa a la periferia de la vivienda

De esta forma, hacia el siglo XV, ya podemos considerar que las viviendas han dado un importante paso hacia el confort térmico, al hacerse más estables y menos ahumadas que anteriormente.

Evidentemente, al margen de la línea principal de evolución, existen soluciones locales más o menos avanzadas respecto a la misma. Un ejemplo curioso, que reencuentra soluciones romanas, nos lo dan las "glorias" castellanas, donde conducciones de humo a través del pavimento repartían el calor del fuego situado debajo (donde se quemaban materiales de baja calidad), por toda la casa, calentándola eficazmente, aunque las numerosas rendijas existentes contribuyesen a llenarla de humo con la misma eficacia, además del riesgo de incendio, que hacía también peligrosa esta solución.

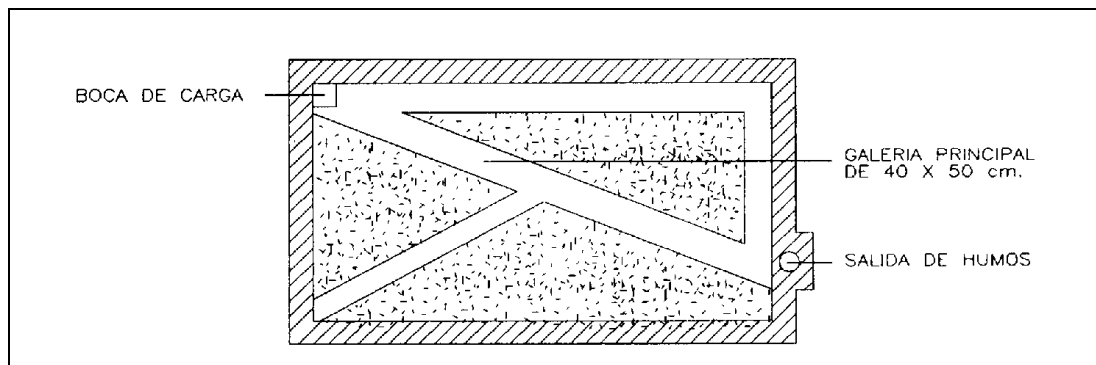
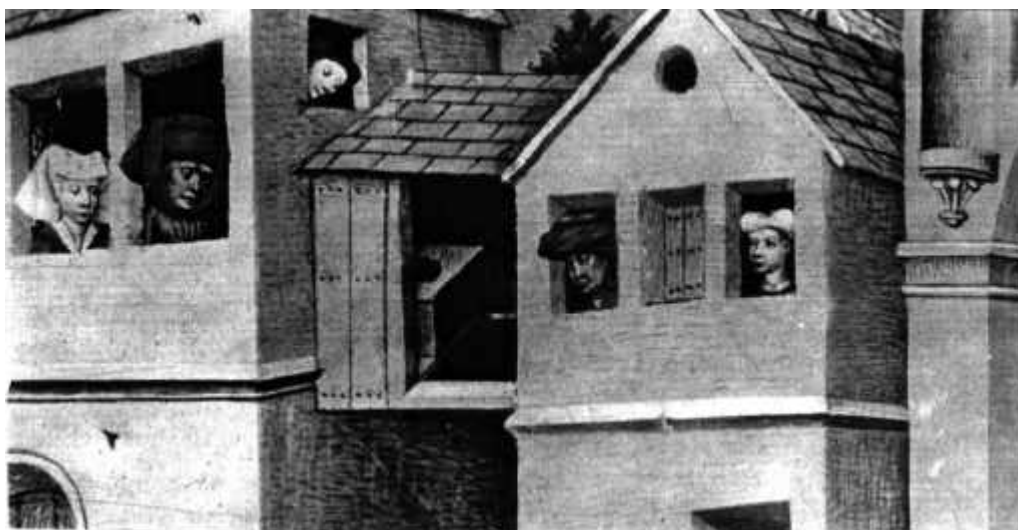


Fig. 6.31 Calentamiento del pavimento en las "glorias" castellanas

Paralelamente al desarrollo del fuego en la vivienda medieval, otro proceso de evolución técnico-constructiva a considerar es el de la **luz natural**.

En los ejemplos más primitivos, el problema térmico domina claramente sobre el lumínico y los edificios presentan reducidas aberturas, mal cerradas con papel o tela y en algún caso más lujoso, con alabastro. En estas condiciones podemos asegurar que las viviendas resultaban oscuras y lóbregas y que, si no estaban mal ventiladas, ello era gracias a la falta de hermeticidad de los cerramientos que ya hemos comentado.



*Fig. 6.32 Edificios con ventanas sin cristales, oscuros de día y de noche*

Cuando, hacia el siglo XIV, empieza a difundirse el uso del vidrio en las ventanas, una nueva y revolucionaria posibilidad de confort comienza para los edificios. El espacio interior diurno se transforma; de ser un espacio oscuro en tiempo frío, donde cualquier actividad era impensable, pasa a ser ahora un espacio luminoso que permite trabajar, especialmente en tareas que pedían poco esfuerzo, hasta entonces irrealizables.

---



*Fig. 6.33 El vidrio cambia las condiciones de uso de los edificios*

El vidrio permite, como elemento selectivo, la entrada de luz sin dejar pasar el aire, con lo que detiene en gran parte la fuga de calor y elimina las corrientes de aire en el interior. Aunque su introducción en los edificios comunes se realiza de forma muy lenta, a causa de su elevado coste, será lo que permita en definitiva una real evolución hacia una vivienda confortable y bien iluminada.

---





Fig. 6.34 La arquitectura empieza a utilizar el vidrio a gran escala

Esta vivienda presentará, incluso a la larga, problemas por la falta de la ventilación que la hermeticidad habrá suprimido y esto llegará a ser peligroso, en el futuro, con el empleo de la combustión dentro de las estancias, de fuegos y braseros, sin aportaciones suficientes de oxígeno.

La evolución del control térmico desembocará a la larga en una dualidad de diseños, **chimenea-hogar** o **habitación-estufa**. En el primer caso se calienta sobre todo por radiación, con pérdida de gran parte de la energía con el humo que sale al exterior, lo cual representa que la eficacia es muy baja (aproximadamente un 5% de rendimiento).

Por otra parte existe con la chimenea una buena ventilación que permite el tiro del fuego y que también contribuye a refrigerar los pies y la espalda. Esta solución es sobre todo la preferida en las islas británicas, considerada allí como más higiénica que la de la habitación-estufa.



Fig. 6.35 El hogar, control térmico con alto consumo

La solución de la habitación-estufa, usada preferentemente en los fríos inviernos alemanes, se basa en la organización de toda la vida familiar en una habitación interior, cerrada herméticamente, en donde una gran estufa de cerámica funciona constantemente, difundiendo lentamente el calor. El rendimiento de la combustión es más alto en este caso (hasta un 20%), en cambio las condiciones higiénicas, en estas habitaciones tan herméticas, dejan mucho que desear. Humedad, olores, hacinamiento, etc. son las constantes de este tipo de locales, que escandalizaban a los primeros turistas ingleses que visitaban el continente y que los comparaban con sus "perfectamente" ventiladas salas, provistas de hogar y de amplios y cerrados sillones para resguardarse de las corrientes de aire.



*Fig. 6.36 La habitación-estufa, espacio de invierno*

Todavía hoy, a finales del siglo XX se reconoce, en las costumbres británicas, una preocupación especial por la ventilación, incluso con preferencia respecto a otros temas de control ambiental. Debemos tener en cuenta que las condiciones climáticas de las islas son mucho más húmedas y que, hasta cierto punto, el bajo rendimiento del hogar quedaba contrarrestado por el buen rendimiento de la renovación de aire.

---

## 6.5 Tiempos de cambios hasta el industrialismo

Cumplida ya la lenta evolución del Medievo y habiéndose realizado la transformación cultural del Renacimiento llegamos al período llamado Barroco en nuestras historias de arte. Empiezan entonces a gestarse nuevas situaciones políticas y sociales, de las que surgirán los grandes cambios del futuro. Las ciudades crecen en esta época y se extienden más allá de sus estrechos límites medievales. La vida urbana se convierte en predominante y empiezan a hacinarse las viviendas en los cascos antiguos. La efervescencia urbana trae consigo una nueva visión del mundo y de la técnica que sobre él puede aplicarse y de esta forma, comienzan a utilizarse soluciones de nuevo cariz, concebidas con carácter industrial en primer término y que a la larga darán acceso al industrialismo y a la paulatina introducción de las técnicas energéticas en los edificios.



Fig. 6.37 Crecimiento urbano densificado

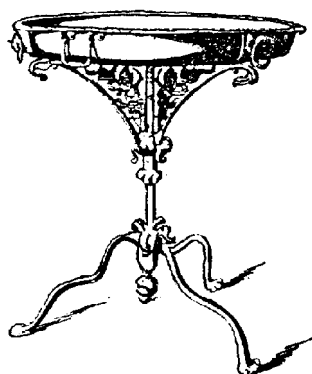
La vivienda típica de este período es la urbana, con ciertas pretensiones culturalistas en su composición, ordenada entre medianeras y en varias plantas, dependientes todas ellas de la fachada, en la búsqueda de la luz y de la relación pública. Amplias ventanas en muchos casos, sobre todo en Holanda y en Inglaterra, hasta que los impuestos municipales se aplicaron sobre su tamaño.

---



*Fig. 6.38 Vivienda urbana entre medianeras*

Las habitaciones interiores, de altos techos, resultaban frías y aunque los edificios quedaban protegidos del frío por sus vecinos, era necesario calentarlos con hogares en las piezas principales y estufas o braseros en las otras. En esta época se utiliza ya con profusión el típico brasero con carbón de leña, que no producía humos pero resultaba en cambio muy peligroso por el desprendimiento de carbono.



*Fig. 6.39 Brasero de carbón de leña*

Si observamos en conjunto, para estos períodos y los anteriores, la evolución de los medios de control ambiental, sólo podemos apreciar cambios de escasa envergadura. Tanto en el control térmico, como en el lumínico.

Tenemos que esperar hasta el siglo XIX para que una nueva forma de actuar frente a la realidad y una nueva conciencia del hombre como dominador de su entorno den una nueva dimensión al control de las características ambientales de los edificios. Todo esto coincide con el desarrollo tecnológico que debe hacer posible este proceso, aunque al mismo tiempo traiga como secuela el inicio de la destrucción del medio natural.

En las viviendas, la aplicación de la técnica se hace esperar, pero a finales del XVIII ya surgen nuevos ingeniosos diseños de aparatos de control ambiental, derivados la mayoría del hogar o de la estufa clásicos.

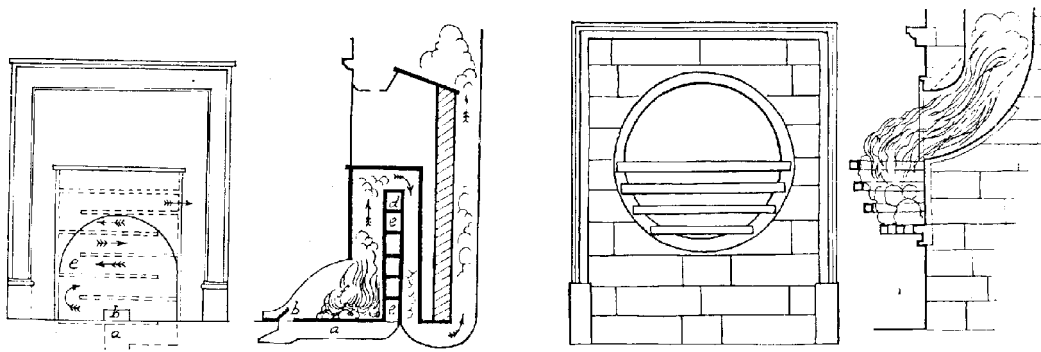


Fig. 6.40 Diseños ingeniosos, hogar "pensilvania" y hogar "taphouse"

En general, también debemos tener en cuenta que se empieza a valorar cada vez más el confort de las viviendas y se piden normalmente condiciones ambientales mejores de las que hasta entonces habían existido, incluso en los palacios más poderosos. Sólo la mecanización industrial y, en general, la difusión del concepto de "movimiento" que venía de los procesos de la industria, permitieron el cambio que se necesitaba, con una nueva visión del tratamiento del espacio.

En el siglo XIX, los procesos industriales a gran escala y el ferrocarril como medio de transporte revolucionan la actitud de la sociedad frente al medio natural. Aparecen y proliferan las fábricas, las minas y las agrupaciones humanas relacionadas con el emplazamiento de aquéllas.

En los países que se industrializan se produce una nueva extensión urbana en suburbios densamente poblados, con escasas previsiones higiénicas. Inmediatamente y como reacción a esta situación, las clases médicas y clericales denuncian las pésimas condiciones habitacionales de esta vida suburbana y empiezan a preocuparse en que los avances técnicos, higiénicos y sanitarios corrijan estas deficiencias. Es así como, otra vez desde campos ajenos a la profesión arquitectónica, se empieza a exigir a los edificios en particular, y a las ordenaciones urbanas en general, un diseño eficaz desde el punto de vista del control ambiental.

Paralelamente, el desarrollo del alumbrado artificial permite la prolongación de la jornada de trabajo (o al revés, esta prolongación exige avances en las técnicas de alumbrado artificial). La contaminación del aire obliga a desarrollar las técnicas mecánicas de ventilación y se incorporan a los edificios fabriles los primeros ventiladores de aspas. La preocupación por estos problemas lleva incluso a estudiar teóricamente los parámetros térmicos y especialmente de pureza de aire, a mediados del siglo XIX, se intenta ya establecer unos primeros niveles óptimos o mínimos de confort.

Todo ello genera una nueva mentalidad frente al problema de acondicionamiento en los edificios, que lleva en algunos casos a imaginarlos y diseñarlos en función de estos parámetros. Un ejemplo de estos "edificios testimonio" de las preocupaciones higiénicas del momento es la vivienda de John Hayward en Liverpool, la "Octogon house", que curiosamente y al igual que otros ejemplos de la época estaba proyectada por un médico higienista y no por un arquitecto. En esta vivienda existe un cuidadoso estudio de la ventilación de todas las habitaciones, con pasillos superpuestos, conductos y chimeneas para extraer el aire viciado.

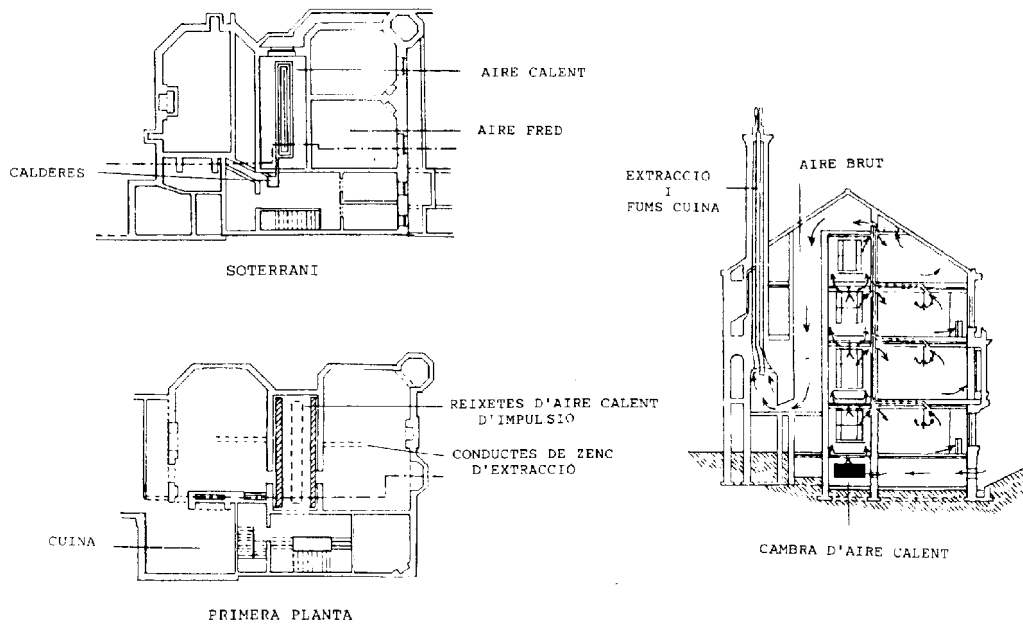


Fig. 6.41 Plantas y sección del "Octogon house" (Dr. John Hayward)

Éste y otros ejemplos demuestran ya un apurado estudio técnico, superior incluso a los de soluciones más modernas, que con los sistemas de impulsión mecánica de aire o de agua para calefacción y ventilación, resultan mucho menos refinadas técnicamente.

Las técnicas de calefacción comienzan entonces su desarrollo acelerado y rápidamente encuentran el sistema ideal para transportar la energía calorífica de un lugar a otro en el agua. Con elementos intercambiadores de calor en las habitaciones y circuitos de circulación natural por diferencia de densidades entre el agua fría y la caliente. Esta técnica se desarrolla hasta que por fin se superan las soluciones que descubrieron los romanos en su día, y se perfecciona con sistemas que continúan empleándose, con pocas variaciones, hasta nuestros días.

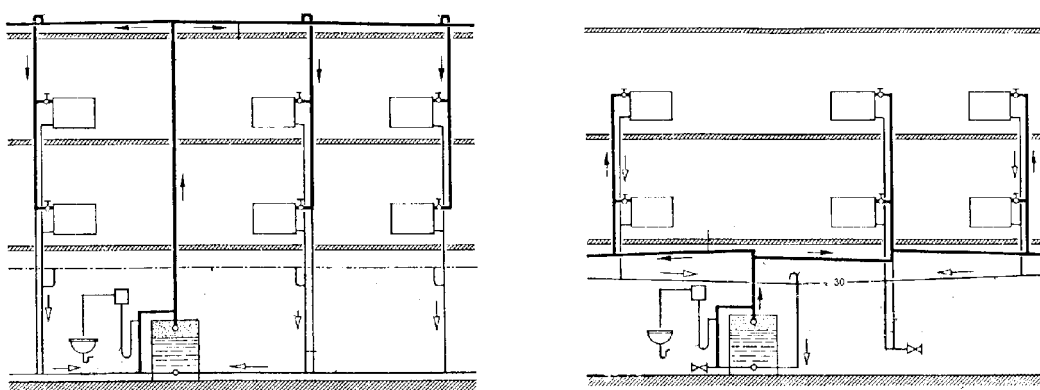
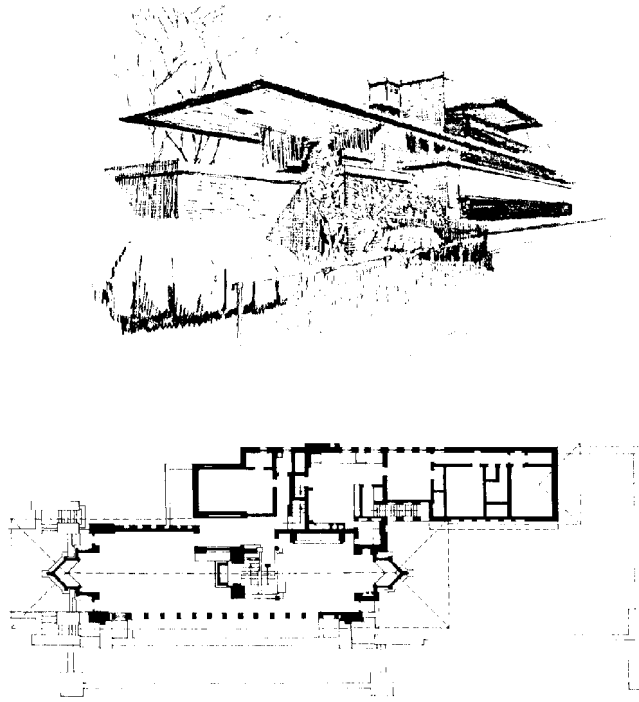


Fig. 6.42 Sistemas modernos de calefacción

Otro desarrollo de especial importancia en el control ambiental de los edificios es el del alumbrado artificial. Los edificios que habían estado iluminados hasta entonces por precarios candiles, velas o lámparas de petróleo, alcohol, etc., empiezan a incorporar el gas para el alumbrado, residuo de la destilación del carbón de Cock, gracias al descubrimiento del austriaco Baron Auer von Welsbach (1880) de la camisa que permite la combustión rica en oxígeno con luz blanca y pura. El sistema se difunde rápidamente, primero a nivel de alumbrado público, lo que permite por primera vez la vida nocturna exterior en las ciudades y este hecho representó una revolución de carácter incluso filosófico.

También se difunden estos sistemas a nivel de alumbrado interior, donde como novedad podemos considerar que los elementos de alumbrado artificial se integran por primera vez en los edificios como elementos de ubicación fija, hecho que sólo algunos buenos arquitectos aprecian e incorporan conscientemente en sus diseños.



*Fig. 6.43 "Robie House" de F. LL. Wright donde incorpora las nuevas técnicas a la propia forma arquitectónica*

Este espectacular desarrollo del alumbrado por gas queda, sin embargo, tempranamente abortado por la aparición de un nuevo sistema, el alumbrado eléctrico, que pasa a sustituirlo en el interior de los edificios. La lámpara de Edison desprendía menos calor que la de gas y ningún tipo de humos; por otro lado, la experiencia previa de Edison con el telégrafo le permitió un rápido desarrollo de las redes de suministro de energía eléctrica, que a la larga serían las bases de un nuevo enfoque energético de los edificios.

---



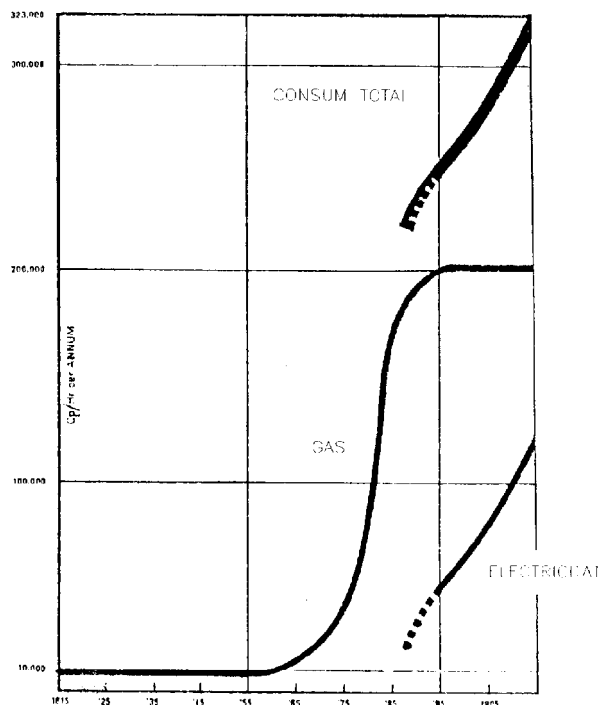


Fig. 6.44 Evolución del consumo de energía en el alumbrado en las viviendas de los Estados Unidos (1815-1915)

De esta forma, a lo largo del siglo XIX van introduciéndose masivamente en los ambientes arquitectónicos los nuevos medios energéticos, quizás de una forma poco reconocida por los mismos profesionales, que se resistían a considerar estos nuevos elementos como formando parte de la arquitectura.

Como hecho esclarecedor que cita Reyner Banham, podemos ver que: mientras el "*Complete Body of Architecture*" de Isaac Ware, abarca, en 1750, la casi totalidad de los conocimientos técnicos sobre control ambiental existentes en su tiempo; la parte práctica de los "*Elements et Théories*" de Gaudet, de 1900, abultando el triple, abarca menos de la mitad de los conocimientos disponibles sobre este particular. Ello es debido simplemente a que Gaudet (como Ware), se limitaba a estudiar la parte estructural de la tecnología del ambiente, olvidando el importante papel que, cada día más, desarrollaban los medios energéticos dentro de los edificios.

Es interesante observar como, durante los siglos XVIII y XIX los edificios públicos que se construían, desde una fábrica hasta un cuartel de bomberos, tienen una apariencia exterior de palacios, aunque en el interior de los mismos se vayan incorporando masivamente nuevas tecnologías de control ambiental.

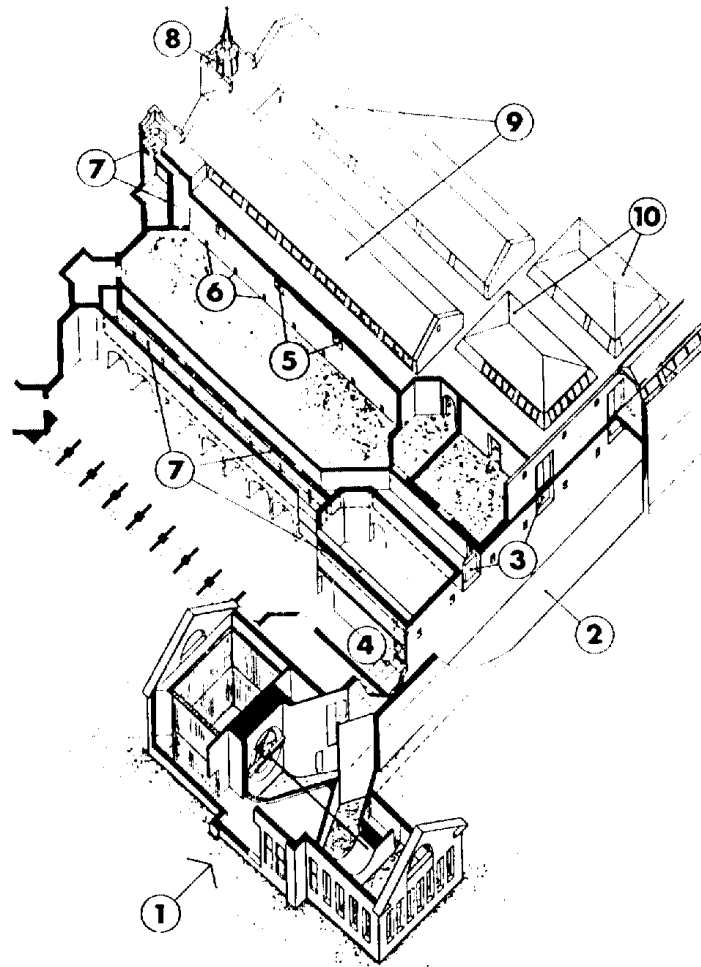


Fig. 6.45 Edificios públicos que esconden las nuevas técnicas

Hay que esperar hasta el siglo XX para encontrar, en algunos ejemplos arquitectónicos, la manifestación de las nuevas tecnologías en la apariencia general del edificio, aunque ésto se de en la forma primaria y simplista de evidenciar mediante composiciones con torres verticales contrapuestas a planos horizontales, la diferencia entre elementos "servidores" y elementos "servidos" del edificio.

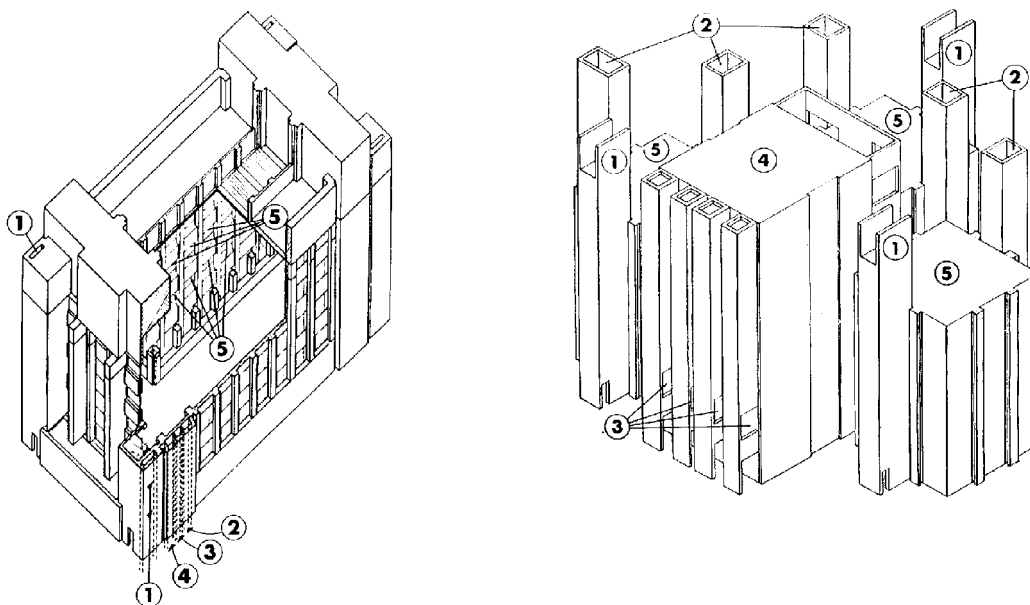


Fig. 6.46 Aparición, como elementos volumétricos, de las nuevas técnicas en la arquitectura

## 6.6 La modernidad y su contradicción

Aunque la arquitectura oficial se resista a reconocerlo, son estas técnicas las que permiten la aparición de unos nuevos tipos arquitectónicos, aunque no los generen ellas mismas. La gestación de edificios de estructura ligera, con escasa inercia térmica, los grandes cerramientos vidriados, hasta llegar a los muros cortina (permeables al frío, calor y radiación), los edificios de extensas plantas con zonas interiores sin alumbrado natural, etc.; sólo son posibles cuando se les incorporan técnicas de calefacción primero y de climatización después, el alumbrado de incandescencia y posteriormente el alumbrado fluorescente, etc.



Fig. 6.47 Cerramientos totalmente vidriados

Pero al mismo tiempo que se superan u olvidan las técnicas naturales y estructurales de control ambiental, las nuevas técnicas energéticas se incorporan dificultosamente al proceso de diseño. Siempre se tiende a concebirlas como "*elementos añadidos*" que además conviene ocultar al máximo. Así, hacia 1930, aparece el cielo raso como solución a una serie de nuevos problemas planteados, tales como la amortiguación de la reverberación del sonido en oficinas (placas acústicas) y la ocultación de la instalación de aire acondicionado, al mismo tiempo que la aparición del tubo fluorescente permite la creación del techo luminoso parcial o total.

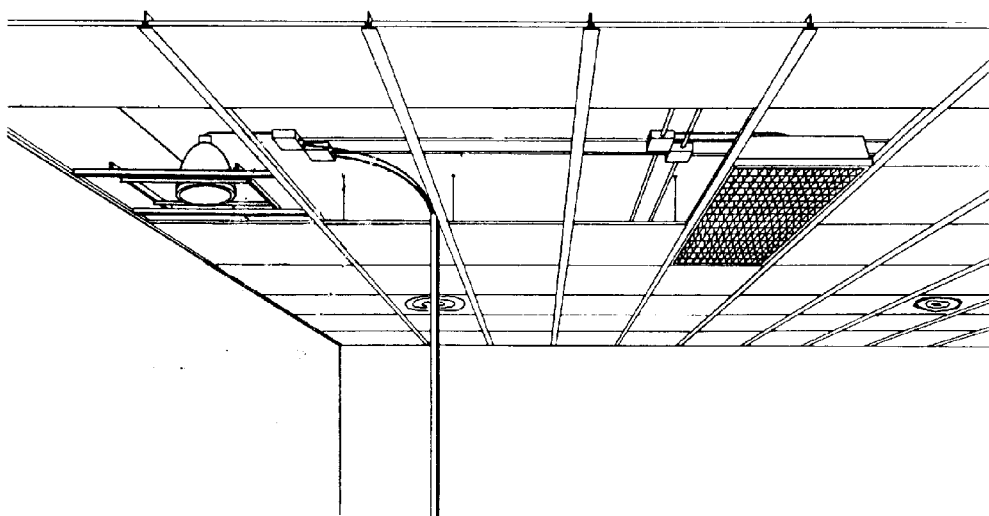


Fig. 6.48 Cielo raso de instalaciones ocultas

Esta mentalidad de la arquitectura servida energéticamente en forma invisible continúa latente aún en nuestros días, aunque ya desde hace varias décadas han aparecido tendencias arquitectónicas que revalorizan estos elementos técnicos, incluso a nivel plástico, y como generadores de un nuevo lenguaje de formas. Este planteamiento de aprovechamiento expresivo de los sistemas energéticos de control ambiental ha llegado en algunos casos hasta el extremo de dejar la apariencia del edificio totalmente en manos de los mismos. A pesar de ello la generalidad de la arquitectura que se construye continúa relegando a la ocultación estas insolentes instalaciones, de las que no pueden prescindir los edificios actuales.

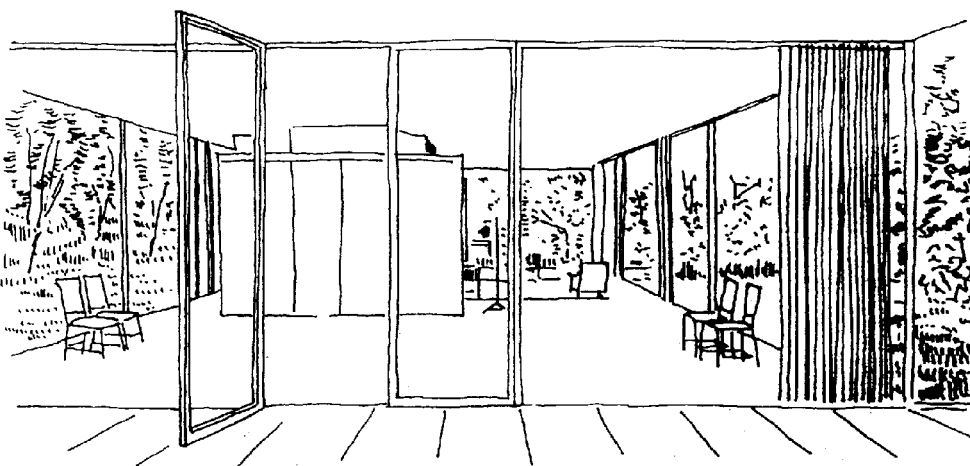


Fig. 6.49 La arquitectura continúa ocultando los sistemas artificiales

Toda esta discusión de las instalaciones vistas-ocultas no llega a plantear el problema, seguramente más interesante, de la verdadera integración de la energía en los edificios, que sería el diseño del espacio con estas energías, luz, calor, sonido, ahora dominables. No se trata sólo de llegar a aceptar formalmente los elementos que suministran estas energías, se trata de saber diseñar las condiciones lumínicas, acústicas y térmicas, cosa que aún ahora es excepción o casualidad en nuestra arquitectura.

Los cambios técnicos a partir de la mitad del siglo XX son ya muy importantes. Los nuevos sistemas estructurales, como la separación en los edificios de la "piel" y los "huesos", permiten la difusión en la arquitectura internacional del muro cortina, que viene a ser la forma aparente de la arquitectura de estilo de este siglo (con un pésimo funcionamiento, como ha ocurrido siempre con la arquitectura de estilo). Las nuevas cargas ambientales generadas por los nuevos sistemas constructivos, se encuentran con solicitudes más estrictas de confort. Todo ello convierte en obsoletas las soluciones ambientales mediante estructuras fijas y promocionan los sistemas de alto consumo energético. El bajo coste de una energía obtenida de fuentes fósiles hace que, comparando los costes de inversión y amortización con los de mantenimiento, es preferible el control artificial a los sistemas constructivos.

A pesar de ello continúa latente una concepción del espacio que no nos atrevemos a superar. El espacio energético es una superposición de nuevos sistemas sobre un espacio conceptualmente estructural, "espacio contorno", limitado y cerrado aunque sea con sistemas de escasa y defectuosa función de barrera o filtro, como el muro cortina. Lo que no deberíamos admitir hoy, es la perpetuación de la deficiente situación actual, donde las instalaciones de control ambiental, así como ocurre con las de servicio, se superponen a edificios concebidos sin pensar en ellas. Se perforan paredes, se revientan tabiques, se deforman espacios, se encarecen los materiales y se alargan los tiempos de ejecución, etc.

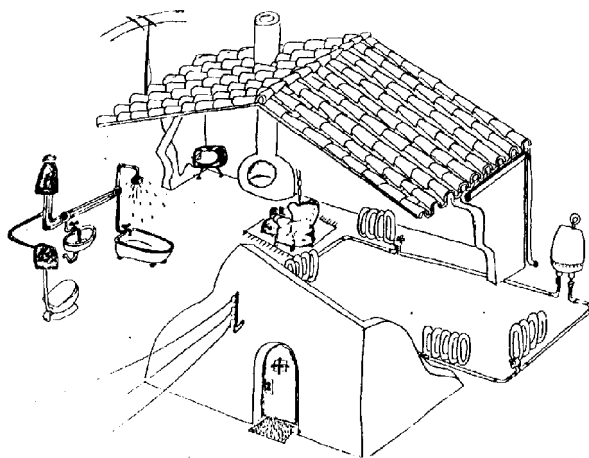


Fig. 6.50 Instalaciones superpuestas a la arquitectura

Actualmente intervienen también otros considerandos en el problema. Desde la crisis energética de 1973, existe una preocupación sobre dos nuevos aspectos del control ambiental, que en la práctica vemos que se solapan entre sí. El primero de ellos es el problema del ahorro de energía, recogido como problema gubernamental en muchos países, que incide a nivel de los edificios con disposiciones que afectan principalmente al aislamiento. Así reaparece un concepto de arquitectura que se apoya en envolventes diseñadas como barrera, filtro o regulador de las condiciones ambientales interiores.

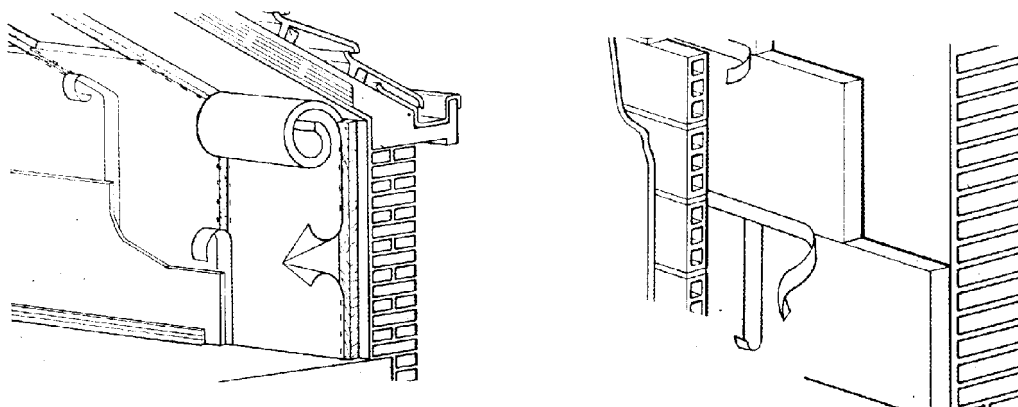


Fig. 6.51 Aislamientos

Otra línea de preocupación es la investigación sobre tecnologías alternativas, basadas en la explotación racional de fuentes energéticas inextinguibles, como la hidráulica, la mareomotriz, la eólica y la solar, todas ellas con numerosos antecedentes históricos de explotación, desde los egipcios que ya conocían y usaban el "efecto invernadero". Esta corriente se enlaza además en muchos casos con planteamientos ecologistas y contraculturales, que preconizan una salvaguarda y adaptación del hábitat al medio natural (reciclaje de residuos domésticos, dispersión energética, etc.).



Fig. 6.52 Arquitectura de la contracultura de los años 60

Respecto a la arquitectura, a partir de unos primeros modelos de edificios supertecnificados, con captadores solares incorporados groseramente sobre formas "convencionales", pronto se empiezan a diseñar edificios con "sistemas pasivos" o de "arquitectura pasiva", como se los ha llamado. Se aprovecha la energía solar para calefacción (más adelante para otras energías y usos), sin añadir nuevos elementos a los edificios, sino al contrario, usando la misma forma y materiales de la construcción para conseguir, sin ninguna energía auxiliar, el mismo rendimiento energético.

Este planteamiento ha obtenido cierta difusión por todo el mundo, especialmente en su aplicación en viviendas unifamiliares. Pero son pocos los edificios construidos según estos principios, cosa que viene dada en gran parte por la posición adoptada por la arquitectura oficial y "oficialista" que, siguiendo la actitud de siempre, acoge con escepticismo estas tendencias y continúa su camino de especulaciones formales para una arquitectura cada vez más cerrada en ella misma.

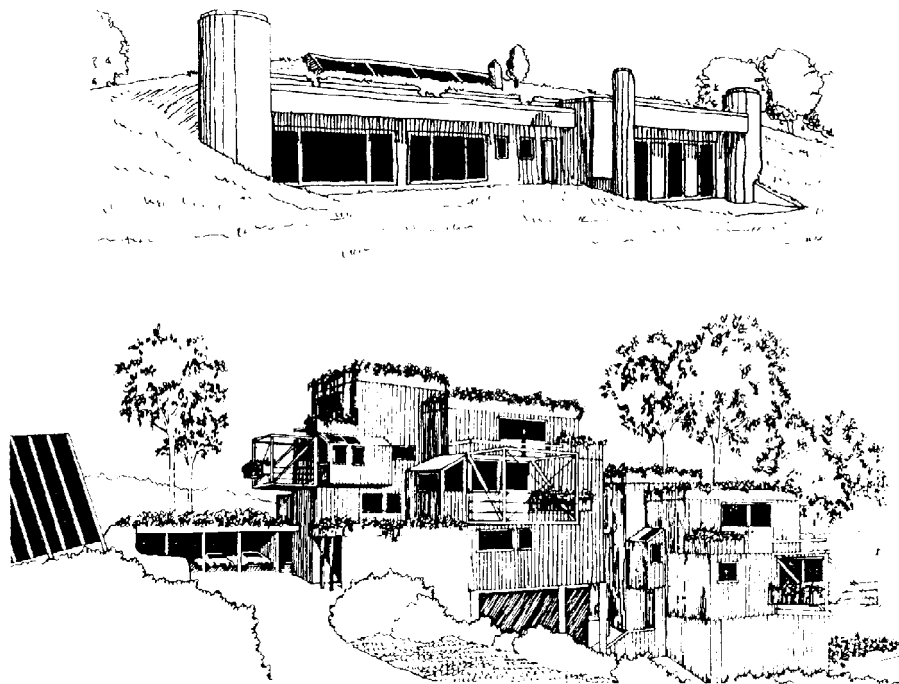


Fig. 6.53 Arquitectura energéticamente eficiente integrada en el medio

Un factor que ha tomado más importancia en los últimos tiempos es el de la conservación del medio ambiente, con todos los problemas de contaminación, conservación de la biosfera, etc. Debemos considerar como puede influir la arquitectura, desde diferentes puntos de vista, sobre esta conservación del medio. Tanto el ahorro energético en los edificios como la integración paisajística de las construcciones, el planteamiento urbanístico, etc., han hecho que se recupere en parte el interés por la llamada "arquitectura bioclimática", que se había perdido al caer los precios del petróleo.

---



Volviendo a un enfoque generalista de la situación actual, vemos que las alternativas en la utilización de uno o de otro sistema de control ambiental vendrán determinados por su coste económico comparativo. La investigación y los adelantos técnicos, condicionados por ello y por otros motivos, se decantarán hacia soluciones más o menos "*energéticas*" o "*naturales*", según las presiones económicas del momento, sin olvidar de todas formas la inercia que las situaciones socioeconómicas ya existentes ofrecen a cambios conceptuales en el uso de estos sistemas. El caso de los llamados "*edificios inteligentes*", que venden una imagen de modernidad con soluciones técnicas que ya existían desde hace años, es una muestra de como se puede decantar la orientación del diseño arquitectónico hacia soluciones más "*artificiales*" cuando, según algún crítico, lo que hace falta son arquitectos inteligentes mejor que "*edificios inteligentes*".

Debemos recordar que, desde los descubrimientos más importantes del control ambiental, la arquitectura ha ido a remolque de tales descubrimientos. Incluso en el campo restringido de las escuelas de arquitectura, las nuevas técnicas no han llegado a ser asimiladas, de forma que en muchos casos los arquitectos han dejado el control ambiental en manos de especialistas. Con este hecho se ha perdido, como mínimo, las ventajas que tendrían visiones globales del problema arquitectónico y además de esta forma difícilmente se podrán superar los errores conceptuales en los que hoy estamos inmersos.

## 6.7 El futuro y la utopía ambiental

Resulta muy difícil hacer cualquier prospección histórica del futuro ambiental de la arquitectura. Las hipótesis que se pueden hacer en un momento determinado no tienen normalmente nada que ver con la realidad del futuro. Como máximo, representan una extrapolación hacia el futuro de soluciones técnicas ya conocidas y que, si no se han ejecutado, ha sido por causas que las hacían poco apropiadas y que continuarán existiendo probablemente en el futuro. El desarrollo real dependerá de que los requerimientos socioeconómicos las hagan útiles y probablemente la realidad será que aparecerán nuevas posibilidades técnicas que llegarán a aplicarse.

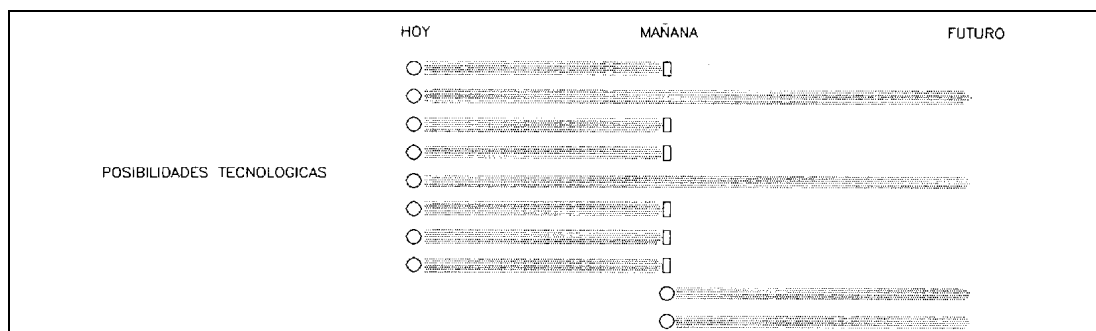


Fig. 6.54 Futuro desconocido

A pesar de todo es útil intentar plantear el futuro de la arquitectura, aunque sólo sea para entender mejor nuestro presente. Al pensar en la evolución futura, se nos aparecen dos campos generales de posibilidades. En el primero de ellos, el hombre modificará progresivamente sus espacios habitados, dentro de los condicionantes generales que ya existen hoy en día y sobre todo partiendo de unas condiciones ambientales naturales que son las actuales de nuestra arquitectura y con las modificaciones que como máximo puede producir el propio hombre sobre el ambiente natural.

Otro campo totalmente distinto lo representa la necesidad del hombre de habitar en nuevos ambientes, con pocos o muy escasos puntos comunes con los actuales. La conquista del fondo del mar, de otros planetas, etc...

#### a) Evolución en nuestro hábitat natural

Los logros más inmediatos en este caso, parecen ser los de control automático, térmico, lumínico, etc. (ya en parte existente) hasta grados de exactitud elevados. Es la propuesta en que el punto de partida serían los ya citados "*edificios inteligentes*", donde el objetivo último debería ser el control integrado de todos los factores ambientales, naturales y energéticos, hasta llegar a la máxima facilidad de control y gobierno. Con esto se podría obtener una arquitectura casi totalmente flexible, con el uso preferente de sistemas energéticos, mucho más fácilmente manipulables que los estructurales.



Fig. 6.55 Sistemas de control integral

Parece claro que es más fácil cambiar la luz, el sonido, la temperatura y hasta el color de un ambiente, que mover un tabique, y que se puede obtener así un efecto equivalente o superior.

---

Imaginando un espacio del futuro en estas condiciones, podemos suponer un ambiente neutro e indefinido donde, operando unos determinados controles, se puede actuar sobre la luz (en su dimensión, color, difusión y nivel), sobre la temperatura y movimiento del aire, sobre el sonido, música, conexiones de información (teléfono, TV, etc.).

Además, unos determinados programas ambientales pueden procurar una variación de este ambiente artificial a lo largo del tiempo, evitando la monotonía presente normalmente en estos ambientes, siguiendo criterios psicológicos de estimulación, apaciguamiento, etc...

Una de las aparentes ventajas de un planteamiento de este tipo, es que permitiría liberarnos del concepto estructura = defensa ambiental, en el que todavía se apoya mayormente nuestra arquitectura. Este hecho podría representar una verdadera revolución en el concepto mismo del espacio, tal como ahora lo entendemos los que trabajamos en este campo.

Otras variantes de la posible evolución de nuestro hábitat pasan por posibles cambios sociales que pidan una arquitectura diferente. Desde hace tiempo se han planteado teóricamente, desde las utopías arquitectónicas del siglo XX (o de siglos anteriores), nuevas formas de vida individual y colectiva, con imágenes de la arquitectura que podría resultar. Es el caso de las estructuras hinchables, tensadas y colgadas, de las megaestructuras urbanas, del hábitat móvil, etc. En cualquier caso, es evidente que casi todas ellas son hoy en día técnica e incluso económicamente posibles, sólo sería necesario que la sociedad las necesitara para que se convirtieran en realidad.

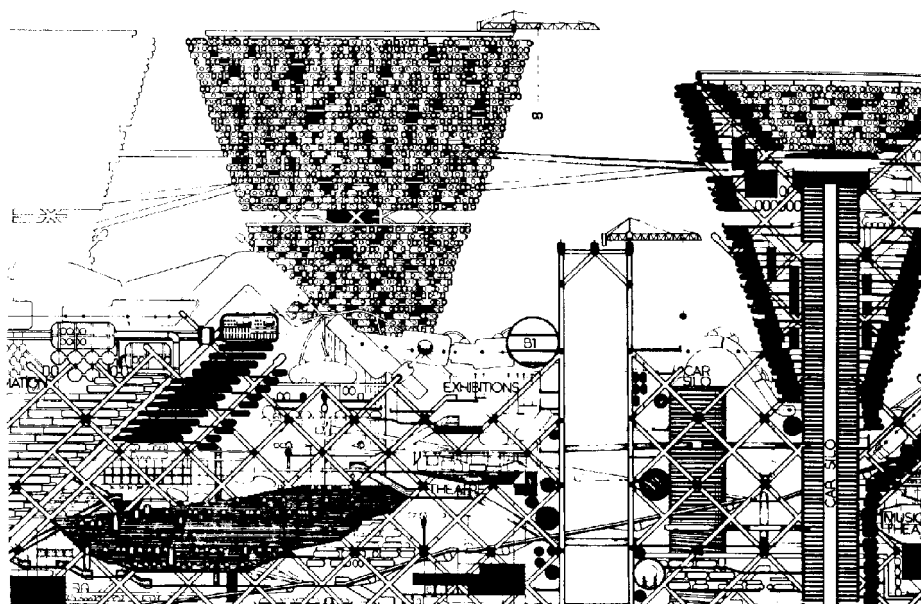


Fig. 6.56 Utopías urbanas del futuro

## b) Problemas ambientales en condiciones nuevas

Donde mayor interés presenta la observación de las posibilidades del futuro, es en el estudio de los problemas que aparecen al lanzarse el hombre a la conquista de nuevos entornos.

El **entorno subacuático** ha sido uno de los primeros a los que ha intentado adaptarse el hombre. En las primitivas culturas ya se ideaban formas más o menos realistas de penetrar de forma algo perenne bajo el agua. Todas ellas se basaban en arrastrar bajo el agua, alrededor del hombre, una parte del entorno exterior, el aire, que le permitiese sobrevivir en el nuevo entorno y practicando con el mismo contactos visuales y de manipulación en un grado muy elemental.

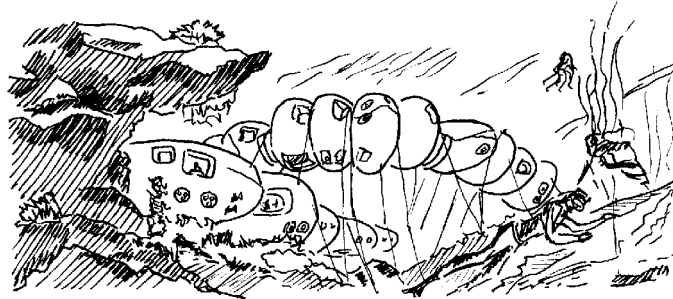


Fig. 6.57 Viviendas submarinas

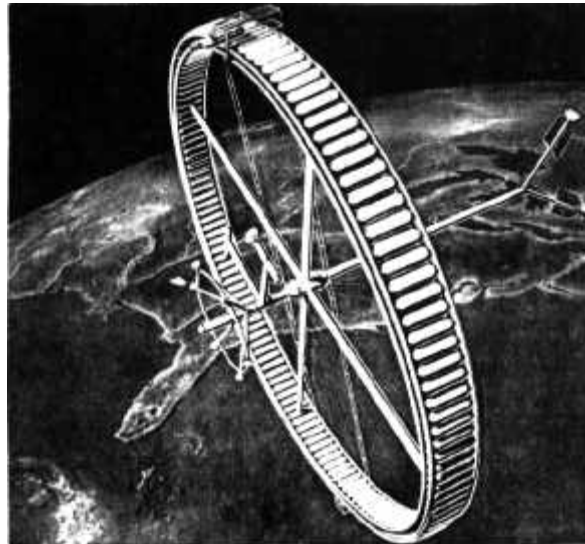
Actualmente se investigan las posibilidades de lograr una prolongada residencia bajo el agua, mediante la construcción y experimentación de hábitats subacuáticos, con lo que se amplía extraordinariamente las posibilidades de trabajo o investigación submarina, al evitar la mayor parte de los procesos de descompresión que son obligados después de cada inmersión. Dichos hábitats subacuáticos se llenan de aire a la misma presión que el exterior, lo que permite que una abertura en su parte inferior comunique directamente con el agua.

Las experiencias más avanzadas en los aspectos de la residencia bajo el agua son las que se apoyan en las posibilidades de adaptación del organismo del hombre, para que utilice en su respiración, el oxígeno contenido en el agua del mar. Con ello entramos en los límites de propuestas de ciencia-ficción, que en muchos casos considera la posibilidad de adaptar fisiológicamente el cuerpo del hombre a la ocupación de entornos inhabitables.

---

Los diseños de viviendas en el **espacio** se caracterizan por su independencia respecto a las leyes de la gravedad, que permitirían la máxima libertad en el desarrollo de las tres dimensiones y de la forma en conjunto.

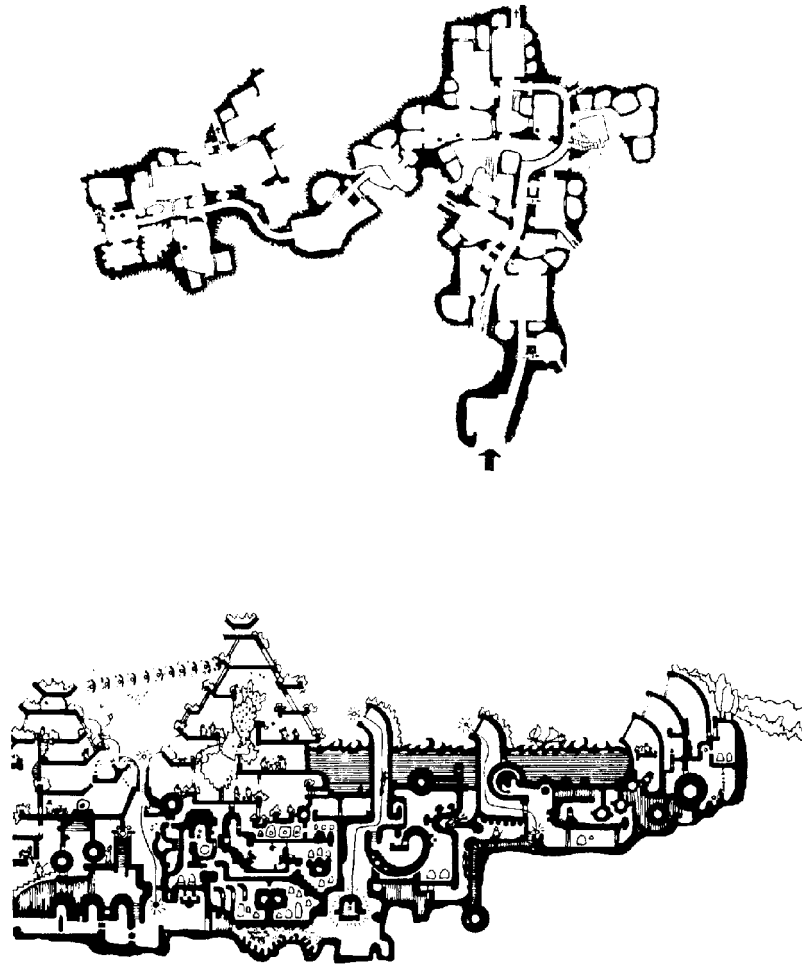
Es curioso que muchos diseños utópicos todavía presenten formas aerodinámicas, confundiendo el vacío del espacio con la fricción de una atmósfera. El factor que parece que puede condicionar mayormente esta libertad de ordenación espacial, es la necesidad de crear una fuerza gravitatoria artificial, mediante la rotación centrífuga y ello implica que en muchos diseños actuales las formas sean cilíndricas, circulares, etc.



*Fig. 6.58 Viviendas en el espacio*

Otra posibilidad de nuevos sistemas de vida es la ocupación del **subsuelo**. Aunque existe una larga e interesante tradición de viviendas subterráneas en la arquitectura popular, estas están normalmente de relativa poca profundidad y aprovechan sólo parcialmente las teóricas ventajas de este tipo de hábitat.

---



*Fig. 6.59 Viviendas enterradas, realidad y utopía*

Un espacio de este tipo significa un hábitat en el que el medio exterior es un sólido opaco, con unas influencias sobre el interior prácticamente constantes, hecho que hace que, térmicamente, la temperatura del ambiente pueda ser la misma durante todo el año. Se presentan problemas de renovación de aire, exceso o falta de agua, y sobre todo, de ausencia de luz. El mundo subterráneo se caracteriza por ser totalmente introvertido, con una gran libertad de ocupación espacial en las tres dimensiones.

---

**c) Control ambiental en el futuro**

De todo el campo de posibilidades que hemos recorrido superficialmente, tanto en el aspecto de simple evolución de la forma de vida en nuestro medio natural, como en el de ocupación de nuevos ambientes, podemos extraer ciertos principios generales.

Por una parte parece que podemos encontrarnos unos ambientes con unas características ambientales cada vez más molestas o nocivas, sea por degradación del medio natural actual o por la ocupación de nuevos medios. Esto obligará, cada vez más, a buscar una cierta independencia respecto del ambiente exterior y ello comportará necesariamente la utilización cada vez mayor de medios energéticos de control ambiental, en lugar de los naturales.

Por otra parte, si queremos conservar el medio natural, deberemos reforzar y promover el uso inteligente de las energías naturales disponibles y procurar la difícil integración de los sistemas técnicos más avanzados con soluciones de aplicación más suave.

Tanto en uno como en otro caso, es muy importante el estudio de las influencias fisiológicas y psicológicas de estos ambientes en el diseño arquitectónico. Cualquier sustitución de ambientes naturales, a los que estamos adaptados, por otros artificiales puede crear fuertes tensiones físicas y psíquicas que debemos prever. Problemas de claustrofobia, monotonía ambiental, etc. sólo se pueden resolver desde un buen conocimiento del ambiente en su relación con el hombre y esto sería en último caso la consecuencia final de este capítulo.

---

## Capítulo 7 El clima y otras preexistencias ambientales

En el ambiente natural de cada lugar existen diferentes manifestaciones energéticas típicas, que se pueden resumir en lo que se llaman **preexistencias ambientales** de este lugar. Estas características son básicamente climáticas, pero también pueden ser de otros tipos, sociales, culturales, económicas, etc. Todas estas preexistencias forman un conjunto de datos que debe conocerse como condicionantes previos al desarrollo de un proyecto.

### 7.1 Macrofactores y microfactores del entorno

Llamamos características ambientales de un entorno a las que, de una u otra forma, influyen sobre las preexistencias del lugar estudiado. Distinguimos cuatro tipos distintos de características:

Meteorológicas, como son las precipitaciones, los vientos, la radiación, etc.

Geográficas, que provienen de la hidrografía, la relación entre masas de tierra y de agua, la altura, etc.

Topográficas: exposición, morfología del terreno, etc.

Biológicas, como son la fauna y la vegetación del lugar.

Estos cuatro tipos de características pueden analizarse desde distintos puntos de vista, según sea la magnitud de la zona que se considera. Sin pretender establecer límites precisos, en general se habla de **macrocaracterísticas** cuando se refieren a una gran zona geográfica (un país, una región, etc.), y de **microcaracterísticas** cuando se trata de un ámbito más pequeño (una comarca, un valle o incluso, una plaza o un cruce de un entorno urbano).

Paralelamente, al referirnos a las características propiamente climáticas (temperatura, humedad, viento, radiación, etc.) se utiliza también esta distinción. Así, se habla de **microclima** cuando nos acercamos a la escala del urbanismo o de la arquitectura, donde son muy importantes los fenómenos localizados (climas concretos de valles, zonas urbanas o espacios exteriores). En realidad, estos conceptos son siempre relativos y macro y microclima lo serán en relación el uno con el otro.

---



Las características ambientales vienen, en general, motivadas por la existencia de unos **factores**, que son la causa por la cual el ambiente del lugar adopta unas características concretas. Estos factores pueden clasificarse en tres grupos principales:

- Factores geográficos.** Latitud, hidrografía, relación tierra-agua, topografía, altura absoluta y relativa, morfología del entorno próximo y del terreno.  
**Factores biológicos.** Flora (vegetación de todo tipo, especialmente arbolado) y fauna.  
**Factores tecnológicos.** Industria, edificación, vías de comunicación, etc.

Los tres tipos de factores están relacionados y la variación de uno de ellos puede afectar los otros dos.

Las características ambientales son consecuencia directa de estos factores y a menudo se confunden con ellos. Para comprender esta relación más claramente hablamos de **preexistencias ambientales**, como parámetros que permiten definir las características de un lugar determinado y en las que influyen los distintos factores antes señalados.

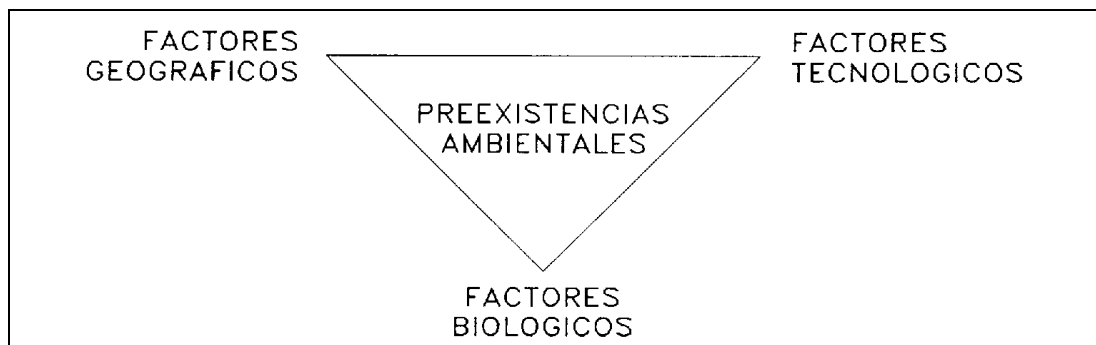


Fig. 7.1 Factores que definen las características de un lugar determinado

Las **preexistencias ambientales** de un emplazamiento servirán para conocer la respuesta integrada lumínica, climática y acústica que la arquitectura debe ofrecer al lugar. Las preexistencias que consideraremos en este texto son:

- Radiación solar (asoleo)
- Temperatura del aire
- Humedad relativa del aire
- Movimiento del aire (viento)
- Composición y pureza del aire (contaminación)
- Precipitaciones (lluvia, nieve, etc.)
- Sonido (acústica del lugar)
- Luminancia de la bóveda celeste
- Paisaje (entorno visual).

## 7.2 Parámetros climáticos

### 7.2.1 Radiación solar

Es a la vez un factor y una característica macroclimática en la que la dirección de incidencia de la radiación depende de los movimientos relativos de la tierra y el sol.

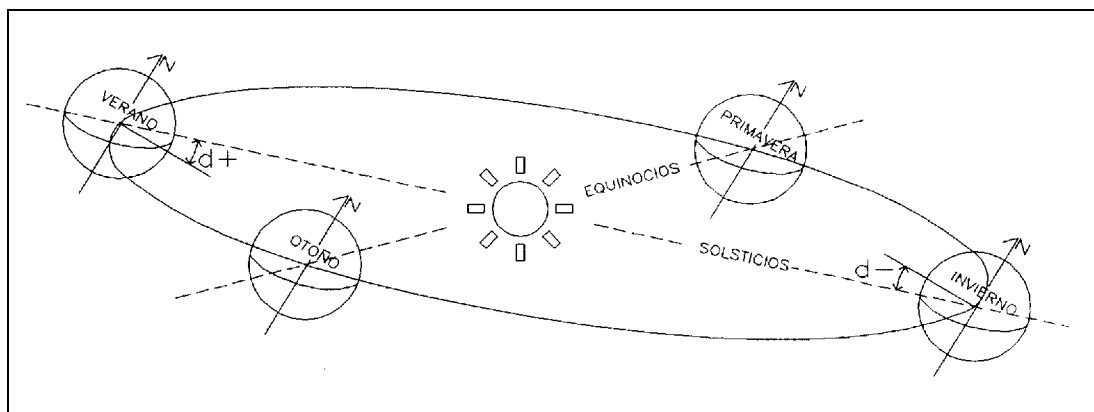


Fig. 7.2 Estaciones en el hemisferio norte

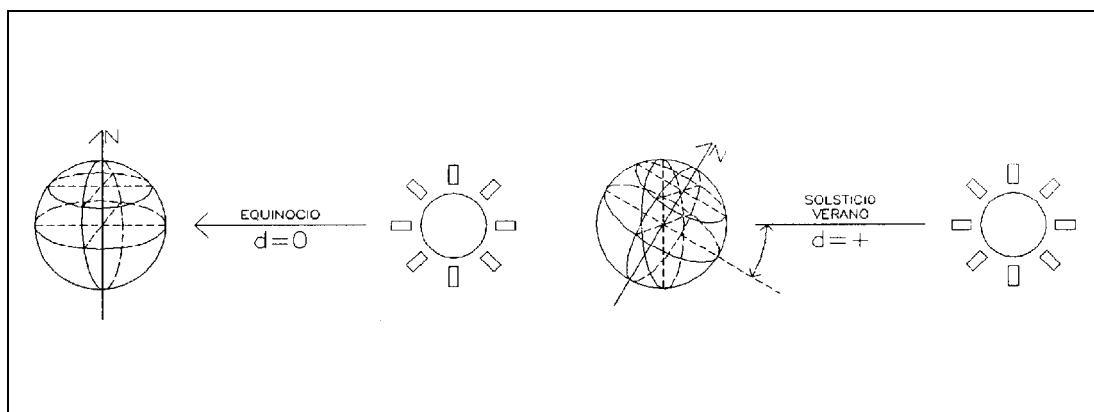


Fig. 7.3 Incidencia solar según la época del año

Para el caso de una latitud media de aproximadamente  $41^\circ$ , las alturas del sol en los solsticios son:  
 72E al mediodía 21 de junio  
 23E al mediodía 21 de diciembre

### Características de la radiación solar

El tipo de radiación que se recibe del sol se distribuye en una amplia zona del espectro electromagnético. Preferentemente se encuentran tres tipos:

radiaciones de onda corta (ultravioletas, de 125 a 3900 Å) que nos llegan muy absorbidas por la atmósfera,

radiaciones visibles (de 3800 a 7600 Å), que son las de mayor intensidad,

radiaciones de onda larga (infrarrojo de 7600 Å a 0,1 mm).

Todo este conjunto de radiaciones inciden sobre los límites exteriores de la atmósfera terrestre con un valor aproximado de irradiación de  $1400 \text{ W/m}^2$  (unas  $1200 \text{ kcal/h m}^2$ ) que llamamos valor de la constante solar.

Para llegar a la tierra, esta radiación debe atravesar unos 8 Km de aire, con lo que disminuye considerablemente el flujo energético, con la difusión, absorción, difracción y refracción que se produce en la masa de aire.

El espectro original cambia ligeramente; la importancia y el efecto de estos fenómenos dependen de distintas circunstancias.

Por una parte, depende de la masa atmosférica que la radiación atraviesa en cada caso, que a su vez depende de la latitud, de la estación y de la hora del día.

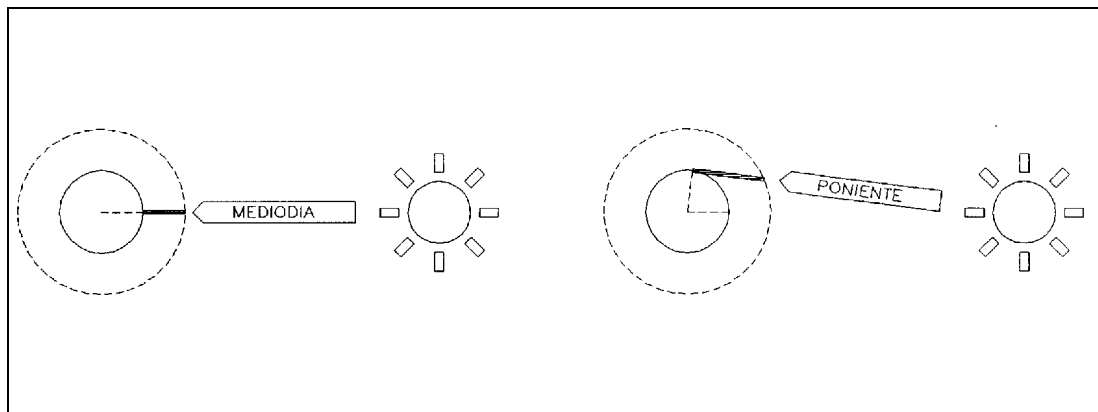


Fig. 7.4 Masa atmosférica según la hora

Por otra parte, la radiación recibida en la superficie terrestre depende también de la existencia de nubes, contaminación, etc.

Con todo ello, la radiación recibida en una superficie determinada es el resultado de diversos componentes: radiación directa del sol, radiación difusa del cielo, radiación reflejada en el terreno (albedo), etc.

Balance de radiación solar

$$A = F + E + B$$

$$F = C + G$$

$$D = G + E$$

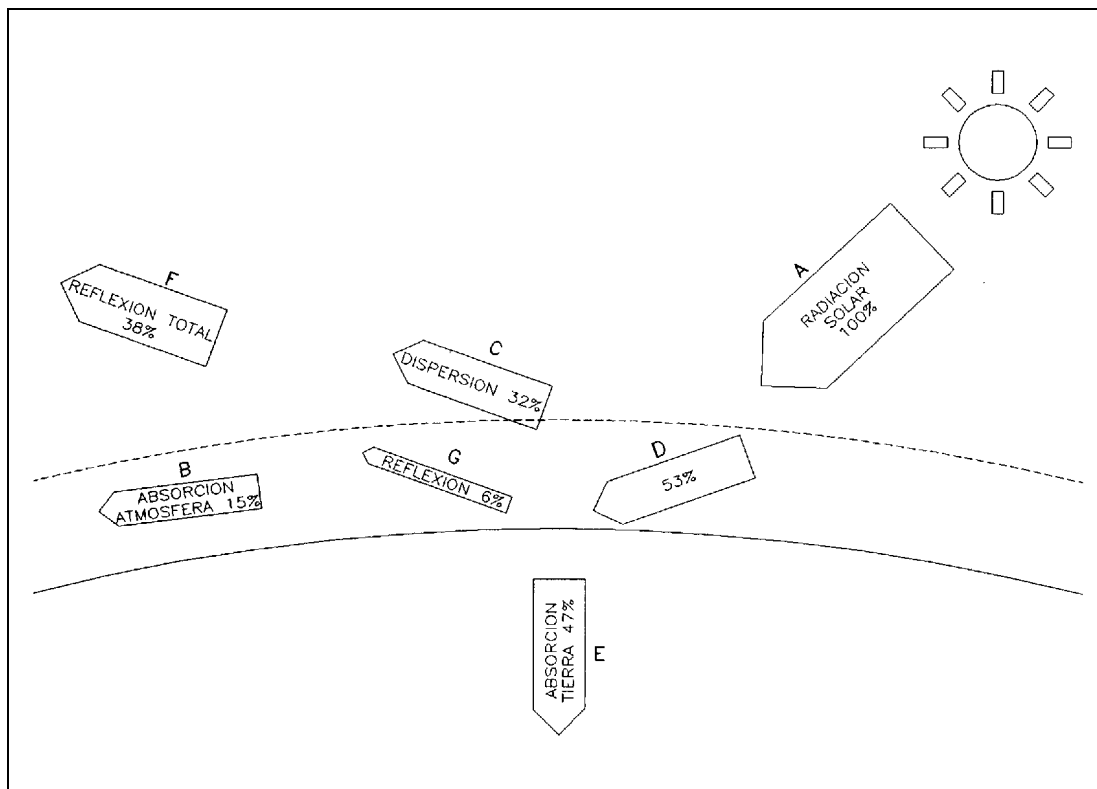


Fig. 7.5 Balance de la radiación solar

### Incidencia de la radiación solar

Para determinar la dirección y la inclinación de la incidencia de la radiación en cada momento, debemos conocer la posición relativa del sol y del plano considerado. Se usan también ábacos o cartas solares que nos dan gráficamente **la altura** solar (ángulo de elevación respecto a la horizontal) y **el azimut** solar (ángulo positivo o negativo de desviación respecto al Sur), como la carta solar estereográfica que se muestra a continuación.

### Carta solar estereográfica para 41E 30' N

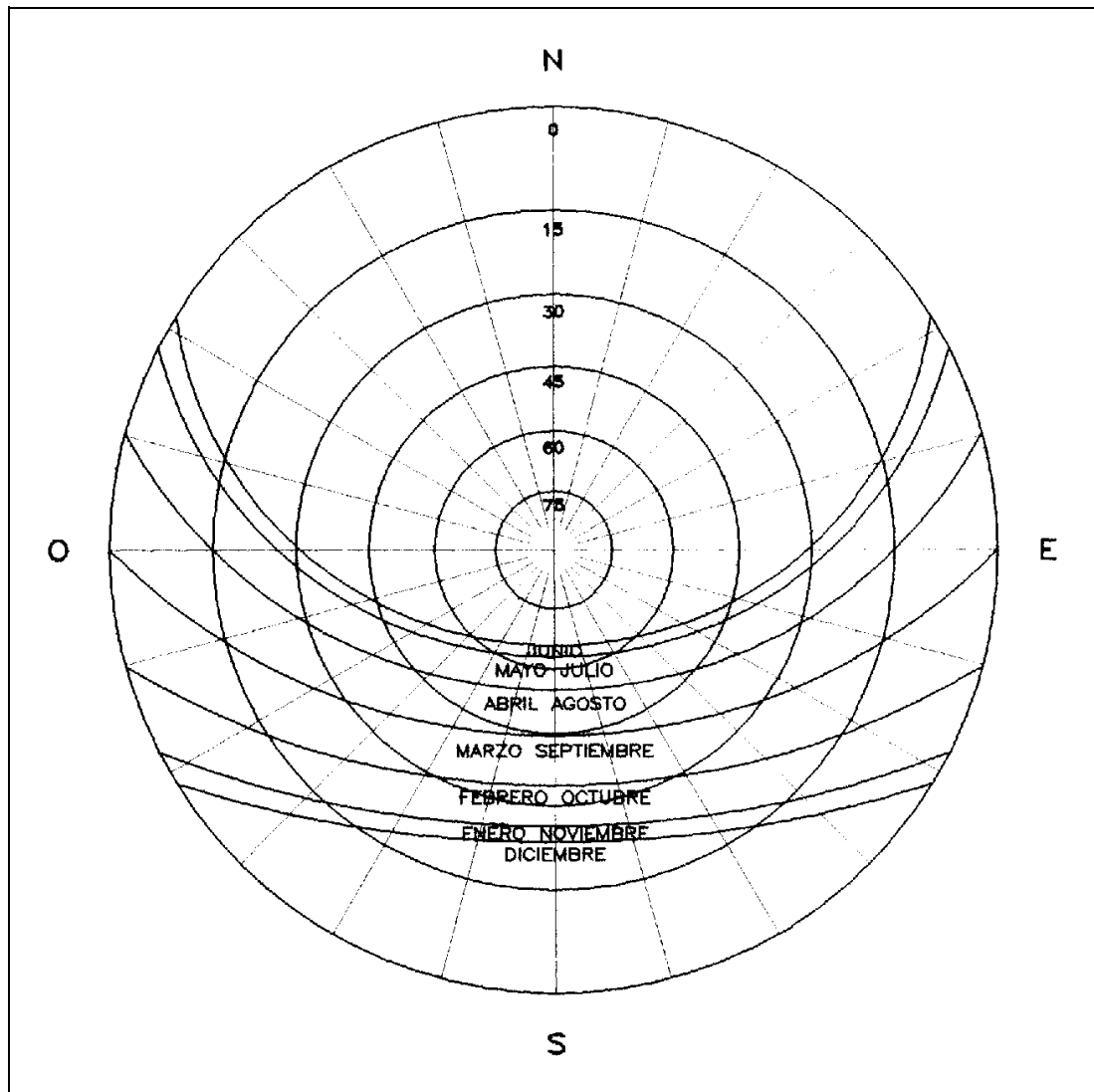


Fig. 7.6 Carta solar estereográfica de 41E 30' N

## Energía de la radiación solar

La energía proveniente de la radiación solar que llega a una superficie determinada cambia en el tiempo según el día y la hora, de una manera cíclica, pero además varía según los factores meteorológicos de una forma irregular.

Existen ábacos y tablas que dan los valores típicos de la radiación en un lugar o latitud determinada y que presentan diferentes valores según el ángulo de incidencia sobre las superficies. Entre estas tablas y ábacos, los datos más frecuentes son los valores de energía incidente sobre un plano vertical en diferentes orientaciones o sobre un plano horizontal.

Es muy importante considerar y analizar la cantidad de energía del sol que incide sobre un plano vertical en diferentes épocas del año, según su orientación, ya que existen hechos que nos pueden pasar por alto y que tienen una gran importancia a la hora de diseñar.

En este sentido destaca que en un plano vertical orientado a Sur, es mucho mayor la cantidad de radiación recibida en invierno que la que se recibe en verano, mientras que si analizamos la cantidad que reciben los planos verticales orientados hacia el Oeste o el Este, ocurre justamente al contrario, es decir, que reciben mucha más radiación en verano que en invierno.

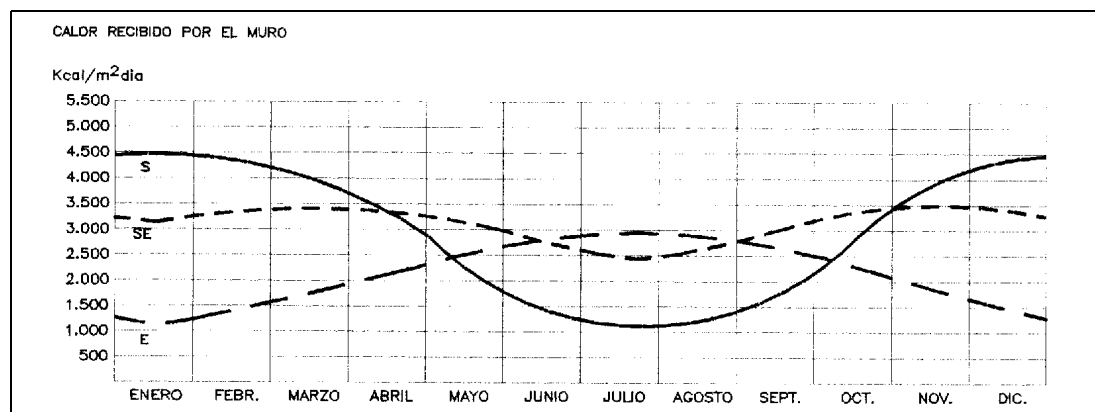


Fig. 7.7 Radiación en un muro vertical a lo largo del año para 40°N

En realidad la radiación total que puede recibir un plano orientado en diferentes direcciones siempre será la suma de la posible radiación directa, más la radiación difusa de la bóveda celeste, y finalmente, de la que proviene de las reflexiones que se producen en el suelo.

Los valores de esta radiación total son válidos para un día claro, pero en la práctica deberemos corregirlos, sabiendo que la nebulosidad del clima previsible en el lugar hará que estos valores de cielo corregido sean más bajos que los de cielo claro.

**Valores en W/m<sup>2</sup> de los diferentes componentes de la radiación solar para un punto situado a 40E de latitud N en diferentes días del año para cielo claro**

SOLSTICIO DE VERANO	Componete	Medi a diaria	H O R A															
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
21 junio	Iv	N	30	85	155	105	10	0	0	0	0	0	0	0	10	105	155	85
		NE	85	175	445	515	455	325	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	130	165	470	625	635	555	410	215	0	0	0	0	0	0	0	0
		SE	105	55	220	365	445	460	420	325	185	20	0	0	0	0	0	0
		S	55	0	0	0	0	95	185	240	260	240	185	95	0	0	0	0
		SO	105	0	0	0	0	0	0	20	185	325	420	460	445	365	220	55
		O	130	0	0	0	0	0	0	0	0	215	410	555	635	625	470	165
		NO	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	325	455	515	445	175
	ldcv		25	10	25	35	40	45	50	55	55	55	50	45	40	35	25	10
	ldtv				95	180	275	375	435	480	500	480	435	375	275	180	95	
lh		355	30	180	380	570	740	870	960	990	960	870	740	570	380	180	30	
ldch				55	70	80	90	100	105	110	105	100	90	80	70	55		
EQUINOCIOS OTOÑO Y PRIMAVERA	Iv	N	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		NE	25		0	240	255	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	90		0	415	570	545	410	220	0	0	0	0	0	0	0	0
		SE	140		0	345	550	630	615	530	390	220	35	0	0	0	0	0
		S	160		0	70	210	350	460	530	550	530	460	350	210	70	0	0
		SO	140		0	0	0	0	35	220	390	530	615	630	550	345	0	0
		O	90		0	0	0	0	0	0	0	220	410	545	570	415	0	0
		NO	25		0	0	0	0	0	0	0	0	140	255	240	0	0	0
	septiembre 22 marzo	ldcv		20		0	20	35	40	45	45	50	45	45	40	35	20	0
	ldtv					70	155	260	310	365	375	365	310	260	155	70		
lh		225			130	315	495	630	725	750	725	630	495	315	130	0		
ldch					45	65	80	85	90	90	90	85	80	65	45			
SOLSTICIO DE INVIERNO	Iv	N	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		NE	0				30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		E	40				185	320	290	165	0	0	0	0	0	0	0	0
		SE	115				230	480	565	545	450	310	160	25	0	0	0	0
		S	160				140	355	510	605	635	605	510	355	140	0	0	0
		SO	115				0	25	160	310	450	545	565	480	230	0	0	0
		O	40				0	0	0	0	0	165	290	320	185	0	0	0
		NO	0				0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
	22 diciembre	ldcv		10				10	25	30	35	35	35	30	25	10		
	ldtv							25	90	135	180	190	180	135	90	23		
lh		90					40	170	285	365	385	365	285	170	40			
ldch							30	50	60	70	70	70	60	50	30			

$I_v$  = Intensidad de radiación directa sobre un plano vertical

$I_{dcv}$  = Intensidad de radiación difusa desde el cielo sobre un plano vertical

$I_h$  = Intensidad de radiación directa sobre un plano horizontal

$I_{dch}$  = Intensidad de radiación difusa desde el cielo sobre un plano horizontal

$I_{dtv}$  = Intensidad de radiación difusa desde el terreno sobre un plano vertical

## 7.2.2 Temperatura del aire

Característica macro y microclimática, consecuencia del asoleo como factor macroclimático y con variaciones ocasionadas por otros factores macro y microclimáticos. La temperatura del aire depende fundamentalmente de la temperatura de las superficies, que se calientan o enfrían al recibir o emitir radiación y que ceden calor al aire por convección.

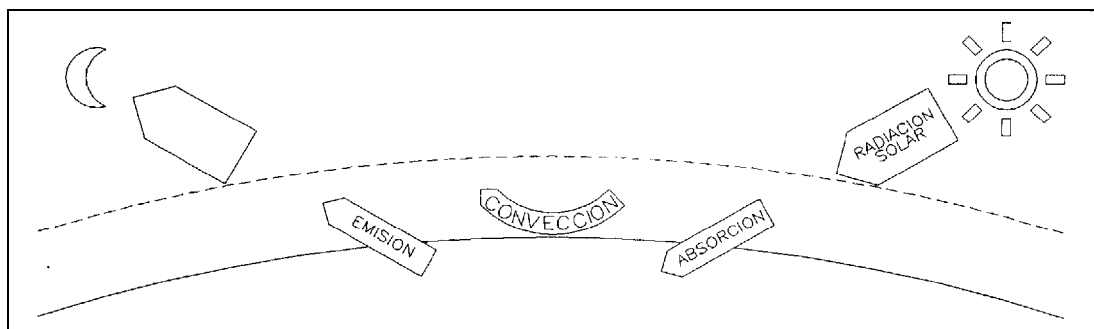


Fig. 7.8 Calentamiento del aire

### Factores macroclimáticos de la temperatura

La temperatura del aire depende de diversas características geográficas, como son:

La **latitud**, que influye sobre la masa atmosférica que debe atravesar la radiación solar.

La **altura** sobre el nivel del mar, que disminuye la temperatura unos 0,5°C cada 100 m de altura.

La **relación masa tierra-agua**, que condiciona la inercia térmica y las oscilaciones de temperatura.

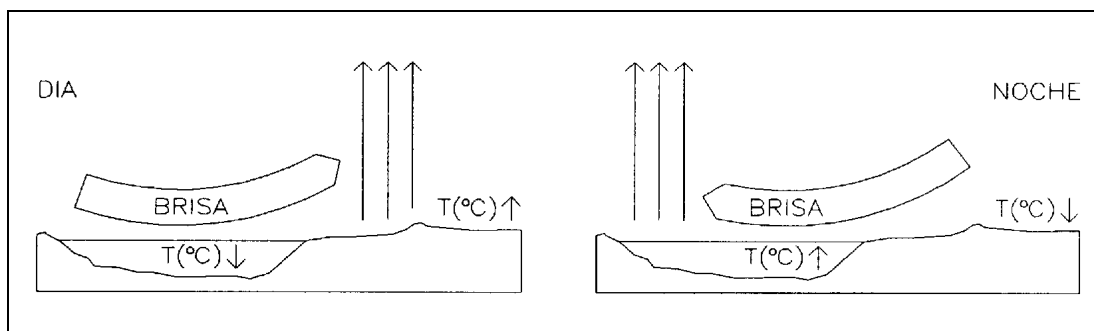


Fig. 7.9 Brisas (marea y tierra).

La **altura relativa**, que condiciona los efectos de inversión térmica.

La **morfología del terreno**, que puede ofrecer protección a la radiación y en relación además con la vegetación incrementar la inercia, tendiendo a estabilizar las temperaturas.

La **exposición a vientos**, ya que, según el tipo de viento, la abertura favorecerá condiciones más o menos frías.



### Variaciones de la temperatura en el tiempo

Durante el día y a lo largo del año, las temperaturas experimentan variaciones que se repiten cíclicamente. Estas oscilaciones se pueden asimilar a curvas sinusoidales con máximos y mínimos retardados respecto a los máximos y mínimos del asoleo.

Esto significa que, aunque en el solsticio de verano ( 21 junio ) es cuando se recibe mayor cantidad de energía a lo largo del día por acción del sol, es el mes de Julio el que presenta las temperaturas máximas. De la misma manera, aunque la mínima radiación solar es la del solsticio de invierno ( 21 diciembre ), Enero es el mes más frío del año.

En general, los climas más continentales y más desérticos son los que tienen más acusadas las oscilaciones de temperatura, tanto a lo largo del ciclo diario como del ciclo estacional. Es por esto, que muchas veces, se los llama climas extremados, por la marcada diferencia que existe entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y entre las temperaturas propias de la estación cálida y de la fría.

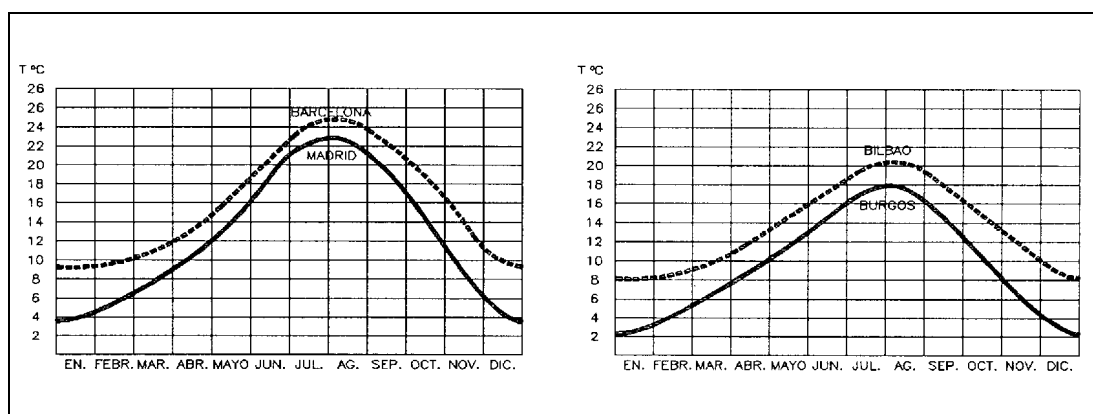


Fig. 7.9 Variación anual de la temperatura del aire en ciudades españolas

En cambio, las variaciones día-noche en los climas mediterráneos son pequeñas respecto a las de los climas continentales. En general, son oscilaciones poco acusadas en los días nublados (. 3EC) y mayores en días claros (. 10EC), especialmente en verano.

En estos climas, que se incluyen dentro de los temperados, sucede que, así como en invierno la temperatura acostumbra a mantenerse continuamente por debajo de la zona de confort, en verano pasa normalmente cada día por dentro de dicha zona. Esto favorece el control térmico en la arquitectura.

### Variación microclimática

Existen importantes variaciones de la temperatura del aire por efectos microclimáticos. Los parámetros del microclima de un sitio determinado que influyen más sobre la temperatura son: los recorridos del sol y la acción que esto comporta sobre el asoleo, la posible protección de vientos que presente una ubicación, la presencia de vegetación en cantidades o direcciones determinadas, etc.

La influencia de la **topografía** es importante, no sólo en lo que respecta a la altura absoluta, que ya produce un primer efecto sobre la temperatura, sino también por la orientación del relieve que exista, así como también por la altura relativa de una ubicación respecto de su entorno próximo.

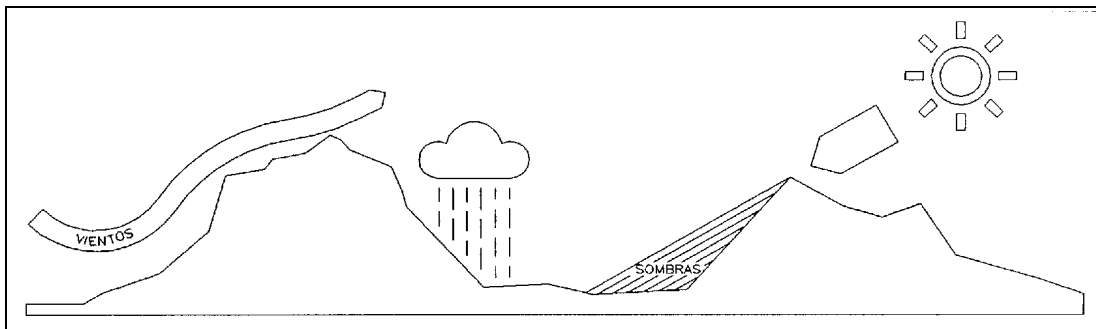


Fig. 7.11 Influencia local de la topografía

La influencia del **tipo de terreno y de vegetación** es importante por el efecto sobre la radiación solar, tanto por la energía captada como por la emitida. El terreno urbanizado, es decir, pavimentado, se calienta superficialmente mucho más que el natural, pero no almacena este calor, sino que lo reemite. Esto hace que se creen oscilaciones térmicas muy acentuadas.

En cambio, los terrenos naturales recubiertos de vegetación, no se calientan tanto superficialmente y transmiten este calor a las capas inferiores del terreno, por lo tanto las variaciones quedan atenuadas.

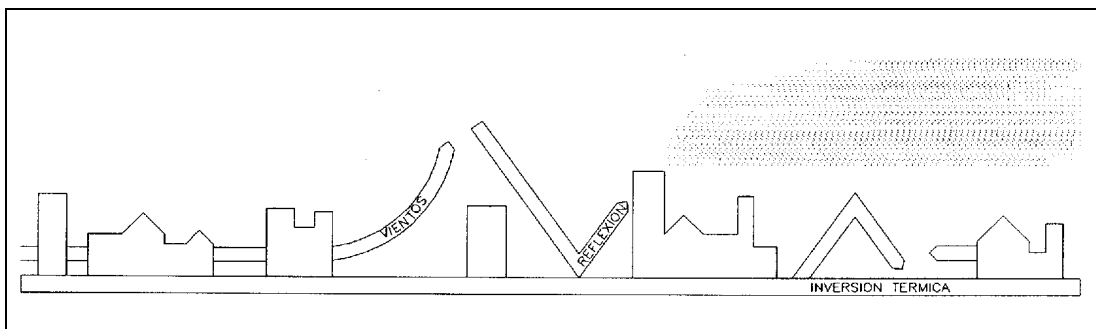


Fig. 7.12 Fenómenos urbanos climáticos

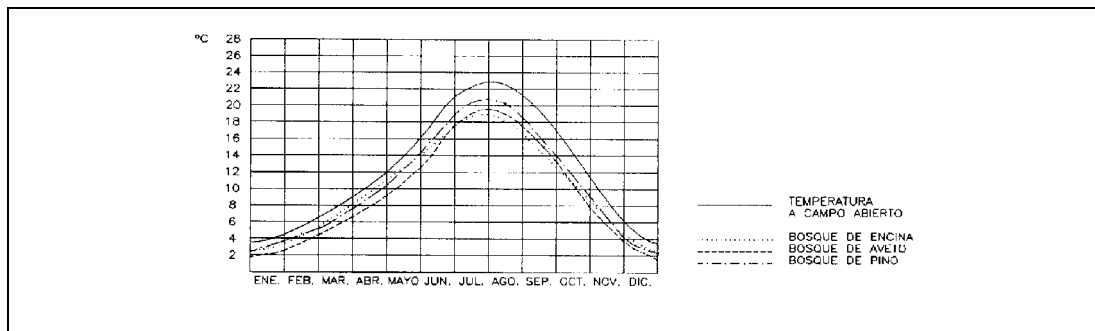


Fig. 7.13 Influencia de la vegetación

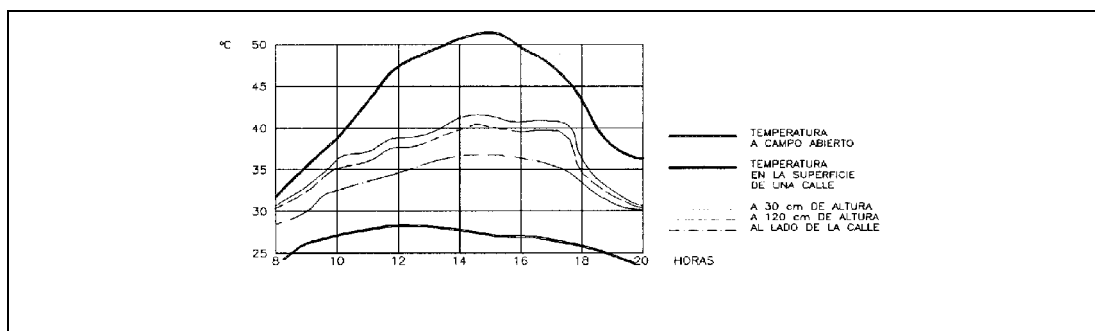


Fig. 7.14 Influencia del tipo de terreno

### Toma de datos de temperaturas

Pueden obtenerse de los servicios meteorológicos datos mensuales de:

$t$  = temperatura media diaria en EC

$t_M$  = temperatura media de las máximas (de 14 a 16 h)

$t_m$  = temperatura media de las mínimas (de madrugada)

$T_M$  = temperatura máxima absoluta

$T_m$  = temperatura mínima absoluta

Es interesante realizar gráficos de las variaciones anuales de estas temperaturas y estudiar los saltos térmicos día-noche en diferentes estaciones, tomando para ello como oscilación media la diferencia entre  $t_M$  y  $t_m$ .

### 7.2.3 Humedad relativa

La humedad relativa nos manifiesta cuál es el porcentaje de vapor de agua en el aire, referido al máximo que podría contener a su temperatura. Por ésto, si la humedad específica es constante, toda variación de la temperatura comportará una variación de la humedad relativa.

Es un dato general de tipo macroclimático, pero las variaciones microclimáticas según el lugar, así como las oscilaciones temporales dependiendo de la temperatura, pueden ser muy importantes.

El factor de influencia más general es la relación masa tierra-agua, pero también influyen otros factores, como los vientos, la altura relativa, la vegetación, etc.

El aire húmedo es más ligero que el seco, pero la evaporación del agua lo enfría y este enfriamiento se acusa con un incremento de peso más significativo que el decremento por la humedad. Por todo ello, si el aire condensa en forma de niebla, la densidad también es mayor y se encuentra por lo tanto más humedad en el aire de zonas deprimidas.

#### Variaciones en el tiempo

Las oscilaciones de humedad relativa se manifiestan cíclicamente y en general en sentido contrario a las oscilaciones de temperatura.

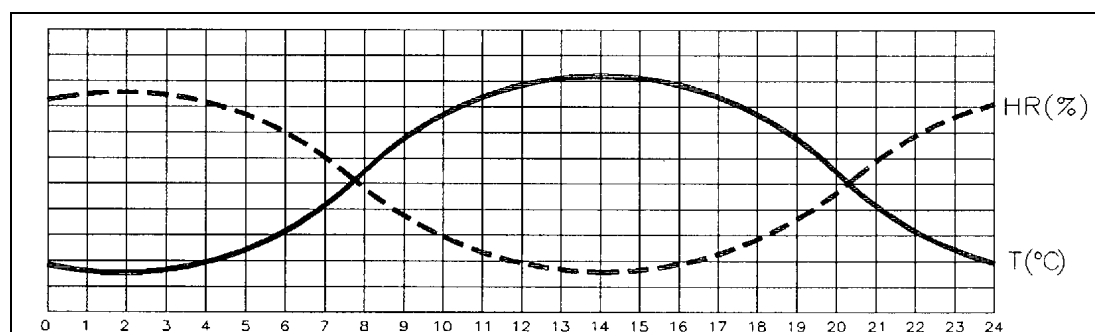


Fig. 7.15 Oscilación diaria de temperatura y humedad

Como es lógico la humedad relativa es mayor de noche que de día, en invierno que en verano, en otoño (el aire se enfría) que en la primavera (el aire se calienta), etc.

#### Toma de datos

En los servicios meteorológicos se miden los valores de la HR a diferentes horas del día. Con la humedad relativa media diaria y conociendo la oscilación de la temperatura, pueden deducirse los valores máximo y mínimo diarios, suponiendo constante la humedad específica.

### 7.2.4 Movimiento del aire (viento)

Es una característica macro y microclimática, que puede ser considerada también factor influyente en otras características. En el caso del viento, las variaciones locales (microclimáticas) pueden ser muy importantes, influyendo decisivamente sobre microclimas específicos. El factor primario productor del viento es la existencia de masas de aire a diferente temperatura (y presión) por efecto de la radiación solar.

#### Clasificación.

Los vientos se clasifican según dirección, frecuencia e intensidad (velocidad), aunque también es importante conocer su temperatura, humedad y regularidad o constancia.

Según la escala de Beaufort de intensidades se clasifican en:

Grado	Tipo	Velocidad
0	calma	de 0 a 1 Km/h
1		de 2 a 6 Km/h
2		de 7 a 12 Km/h
3	flojo	de 13 a 18 Km/h
4		de 19 a 26 Km/h
5		de 27 a 35 Km/h
6	fresco	de 36 a 44 Km/h
7		de 45 a 55 Km/h
8	duro	de 56 a 65 Km/h
9		de 66 a 77 Km/h
10	temporal	de 78 a 90 Km/h
11	borrasca	de 91 a 104 Km/h
12	huracán	más de 105 Km/h

Como clasificación simplificada se usa:

<b>débiles</b>	menos de 12 Km/h
<b>medios</b>	de 12 a 30 km/h
<b>sostenidos</b>	de 30 a 50 km/h
<b>fuertes</b>	de 50 a 70 km/h
<b>temporal</b>	de 70 a 90 km/h

Los datos de dirección, frecuencia e intensidad se representan de forma gráfica con rosas de los vientos, que pueden ser generales de todo el año, por estaciones, o por meses.

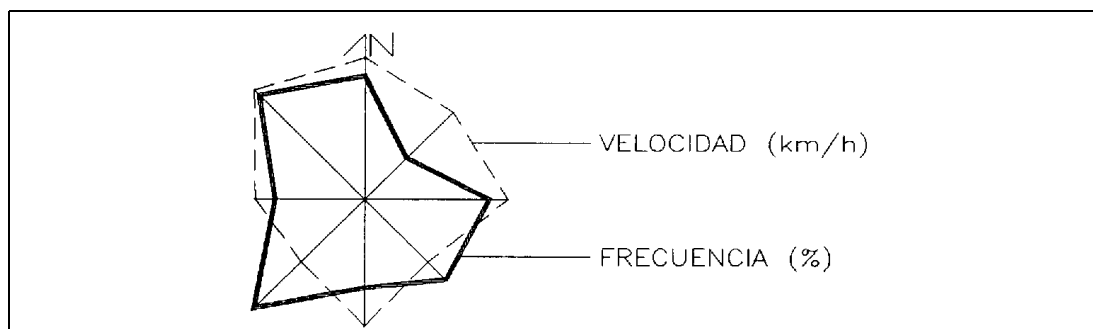


Fig. 7.16 Rosa de los vientos

### Influencia de los vientos en otras condiciones ambientales

El viento puede afectar las características de temperatura, enfriando o calentando el ambiente; puede favorecer la ventilación y reducir la humedad; mejorar la calidad de la atmósfera (disminuyendo y dispersando la contaminación) y por último puede reducir o incrementar ruidos locales.

### Variaciones diarias y estacionales

A causa de las diferentes inercias térmicas que tienen las masas de la tierra y del mar, o las del campo y ciudad, o entre desierto y bosque, se generan las brisas. Estas son vientos que compensan las diferencias de presión debidas a las diferentes temperaturas del aire.

La inercia más pequeña de la tierra hace que, por la mañana, el aire se caliente más rápidamente que sobre el mar. Este aire menos denso sube y es substituido por otro más denso y frío del mar, originándose la brisa marina (de dirección mar-tierra). Al atardecer se produce el fenómeno contrario y se origina el viento de tierra a mar. Este ciclo se reproduce cada día.

Los vientos se denominan en cada lugar según características que conocen los habitantes de la zona.

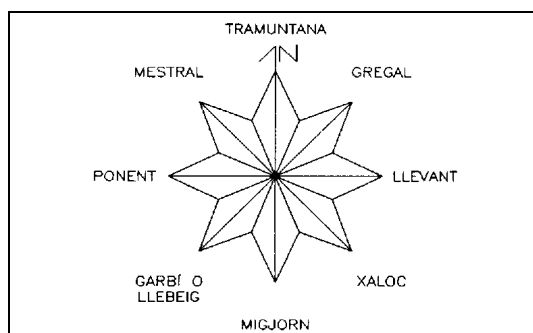


Fig. 7.17 Nombre de los vientos catalanes

En Cataluña, el **garbí** es un viento suave y agradable, seco al venir de tierra.

El **llevant** es un viento constante y húmedo que llega del mar y que puede ser fuerte, llegando a veces a temporal.

La **tramuntana** es un viento fuerte, que normalmente tiene larga duración, y que por venir del Norte es frío y seco, ya que no atraviesa el mar.

### 7.2.5 Composición y pureza del aire

No se trata propiamente de un dato climático en el sentido clásico del término. Como característica de contaminación del aire, el principal factor generador es el tecnológico, resultado de las actividades humanas de tipo industrial y de transporte. Esta contaminación es el resultado de un proceso que siguen las partículas desde su emisión hacia el aire, la dispersión y el posterior retorno hacia la tierra.

Un caso particular de contaminación es el fenómeno conocido como "smog", que se produce por la unión de partículas de agua (procedentes de la condensación en el aire), con partículas contaminantes. Esta mezcla es poco transparente a la radiación y puede generar fácilmente fenómenos de inversión térmica, que estabiliza la masa de aire y prolongan la situación de contaminación.

La acción del viento intenso favorece la dispersión de la contaminación del aire, mientras que un viento débil puede transportar masas contaminadas de aire a zonas próximas. Por todo esto, es muy importante conocer los vientos locales para estudiar estos fenómenos.

#### Tipos de contaminantes

Existen innumerables tipos de agentes contaminantes del aire, aunque típicamente se mide el contenido de CO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub>. Los máximos admisibles son:

CO <sub>2</sub>	del 0,02 al 0,04 %
SO <sub>2</sub>	50 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> durante 5700 h/año, o 100 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> durante 1000 h/año o 200 mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> durante 85 h/año.

#### Variaciones estacionales y diarias

Normalmente, las partículas y gases se dispersan en la atmósfera. Durante el día, el suelo calentado por la radiación calienta el aire y éste sube con las partículas. Por la noche se invierte el proceso y el aire frío queda abajo. Si el sol no puede calentar el suelo, se produce la inversión térmica y las capas calientes impiden la subida del aire, quedando la contaminación atrapada en las capas bajas. Las topografías en depresión favorecen la formación de estos fenómenos, lógicamente con pésimas consecuencias ambientales.

#### Toma de datos

Datos municipales en las ciudades donde existen laboratorios de contaminación, observación y consultas a residentes estables en los otros casos.

---

## 7.2.6 Precipitaciones

Se trata básicamente de una característica macroclimática con pequeñas variantes microclimáticas. No afecta directamente a las condiciones ambientales pero lo hace indirectamente, influyendo sobre la humedad relativa, la vegetación, la contaminación, etc.

La precipitación se genera por condensación de masas de vapor de agua al enfriarse, que precipitan en forma de lluvia, nieve o granizo. La precipitación se mide en litros de agua por  $m^2$  o su equivalente de altura en mm. (1 mm en un  $m^2$  es 1 litro). Desgraciadamente no se acostumbra a dar un parámetro en relación al tiempo ( $l/m^2$  min).

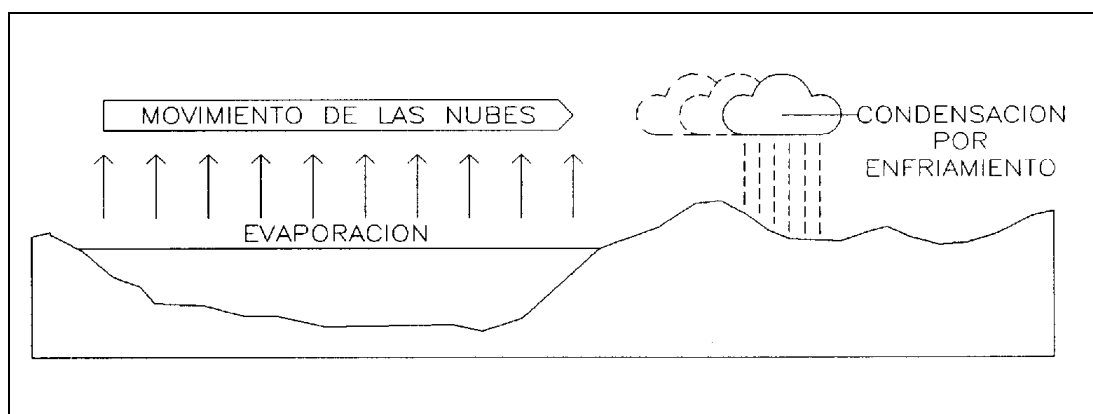


Fig. 7.18 Generación de las precipitaciones

### Clasificación

Según la intensidad de la precipitación se habla de: llovizna, lluvia o tempestad, y según el tipo de: lluvia, granizo o nieve.

### Toma de datos

Los servicios meteorológicos dan muchos datos sobre precipitaciones: totales y máximas diarias, anuales y mensuales, así como los días con precipitación de cada mes, distinguiendo a veces el tipo de precipitaciones.

A efectos de estudios ambientales nos interesará conocer los valores globales de precipitación con su distribución según las estaciones.



## 7.3 Otros parámetros ambientales

### 7.3.1 Acústica (sonido aéreo)

Se trata de una característica local que debemos estudiar y analizar según los microfactores existentes, que pueden producir sonidos o ruidos en cada sitio concreto. Normalmente, son factores tecnológicos producidos por el ser humano los que generan el ambiente acústico de un entorno determinado (transporte, industria, edificios, etc.).

#### Variación en el tiempo

La constancia o irregularidad de un ruido determinado influye en gran medida en el grado de molestia que puede ocasionar. Por este motivo se tienden a valorar los ruidos combinando su intensidad y su regularidad en fórmulas más o menos complejas. Como regla general, todas ellas tienden a distinguir los mismos tipos básicos de medidas:

**L<sub>90</sub> nivel de ruido de fondo:** el que sólo se sobrepasa el 90% del tiempo de cálculo (dBA)

**L<sub>10</sub> nivel de ruido punta:** el que se sobrepasa el 10% del tiempo de cálculo (dBA)

$$\left( \text{ruido punta} \right) \frac{t_1 \% t_2 \% \dots \% t_n}{t_t} \cdot 0,1 \quad \left( \text{ruido de fondo} \right) \frac{t_1 \% t_2 \% \dots \% t_n}{t_t} \cdot 0,9$$

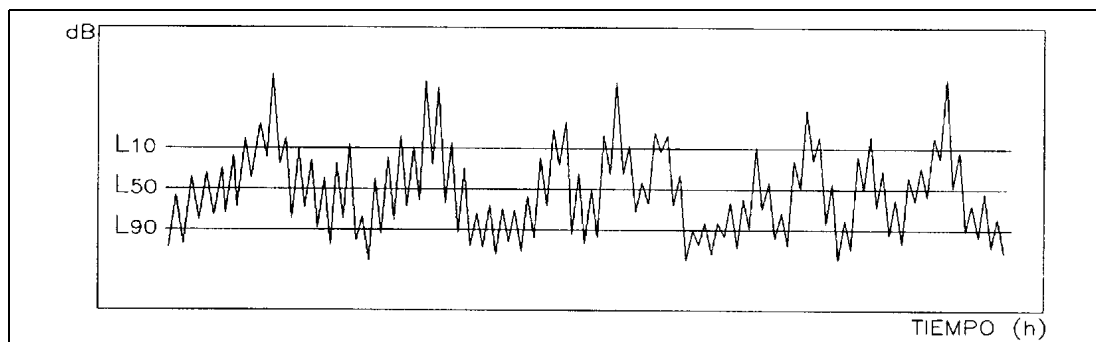


Fig. 7.19 Variación del ruido en el tiempo

El conocimiento de L<sub>10</sub> y de L<sub>90</sub> para un sitio determinado permite establecer el grado de molestia que puedan ocasionar estos ruidos.

**L<sub>50</sub> nivel de ruido medio:** es el que se sobrepasa el 50% del tiempo de cálculo (dBA)

**L<sub>eq</sub> nivel equivalente:** nivel de un sonido continuo hipotético que tendría la misma energía que el sonido real, durante un tiempo T (dBA)

## Toma de datos

Normalmente no existen medidas de niveles sonoros para cada lugar, por ello será preciso estudiar en cada caso los posibles agentes productores y basarnos, para definir el entorno acústico, en valores estándar que se encuentran en la bibliografía. Es importante conocer la dirección de incidencia, los vientos y las reflexiones o barreras de edificios, posibles modificadores de cada caso en concreto.

### 7.3.2 Luminancia del cielo

Las condiciones de luminancia del cielo son una característica básica a considerar en el estudio de las preexistencias de un lugar. En este caso influye decisivamente el clima local, con las condiciones de nebulosidad que puedan predecirse. Debemos considerar que los climas mediterráneos tienen condiciones de cielo claro mucho más frecuentes (70% del tiempo) que climas más nórdicos (30% del tiempo) y este hecho se olvida a menudo al estudiar la iluminación natural de los edificios.

Existen diferentes modelos posibles de luminancia del cielo que debemos considerar como preexistencia ambiental en un lugar determinado. En general se toma el cielo cubierto como caso más desfavorable y sólo se estudia éste. Esta opción, lógica en climas nórdicos, no es la única en climas templados, donde deberemos plantearnos también el caso del cielo nublado o de cielo claro y considerar la posición del sol según el apartado 7.2.1, controlando en los proyectos tanto la protección como el aprovechamiento de la radiación directa.

#### Cielo cubierto uniforme

El primer modelo utilizado en estudios de iluminación natural es el de **cielo uniforme**, con luminancia constante para todas las orientaciones y alturas. En este modelo la relación entre la luminancia media del cielo y la iluminación en un plano horizontal sin ninguna obstrucción será (ver apartado 2.3.1):

$$E_h = B L$$

donde:  $E_h$  = iluminación sobre plano horizontal ( lux )  
 $L$  = luminancia media del cielo (  $cd/m^2$  )

Los valores de luminancia media de la bóveda celeste para una latitud de 40E y para diferentes condiciones climáticas y época del año, son:

solsticio de invierno			equinoccios			solsticio de verano		
8h y 16h	10h y 14h	12h	8h y 16h	10h y 14h	12h	8h y 16h	10h y 14h	12h
1.750	3.200	4.700	3.200	4.600	6.200	6.000	7.600	8.600
4.600	21.000	24.000	22.000	28.000	30.000	27.000	31.000	32.000

Los valores de la fila superior corresponden a luminancias medias con cielo cubierto, mientras que la inferior es para cielo claro. En general se toma como caso mínimo para nuestras latitudes el cielo cubierto con  $3.200 cd/m^2$ , equivalente a unos  $10.000 lux$  sobre un plano horizontal sin obstrucciones.

### Cielo cubierto C.I.E

En el modelo de **cielo cubierto estándar**, que resulta más ajustado a la realidad ya que la luminancia cambia con la altura, hasta el punto de que en el zénit el cielo se considera tres veces más claro que en el horizonte.

Esta relación se define con la fórmula de Moon-Spencer:

$$L_{\theta} = L_z \left( \frac{1 + 2 \sin^2 \theta}{3} \right)$$

donde:  $L_{\theta}$  = luminancia a una altura de ángulo  $\theta$  sobre el horizonte

$L_z$  = luminancia en el zénit

En este caso se puede considerar la  $L_z$  como a 9/7 de la luminancia media del cielo (uniforme).

Otra condición correctora, que se debería tener presente en este análisis, es la variación de la luminancia del cielo según la orientación, que se presenta no solamente con el cielo claro o nublado sino también con el cielo cubierto.

Esta variación de la luminancia se puede concretar para la luminancia del horizonte, en un incremento del 20% en la orientación hacia el Ecuador y un decremento de también un 20% en la orientación hacia el polo, según el hemisferio donde estemos situados. Estas variaciones decrecen al aumentar la altura hasta anularse en el zénit.

La expresión de Moon-Spencer corregida para tener presente esta variación sería:

$$L_{\theta, \phi} = L_z \left( \frac{1 + 2 \sin^2 \theta}{3} \right) (1 + 0,2 \cos \phi)$$

donde:  $L_{\theta, \phi}$  = luminancia del cielo para una altura  $\theta$  respecto de la dirección del ecuador

$L_z$  = luminancia en el zénit

---

### Cielo claro

Para el caso de **cielo claro** la mejor estrategia será considerar sólo la incidencia directa del sol, con intensidad del orden de 100.000 cd/m<sup>2</sup> y la posición que corresponda según la época del año y la hora.

Por otra parte consideraremos también como fuentes indirectas, el resto de la bóveda celeste y las reflexiones en otras superficies del suelo o de otros elementos exteriores (albedo).

Para el caso de la bóveda celeste con cielo claro la luminancia decrece al alejarnos de la posición del sol con valores variables entre 2.000 y 9.000 cd/m<sup>2</sup>.

Para el caso del albedo se toma como valor típico de luminancia el resultado de aplicar la expresión:

$$L_a = E_h r / B$$

donde:	$L_a$	=	luminancia de albedo
	$E_h$	=	iluminancia que reciben las superficies, (que puede considerarse de 100.000 lux con el cielo claro)
	$r$	=	coeficiente de reflexión de las superficies, (valor típico de 0,2, que puede subir hasta 0,7 en superficies claras)

### Cielo nublado

En el caso de **cielo nublado**, entre cielo claro y cielo cubierto, deberemos hacer las hipótesis correspondientes a una situación entre las consideradas en los casos anteriores. En todo caso, si se conocen las dos situaciones límites, no es necesario estudiar este tipo de cielo más allá de conocer su frecuencia para cada época del año.

### Toma de datos

La toma de datos sobre este tema es difícil, pero a menudo los servicios meteorológicos nos dan porcentajes de días claros, nublados y cubiertos para cada mes del año, dato que puede usarse como buena aproximación de las condiciones del cielo previsible en un lugar determinado.

---

### 7.3.3 Paisaje

A pesar de que no se trata de un hecho climático, el paisaje es una característica del lugar suficientemente importante para que merezca su consideración al tomar los datos de un emplazamiento.

Consideramos paisaje todo aquello que puede observarse desde un sitio determinado, teniendo presente las modificaciones que pueden aparecer al ganar altura con el futuro proyecto.

#### Características

En un paisaje se pueden distinguir diferentes tipos de elementos observables:

**Primer plano** o entorno próximo; observación de detalles.

**Segundo plano** o distancia media; observación de conjuntos.

**Plano de fondo** o entorno lejano; visión global con posibles elementos de acento.

Según su configuración los paisajes pueden ser: **urbanos, rurales, marítimos, de montaña**, etc. o bien, extensivos o generales, puntuales o localizados, dinámicos o estáticos, etc.

#### Variación en el tiempo

En muchos casos, los paisajes pueden experimentar cambios estacionales o diarios, especialmente en el caso del próximo, y sobre todo si existe vegetación. Por otra parte, la variación día-noche puede ser especialmente importante en paisajes lejanos.

#### Toma de datos

Se pueden hacer fotografías panorámicas, pero ofrecen poca definición de los detalles. Es mejor hacer croquis sucesivos de las visuales según orientaciones, mucho más explicativos.

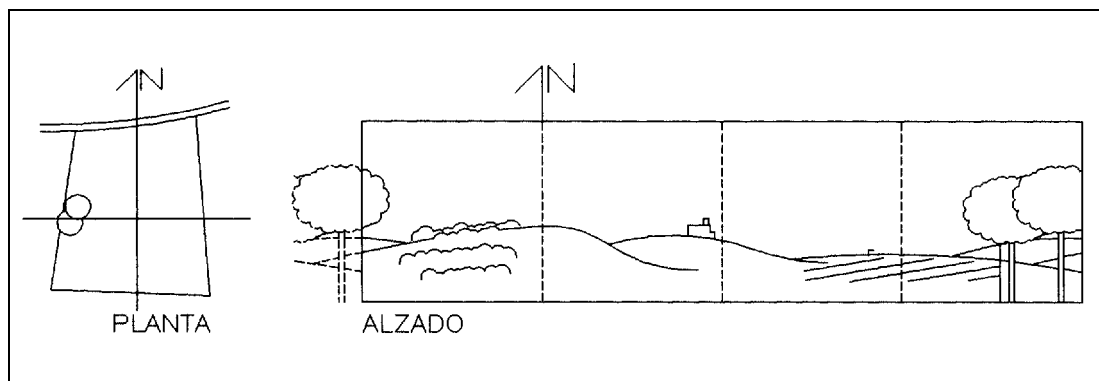


Fig. 7.20 Croquis de paisaje

#### **7.4 Análisis general de preexistencias ambientales**

Hasta ahora hemos estudiado los factores y las características. Los primeros intervienen influyendo sobre las segundas, que resumen las preexistencias del lugar.

Pero con esto no se puede considerar el trabajo como terminado, ya que es interesante tener de alguna forma resumidas en un único documento las diferentes características de un lugar, que después serán necesarias para realizar el proyecto.

En este sentido sería adecuado disponer de un documento que sirva de resumen de todas las preexistencias, climáticas y no climáticas. Aunque este tipo de documento no se puede recomendar que tenga una forma específica, ya que cada uno lo puede preparar según el valor relativo que de a las diferentes preexistencias, si que podemos comentar algunos sistemas que permiten entender mejor visualmente cuáles son las preexistencias de un caso determinado.

A continuación, consideraremos los sistemas para hacer el análisis conjunto o parcial de estos datos climáticos, lumínicos y acústicos.

##### **7.4.1 Gráficos de análisis higrotérmico**

El problema más difícil que hay si se quieren resumir las preexistencias de un emplazamiento, es el de entender rápidamente las características de su clima. Las tablas típicas, llenas de datos numéricos, que facilitan los servicios meteorológicos son poco útiles en este caso, por ésto es muy indicado usar los llamados gráficos de análisis higrotérmico.

Se trata de hacer un resumen de las características de temperatura y humedad de un clima, de tal manera que se pueda apreciar visualmente el tipo de que se trata y su relación con las zonas de confort. Las dos tipos de gráficos más conocidos son, el de Olgyay y el psicrométrico con el análisis de Givoni.

---

### Gráfico de Olgyay

Se usa el mismo gráfico de confort de este autor, introduciendo las líneas que unen las condiciones medias de todos los meses del año. En el ejemplo se han situado las condiciones para el caso de Barcelona.

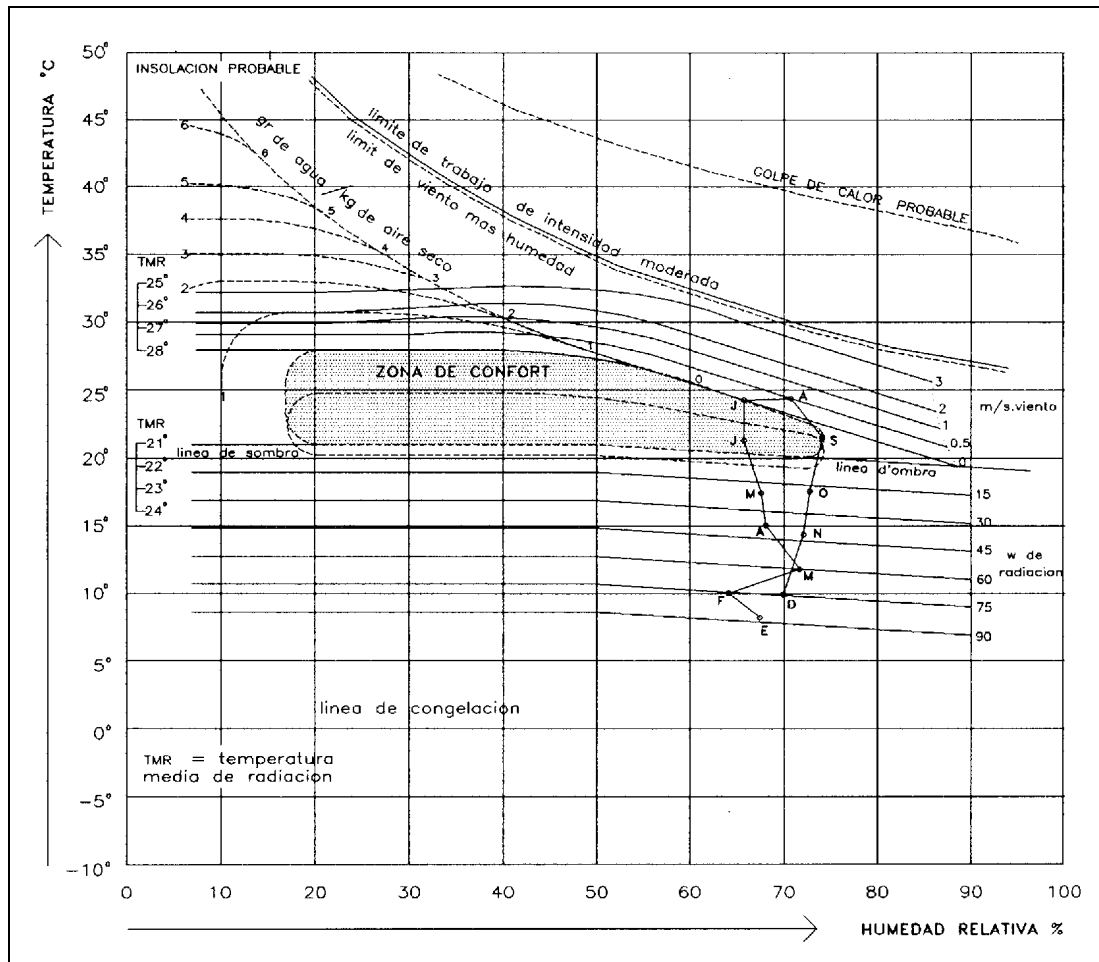


Fig. 7.21 Gráfica de Olgyay

Al tratarse de un gráfico de aplicación más urbanística que arquitectónica, las correcciones a la situaciones fuera de la zona de confort se deben entender también en este sentido. Este es el caso de la velocidad del viento como correctora del disconfort, por ejemplo, que en un interior no debería ser mayor de 1 m/s y que en el gráfico se acepta hasta a 3,5 m/s, o de la radiación solar, donde valores de más de 50 kcal/h de radiación resultarían excesivas en un espacio cerrado.

**Gráficos en el ábaco psicrométrico**

Partiendo del ábaco psicrométrico, donde se señalan las zonas de confort de verano y de invierno, se representan: condiciones medias de cada mes, días típicos de invierno y de verano, etc.

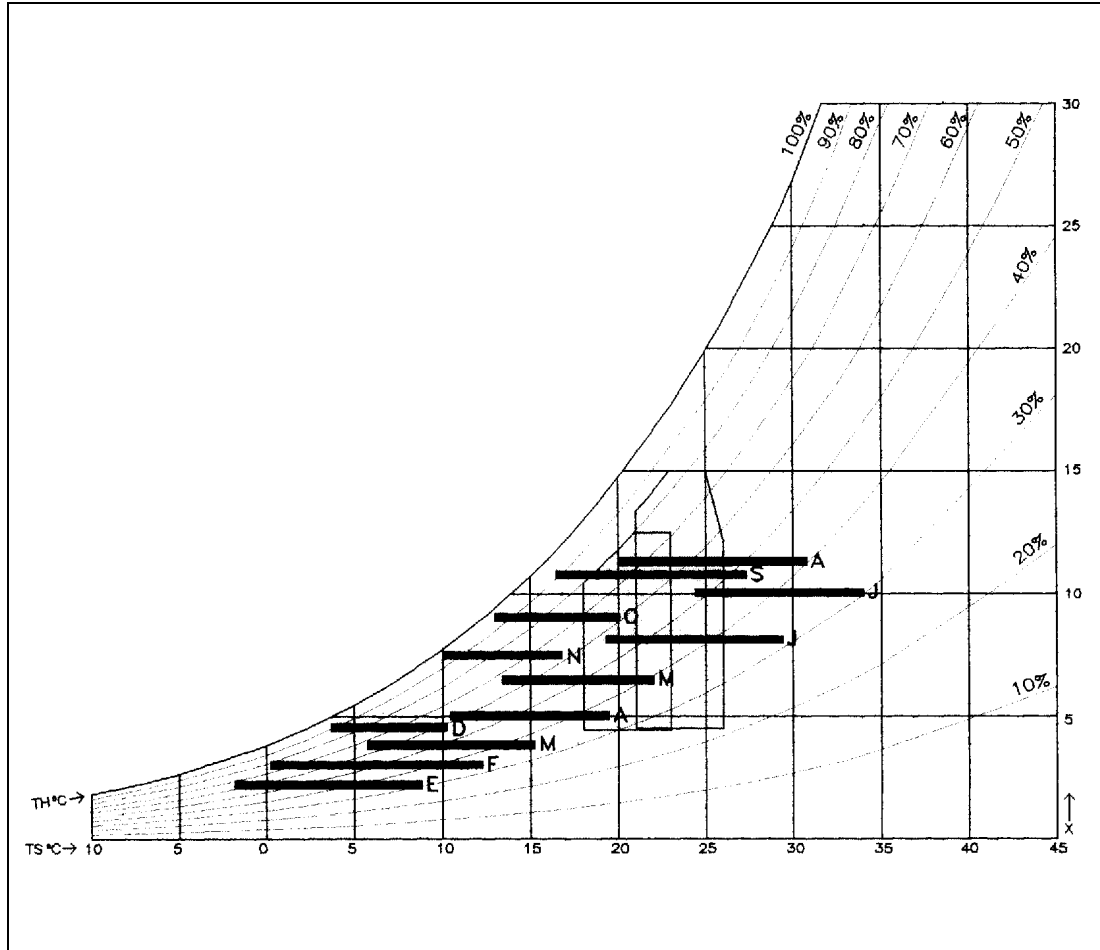


Fig. 7.22 Oscilación de temperatura mes a mes

Quizás en este gráfico es fácil reconocer la relación entre las condiciones del clima y las exigencias de la arquitectura, manifestadas con las zonas de confort de invierno y de verano que aparecen indicadas en el gráfico.

La representación de franjas horizontales que unen las temperaturas medias de las máximas y las mínimas para cada mes, permite reconocer para cada época del año cuáles son las constricciones climáticas que deberán ser combatidas con medios arquitectónicos, más captación de energía solar en invierno, más ventilación en verano, etc.



En el caso de representar sobre el ábaco psicrométrico los días típicos, se pretende dar una idea de las situaciones posibles en los meses más extremos del año, y tener presentes las variaciones climáticas posibles en estos meses.

Se toman los meses de enero y julio y tres tipos de día para cada uno de estos meses:

- día anticiclónico con cielo totalmente claro,
- día anticiclónico con pocas nubes,
- día cubierto.

Con esta representación se está definiendo mejor la posible variabilidad que deberá ser corregida con la arquitectura, ya que se analiza una mayor variedad de casos que con las condiciones medias de cada mes, que no hacen aparecer las situaciones más extremas en uno u otro sentido.

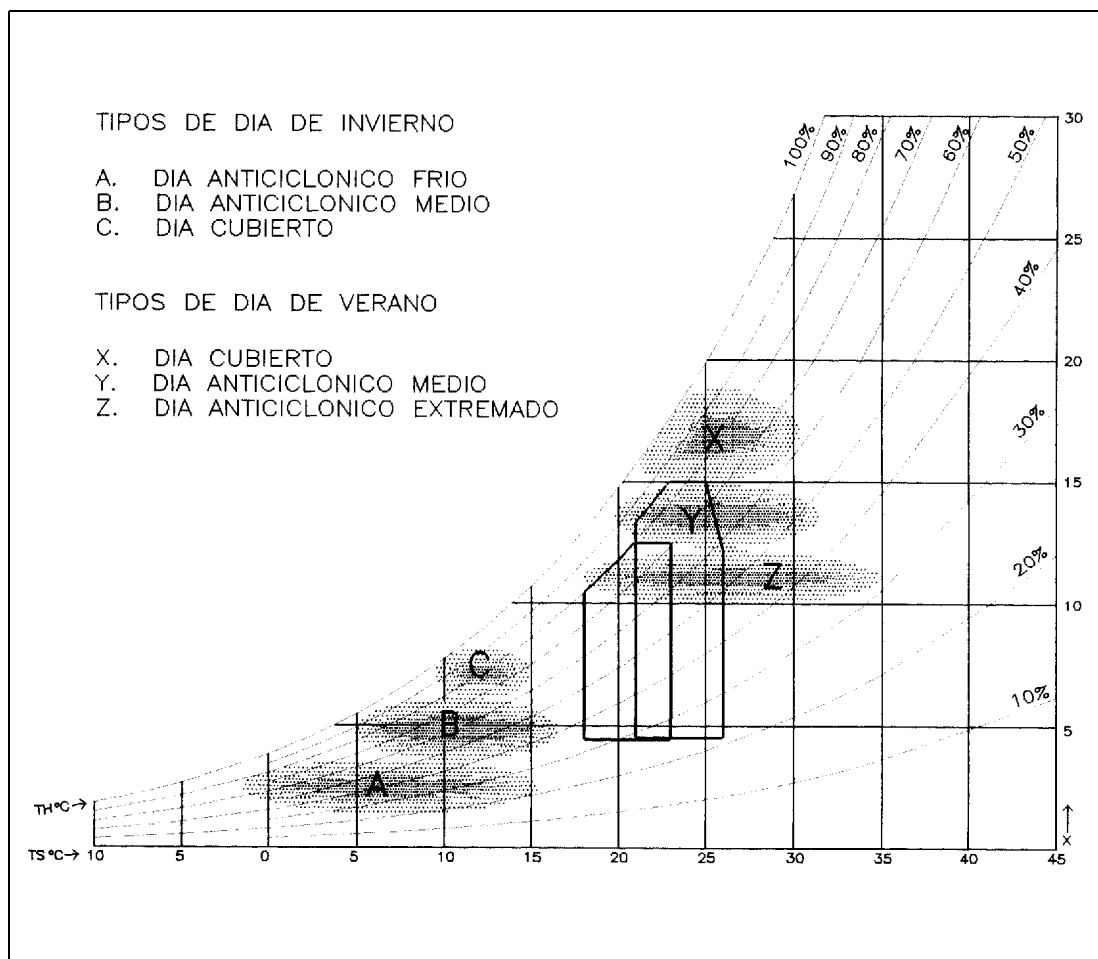


Fig. 7.23 Condiciones climáticas para días típicos

El análisis de Givoni consiste en dibujar, en el ábaco, las zonas donde se puede suponer que las actuaciones arquitectónicas, con medios naturales de control ambiental, serán suficientes para devolver las condiciones a la zona de confort.

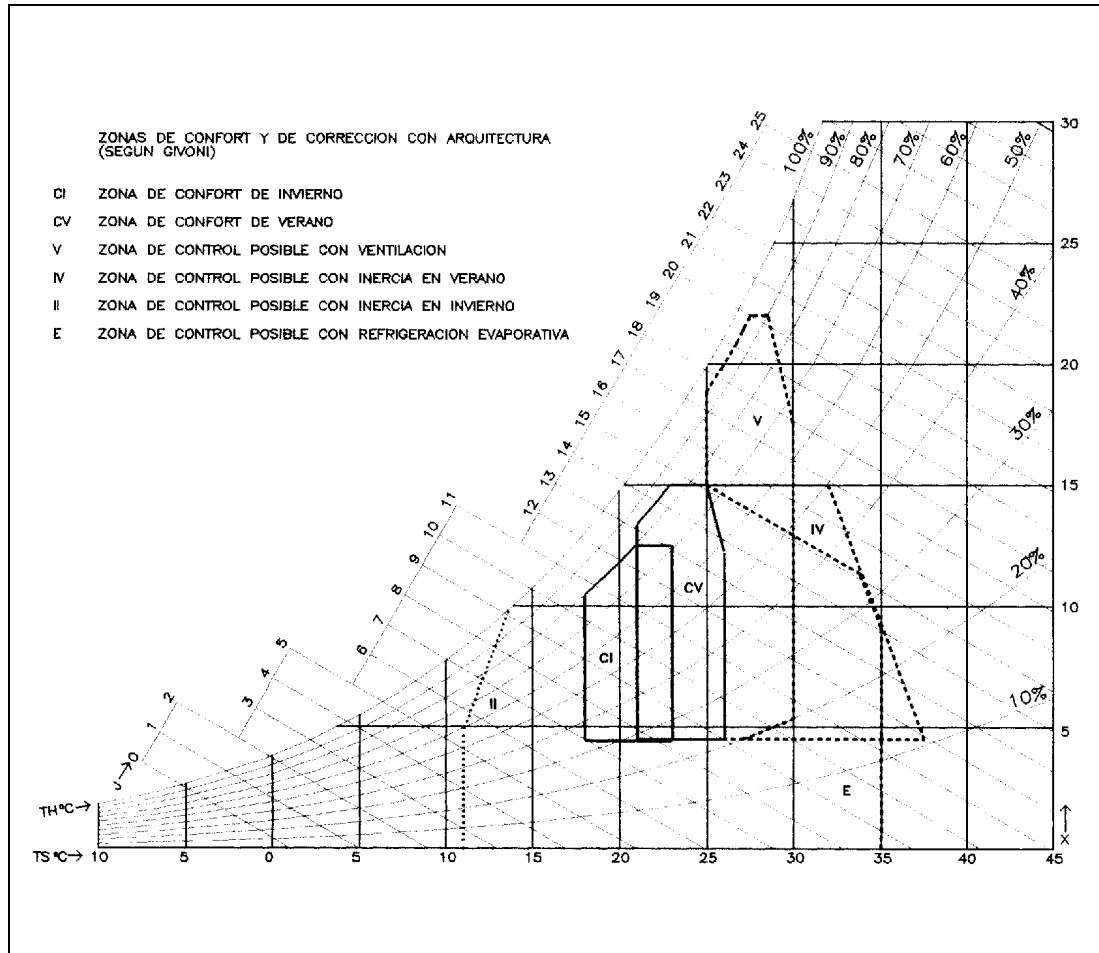


Fig. 7.24 Zonas de corrección arquitectónica sobre el psicrométrico

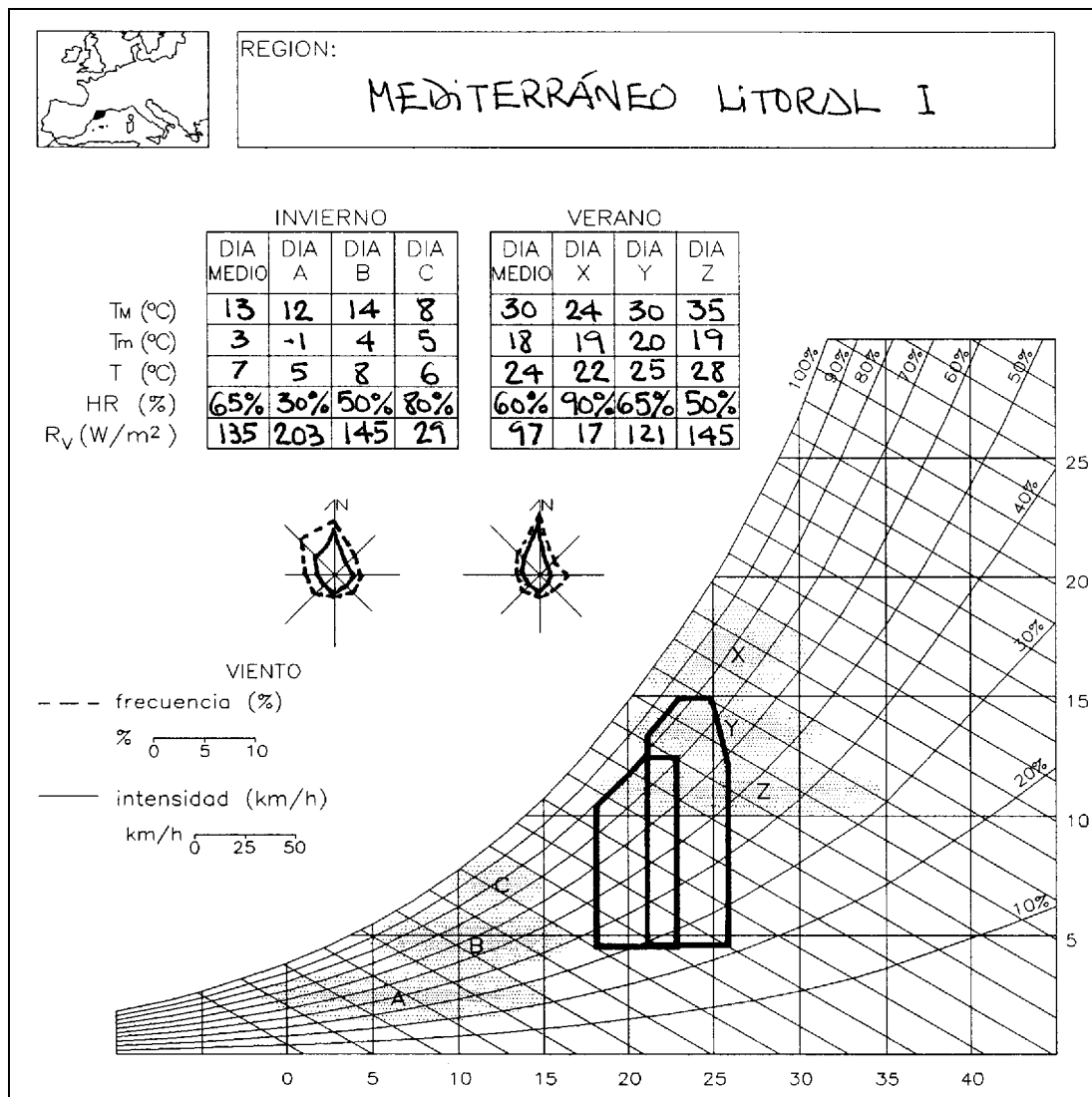
Con este análisis, por otra parte relativamente discutible en lo que respecta a los límites de las zonas de posible corrección, se están ampliando los factores de confort que se tienen en cuenta. Tanto el efecto del movimiento del aire (ventilación), como el de la radiación y el de la inercia asociadas, están introduciendo en el análisis los factores de confort térmico que el análisis higrotérmico por sí solo no hacía.

Con estos ábacos, sobreponiendo las diferentes gráficas, es posible conocer el tipo de actuación necesaria desde el diseño, (como primera aproximación de lo que debe ser un buen proyecto desde el punto de vista térmico).

### 7.4.2 Fichas resumen de datos

Un elemento importante para hacer el análisis ambiental de un lugar consiste en disponer de un documento donde se resumen, de manera sencilla y clara, los valores de los parámetros que más pueden influir en el diseño desde el punto de vista energético.

Pueden existir innumerables tipos de fichas diseñadas para este fin; como ejemplo proponemos la siguiente, con la advertencia de que su orientación es básicamente climática y que se debería completar con los datos lumínicos y acústicos.



### 7.4.3 Análisis gráfico de acciones ambientales de un emplazamiento

Como punto final del análisis de las preexistencias y como punto previo al desarrollo del proceso de diseño, resulta particularmente útil proceder a sintetizar de forma gráfica, sobre un croquis del lugar, el conjunto de acciones ambientales que actúan.

Para hacer esto, debemos simbolizar con flechas de diferentes tipos las acciones ambientales direccionales de vientos, ruidos, vistas, asoleo, etc. Con rayados o manchas, la presencia de elementos topográficos o de vegetación y con diagramas las variaciones en el tiempo de temperatura y humedad. Puede ser relativamente fácil resumir así, en una hoja de papel, todas estas características. Para una mejor definición también es aconsejable utilizar un croquis en planta y en sección, y distinguir las acciones básicas de invierno y verano.

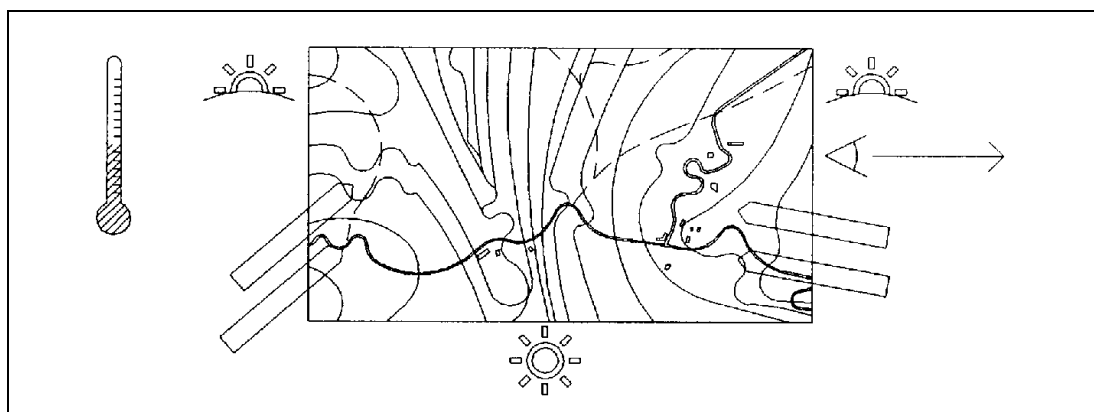


Fig. 7.26 Análisis gráfico de acciones ambientales de un emplazamiento

## Capítulo 8 Clima y arquitectura popular

### 8.1 Diversidad climática y modelos básicos

Actualmente tenemos la idea de que cualquier edificio diseñado puede resolver sus problemas de control ambiental mediante el uso de sistemas energéticos, lo cual hace que normalmente se prescindiera del clima de donde está situado. Los constructores primitivos y los de las culturas actuales con pocos recursos técnicos no podían ni pueden tomar esta actitud, por lo que sus edificios mantienen una estrecha relación con el clima que los rodea.

Para hacer un estudio de la arquitectura en relación al clima debemos, antes que nada, aclarar cómo podemos clasificar los diferentes tipos de clima presentes en nuestro planeta, partiendo de las características más influyentes de los mismos sobre el análisis ambiental, tal como las hemos visto en el análisis de las preexistencias hecho anteriormente. Si se analiza globalmente el tipo de clima, el parámetro más representativo es el de las temperaturas, con sus valores medios y sus variaciones, siendo estas últimas un indicador indirecto de la humedad del clima (más variación supone más continentalidad y, por lo tanto, menos humedad). Los factores más directamente influyentes serán:

Para la temperatura media la **latitud**: a mayor latitud más frío.

Para la oscilación de temperatura, la **continentalidad**: a mayor continentalidad, mayores oscilaciones de las temperaturas (y menos humedad).

Con estos dos factores se podría hacer una clasificación general de los climas, considerando en dos ejes ortogonales; por una parte, la variación frío-calor, y por otra, agua-tierra.

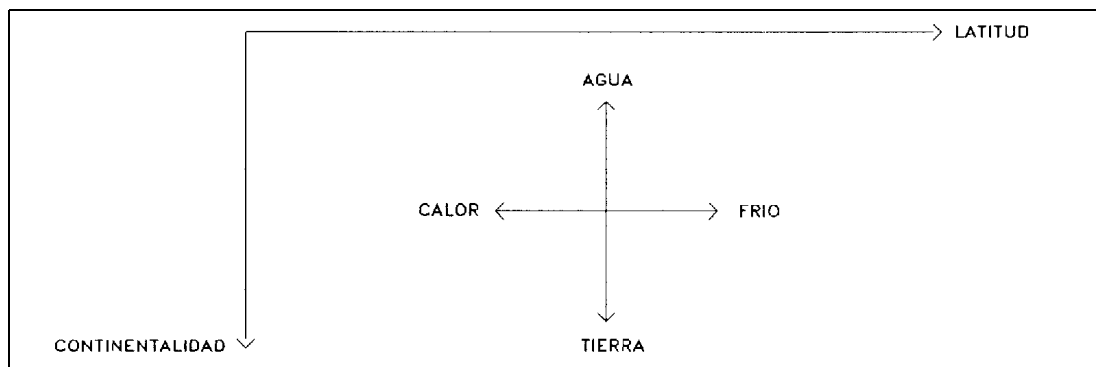


Fig. 8.1 Tipificación general de los climas

En esta clasificación se podrían situar, en principio, todos los tipos generales de clima existentes en la tierra, pero no recoge todas las variaciones posibles de éstos, debidas principalmente a:

La altura relativa sobre el nivel del mar, que representa, como ya se ha visto, el equivalente a un descenso de las temperaturas y a un cierto incremento de las variaciones de éstas.

Las numerosas variaciones por la acción del relieve, en relación sobre todo con los vientos.

Estos factores son importantes, ya que determinan fuertes variaciones locales respecto a la norma más general vista antes y sobre todo, por su influencia sobre las variaciones estacionales en un lugar determinado. Estas variaciones pueden hacer que, en diferentes épocas del año y en un lugar concreto el clima cambie mucho, de un punto a otro del diagrama frío-calor/agua-tierra planteado.

Aún así, para un análisis del clima como elemento influyente en la arquitectura, se simplifica el problema estableciendo unos tipos básicos que permitan extraer consecuencias. Así, cualquier clima se puede considerar como una mezcla ponderada de estos tipos básicos, con una determinada proporción de cada uno. Veremos así como los casos más extremados son los que tienen la solución arquitectónica más clara, siendo paradójicamente la arquitectura más compleja la de los climas templados, donde los edificios se adaptan a cambios en todo el espectro de los tipos básicos. Los tipos de clima básicos que seleccionamos y representamos en el ábaco psicrométrico son:

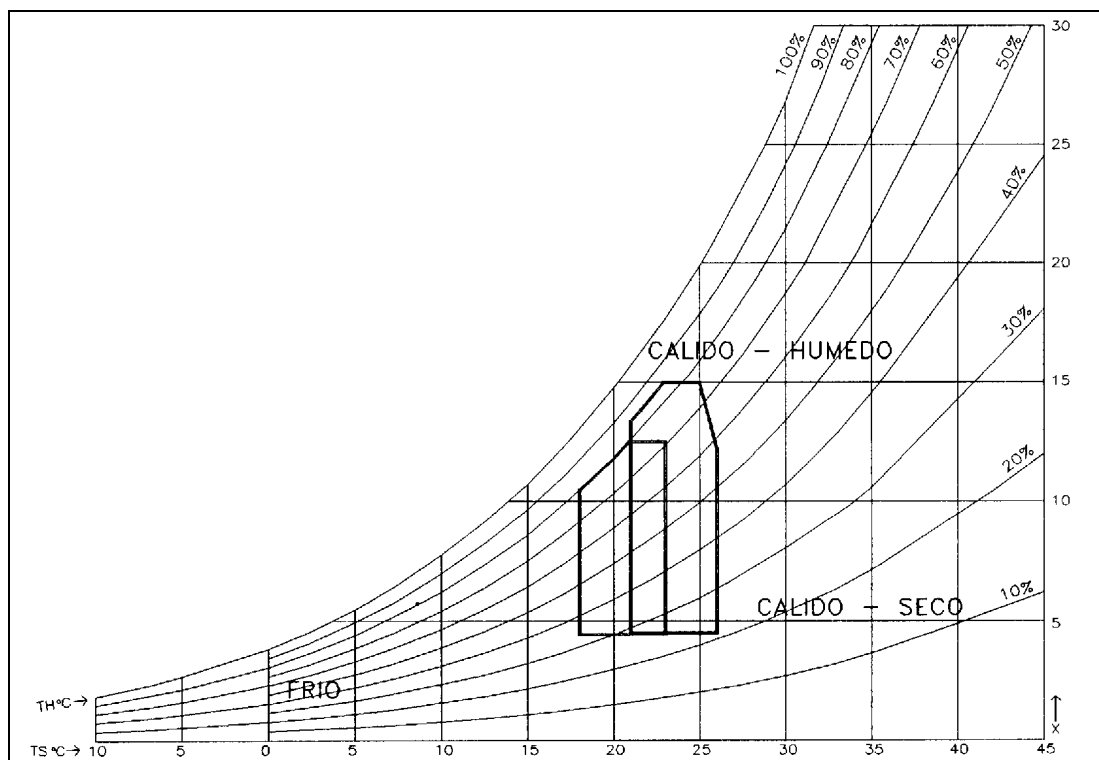


Fig. 8.2 Climas básicos

**Clima cálido seco.**

Es el clima de los desiertos situados cerca del ecuador. Medias de temperaturas muy altas y fuerte variación día-noche de las mismas. La humedad es muy baja, la radiación muy dirigida, el cielo casi sin nubes y prácticamente no hay precipitaciones. Los vientos cálidos, secos y cargados de polvo.

**Clima cálido húmedo.**

Es el clima de las zonas subtropicales marítimas. Temperaturas medias altas, con variaciones poco acusadas día-noche y estacionales. La humedad es muy alta, frecuente nebulosidad y fuertes precipitaciones irregulares. La radiación es relativamente difusa y los vientos muy variables, que fácilmente pueden ser huracanados.

**Clima frío.**

Clima típico de las regiones de latitud alta, donde no se establece la distinción húmedo-seco porque ésta pierde importancia en los casos de frío más extremo. Las temperaturas son muy bajas con variación estacional relacionada con los cambios de asoleo invierno-verano. La radiación solar siempre escasa y los vientos muy desagradables cuando vienen de la dirección del polo.

A estos tres tipos de clima añadiremos otro caso interesante:

**Clima ventoso.**

Cualquiera de los casos anteriores puede ir ligado con la presencia de vientos intensos y frecuentes, cosa que también puede suceder en climas más templados, donde el viento llega a convertirse en el principal factor en el diseño de la arquitectura. En este sentido consideraremos también este caso.

Las soluciones de la arquitectura popular a los problemas planteados por el clima y sus variaciones son interesantes por el hecho de que nos hacen conscientes de como existen diversas formas, influidas por las diferentes culturas, de resolver los mismos problemas ambientales. Son soluciones con un valor especial porque se equilibran con la naturaleza, apuran al máximo las posibilidades tecnológicas de su cultura y resisten el paso del tiempo por la corrección básica de sus propuestas.

En la vivienda popular, el clima es una más de las diferentes fuerzas, socio-culturales, económicas, de defensa, religiosas, de disponibilidad de materiales, de recursos constructivos y técnicos, etc., que generan las formas de la arquitectura. El clima toma el papel principal en condiciones de baja tecnología y al ser más críticas las condiciones climáticas, más limitadas y fijas son las soluciones. Sin embargo las opciones no son nunca totalmente limitadas y existen variaciones locales según las condiciones específicas de cada caso. Todo esto hace que, además de encontrar soluciones similares en lugares muy lejanos que tienen climas parecidos, también encontramos a veces soluciones muy diferentes para solucionar problemas idénticos. Aún más, muy a menudo se encuentran soluciones especiales, como es el caso del patio, que se adaptan para resolver problemas climáticos bastante diferentes, a pesar de conservar sus características básicas de diseño.

---

### 8.3 Arquitectura de los climas cálidos

En este caso las respuestas de la arquitectura popular tenderán a protegerse de la radiación excesiva, intentando conservaren lo posible, en un espacio interior controlado, las condiciones de temperatura más adecuadas. A partir de este enfoque básico existe, sin embargo, una gran variación según la continentalidad del clima, que hace necesario distinguir totalmente los dos climas básicos citados.

#### 8.2.1 Climas cálidos secos

En regiones con este tipo de clima normalmente se trata de amortiguar la fuerte variación día-noche de las temperaturas, retardando en todo lo posible la entrada de calor para que llegue al interior de noche, cuando es menos molesto. Para conseguirlo se usan materiales de gran inercia térmica, como el barro, el adobe, la piedra y sus combinaciones.

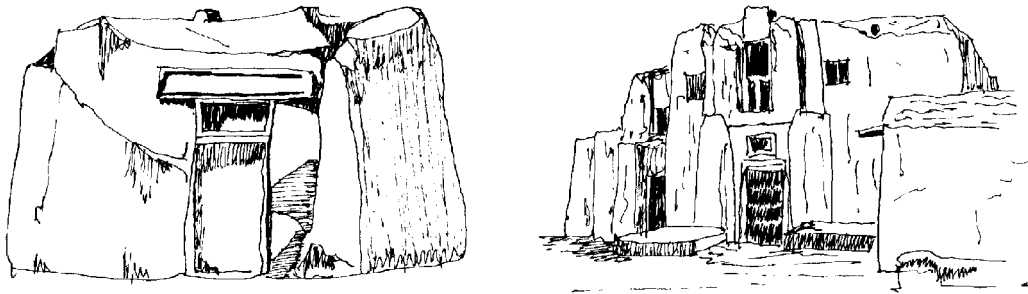


Fig. 8.3 Viviendas típicas de clima cálido-seco (modelo de casa egipcia y casa en Malí)

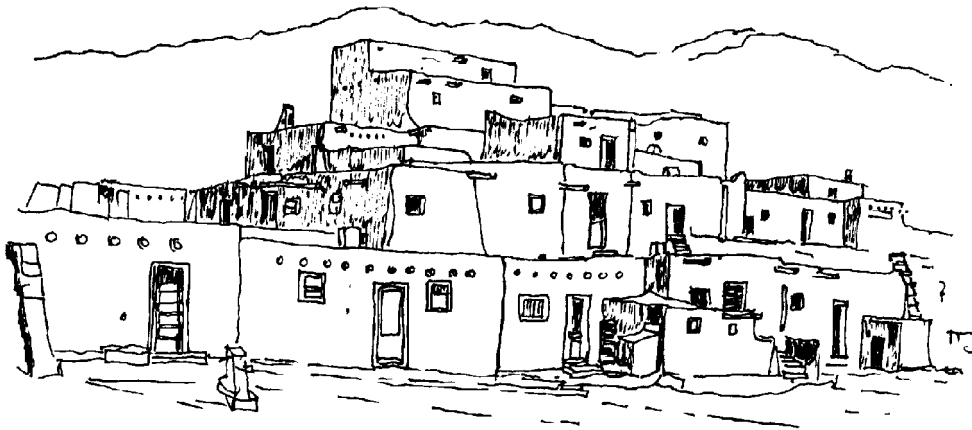
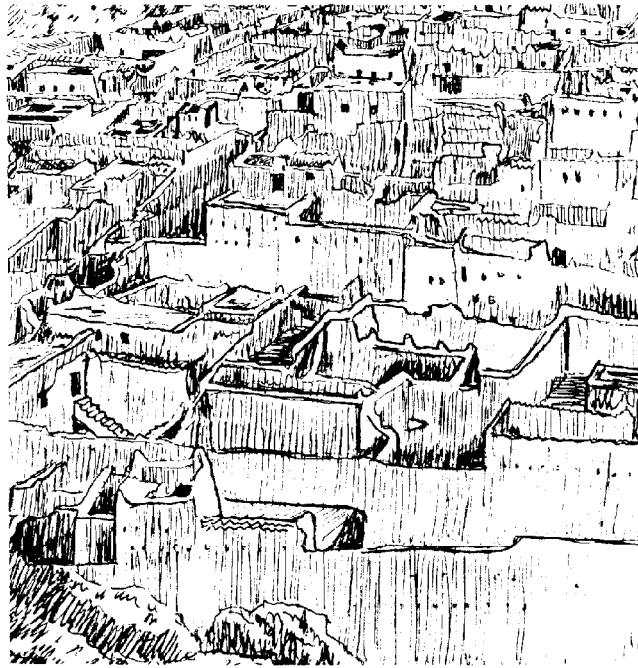


Fig. 8.4 Viviendas de los indios "pueblo" en Nuevo Méjico



Con la construcción de las viviendas en asentamientos compactos se consigue reducir las superficies expuestas a la radiación solar, a la vez que se hace mayor la masa construida por unidad de volumen y con ello se incrementa la inercia térmica global. También se consigue, acercando las construcciones entre sí, generar sombras proyectadas de unas superficies sobre las otras, favoreciendo las pérdidas de calor sin incrementar las ganancias por radiación.



*Fig. 8.5 Pueblo en Somalia*

En las viviendas de estos climas la cocina se sitúa en el exterior, intentando evitar aportaciones de calor que empeoren la situación interior. El exterior de los edificios se pinta de color blanco o con colores claros que reflejen al máximo la radiación solar. Las aberturas hacia el exterior son escasas y pequeñas, situándose a menudo en la parte más alta de los paramentos para reducir la radiación en el suelo y conseguir la máxima iluminación con la mínima entrada de radiación.

Otros recursos para defender los edificios del asoleo son los aleros, las persianas y las celosías, la utilización de vegetación en todos los casos posibles que den sombra a los cerramientos y soluciones a veces más especiales, como el cubrir espacios comunales (calles y plazas) o poblados enteros con barreras a la radiación, toldos, encañizados, etc.

---

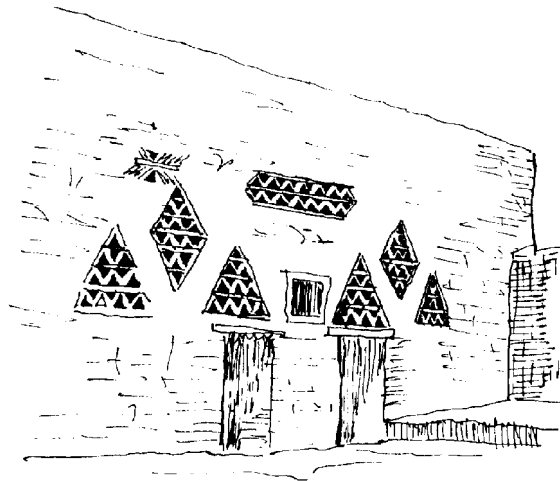


Fig. 8.6 Vivienda en Mauritania



Fig. 8.7 Asentamiento Yokut, protección colectiva

En estos edificios de gran inercia térmica es muy importante la gestión de sus aberturas. Las ventanas se deben cerrar totalmente al paso de la luz y del aire en las horas de más calor, y se abren totalmente durante la noche para aprovechar el aire más fresco. Sólo en casos especiales, donde no se puede conseguir inercia térmica, como es el caso de las tiendas tuaregs, se renuncia al cerramiento al aire y se combate únicamente la radiación directa y reemitida mediante sofisticadas barreras, con tejidos a veces oscuros, donde se refrigeran las superficies que reciben el sol por circulación acelerada del aire en el tejido y se impide la reemisión de radiación de onda larga hacia el interior.

---

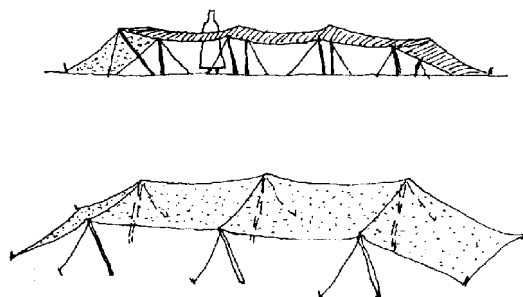


Fig. 8.8 Tienda tuareg

En estas regiones que estamos considerando es muy importante la presencia de agua. Por esto se intenta retener la lluvia y protegerla de la evaporación almacenándola en depósitos debajo de la vivienda, que también contribuyen a mejorar la masa térmica global.

En otros casos, frecuentes en todo el mundo, se procura buscar el máximo de inercia térmica con la **construcción subterránea** de las viviendas. Este tipo de solución es típica de climas cálidos secos, aunque también se encuentra en climas fríos y templados, siempre buscando con la profundidad una estabilidad de temperatura que haga más habitable el interior.

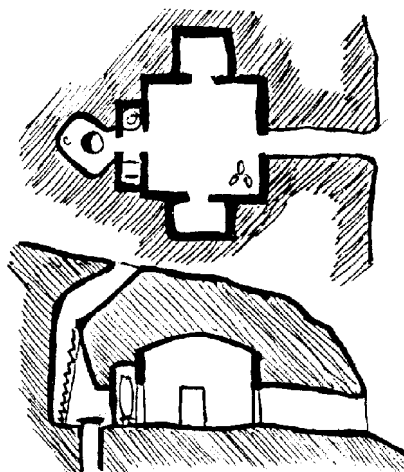


Fig. 8.9 Cueva en Moptí, Sudán occidental

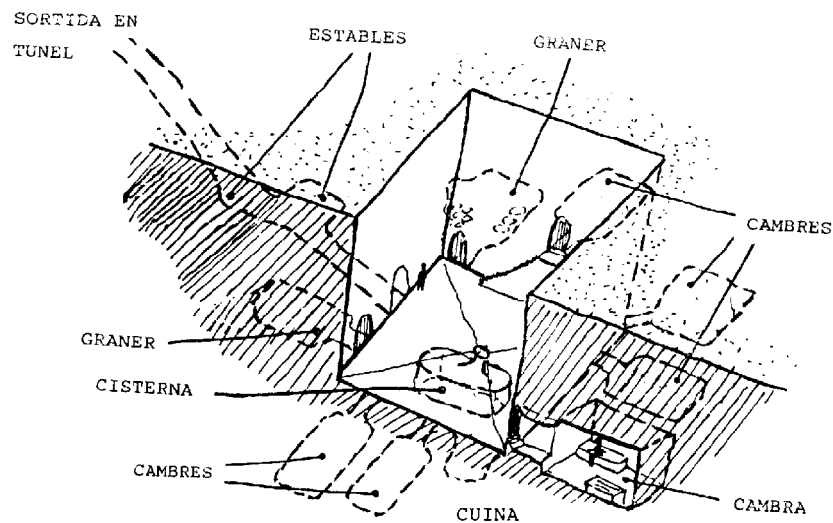


Fig. 8.10 Vivienda en Matmata (Sámara)

En estos climas se duerme en el exterior en época de calor, en la cubierta, en el patio o en galerías. La cocina está en un anexo exterior, o hay una cocina de invierno y otra de verano. La gente trabaja de día en el campo y la relación se hace en el exterior y el edificio sirve de almacén o uso invernal.

Otro elemento típico es el **patio**, donde el frescor y humedad de la noche se acumulan y se mantiene el espacio agradable durante el día, protegido del viento y la arena. Con agua y plantas en su interior, los patios son como pozos refrescantes en los edificios. El diseño de casa-patio se extiende en muchas culturas, países y zonas climáticas, pero sobre todo en regiones cálido-secas, desde Méjico a la India.

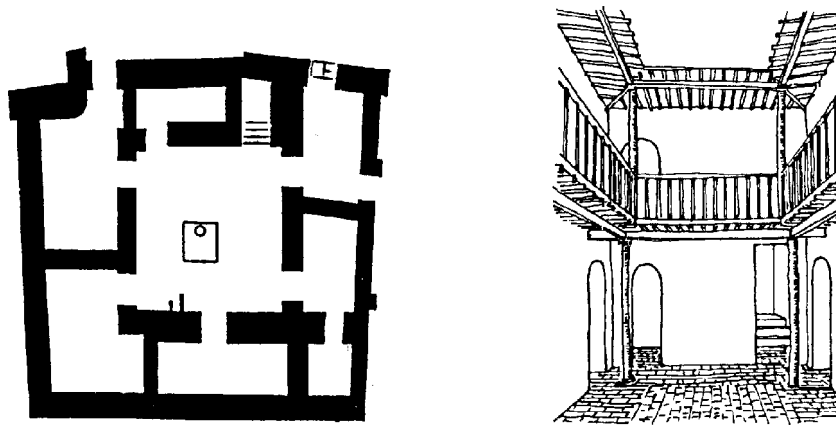


Fig. 8.11 Planta y patio de una vivienda en Ur (Mesopotamia)

A veces en los países árabes se combina un patio en sombra con otro soleado, donde el aire caliente sube y succiona el aire fresco del otro patio a través de los locales situados en medio.

Una forma constructiva típica de estos climas es la de **cerramientos pesados**, paredes y cubiertas de barro o adobe de mucho grosor, que en ciertos casos llegan a ser cerramientos sin función resistente, complemento de una estructura de madera que es la que trabaja como soporte.

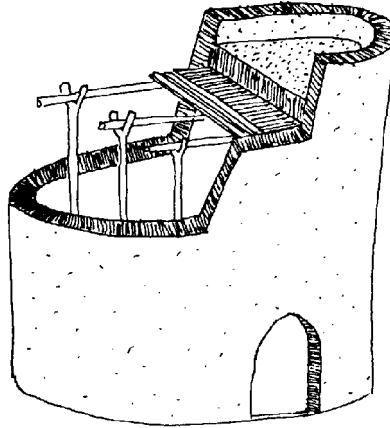


Fig. 8.12 Vivienda Ashanti

Otra solución frecuente en ciertos climas, con temporada de lluvias y características próximas a los cálido-húmedos durante una parte del año, es la doble cubierta (o doble pared). En estos casos se construyen cerramientos de paja y arcilla. La capa de paja, renovada cada año, protege del agua en la estación de lluvias a la de arcilla y la protege también del sol directo, evitando el almacenamiento de calor y que se caliente el interior por radiación reemitida. El espacio vacío entre las dos capas ofrece aislamiento adicional en días calurosos y la capa de fango regula con su inercia la repercusión interior de las oscilaciones térmicas exteriores. Por último, la inercia térmica mejora al quedar la capa de paja como aislamiento exterior, teóricamente más favorable para la inercia del edificio.



Fig. 8.13 Cubiertas dobles: en el pueblo Masa (Camerún) y en Orisa (India)

## 8.2.2 Climas cálidos húmedos

En este tipo de clima no es ninguna ventaja la inercia térmica de los edificios, al ser muy reducidas las variaciones de las temperaturas día-noche y entre estaciones. Como la radiación es intensa, resulta crítico obtener la máxima protección posible, ya que se procura detener no solo la radiación directa, sino también la difusa, importante en estos climas.

También es muy importante la ventilación para disipar el calor y reducir la humedad con el movimiento de aire en los espacios interiores, por esto los edificios tienen grandes aberturas y su implantación típica es en formas alargadas y estrechas, independientes y alejadas entre sí, para no crear barreras al viento de unos edificios sobre otros.

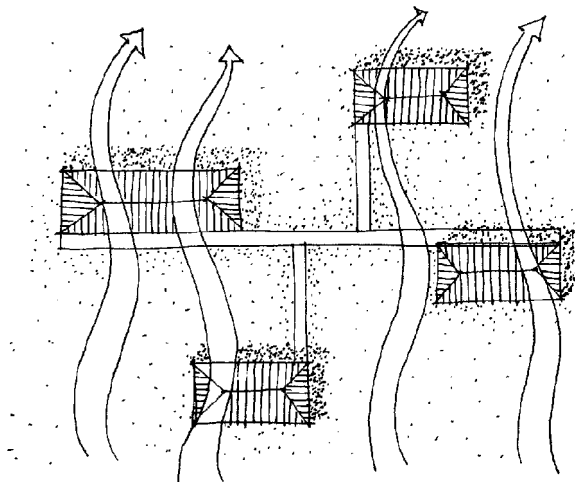


Fig. 8.14 Disposición de edificios en clima cálido húmedo

Para conseguir el paso del aire repartido por el interior, son recomendables las aberturas totales de los paramentos de entrada y salida del viento, protegiéndolos de la radiación y las vistas con celosías, persianas, etc. Esta solución plantea, lógicamente, problemas de privacidad y de falta total de protección acústica que debe tener presente el diseño urbanístico.

En la vivienda tradicional de estas zonas, la cubierta es un elemento muy importante, ya que debe tener la función de sombrilla y de paraguas. En ciertas regiones se llega a descomponer la cubierta en muchas



Fig. 8.15 Edificio en Birmania

cubiertas superpuestas, que se dan sombra mutuamente y permiten el paso del aire. Las cubiertas típicas de estas zonas tienen gran inclinación, para evacuar las frecuentes lluvias, y dejan aberturas entre sus diferentes planos, que permiten salir el aire. Los anchos voladizos protegen de la radiación y de la lluvia, permiten la ventilación y se convierten, a veces, en porches o galerías abiertas que generan un espacio sombreado para descansar o dormir.

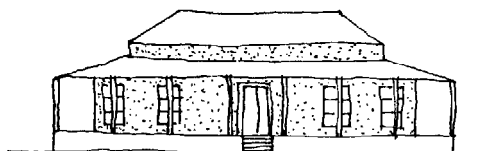


Fig. 8.16 Vivienda australiana

Son cubiertas con poco peso, para evitar el almacenamiento del calor de la radiación, que permiten una cierta "respiración", para evitar condensaciones y el mismo calentamiento del aire. Por otra parte, los suelos se levantan para obtener una mejor exposición a las brisas, protegerse de las inundaciones y como defensa a insectos y bestezuelas. Estos pavimentos también son permeables al aire y completan así la permeabilidad de toda la envolvente de la vivienda.

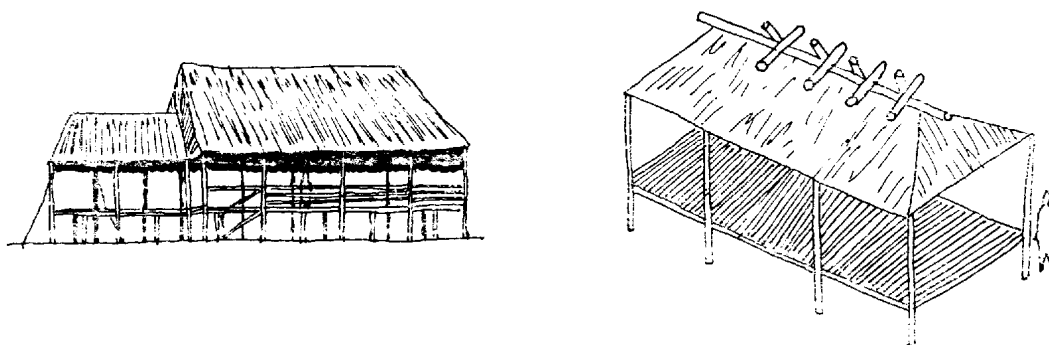


Fig. 8.17 Viviendas: Yagua en el Amazonia y Seminola en Florida

Una solución de estos climas, considerada como vivienda mínima, es la **hamaca**. Usadas para dormir o descansar, permiten el paso del aire y al balancearse se produce un movimiento del aire con un mínimo esfuerzo. No hay inercia térmica, a diferencia del colchón que, en estos climas, resulta poco confortable. Un ejemplo de esta solución sería la vivienda colombiana, compuesta de una cubierta de hojas sobre una estructura soporte a su vez de la hamaca, cestos o sacos con alimentos, etc.



Fig. 8.18 Hamaca en Colombia

En estas zonas cálido-húmedas el problema de la luz puede llegar a ser más molesto que en las secas, ya que el cielo produce un gran resplandor en todas las orientaciones, que llega a ser muy incómodo. Por esto las aberturas a menudo están recubiertas con trenzados de cañas y se pintan de blanco los cielos-rasos, para distribuir al máximo la luz. La misma función tienen las celosías y rejas de los árabes, las galerías y tribunas con celosías, etc.

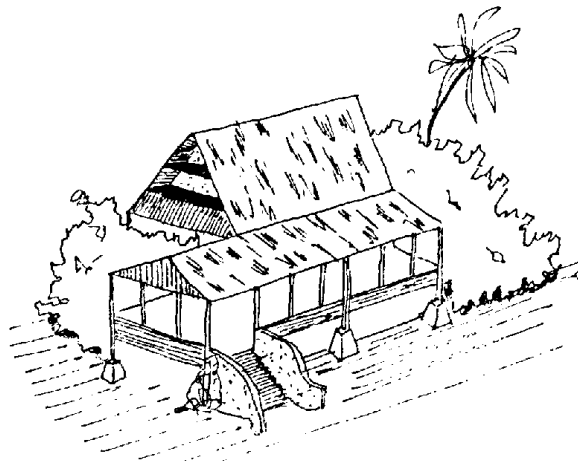


Fig. 8.19 Casa Malaya

Allí donde el calor húmedo depende de la estación, se puede complicar el diseño de las viviendas. A veces, en zonas urbanas se usan techos altos, donde se estratifica el aire y queda más fresca la parte baja, aunque, en caso de frío en invierno, estas habitaciones son difíciles de calentar. En caso de alternancia de clima cálido-seco a cálido-húmedo, se construyen las viviendas con una estructura ligera, recubierta con esteras que, en tiempo seco, se contraen permitiendo el paso del aire entre las fibras y que, cuando llueve, se dilatan y se convierten en mallas compactas casi impermeables.



### 8.3 Arquitectura de climas fríos

En las regiones frías, es importante para los edificios mantener el calor en el interior, esto nos lleva a soluciones parecidas a las de los climas cálidos-secos. La diferencia está en que la fuente de energía no está en el exterior y la barrera al paso del calor funciona en sentido contrario. Por ello se usan masas construidas compactas, con la mínima superficie expuesta al exterior, materiales aislantes y hermeticidad para evitar corrientes de aire. Soluciones típicas a partir de esta problemática son:

La acumulación de nieve en las cubiertas de los edificios para aprovechar su poder aislante.

Los desvanes para almacenar el grano, la paja, etc., aumentando el aislamiento del edificio.

Aprovechar al máximo el calor de la cocina, situándola en el interior en posición central.

Aprovechar el calor del ganado situando los establos debajo de las piezas habitables.

Otra diferencia fundamental en relación a las soluciones típicas de las zonas cálidas-secas es que se aprovecha al máximo la radiación solar, sin pintar de colores claros el exterior y situando las aberturas en las orientaciones más favorables. Los modelos de asentamiento son compactos, renunciando si es necesario a captar más radiación, a cambio de una mejor protección al viento y al frío, llegando a usar formas semiesféricas y a enterrar los edificios para una mejor protección.

Las aberturas, importantes captadores de radiación (y de iluminación), generan problemas térmicos y por ello, en los países más fríos se reducen las ventanas, a pesar de la consecuente ausencia de luz.

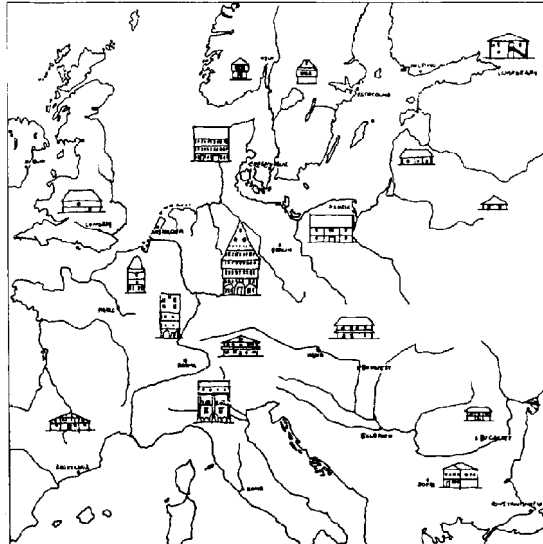


Fig. 8.20 Arquitectura popular en diferentes zonas europeas

Podemos considerar el **hábitat esquimal** como el ejemplo más representativo de la arquitectura popular de los climas fríos, donde la estrategia del uso de ventanas que comentamos llega al caso particular de cerramientos de hielo, que dejan pasar la radiación del sol en invierno y que se cubren de elementos opacos en verano para evitar el molesto sol de medianoche.

Debido al frío intenso y constante, juntamente con los fuertes vientos, en las zonas próximas al polo Norte se usa el iglú, que tiene un suelo levantado sobre el túnel de entrada para no dejar entrar el aire frío y aprovechar la estratificación térmica. Los ocupantes se mantienen en la zona caliente levantada, un espacio que se cubre de pieles de forma que se crean cámaras de aire aislantes. Una luz de grasa de foca caliente e ilumina el ámbito hemiesférico desde su centro.

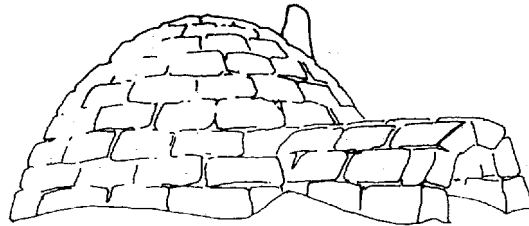


Fig. 8.21 Iglú esquimal, diseñado para el frío

En verano, los esquimales usan viviendas semi-subterráneas, de forma parecida a la del iglú, hechas con paredes de piedra de una altura de 1,5 m, con una entrada subterránea estrecha y con el piso también más alto que el de la entrada. Las vigas de madera están recubiertas de una doble capa de pieles de foca, con musgo en medio, cosa que da un aislamiento muy bueno. Los esquimales de diferentes zonas varían su tipo de vivienda y en ciertos casos usan todo el año este tipo enterrado.

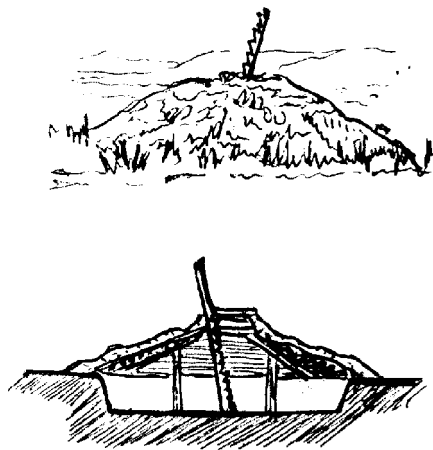


Fig. 8.22 Cabaña Salish (Canadá)

En algunos casos, los esquimales de Siberia usan viviendas rectangulares hechas con una estructura de madera recubierta de una capa de hierba y tierra, que consigue con este recubrimiento un aislamiento bastante bueno.

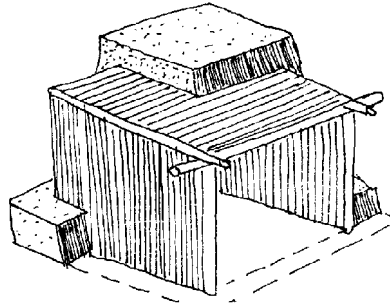


Fig. 8.23 Casa siberiana de madera, hierbas y tierra

Aparte de la vivienda esquimal, existen muchos otros ejemplos representativos de viviendas en zonas frías, siempre con las ya citadas características claras de adaptación al clima, como puede ser la acumulación de nieve en las cubiertas para aumentar el aislamiento, utilizar la buhardilla para el mismo efecto, situar la cocina en una posición central para aprovechar el calor que desprende o aprovechar el calor animal situando los establos por debajo de la zona habitable.

Pero donde es más interesante la adaptación climática es en soluciones urbanísticas, ya que el se traspaasa el ámbito de la vivienda individual y se llega al concepto colectivo.

Las conexiones siempre cubiertas que se encuentran en las granjas de Nueva Inglaterra, son un ejemplo de adaptación a la pluviometría de la zona, de la misma manera que las calles con porches de las ciudades del Norte del Japón, y de Suiza. Los túneles subterráneos de comunicación entre los iglús de los esquimales también son una adaptación tanto a las precipitaciones como al frío exterior. En esta línea existen otros muchos casos interesantes.

Todos estos ejemplos de adaptación a climas fríos son el paralelo de la adaptación que también se produce en los climas más cálidos. Las calles en sombra de las ciudades árabes o las conexiones subterráneas en los barrios turcos donde, una vez más, el control ambiental trasciende la escala de la vivienda y llega al de la ciudad.

---

## 8.4 Complejidad en los climas templados

Ya hemos citado cómo los climas templados son aquellos donde los cambios de condiciones pueden hacer más complejas las soluciones arquitectónicas y donde intervienen otras consideraciones climáticas en la definición de las formas. Trataremos aquí dos temas especiales que pueden influir en la arquitectura popular de ciertas regiones, como son las migraciones y el viento.

### 8.4.1 Cambio de ubicación como solución de control ambiental

Se trata de un tipo de solución que históricamente ha tenido y puede volver a tener, especial importancia como recurso de control ambiental.

Un ejemplo de cambio de residencia estacional son los indios payutes, que en invierno tenían viviendas de estructura cónica con un horno y un agujero para la salida de humos, hechas con madera de ginebra y corteza y ramas de sauce, cubiertas con ramillas o esteras de caña o hierbas. En verano, los asentamientos eran unos cuadrados sin paredes, con cubiertas planas soportadas por cuatro palos o unos círculos y semicírculos hechos con estacas y broza, contra los cuales se apilaba arena por fuera, quedando en el interior el fuego y rincones para dormir adosados a la pared.

Los pastores de Siberia y Asia Central en invierno usaban tiendas cubiertas de pieles y con nieve apilada hasta media altura y en verano las usaban de cuero. Otra solución en invierno eran cabañas de piedra, madera y hierbas, rectangulares y semienterradas, con el fuego frente a la entrada, paredes de un metro de grosor, cubiertas muy gruesas y ventanas cerradas con tripas de ganado.

Los mogoles tienen una ingeniosa solución con su típico yurt, que está construido de tal forma que es fácilmente desmontable y puede ser transportado sobre los caballos. Su recubrimiento se hace con capas de fieltro y el número de capas varía según la estación del año.

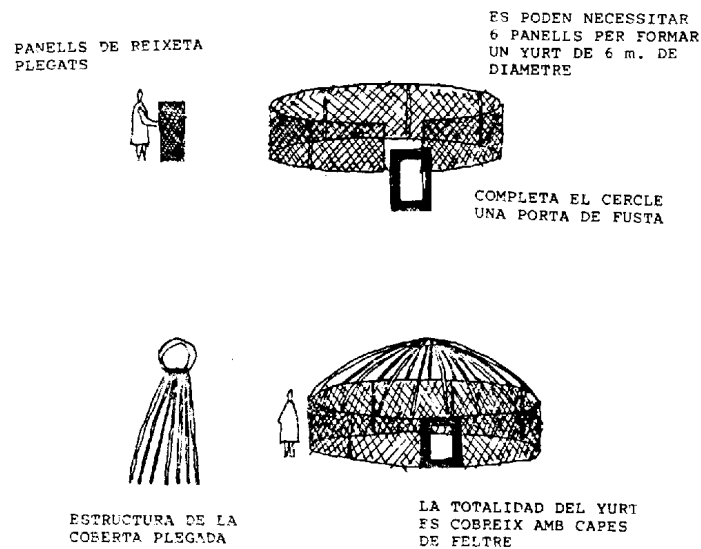


Fig. 8.24 Yurt mogol desmontable

Los kazakhs de Asia Central, que tienen un clima parecido al de los mogoles, en verano dispersan sus tiendas por las montañas y en invierno concentran los asentamientos al fondo de los valles y cerca de los bosques, para protegerlos de los vientos fríos. Algunos indios norteamericanos, como ya lo hacían los japoneses del Neolítico, usan, en verano, tiendas y en invierno viviendas semienterradas.

Esta lista de casos no parece demasiado interesante, si tenemos presente la costumbre, tan extendida en nuestra propia cultura, de cambiar de residencia en verano si lo permite la economía familiar. Lo que resulta más novedoso es la variación conceptual y constructiva de los tipos arquitectónicos según las estaciones, que no es igual en nuestro caso.

Otro tipo de solución migratoria de control ambiental es el cambio en la ocupación de espacios según la estación dentro de un mismo edificio. Es una solución frecuente en los países de las orillas del Mediterráneo, donde el clima es más complejo y aunque ocupa más espacio que la vivienda única para todo el año, mejora en cambio la confortabilidad de la arquitectura sin precisar sistemas costosos y complicados. En esta línea se encuentran, desde edificios que en invierno sólo ocupan en sus zonas más interiores, con dormitorios, comedores y cocinas, hasta el caso de ciertos países árabes que, en verano, duermen en la cubierta de la vivienda y durante el día se esconden en piezas oscuras interiores y en invierno ocupan habitaciones más "convencionales".

#### 8.4.2 El viento como condicionante de la arquitectura popular

El movimiento del aire está relacionado con la sensación térmica y por ello puede ser un factor positivo en los climas cálidos-húmedos y negativo en los fríos. Pero, además, los vientos intensos son desagradables y a menudo se convierten en los primeros factores formales de la arquitectura popular.

El sistema más simple y primitivo de control del viento es el cobijo hecho con ramas, que se encuentra como modelo en todas las culturas que inician los primeros pasos de la civilización.

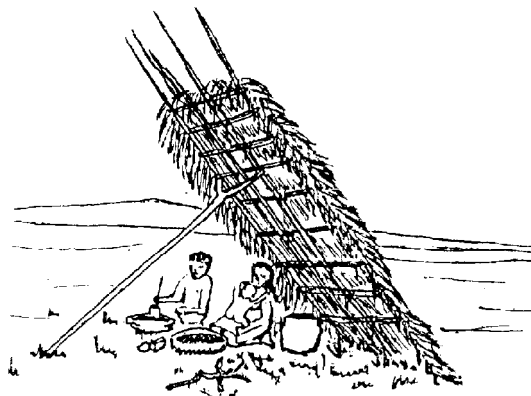


Fig. 8.25 Abrigo en el Africa Austral (bosquimanos)

Este cobijo, situado en la dirección del viento dominante, protege al fuego y los usuarios, incluso en caso de precipitaciones.

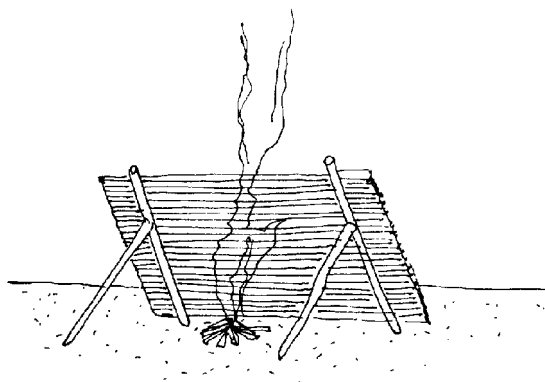


Fig. 8.26 Protección del viento de los Semang (Malasia)

Otras arquitecturas un poco más sofisticadas también utilizan las pantallas móviles contra el viento, como en la Melanesia, en Samoa o los Khoisan del Africa del Sur, donde mueven paneles de las paredes, subiéndolos o bajándolos según la dirección y la intensidad del viento.

Otro ejemplo muy claro de control del viento es el tienda árabe del desierto, que se monta a muy baja altura y se protege con barreras móviles ancladas en la arena.

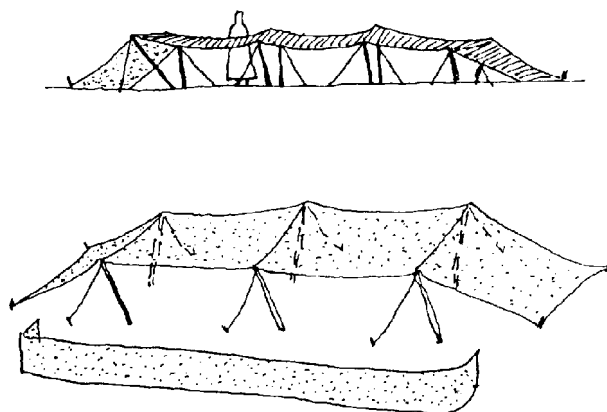


Fig. 8.27 Barrera al viento en la tienda árabe

Otros pueblos que viven en zonas con vientos muy intensos, como los esquimales o los mogoles, construyen sus edificios con formas que ofrecen la mínima resistencia posible al viento y que son, lógicamente, muy parecidas.

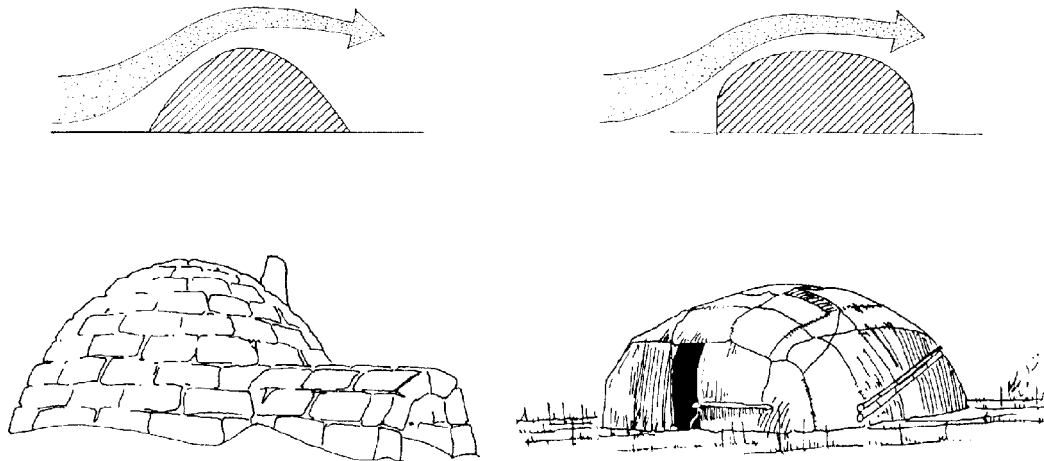


Fig. 8.28 Adaptación al viento del iglú esquimal y del yurt mogol

Los mismos esquimales, al escoger los asentamientos para sus poblados de iglús, buscan los terrenos más protegidos, con las entradas dando a la playa protegida por los acantilados.

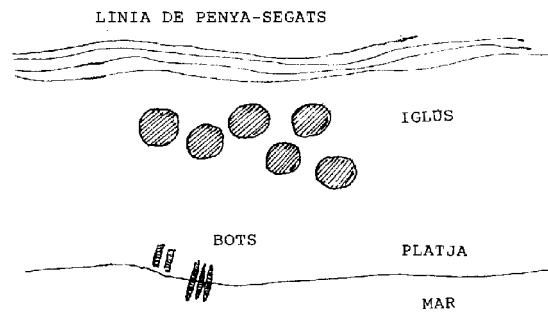


Fig. 8.29 Asentamiento de poblados esquimales

Las entradas a los iglús se realizan por un túnel curvado que evita la entrada directa del viento, orientado en sentido transversal el viento dominante y/o protegido con una pared de bloques de nieve.

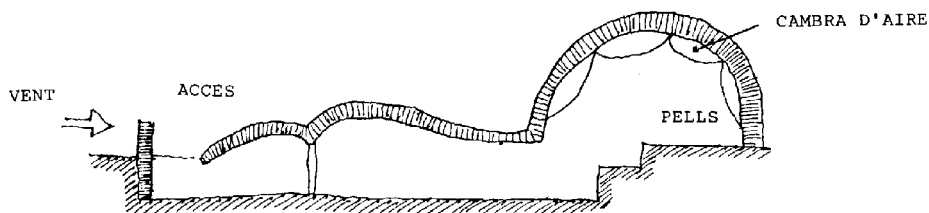


Fig. 8.30 Sección de un iglú

Los indios norteamericanos también controlaban el acceso del viento en sus tipis con dos aletas que regulaban con dos largos palos apoyados en el suelo.

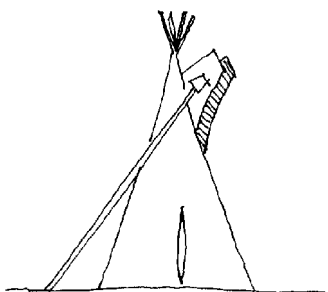


Fig. 8.31 Tienda india

En Normandía, como caso más próximo a nosotros, las granjas típicas se adaptan al viento con cubiertas recubiertas de paja, de forma similar a la del casco de un barco, con la proa orientada hacia el viento agresivo de poniente y la popa que deja una zona protegida hacia levante.

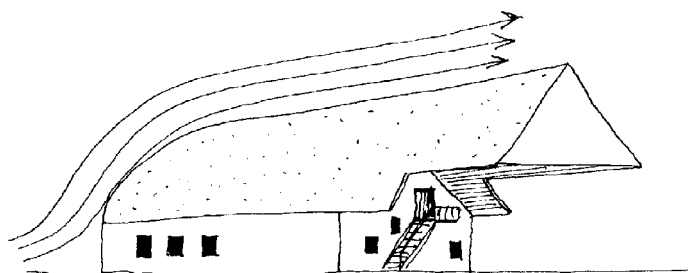
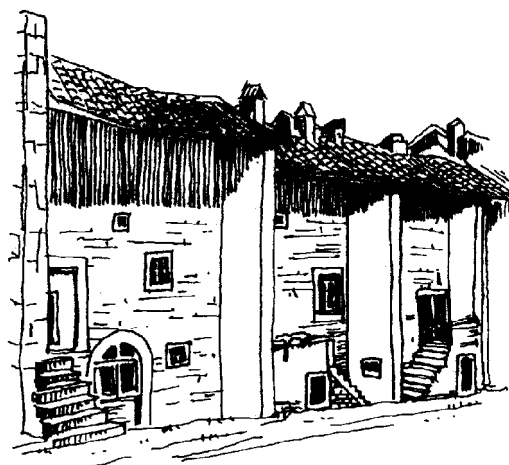


Fig. 8.32 Granja en Normandía

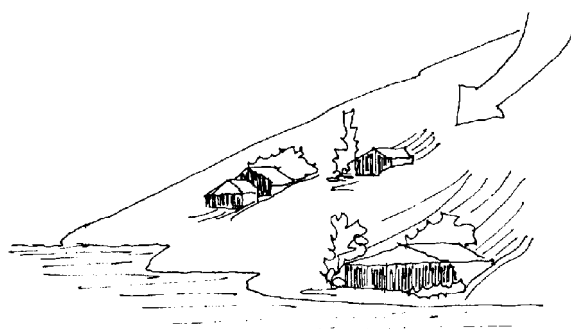


En Italia, en el pueblo de Pescocostanzo, en los Abruzos, los edificios tienen aleros muy pronunciados, sostenidos por la prolongación de las mismas medianeras, que cubren las escaleras exteriores y protegen del viento las pequeñas ventanas y puertas de las fachadas.



*Fig. 8.33 Protección de las fachadas*

En zonas de viento las viviendas se hunden en el suelo para protegerse del viento. En otros casos, como en la Provenza, para protegerse del viento del Norte, frío e intenso, se hunde la fachada norte de la vivienda en el pendiente del terreno, solución similar a la que usa en Suiza y en muchos otros lugares con relieve montañoso y vientos intensos.



*Fig. 8.34 Viviendas en Suiza*

### 8.4.3 La complejidad de una arquitectura sencilla

En el caso de climas templados ya hemos citado cómo la arquitectura presenta una complejidad mucho mayor que en los climas extremados. Dentro de este concepto se pueden incorporar las soluciones que hemos visto antes, migraciones y protecciones al viento, pero esta complejidad incorpora además muchas otras soluciones, que tienen todas el principio de ser **sistemas flexibles**, o sea, elementos o conjuntos de elementos que pueden cambiar fácilmente su acción ambiental según las circunstancias climáticas, como son:

**Sistemas de sombreado móviles**, que permiten controlar la radiación, admitiéndola sólo cuando interesa.

**Aislamientos móviles en las aberturas** (postigos, cortinas, etc.), que permiten regular a voluntad el paso de las energías a través de las mismas.

**Aberturas practicables totalmente**, que permiten controlar la ventilación, desde un máximo que deja pasar totalmente el aire, hasta el mínimo de invierno, que reduce las pérdidas de calor.

**Espacios intermedios** entre interior y exterior, que pueden generar microclimas favorables y permitir también su ocupación, según la época o la hora del día (patios, porches, galerías, etc.)

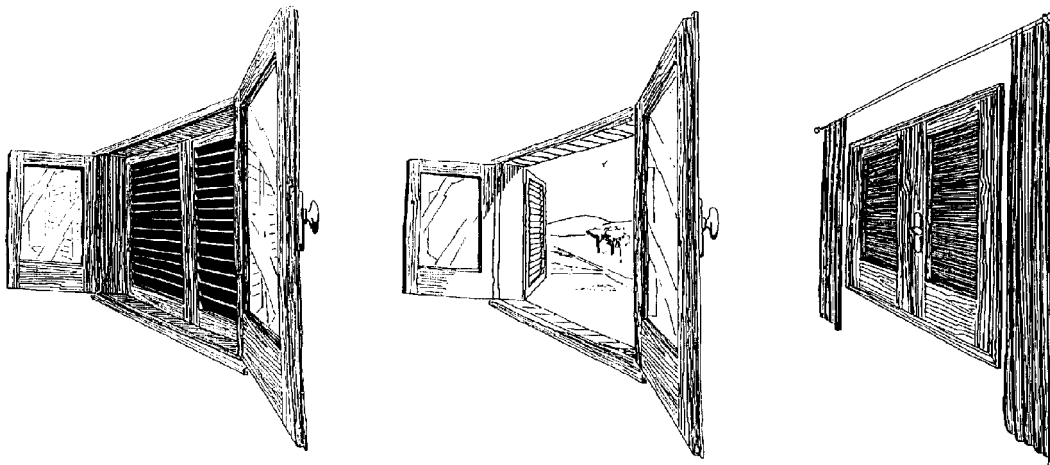


Fig. 8.35 Sistemas de sombreado móviles, aislamientos móviles y aberturas totalmente practicables

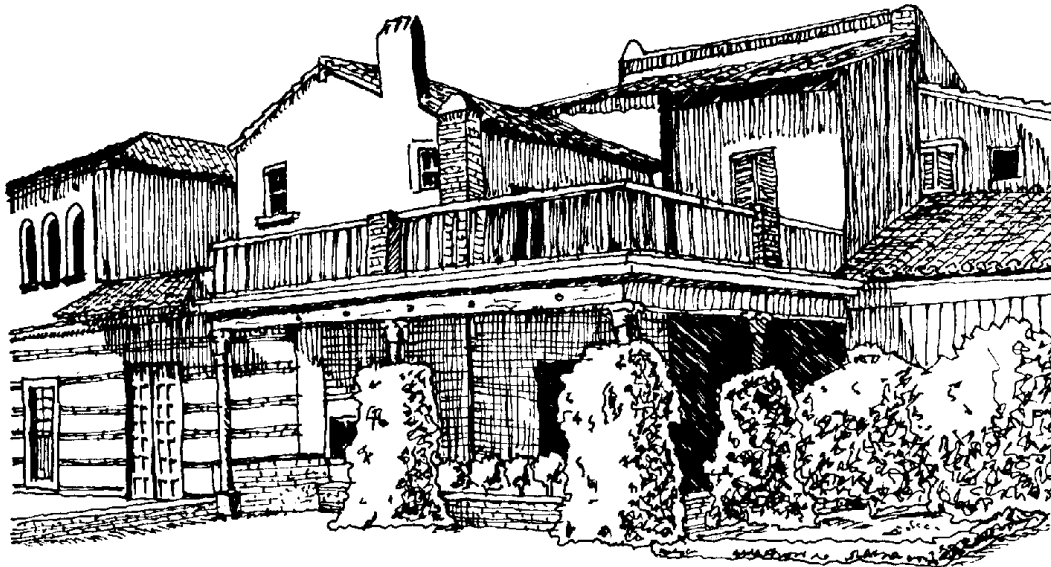


Fig. 8.36 Espacios intermedios entre el ambiente interior y el exterior

Con este conjunto de recursos se puede resolver el difícil problema de estos climas que, en realidad, no es mayor que el de los otros tipos de climas, e incluso tiene normalmente menor dureza, pero con la característica esencial que pueden presentarse "*todos a la vez*".

Son el "**problema del frío**" en invierno, que puede ser seco o húmedo, una distinción que no es importante en climas más extremas pero sí que lo es en estos.

El "**problema del calor**" en verano (seco o húmedo), casi tan intenso como en otros climas, aunque dure relativamente pocos días.

Finalmente, el "**problema del tiempo variable**" en estaciones intermedias, en los que pueden presentarse excesos de frío o de calor separados por cortos períodos de tiempo.

Aunque estas constricciones por separado no sean realmente críticas, en conjunto son las que hacen que la arquitectura de los climas templados tenga esta complejidad que la hace más difícil desde el punto de vista del diseño arquitectónico.

---

---

**3ª parte**

**Los medios naturales de control ambiental**

---

## Capítulo 9 La acción microclimática

En este capítulo tratamos la acción microclimática, entendiéndola como las herramientas de que dispone el proyectista de la arquitectura para actuar sobre las preexistencias ambientales propias del lugar donde debe situarse el proyecto. Se trata, por lo tanto, de iniciar un proceso de diseño, incidiendo sobre las características microclimáticas en las que se encontrará inmerso el ambiente arquitectónico que se está proyectando. Esta actuación del diseñador se puede concretar en dos temas principales: **la elección de la ubicación y la corrección del entorno.**

### 9.1 La elección de la ubicación

Aunque en muchos casos la elección de la ubicación de un proyecto no sea una decisión del diseñador, en muchos otros existe una cierta libertad en este aspecto. Por este motivo creemos que es importante conocer y analizar las repercusiones de esta elección en el comportamiento climático del edificio.

Por otro lado, muchas veces existe una acción urbanística realizada por arquitectos, que puede ser muy importante al determinar las condiciones de planeamiento que harán posibles unos tipos u otros de ubicación de los edificios. Por todo ello se nos hace imprescindible estudiar este tema como prioritario en cualquier análisis del diseño arquitectónico.

Para hacer este análisis consideraremos, lumínica, acústica e higrotérmicamente, los diferentes aspectos que hacen referencia al tema de la ubicación, que pueden resumirse en:

- a) aspectos topográficos
  - b) aspectos de relación con el agua
  - c) aspectos de relación con la vegetación
  - d) aspectos de la forma urbana
-

### a) Aspectos topográficos

Los aspectos topográficos que pueden influir más claramente en la elección de la ubicación son:

- la altura relativa
- la pendiente del terreno y su orientación

y como consecuencia de éstos, la **obstrucción sólida celeste** que se produce para cada una de las diferentes orientaciones.

En lo que se refiere a la altura relativa, hacemos referencia a la situación, en depresión o en prominencia, de cada lugar concreto respecto a la topografía general que lo rodea.

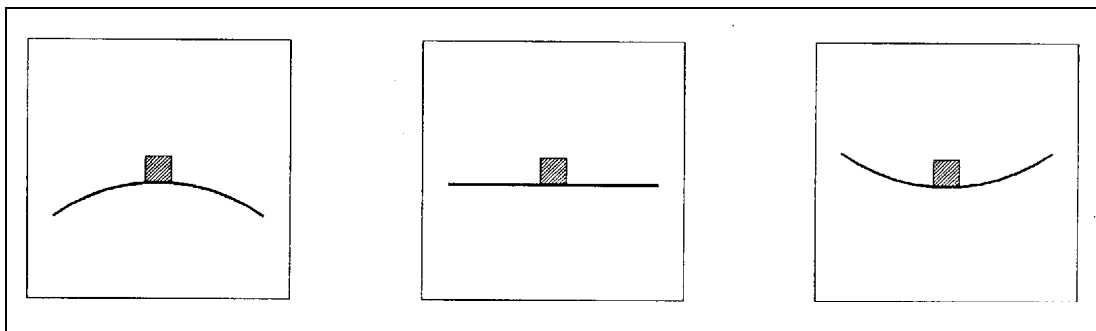


Fig.9.1 Aspectos topográficos: altura relativa

La "*repercusión lumínica*" de este aspecto viene determinada por la proporción de bóveda celeste que queda obstruida en situaciones deprimidas. Esto no es normalmente muy importante, al tratarse de la zona de menor luminancia de la bóveda celeste. Por lo tanto, solo se puede afirmar que en situaciones de terreno llano o en prominencia, la iluminación mejora ligeramente respecto a las deprimidas.

La "*repercusión acústica*" viene determinada solamente por la mayor probabilidad de que existan focos de sonido cercanos en el caso de situaciones deprimidas, y de que se den reflexiones de sonido que se añadan a las ondas directas. Por ello, en general, las situaciones más deprimidas pueden ser ligeramente peores, desde del punto de vista acústico, que las situaciones elevadas.

La "*repercusión climática*" es más compleja que las otras. En el fondo de los valles se acumula el aire frío más denso, y normalmente más húmedo. Por el contrario, en los lugares llanos o elevados hay mayor exposición al viento y a la radiación solar. En general, en períodos sin viento, las situaciones más deprimidas son más frías y húmedas, ya que se acumulan el aire frío y la contaminación atmosférica y se producen nieblas. La presencia de nieblas no permite el acceso de la radiación solar y esto impide que se caliente el aire que está en contacto con el terreno y que, por lo tanto, este aire caliente menos denso suba, produciendo la renovación del aire.

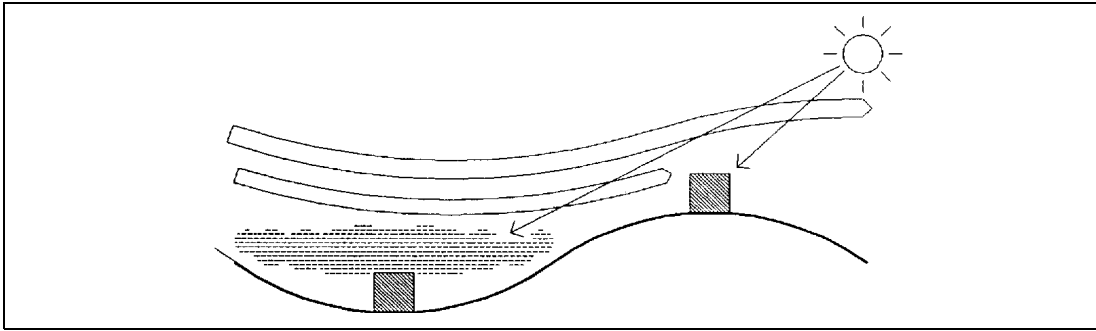


Fig.9.2 La acción de la topografía: altura, pendiente y orientación

Todos estos factores hacen desaconsejables las ubicaciones deprimidas en climas fríos y húmedos, porque empeoran sus propias condiciones desfavorables. Por ello, estas situaciones son más aptas en climas cálidos secos, sin problemas de frío y de humedad; y las situaciones en emplazamientos elevados, con mayores posibilidades de ventilación, se adaptan bien a climas cálidos húmedos.

Respecto a la **pendiente del terreno y a su orientación**, se trata de una consideración relacionada básicamente con las posibilidades de que el terreno reciba mayor o menor cantidad de radiación solar, con todas las consecuencias que ello comporta; este aspecto también está relacionada con la dirección de los vientos dominantes.

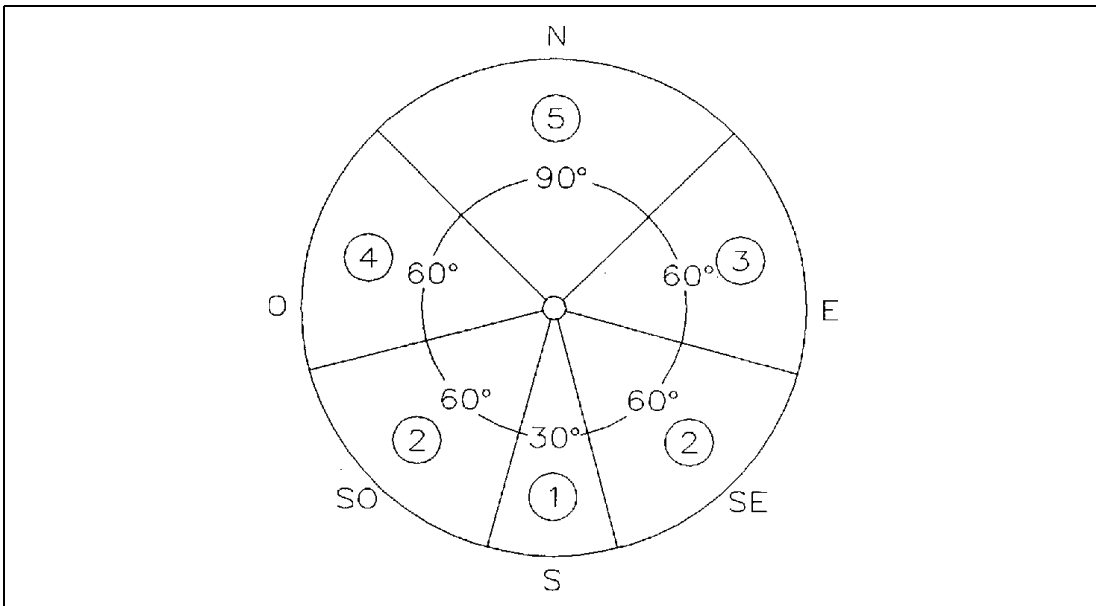


Fig.9.3 Orientaciones básicas de respuesta climática

Aunque la orientación y la consideración de las direcciones en los proyectos se tratarán más adelante (capítulo 11), el tipo de pendiente tiene una relación tan fuerte con la orientación que se hace necesario tratarlo ya en los primeros planteamientos y análisis de la ubicación de un caso determinado.

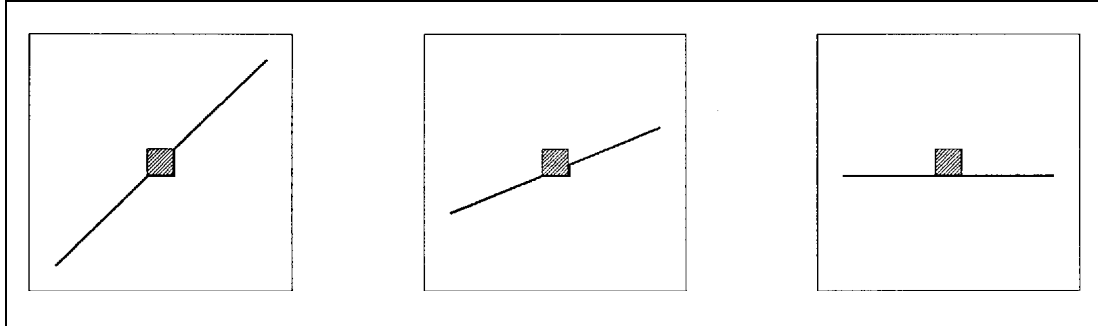


Fig.9.4 Aspectos topográficos: pendiente del terreno

La "*repercusión lumínica*" de la pendiente del terreno queda limitada a la obstrucción del cielo y de la trayectoria solar que puede representar una pendiente determinada. Así, desde el punto de vista lumínico, podemos decir que las pendientes disminuyen ligeramente las posibilidades de iluminación natural y que, si estas pendientes están orientadas hacia el Norte, la luz resultante es de menor nivel y más difusa que si se trata de pendientes al Sur que, al recibir la luz directa del sol, tienen una iluminación más intensa y contrastada.

Con respecto a la "*repercusión acústica*", la pendiente del terreno es poco importante. Sólo si el foco de sonido está situado más abajo en el sentido de la pendiente, llegará claramente el sonido directo, ya que habrá poca amortiguación (solamente la debida a la distancia). En el caso en que el foco sonoro esté al otro lado de la cima, estaremos dentro de la sombra acústica y por lo tanto, no recibiremos ninguna molestia o muy pocas. Esto quiere decir que, en general, la pendiente afecta más desde un punto de vista geométrico que según otras consideraciones.

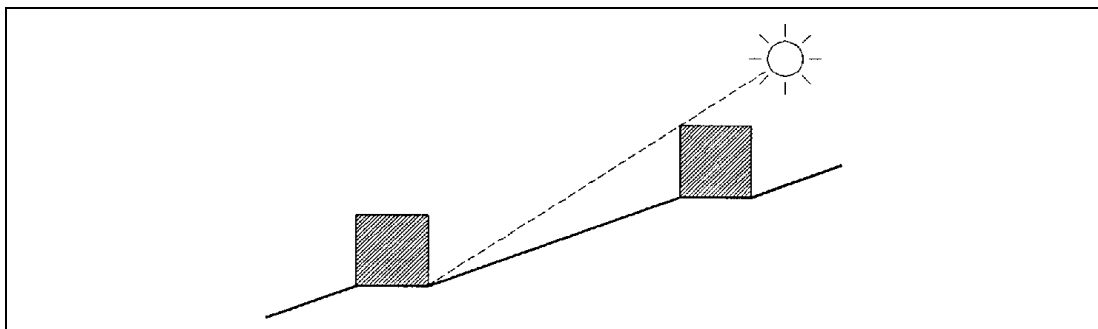


Fig.9.5 Repercusión de una vertiente a norte



La "*repercusión climática*" resulta muy importante. Las diferentes vertientes de un relieve complejo (solana o umbría según reciban el sol o no) dan, consecuentemente, diferencias marcadas en los parámetros microclimáticos.

Las vertientes a Sur permiten una mayor proximidad entre los edificios que las vertientes a Norte. La altura de la edificación puede aumentar sin producir obstrucción.

En las vertientes a Norte, la edificación deberá disminuir en altura para mantener el asoleo.

Generalmente, en nuestras latitudes y en nuestros climas, las vertientes a Sur son más expuestas a vientos suaves, más secos y más cálidos, pero existe menor vegetación que a Norte.

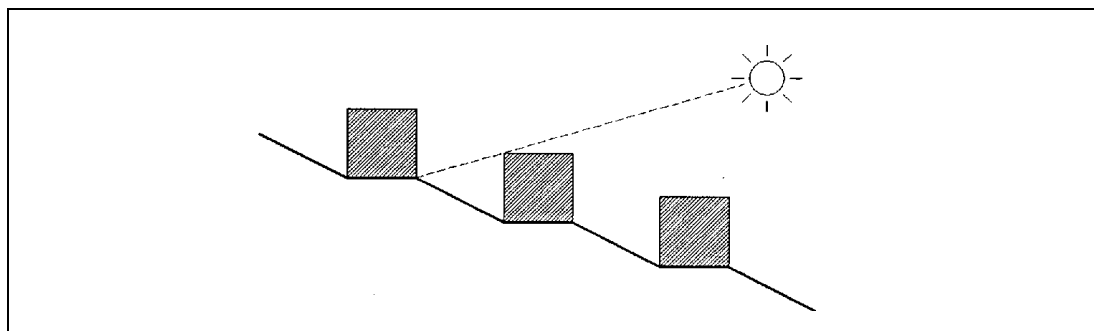


Fig.9.6 Repercusión de una vertiente a sur

En cambio, las vertientes están expuestas a vientos más fríos y como consecuencia son más frescas y húmedas. Las otras orientaciones representan situaciones intermedias, con particularidades comarcales, como puede ser la humedad de levante en las zonas litorales catalanas.

Por lo tanto, en general, las vertientes hacia el Sur son siempre más aconsejables. En lo que se refiere a los climas de todos los tipos en general, en el hemisferio Norte se prefiere, en principio, vertientes a Sur, evitando levante y poniente en los climas cálidos y prefiriendo el Sur más estricto en los climas más fríos.

Aunque hoy en día estas consideraciones hayan influido muy poco en la determinación de los asentamientos residenciales y de ocio de los entornos metropolitanos, debemos recordar que los ejemplos de la arquitectura y el urbanismo popular siempre habían sido muy sensibles a este hecho.

Se puede estudiar la elección del emplazamiento haciendo el análisis de los cuatro tipos básicos de regiones climáticas: fría, templada, caliente-seca, caliente-húmeda.

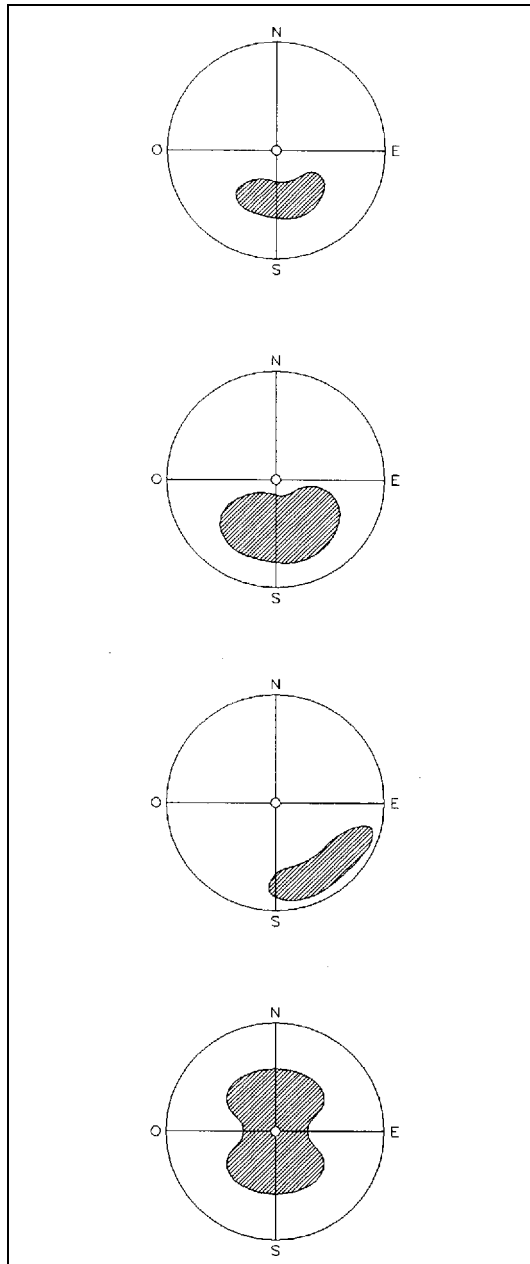


Fig.9.7 Tipos de emplazamiento según zonas climáticas

**Zona fría:** Se deben buscar ubicaciones protegidas de los vientos, a media pendiente. La orientación más favorable es al Sur y se debe evitar siempre que se pueda el Norte y los vientos fríos del Noroeste.

**Zona templada:** la zona de posible ubicación en las vertientes es más amplia, siempre que se busque la protección de los vientos fríos y la captación de brisas. La orientación favorable abarca toda la zona del Sur al Sureste.

**Zona caliente-seca:** Se deben evitar las oscilaciones fuertes de temperaturas durante el día. La ubicación más adecuada es en las partes bajas de las vertientes, ya que en los valles el clima es más húmedo y fresco. Se debe dar preferencia a la orientación hacia el Sureste y evitar la orientación hacia el Oeste, por la radiación excesiva que hay por la tarde.

**Zona caliente-húmeda:** Se debe buscar el movimiento del aire, cerca de las cimas de los montes. Las orientaciones aconsejables son la Norte y la Sur y las Este y Oeste son las que reciben más radiación solar y por ello se deben evitar.

## b) Relación con el agua

Este aspecto de la **relación con el agua** influye en la elección de la ubicación de un proyecto, cuando exista la posibilidad de acercarse a una costa, sea la del mar o la de un lago de dimensiones considerables.

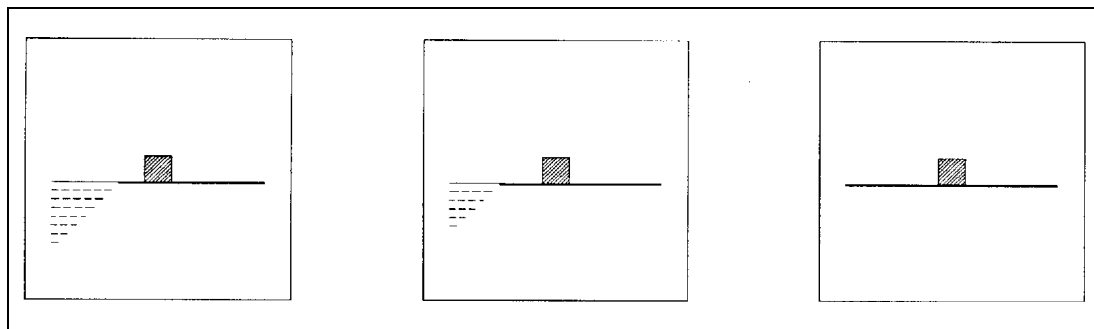


Fig.9.8 Relación con el agua

La "*repercusión lumínica*" de este aspecto se limita a las posibles reflexiones de la radiación solar en el agua como elemento molesto o agradable.

La "*repercusión acústica*" sólo se refiere al ruido de fondo de las olas, en el caso de que la ubicación esté muy cerca del agua.

La "*repercusión climática*" es muy importante a causa del carácter de regulador térmico que tienen las cantidades grandes de agua. En el borde del mar repercute la inercia del agua, mayor que la de la tierra, y por ello las temperaturas son más estables. Esto tiene un efecto decreciente a medida que nos alejamos de la costa, pero su influencia se deja sentir hasta a gran distancia del mar. Por otra parte, este fenómeno de la inercia es un factor creador de las brisas tierra/mar y mar/tierra, según las diferencias relativas de temperatura que se crean en el ciclo diario. Por último, la presencia de agua es un factor generador del aumento de la humedad en el borde del mar.

Como consecuencia, en general las situaciones más cercanas al mar serán más estables térmicamente, más expuestas a vientos de carácter cíclico y más húmedas.

Como repercusión asociada a la proximidad al mar, también se debe tener presente la agresividad de los vientos marinos sobre los elementos constructivos, que aunque no sea un hecho puramente ambiental condiciona la elección de situaciones en primera línea en una costa con vientos intensos.

Salvando este problema, este tipo de ubicación cercano al agua es recomendable en climas extremados y en especial en los cálidos-secos. En climas cálidos-húmedos también puede ser interesante el aprovechamiento de las brisas para combatir la humedad.

### c) Relación con la vegetación

Este aspecto influye en la ubicación del proyecto, cuyo comportamiento dependerá en parte del tipo de ésta. Consideramos vegetación a la existencia de arbolado o de bosques; según ella, la situación del edificio puede ser: dentro del bosque, al límite o al borde del bosque, o lejos de él.

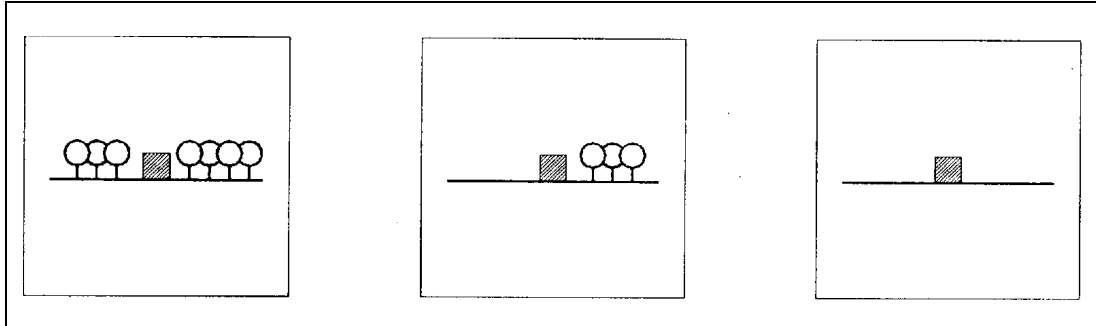


Fig.9.9 Relación con la vegetación

La "*repercusión lumínica*" de la vegetación es la obstrucción que ésta puede presentar respecto a la incidencia de la luz solar directa o difusa. En este sentido, es especialmente problemática la situación dentro de un bosque, sobre todo en climas con mucha nebulosidad y zonas de latitud alta con incidencia solar de baja altura.

La "*repercusión acústica*" puede ser favorable como barrera a sonidos desagradables, si la masa de árboles es bastante importante (a partir de 30 m de grueso). Conviene, sin embargo, que la vegetación sea compacta, que las hojas no tengan forma de aguja y que el proyecto esté lo suficientemente cerca de la barrera como para evitar las difracciones a las bajas frecuencias del sonido.

La "*repercusión climática*" es consecuencia directa de la barrera al asoleamiento que la vegetación produce antes de que llegue a tierra y la que representa también respecto de la radiación de la tierra hacia el cielo. Esto, unido al efecto de barrera al viento, hace que las temperaturas dentro de un bosque sean más estables y ligeramente más bajas, así como que el ambiente sea mucho más húmedo.

En los casos de grandes masas de árboles, existen brisas por la mañana y la noche similares a las del borde del mar. La presencia de arbolado de hoja caduca, por otra parte, hace que la radiación en invierno penetre con más facilidad en el bosque y sus acciones no sean tan marcadas. Como consecuencia, como consecuencia de todo ello, las situaciones más alejadas del bosque son menos estables térmicamente y las interiores más frías y húmedas.

En los climas cálidos-secos la ubicación más adecuada se encuentra en el interior del bosque (en el caso de que exista); en los cálidos-húmedos alejados de éste y en los templados y fríos al borde, pero no dentro, procurando protegerse de las orientaciones más frías y con más viento.

#### d) Aspectos de la forma urbana

Son los que tienen presente la influencia microclimática de un entorno urbanizado. Para escoger la situación de un proyecto de acuerdo con estos aspectos, consideraremos:

- tipo de forma urbana
- densidad
- altura relativa
- tipo de trama

El **tipo de forma urbana y su densidad** plantean las repercusiones microclimáticas que pueden tener las estructuras urbanas donde se localiza el proyecto. En este sentido y con carácter muy general, distinguiremos como tipos posibles: casco antiguo, ensanche, polígono y ciudad jardín.

La "*repercusión lumínica*" se refleja básicamente en las obstrucciones del cielo que pueden presentarse en cada caso concreto. En general, las estructuras urbanas más densas y con tipología de calles más cerradas (caso del casco antiguo) ofrecen peores posibilidades de iluminación natural. En estos casos se deberá hacer un análisis de obstrucciones similar al que se hace para una situación en el campo.

La "*repercusión acústica*" es crítica en este aspecto. Los tipos de forma urbana más cerrados (casco antiguo y ensanche) y con mayor densidad son los que corresponden a entornos más ruidosos. El estudio urbanístico de los problemas acústicos es actualmente importante en el planeamiento y en los proyectos de edificios puede ser un condicionante decisivo. El análisis acústico debe empezar por el conocimiento de los factores urbanísticos involucrados, como son los niveles acústicos probables:

**1. Productores de sonidos importantes** (con el % de molestia total estadística en las viviendas):

Industrias, talleres y fábricas (7% del total)	50-90 dBA
Aeropuertos, trenes y autopistas (20% del total)	70-95 dBA
Calles con mucho tránsito (30% del total)	70-90 dBA

**2. Productores de sonidos moderados:**

Garages y aparcamientos	40-60 dBA
Calles con poco tránsito	50-70 dBA
Zonas comerciales	60-75 dBA
Espacios de ocio, zonas deportivas	45-75 dBA

**3. Elementos silenciosos y aislados:**

(jardines, parques y zonas verdes, montañas, bosques, edificación densa)

**4. Elementos que requieren silencio:**

Hospitales y clínicas	<35 dBA
Iglesias, salas de actos, escuelas y bibliotecas	<40 dBA

**5. Elementos que requieren poco ruido:**

Viviendas y oficinas	<50 dBA
Hoteles, residencias y asilos	<45 dBA

El planeamiento procurará alejar los tipos 4 y 5 de los 1, utilizando los de tipo 3 como barreras.

Se debe tener en cuenta que los vientos pueden favorecer la propagación de un ruido y que las barreras acústicas pueden ser superadas por las bajas frecuencias con el fenómeno de la difracción de los sonidos más graves.

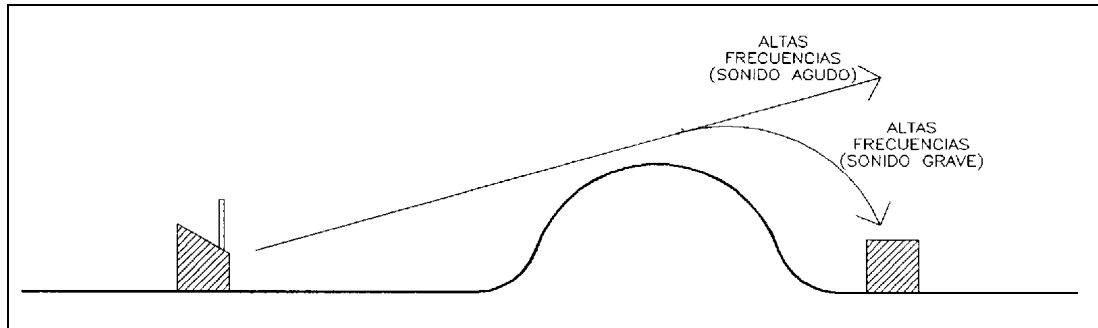


Fig.9.10 Propagación de los ruidos. Las frecuencias graves rodean los obstáculos

Las figuras siguientes muestran algunos casos urbanísticos de tratamiento del sonido, donde se han tenido en cuenta las consideraciones anteriores.

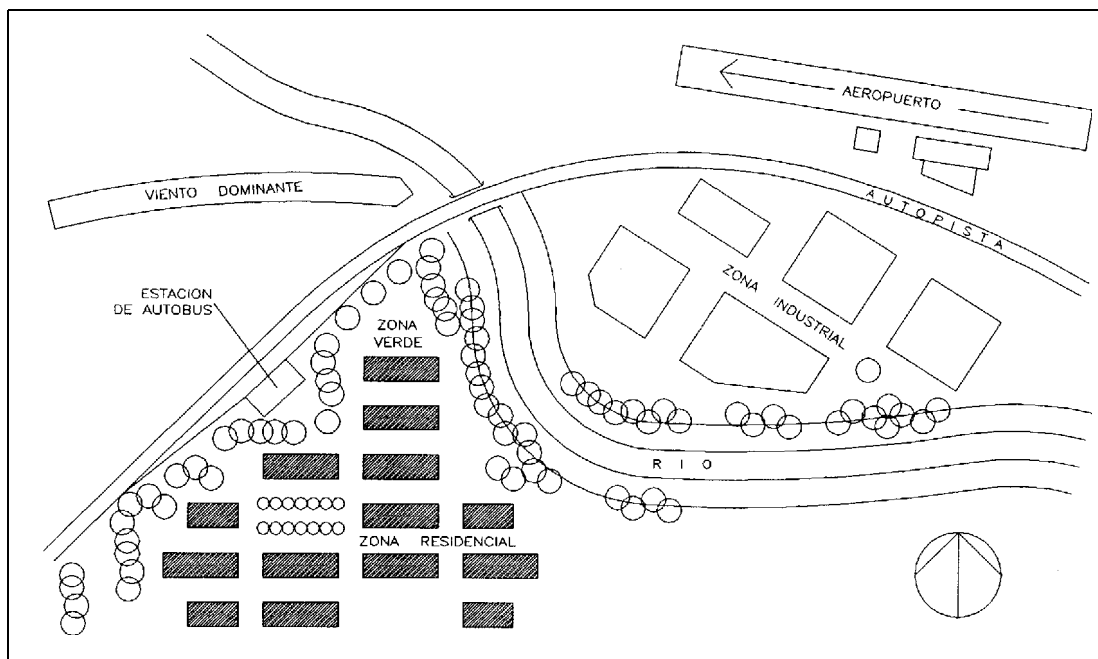


Fig.9.11 Planificación considerando el punto de vista acústico

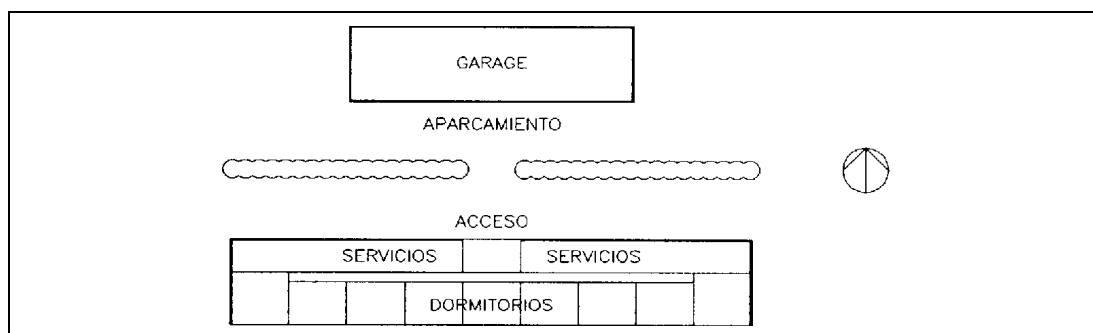


Fig.9.12 Relación acústica en la implantación hotel-aparcamientos

La "repercusión climática" de la forma urbana es, en gran parte, consecuencia de la acción de ésta sobre el asoleamiento, pero también tiene importancia su acción en el viento, la humedad y la capacidad de almacenar calor.

En general, las agrupaciones urbanas de cierta dimensión generan un clima específico, más extremado que el del campo. Por ello, en términos generales, podemos afirmar que una densidad urbana mayor da lugar a un clima más seco, con temperaturas más altas y más oscilantes, con menos viento y con grados más altos de contaminación, que rebajan el asoleamiento.

El tipo de forma urbana influye muy claramente en la distribución del viento dentro de la trama de calles. En general las zonas de núcleo antiguo, con calles irregulares e interrumpidas, tienen condiciones de menos viento que las ordenaciones abiertas. Las zonas de ensanche pueden presentar situaciones muy cambiantes, según la dirección de las calles en relación a la orientación de los vientos dominantes.

Finalmente, la estrechez, la forma y la proporción de calles, patios, plazas y jardines condicionan el acceso del sol y dan lugar a la creación de innumerables microclimas específicos, rincones de condiciones muy diversas, etc., que hacen del hecho climático urbano un elemento de difícil conocimiento y control.

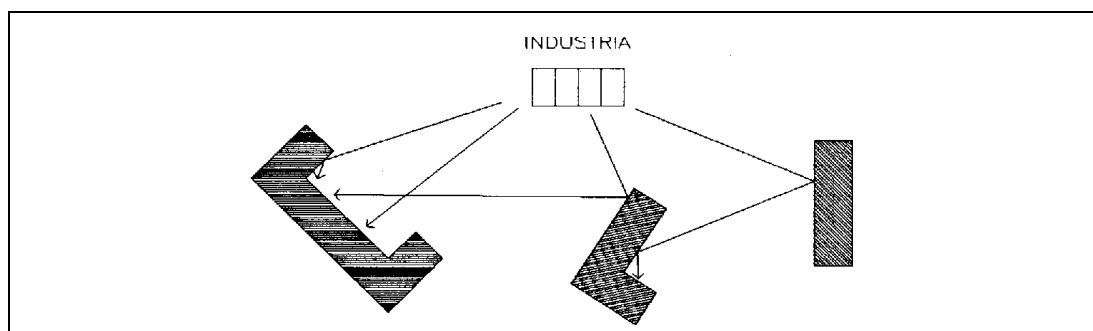


Fig.9.13 Intervención de la acústica en la forma y las fachadas de los edificios

## 9.2 Corrección del entorno

En un grado de detalle muy superior al de la ubicación, la actuación sobre los elementos que envuelven un edificio y que pueden ser factores del microclima suelen ser muy importante para determinar la futura situación energética del proyecto.

Consideramos dos acciones posibles, la creación o la supresión de elementos del entorno:

- a) creación o supresión de pantallas
- b) adición o supresión de superficies de agua
- c) plantación o supresión de vegetación

### a) Pantallas

Colocación o supresión de elementos opacos (paredes, vallas, tierras o incluso otros edificios, etc.) que, situados en una determinada orientación, pueden actuar como barrera a las acciones energéticas.

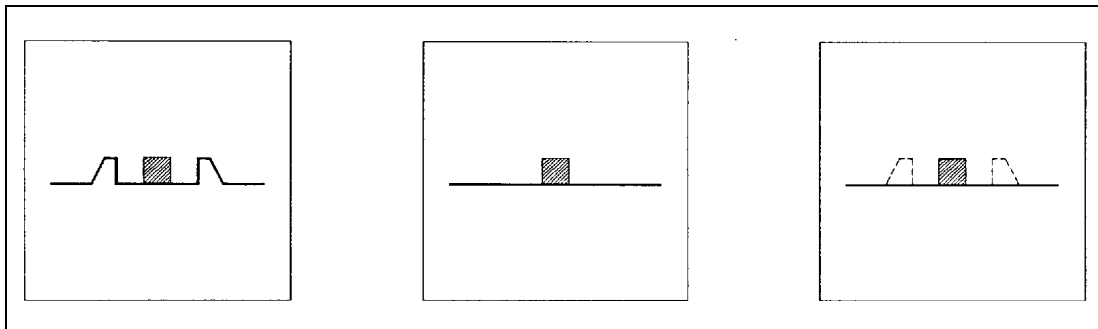


Fig.9.14 Creación o supresión de pantallas

La "*repercusión lumínica*" de estos elementos va más allá de la obstrucción del cielo y/o del sol que puedan representar, porque normalmente también se altera la luz reflejada (por ejemplo el deslumbramiento por reflexión de edificios pantalla a Norte).

La "*repercusión acústica*" puede consistir en la defensa a un determinado ruido o la reflexión de otro. Se debe considerar la forma en que la barrera oculta, en planta y en sección, la trayectoria de las ondas acústicas, teniendo presente la difracción posible. Son mejores las pantallas cercanas al foco acústico o al espacio protegido, que las situadas en un punto intermedio entre el emisor y el receptor.

La "*repercusión climática*", además de la posible obstrucción solar, es importante para la acción sobre el viento. A causa de esto, en climas fríos o templados las pantallas pueden ser una buena solución para parar o desviar vientos fríos y crear un microclima protegido y soleado frente a ellas.



**b) Agua**

Este aspecto de la corrección del entorno hace referencia a la adición o supresión de superficies de agua relativamente pequeñas (estanques, piscinas, fuentes, etc.) alrededor del edificio, caso no comparable con el mismo aspecto tratado en la ubicación, donde nos referimos a grandes masas de agua (mar y lagos).

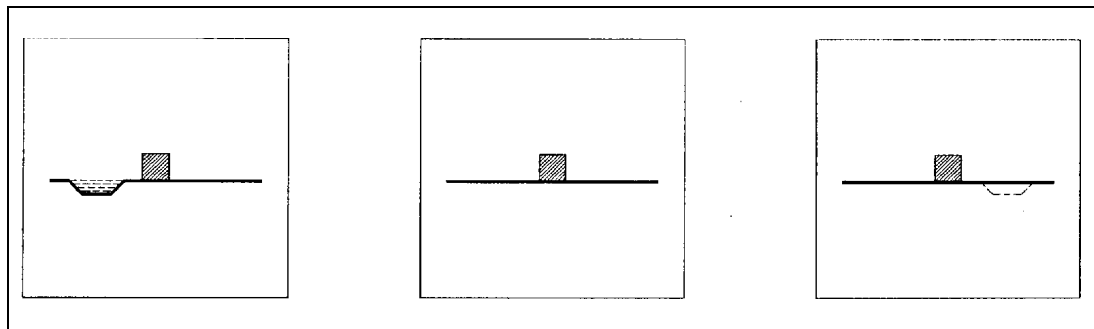


Fig.9.15 Adición o supresión de superficies de agua

La "*repercusión lumínica y acústica*" de la adición o supresión de agua no es muy acusada y sólo debida a las propiedades de reflexión especular que ésta tiene para la luz, la imagen y el sonido.

La "*repercusión climática*" es la que puede ser más importante. Aunque no se pueda influir demasiado en las condiciones de inercia térmica del lugar ni en las del viento, la presencia de agua en los alrededores de un edificio puede incrementar notablemente el grado de humedad del ambiente. De esta forma, si el aire es seco se enfriará por la acción evaporativa (refrigeración adiabática).

Así, una buena solución es añadir agua en climas cálidos-secos, como también lo es suprimirla en climas cálidos-húmedos. Se debe estudiar también la situación del agua en relación a la orientación del viento dominante: una superficie de agua en el camino del viento puede mejorar mucho las condiciones de un clima desértico.

### c) Vegetación

Este aspecto de la corrección del entorno hace referencia a la plantación de vegetación o a la supresión de árboles alrededor del edificio. Por el hecho de ser un aspecto fácilmente tratable desde el diseño, es muy importante explotar al máximo su utilidad. El crecimiento del arbolado, el tipo de hoja y la caducidad, etc., son factores a tener en cuenta en el momento de plantar o suprimir vegetación.

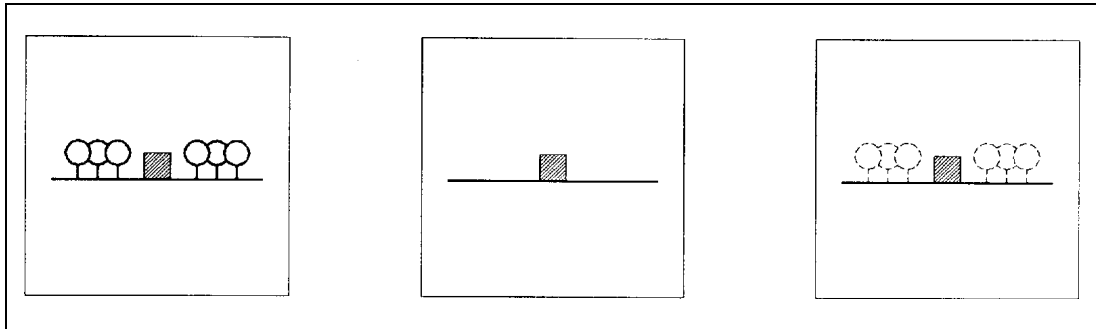


Fig.9.16 Plantación o supresión de vegetación

La "*repercusión lumínica*" de la vegetación puede ser importante en el caso de árboles cercanos al edificio. En muchos casos, el nivel de luz interior depende de la existencia de estos árboles. Se debe también estudiar el tipo de hoja porque, si la pierde durante el invierno, puede ganarse visión de cielo y radiación solar.

Por lo tanto, por lo que respecta a la luz, es mejor evitar la presencia de árboles muy cercanos al edificio. De todas formas se debe tener en cuenta que la vegetación puede crecer y modificar en el futuro las condiciones actuales.

La "*repercusión acústica*" de la vegetación es prácticamente inexistente por lo que respecta a la corrección del entorno. La masa de arbolado que sería necesaria para parar sonidos difícilmente es obtenida en estos casos.

De todas formas, siempre existe un factor positivo, que es la barrera visual que pueden ofrecer, en muchos casos suficiente para reducir psicológicamente el grado de molestia.

La "*repercusión climática*", finalmente, puede ser muy importante. La plantación de árboles puede hacer cambiar muy positivamente el microclima. Si además se combina con la elección adecuada de especies de hoja perenne o caduca, los resultados pueden ser espectaculares.

## Capítulo 10 Características generales del proyecto

Estudiaremos aquí la influencia que las decisiones más generales del proyectista de un edificio pueden tener en su comportamiento ambiental. Para ello se consideran conceptos de tipo abstracto, como la volumetría, el tratamiento genérico de la piel que rodea el edificio y su interior, etc.; sin pretender definir soluciones específicas, ni considerar la orientación o la situación concreta de los diferentes componentes o elementos del edificio.

En este nivel de análisis se tratan tres temas básicos del edificio: la forma general, las características de la piel y las de su interior.

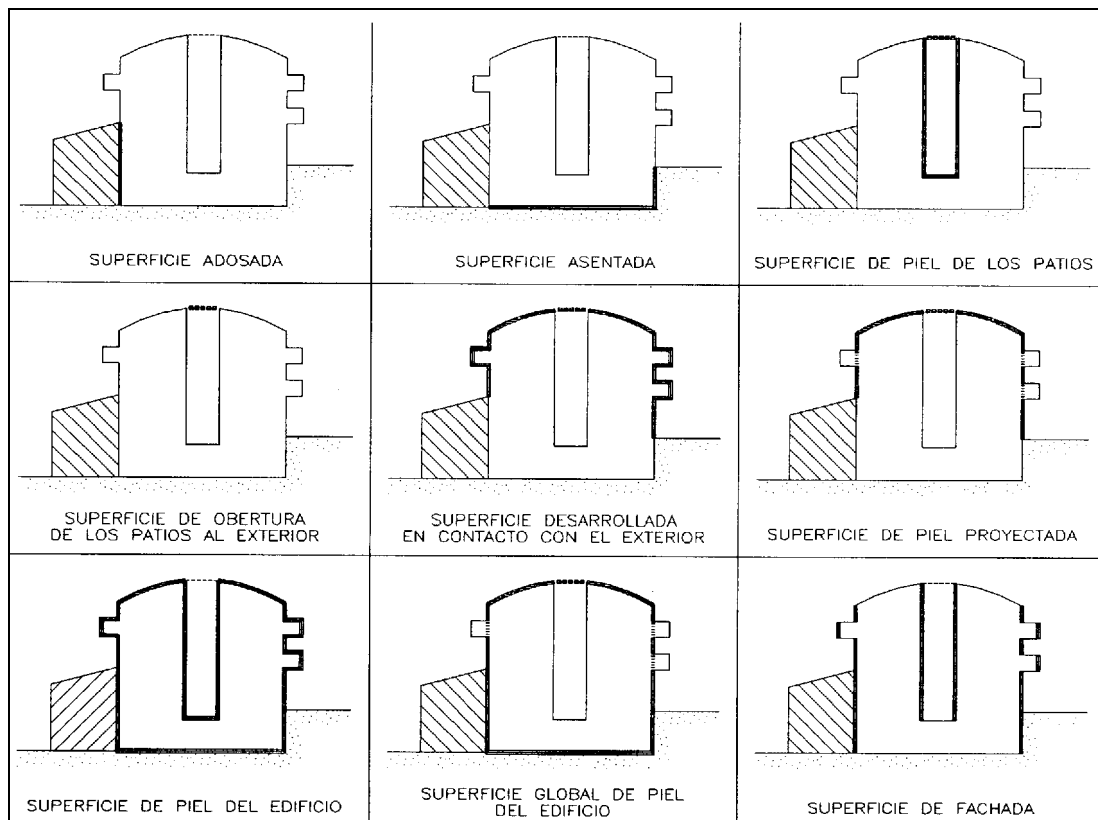


Fig.10.1 Nomenclatura utilizada para hacer el análisis de la forma, la piel y el interior del edificio

## 10.1 Forma general del edificio

Se considera como forma general de un edificio el conjunto de las características geométricas y volumétricas que puede tener y que lo definen. Se refiere por ello, tanto al tratamiento de sus volúmenes, como a sus proporciones y al aspecto exterior de estos volúmenes.

Las características que consideramos como definidoras de la forma son:

- a) La compacidad del edificio
- b) La porosidad del edificio
- c) La esbeltez del edificio

### a) Compacidad

El concepto de compacidad establece una relación entre la superficie que rodea al edificio y su volumen, o sea que se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen.

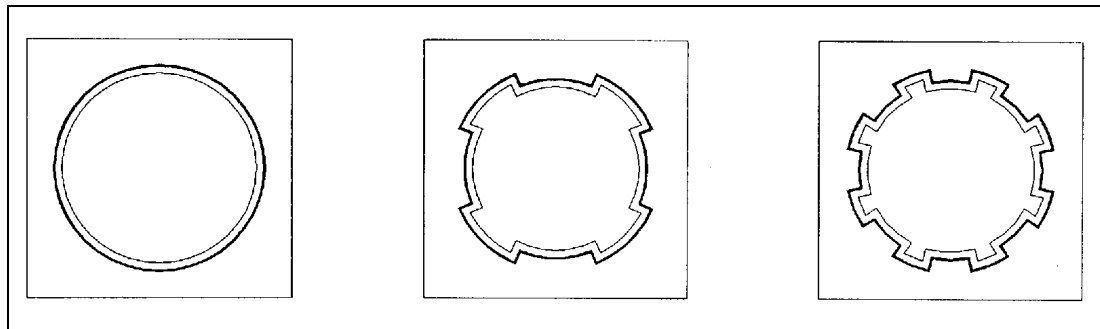


Fig.10.2 Grados de compacidad de un edificio

Para establecer el coeficiente de compacidad de un edificio ( $c$ ), definimos una relación entre la que llamaremos "*superficie equivalente*" ( $S_{EQ}$ ), que es la superficie de la esfera que tiene el mismo volumen que nuestro edificio, con la "*superficie global del edificio*" ( $S_G$ ), entendiéndose como tal toda la piel que le rodea (tanto la superficie libre, como la que está en contacto con los edificios vecinos o con el terreno).

Se debe hacer constar que, al calcular la superficie de piel del edificio, no consideramos la de los patios interiores ni tampoco la de los pliegues de la fachada. Entendemos como patio el caso en que la superficie de contacto con el exterior es inferior a  $1/6$  de la superficie total de las caras del patio. Igualmente consideraremos como pliegue cualquier saliente o entrante de la fachada del edificio, siempre y cuando el punto más lejano esté a menos de un metro de la superficie soporte de la fachada.

Este coeficiente de compacidad nos da una referencia de como es la forma geométrica del edificio, ya que las formas iguales tienen siempre el mismo grado de compacidad, aunque su volumen sea diferente.

Con el factor de forma no ocurre lo mismo, porque  $f = S_G/V_T$  (una superficie dividida por un volumen) y el resultado que da es dimensional, expresado en  $m^{-1}$ . Debido a ello, un edificio más compacto que otro, si tiene un volumen más grande, puede resultar con un factor de forma más pequeño, lo cual es conceptualmente ilógico. Igualmente, dos edificios de forma idéntica, pero de tamaños distintos, tendrán factores de forma diferentes.

En cambio, el coeficiente de compacidad es adimensional y está definido de forma que, a la máxima compacidad, que es la de la esfera, le corresponde un coeficiente también máximo (igual a 1). En este caso, edificios con la misma forma tendrán idéntico coeficiente de compacidad, aunque su volumen sea distinto.

$$c = \frac{S_{eq}}{S_G} = 4,836 \frac{V_T^{2/3}}{S_G} \quad (\text{adimensional})$$

donde:  $c$  = coeficiente de compacidad, (valores entre 0 y 1)  
 $S_{eq}$  = superficie equivalente,  
 $V_T$  = volumen total del edificio, incluidos los patios  
 $S_G$  = superficie global de la piel que rodea el edificio.

El desarrollo de la fórmula es el siguiente:

$$V_T = V_{esfera} = \frac{4}{3} B r^3 \quad \text{y} \quad r = \sqrt[3]{\frac{3 V_T}{4B}}$$

$$S_{eq} = S_{esfera} = 4B r^2 = 4B \sqrt[3]{\frac{9 V_T^2}{16 B^2}} = 4B \sqrt[3]{\frac{9}{16 B^2}} V_T^{2/3} = 4,836 V_T^{2/3}$$


---

La "*repercusión lumínica*" que puede producir el hecho de que la forma del edificio sea más o menos compacta es que existan menores posibilidades de iluminación en las zonas centrales de edificios compactos. Al contrario, los edificios muy expansionados son muy fáciles de iluminar.



Fig.10.3 Ejemplo de edificio compacto

La "*repercusión acústica*" de este aspecto en el comportamiento del edificio es la mejora posible del aislamiento respecto al ruido exterior, ya que la mayor compactidad implica una superficie de contacto con el exterior más pequeña, esto supone una menor recepción de ruidos exteriores. Respecto a los ruidos internos del edificio, este aspecto no supone variación importante en su funcionamiento.

En cambio la "*repercusión climática*" es más importante. A mayor compactidad menor es el contacto con las condiciones exteriores. Por un lado ello significa menores posibilidades de captación de radiación y por otro menos posibilidades de pérdida de energía. En los edificios más compactos hay también pocas posibilidades de ventilación y aparecen espacios centrales alejados del perímetro, con los inconvenientes y ventajas que esto supone. Son edificios adecuados en zonas de climas extremados (muy cálidas, frías o ventosas), ya que el contacto con las condiciones exteriores es mínimo.

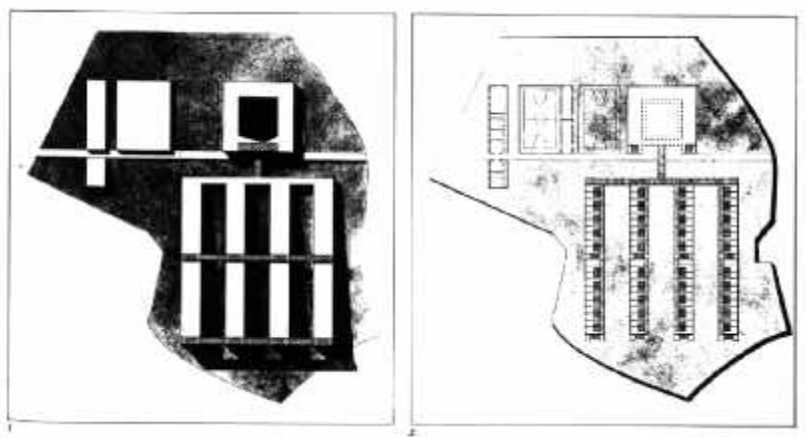


Fig.10.4 Ejemplo de arquitectura poco compacta

**b) Porosidad**

La porosidad de un edificio nos da idea de la proporción entre volumen lleno y volumen vacío del mismo, esto, expresado en terminos arquitectónicos, quiere decir cuál es la proporción de patios existentes en un edificio en relación con su volumen total.

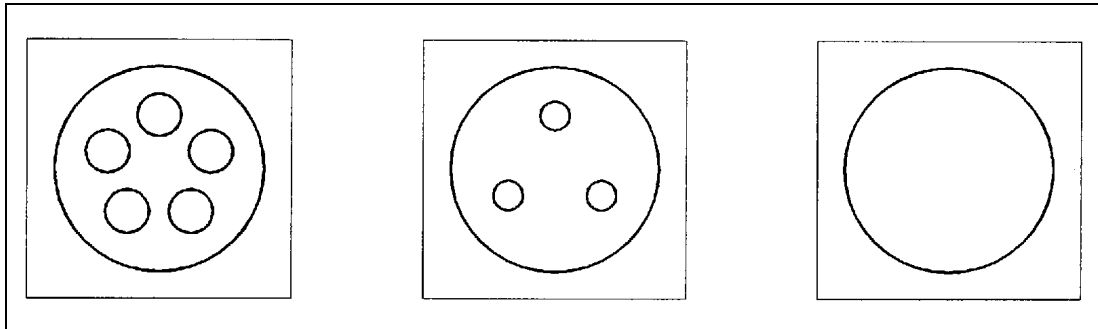


Fig.10.5 Grados de porosidad de un edificio

Consideramos como patios, incluidos dentro de este concepto de porosidad, aquellos en los que su superficie abierta de contacto con el exterior es inferior a  $1/6$  de la suma de las superficies de todos los cerramientos del patio (incluyendo la misma superficie abierta). Si su superficie abierta es superior a este valor se consideran sus paredes como formando parte de la piel y por lo tanto influyen sobre la compacidad.



Fig.10.6 Ejemplo de edificio poroso

Definimos el coeficiente de porosidad de un edificio ( $p$ ), como la relación entre el "volumen equivalente de patios"  $V_{ep}$ , y el "volumen total del edificio" ( $V_T$ ).

El volumen equivalente de patios es la suma de los volúmenes equivalentes de cada patio, ya que pueden existir más de un patio por edificio.

El volumen equivalente de un patio es el volumen de una esfera de superficie igual a la suma de las superficies de todas las paredes del patio, incluyendo la superficie de la cara o caras abiertas al exterior.

$$p = \frac{V_{ep}}{V_T} = 0,094 \frac{S_{pp}^{3/2}}{V_T} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $p$  = coeficiente de porosidad del edificio, (valores entre 0 y 1),  
 $V_{ep}$  = volumen equivalente de patios,  
 $V_T$  = volumen total del edificio, incluidos los patios,  
 $S_{pp}$  = G (superficies paredes patios + superficies caras abiertas).

El desarrollo de la fórmula es el siguiente:

$$V_{ep} = \frac{4}{3} Br^3 \quad \text{y} \quad S_{pp} = 4Br^2$$

De donde se desprende que:

$$r = \frac{1}{2} \left( \frac{S_{pp}}{B} \right)^{1/2}$$

y substituyendo resulta:

$$V_{ep} = \frac{4}{3} B \left( \frac{1}{2} \frac{S_{pp}^{1/2}}{B^{1/2}} \right)^3 = \frac{B}{6 B^{3/2}} S_{pp}^{3/2} = \frac{1}{6 B^{1/2}} S_{pp}^{3/2} = 0,094 S_{pp}^{3/2}$$


---



La "*repercusión lumínica*" de una porosidad muy alta será la posibilidad de resolver, en parte, el problema de iluminación de las zonas interiores. Tener una gran porosidad significa que el edificio tiene una proporción alta de patios, que pueden facilitar la iluminación correcta de los espacios. Se debe contar con que esto únicamente afecta a las zonas más cercanas a las caras abiertas del patio, es decir, las plantas superiores en el caso de patios verticales (donde el fondo del patio acostumbra a ser oscuro), o bien dependencias más cercanas a la fachada, en el caso de patios horizontales.

La "*repercusión acústica*" de una alta porosidad, en general, se traducirá en problemas acústicos importantes en el interior del edificio, dado que los paramentos muy cercanos producen reflexiones de los ruidos y además, las zonas que dan a patio normalmente son ruidosas: cocinas, baños, escaleras, etc. Esto, juntamente con el hecho de que la propia forma del patio puede actuar como amplificador del sonido, hace que debemos tener mucho cuidado con el tratamiento de estos espacios desde el punto de vista acústico. Respecto a los sonidos exteriores, se debe pensar que únicamente penetran en el patio aquellos que tienen una dirección muy definida, y su longitud de onda es inferior a la medida del patio; por lo tanto, no nos deben preocupar más que en cualquier otro tipo de edificio.

La "*repercusión climática*" también en este caso, como en los anteriores, es muy compleja. Un edificio con un grado de porosidad grande significa que tiene muchas superficies de intercambio con el exterior. Por otro lado es más difícil aislarlo de las condiciones exteriores. Pero también es más fácil conseguir una buena ventilación de las zonas interiores del edificio. También ofrece la posibilidad de crear espacios intermedios con un microclima propio, que puede ser útil para aumentar la humedad del ambiente. Todo esto hace que, en general, los edificios con patios sean recomendables sobre todo en climas cálidos secos.

### c) Esbeltez

La esbeltez da una idea de las proporciones generales de un edificio, desde el punto de vista de lo alargado que sea en sentido vertical.

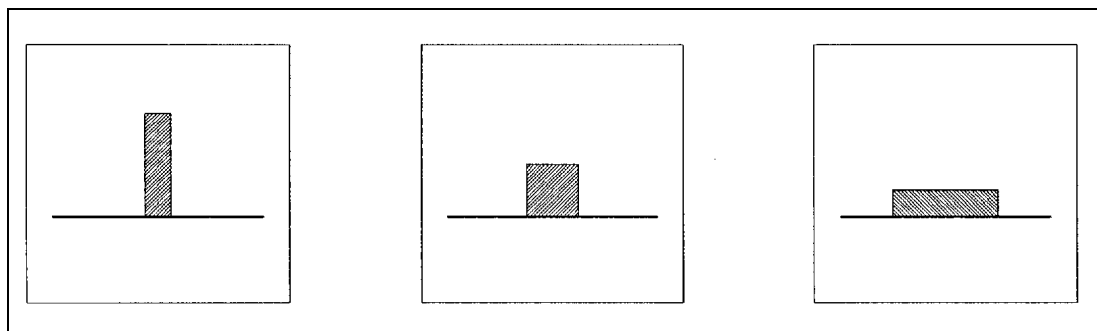


Fig.10.7 Grados de esbeltez de un edificio

Llamamos coeficiente de esbeltez ( $e$ ), a la relación entre la "altura total del edificio" ( $h$ ) y el radio de "la superficie media de la planta" ( $S_0$ ), entendiendo esta superficie como el valor medio de todas las plantas, por el hecho de que la planta del edificio puede ser variable según la altura de éste.

Para conseguir que el coeficiente de esbeltez sea adimensional, relacionamos esta altura con una magnitud " $d$ " que depende del radio de un círculo de superficie igual a la media de las plantas.

$$e = \frac{h}{d} = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{S_0}{B} \% h^2\right)}} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $e$  = coeficiente de esbeltez  
 $h$  = altura del edificio,  
 $S_0$  = superficie ocupada en planta o superficie media,  
 $r$  = radio del círculo de superficie  $S_0$ .

El desarrollo de la fórmula es el siguiente:

$$e = \frac{h}{d} = \cos''$$

$$d = \sqrt{r^2 \% h^2} \quad ; \quad S_0 = Br^2 \quad \text{y por tanto} \quad r^2 = \frac{S_0}{B}$$

y substituyendo resulta:

$$e = \frac{h}{\sqrt{(r^2 \% h^2)}} = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{S_0}{B} \% h^2\right)}}$$

Si la planta del edificio varía según la altura, entonces  $S_0$  es la superficie media de las plantas, es decir,

$$S_0 = \frac{V_T}{h} \quad \text{y por tanto} \quad e = \frac{h}{\sqrt{\frac{V_T \% h^2}{hB}}}$$

que es la fórmula general aplicable a cualquier caso.

---



Fig.10.8 Ejemplo de edificio esbelto

La "*repercusión lumínica*" de este aspecto de la forma consiste en que es posible una mejora de iluminación con la esbeltez. Si para un mismo volumen construido tenemos mayor esbeltez, esto significa que la superficie por planta es más pequeña y existirán menos zonas centrales difíciles de iluminar. Las plantas superiores tienen menores posibilidades de que los edificios vecinos les hagan sombras y por lo tanto, el edificio esbelto tiene en general mejor luz.

La "*repercusión acústica*" de la esbeltez consiste en que la altura implica separación de los focos de ruido de la calle y menores posibilidades de producir reflexiones que afecten a las fachadas vecinas.

La "*repercusión climática*" está determinada por el hecho de que, a más esbeltez, menos superficie de contacto con el terreno y mayor exposición climática (radiación, vientos, etc.). También se debe contar con que, a mayor altura, son mayores los problemas interiores de estratificación del aire. En general, no hay climas donde sea recomendable una esbeltez más grande.



Fig.10.9 Ejemplo de un edificio poco esbelto

## 10.2 El tratamiento de la piel

Consideramos como piel a los paramentos que envuelven físicamente al edificio, separando el interior del exterior.

En el análisis de las características de diseño en este apartado, trataremos básicamente la permeabilidad del edificio frente a las manifestaciones energéticas exteriores.

Esta permeabilidad depende básicamente de la situación relativa del edificio respecto al terreno, así como respecto a otras edificaciones. Además, depende de ciertas características propias de esta piel que comunica con el exterior.

Analizaremos así los siguientes aspectos:

- a) Asentamiento, as
- b) Adosamiento, ad
- c) Pesadez, ps
- d) Perforación, pr
- e) Transparencia, tr
- f) Aislamiento, ai
- g) Tersura, ts
- h) Textura, tx
- i) Color, cl
- j) Variabilidad de las características de la piel.

### a) Asentamiento

El asentamiento de un edificio es un aspecto de la piel, que indica el grado de contacto de las superficies que rodean el volumen de todo el edificio con el terreno.

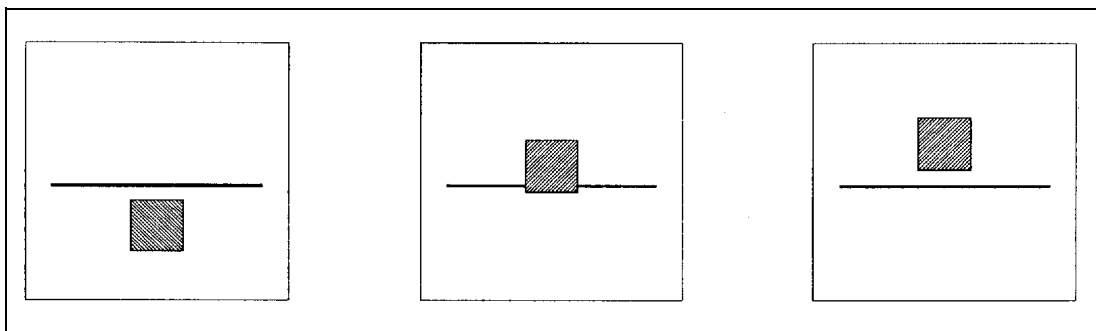


Fig.10.10 Grados de asentamiento de un edificio

Para establecer el coeficiente de asentamiento de un edificio ( $a_s$ ), se relaciona su "superficie asentada" ( $S_{AS}$ ) respecto a la "superficie global" ( $S_G$ ), entendiéndose como tal la totalidad de su piel.

Así, la superficie global puede entenderse como la suma de: superficie asentada + superficie adosada a otro edificio + superficie de piel exterior.

$$a_s = \frac{S_{as}}{S_G} = \frac{S_{as}}{S_{ad} \% S_{as} \% S_{pt}} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $a_s$  = coeficiente de asentamiento,  
 $S_{as}$  = superficie asentada,  
 $S_{ad}$  = superficie adosada,  
 $S_{pt}$  = superficie de piel proyectada,  
 $S_G$  = superficie global de la piel del edificio.



Fig.10.11 Ejemplo de edificio muy asentado

La "repercusión lumínica" que tiene un asentamiento muy importante del edificio en el terreno está directamente ligada a la disminución que esto representa de superficie de contacto con el exterior y, por lo tanto, a posibles dificultades para hacer llegar la luz natural al interior del edificio.



Fig.10.12 Ejemplo de edificio no asentado

La "repercusión acústica", en este caso, está directamente relacionada con la barrera acústica que proporciona la masa del terreno, allí donde exista. Por lo tanto, un gran asentamiento significa un buen aislamiento acústico donde exista terreno protector.

La "repercusión climática" que nos da un aumento de asentamiento está relacionada, por un lado con el aumento de la inercia térmica y por el otro con la menor captación de radiación y menor ventilación (por lo tanto, aumento de humedad). El contacto del edificio con el exterior, a través de la superficie asentada, se hace con un "exterior" de gran estabilidad térmica, que es el terreno. Para grandes profundidades ( $>6m$ ) puede llegar a tener una temperatura prácticamente constante durante todo el año, que convierte este caso en una solución muy adecuada para climas continentales.

#### b) Adosamiento

El adosamiento de un edificio es un aspecto de la piel que se refiere al grado de contacto de las superficies de piel que rodean el edificio con otros locales o edificios vecinos.

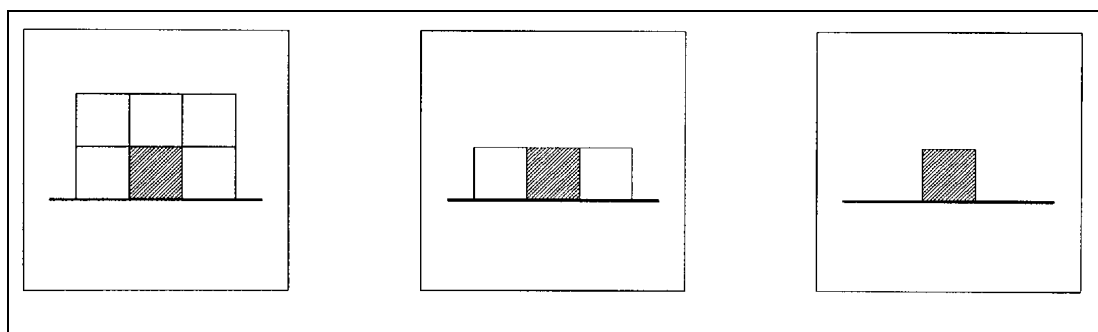


Fig.10.13 Grados de adosamiento de un edificio

Definimos el coeficiente de adosamiento (ad) como la relación entre la "superficie adosada" ( $S_{ad}$ ) y la "superficie global" ( $S_G$ ), entendiendo como tal la totalidad de su piel, o sea, superficie asentada + superficie adosada + superficie de piel exterior.

$$ad = \frac{S_{ad}}{S_G} = \frac{S_{ad}}{S_{ad} \% S_{as} \% S_{pt}} \quad (\text{adimensional})$$

donde: ad = coeficiente de adosamiento,  
 $S_{as}$  = superficie asentada,  
 $S_{ad}$  = superficie adosada,  
 $S_{pt}$  = superficie de piel proyectada,  
 $S_G$  = superficie global de la piel del edificio.

Se debe distinguir también entre las superficies adosadas a locales de ambiente controlado (habitables) y las adosadas a locales no controlados; así, pues:

$$g_a = g_{a1} \% g_{a2}$$



Fig.10.14 Ejemplo de edificios adosados

La "repercusión lumínica" que supone un mayor adosamiento, está determinada por la disminución de superficies de contacto con el exterior y por lo tanto de las menores posibilidades de iluminación natural en el edificio, tanto en las zonas periféricas como en las centrales.

La "repercusión acústica" está determinada por el hecho de que un mayor adosamiento supone menor contacto con el exterior y por lo tanto, más posibilidades de aislarse de los ruidos urbanos, aunque también pueden surgir problemas si los edificios vecinos son productores de ruidos.

La "repercusión climática" de un grado de adosamiento alto está directamente ligada al hecho de que esto genera pocas superficies de intercambio con el exterior. Por lo tanto, son edificios que no pueden ser buenos captadores de radiación solar y que tienen mayor dificultad en ventilar. Encontramos, por lo tanto un posible aumento de las condiciones de humedad relativa en el interior del edificio y pocas posibilidades de captar luz y calor del exterior.

El adosamiento en cambio, proporciona una cierta protección térmica respecto al exterior, especialmente gracias al contacto con otros espacios habitables. Esto es especialmente útil en climas muy fríos y secos.

### c) Pesadez

La pesadez de la piel es una cualidad física que depende de la composición constructiva específica de los cerramientos del edificio.

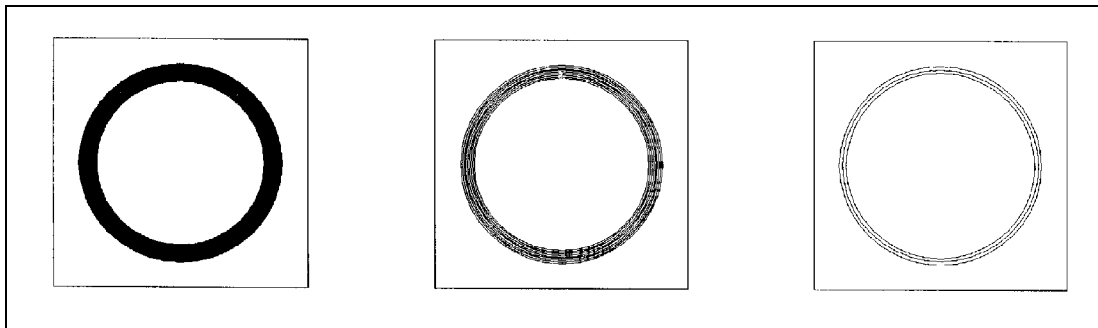


Fig.10.15 Grados de pesadez de un edificio



Fig.10.16 Ejemplo de edificio muy pesado





Fig.10.17 Ejemplo de edificio de poca pesadez

El coeficiente de pesadez de la piel se expresa con la relación entre la "masa superficial total del cerramiento" (M) y la "superficie del cerramiento" (S).

$$ps = \frac{M}{S} \quad \left(\text{en } \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right)$$

La pesadez de la piel no tiene en principio ninguna "repercusión lumínica" sobre el interior del edificio, ya que, aunque sea un aspecto de la piel, no afecta a la entrada de la radiación solar en el espacio interior ni a su distribución.

La "repercusión acústica" de la pesadez de la piel está directamente relacionada con su masa ya que, según la ley de masas, el incremento de la pesadez implica un mejor aislamiento de los ruidos externos. Se debe tener presente que la continuidad de la barrera acústica debe ser alta, ya que cualquier pequeña superficie con menor aislamiento puede anular la eficacia de la barrera acústica.

La "repercusión climática" de la pesadez, considerando los materiales que se utilizan en la construcción, puede ir, en general, asociada al concepto de inercia térmica. Esto puede representar una amortiguación, en el interior del edificio, de los cambios climáticos exteriores. Un grueso mayor de los cerramientos comporta un aislamiento también mayor, aunque en realidad solo sería notable si estuviera acompañado de la presencia de un material aislante. Por lo tanto, sólo se puede asegurar el efecto producido por la inercia térmica del material, adecuado en climas continentales.

---

#### d) Perforación

La perforación de un edificio es un concepto que nos da idea de la permeabilidad de su piel al paso del aire. Depende, tanto de la superficie de perforación, como de otros factores como son las dimensiones y la posición relativa de las aberturas.

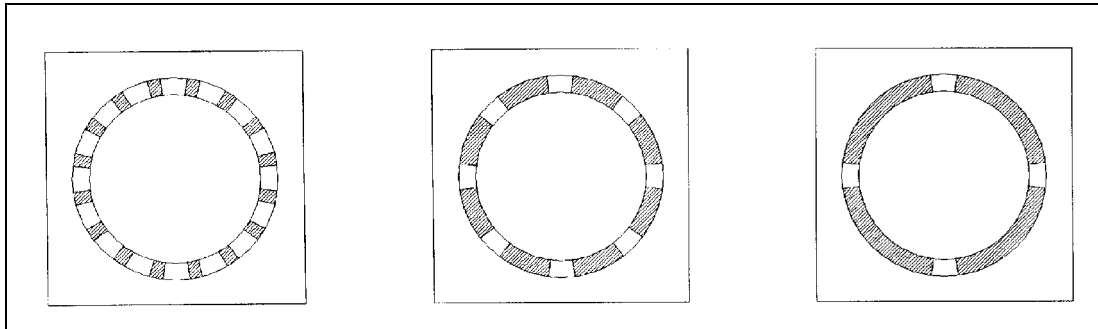


Fig.10.18 Grados de perforación de un edificio

La perforación no es una característica fija, ya que el uso del edificio puede hacer aconsejable variar el grado de perforación. Así que, normalmente, en invierno el grado de perforación es mucho más pequeño que en verano. Existe por ello una variabilidad posible, determinada por el hecho de que la mayoría de aberturas son practicables. Este tema lo trataremos posteriormente, dada su importancia.



Fig.10.19 Edificio muy permeable al paso del aire

El coeficiente de perforación de un edificio es la relación entre la "superficie perforada" ( $S_{pf}$ ) y la

"superficie global de la piel" ( $S_G$ ).

$$pr = \frac{S_{pr}}{S_G} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $pr$  = coeficiente de perforación (valores entre 0 y 1),  
 $S_{pr}$  = superficie perforada,  
 $S_G$  = superficie global de la piel del edificio

La "*repercusión lumínica*" consiste en que, a mayor perforación de la piel, mayores son las posibilidades de iluminación, aunque esto depende también del tipo de tratamiento de fachada.

La "*repercusión acústica*" es bastante importante, ya que con la perforación se anula el aislamiento respecto a ruidos exteriores. De mucha menos importancia es el hecho de que la absorción debido a las aberturas que no tienen cerramiento disminuye el tiempo de reverberación en el interior.

La "*repercusión climática*" de una alta perforación consiste en que prácticamente tiende a igualar las condiciones exteriores con las interiores. Con ella se asegura la renovación del aire, lo cual es una buena solución para climas cálidos húmedos, pero nunca para climas extremados.

Como concepto anexo al de la perforación se debe hablar de hermeticidad de los cerramientos, que está determinada por las infiltraciones que se producen por las juntas de las perforaciones en elementos practicables del edificio cuando éstos están cerrados.

La hermeticidad depende del coeficiente de perforación, pero sus valores son mucho más pequeños, ya que es la relación entre la "superficie de las rendijas" y la "superficie total" del edificio.

$$he = \frac{S_{gr}}{S_G} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $he$  = hermeticidad (valores entre 0 y 1),  
 $S_{gr}$  = superficie de las rendijas,  
 $S_G$  = superficie global de piel del edificio.

---

### e) Transparencia

El concepto de transparencia da idea del comportamiento del edificio frente la radiación solar. Puede ocurrir que un edificio deje pasar la luz, si es transparente (a la radiación lumínica) o que, aun sin dejar pasar la luz por ser opaco, deje pasar (mediante procesos de absorción y reemisión) parte de la radiación calorífica.

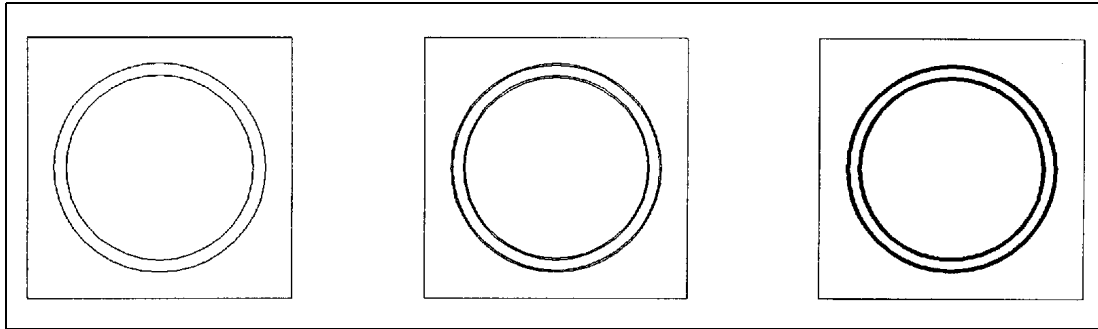


Fig.10.20 Grados de transparencia de la piel de un edificio

Al definir el coeficiente de transparencia, nos referimos a la relación entre la "superficie vidriada" del edificio y la "superficie global de piel" de éste.

$$tr = \frac{S_v}{S_G} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $tr$  = coeficiente de transparencia (valores entre 0 y 1),  
 $S_v$  = superficie vidriada,  
 $S_G$  = superficie global de piel del edificio.

La "repercusión lumínica" que produce el disponer de una piel más transparente es normalmente la de disponer de una mejor iluminación. De todas formas, según la orientación, pueden producirse efectos de deslumbramiento por exceso de luz.

La "repercusión acústica" viene determinada por el hecho de que los elementos transparentes son malos aislantes de las ondas acústicas. Con una alta transparencia se pueden producir entradas importantes de los sonidos exteriores.

La transparencia de la piel de un edificio tiene una "repercusión climática" muy importante, en este caso se produce el efecto invernadero (si hay superficies interiores que puedan captar la radiación).

Como ya se ha comentado anteriormente, el efecto invernadero consiste en el hecho de que la radiación, una vez ha atravesado el vidrio y absorbida por el material interior, es reemitida con ondas de longitud más grande que en gran parte no pueden volver a atravesar el vidrio.

Como resultado, un edificio muy transparente puede captar mucha energía radiante. La pérdida de calor por transmisión también es muy elevada, a menos que se produzca una variación nocturna de la transparencia y del aislamiento con sistemas móviles. Tenemos, pues, un edificio con grandes ganancias por radiación y grandes pérdidas energéticas; por lo tanto este caso generará oscilaciones muy fuertes de la temperatura interior. Por todo ello, la alta transparencia es una solución peligrosa en todo tipo de climas, que se debe utilizar con prudencia.

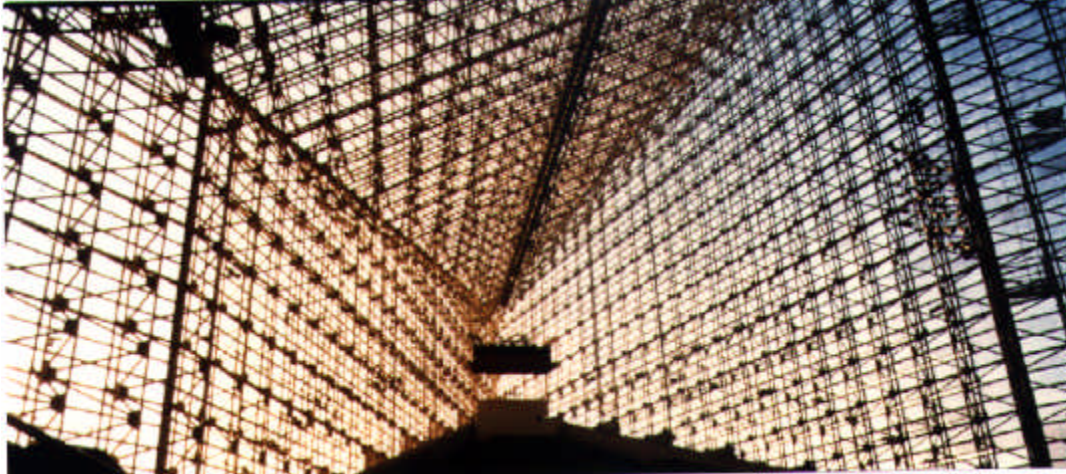


Fig.10.21 Ejemplo de edificio muy transparente

#### f) Aislamiento

Este concepto da una idea de la resistencia que opone la piel del edificio al paso del calor por conducción. Este flujo energético se produce cuando existe diferencia de temperaturas entre el aire interior y el exterior.

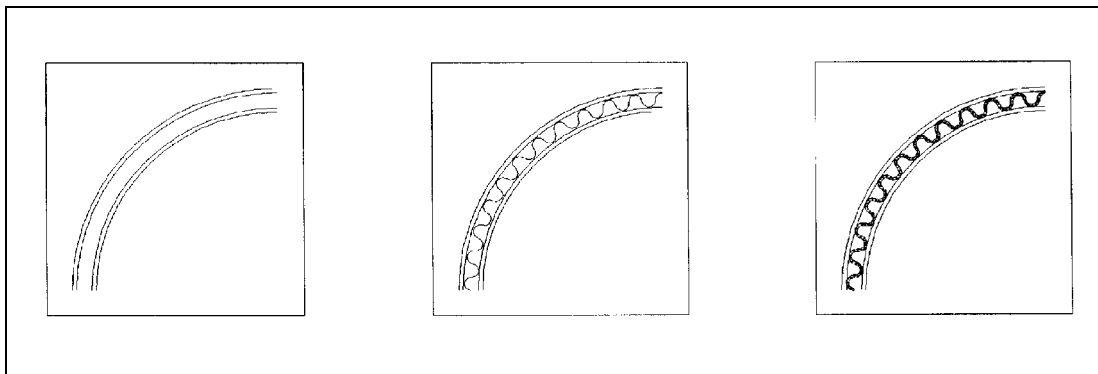


Fig.10.22 Grados de aislamiento de un edificio

Establecemos el aislamiento de la piel según el valor de su coeficiente global de pérdidas térmicas ( $K_G$ ).

$$K_G = \frac{\sum S_i K_i \alpha_i}{S_G} \quad \left( \frac{W}{m^2 \text{ EC}} \right)$$

donde:  $K_G$  = coeficiente global de transmisión del calor,  
 $S_i$  = superficie de cada uno de los cerramientos,  
 $K_i$  = coeficiente de transmisión de calor de cada cerramiento ( $W/m^2 \text{ EC}$ ),  
 $\alpha_i$  = coeficiente de situación del cerramiento,  
 $S_G$  = superficie global de los cerramientos.

Valores de  $K_G \leq 0,5$  corresponden a pieles muy aisladas, y valores de  $K_G > 4$  corresponden a pieles muy poco aisladas.

No existe una "repercusión lumínica" directa, aunque debe considerarse que es muy difícil aislar bien un edificio con materiales que permitan el paso de la luz natural al interior.

La "repercusión acústica" está relacionada con el hecho de que una buena parte de los aislantes térmicos son porosos, con poros abiertos y por esto presentan un mal aislamiento acústico y una buena absorción acústica (siempre y cuando estén directamente expuestos a la onda sonora). En el caso de disponer aislamiento térmico en el interior de la cámara de aire de un cerramiento, el comportamiento acústico es diferente y actúa entonces como barrera acústica, por el hecho de amortiguar las reflexiones en el interior de la cámara.

La "repercusión climática" consiste en que un edificio muy aislado tiene poco intercambio de energía interior-exterior y esto significa que no pierde calor en condiciones de invierno. La eficacia del aislamiento depende mucho de las orientaciones donde se disponga, siendo recomendable reforzar aquellas donde las condiciones exteriores sean más extremas. En general se necesita un buen aislamiento en climas fríos y es bueno tenerlo en los cálidos secos.

---

### g) Tersura

Definimos la tersura de la piel de un edificio según la existencia o no de salientes y entrantes respecto a la línea de fachada. Esto se considera así siempre y cuando la distancia del punto más lejano a la fachada no sea superior a 1 m. Si la distancia es mayor se considera como parte de la compacidad.

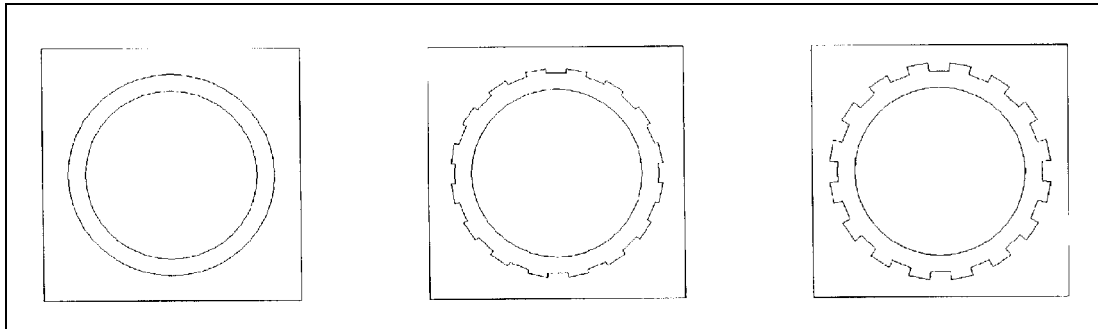


Fig.10.23 Grados de tersura de un edificio

El coeficiente de tersura es la relación entre la "superficie de piel proyectada" ( $S_{pt}$ ) y la "superficie de piel desarrollada" ( $S_{de}$ ).

$$ts = \frac{S_{pt}}{S_{de}} \quad (\text{adimensional}),$$

donde:  $ts$  = coeficiente de tersura (valores entre 0 y 1),  
 $S_{pt}$  = superficie de piel proyectada (o soporte),  
 $S_{de}$  = superficie de piel desarrollada.



Fig.10.24 Ejemplo de edificios de piel muy lisa

La "repercusión lumínica" que da una tersura baja consiste en que puede facilitar una orientación

lumínica mejor de zonas próximas a la piel, sin que ello signifique favorecer claramente la penetración de luz hacia el interior.

La "*repercusión acústica*" consiste en que, con baja tersura hay más posibilidades de reflejar o apantallar ruidos exteriores y también existe un aumento de la absorción al sonido de la fachada.

La "*repercusión climática*" que se produce en un edificio poco liso es el aumento de las superficies en contacto con el exterior. También se generan sombras que pueden favorecer el comportamiento de verano y aumentan las posibilidades de obtener diferentes orientaciones a la radiación.



*Fig.10.25 Edificios con baja tersura*

#### **h) Textura**

El concepto de la textura de la piel de un edificio se refiere al tipo de acabado superficial a pequeña escala. Los grados de textura se establecen a partir de la medida de la rugosidad, en mm.



*Fig.10.26 Tratamiento de textura en la fachada de un edificio*





Fig.10.27 Fachada de edificio con poca textura

La "*repercusión lumínica*" de la textura consiste en que, a mayor rugosidad, en general las reflexiones lumínicas son más difusas. Con poca rugosidad hay más posibilidad de reflexiones especulares.

La "*repercusión acústica*" es debida al hecho de que, en general, con rugosidad alta hay más absorción de los sonidos más agudos. Igualmente, una escasa rugosidad puede implicar posibilidades de reflexión especular, sobre todo en los sonidos agudos y medios.

La "*repercusión climática*", que da el hecho de tener mucha o poca rugosidad en la piel exterior del edificio, es poco apreciable. Una piel muy rugosa favorece, de forma poco importante, el intercambio por convección superficie-aire.

### **i) Color de la piel**

El color es una cualidad de la piel exterior de los edificios que define su comportamiento frente a la absorción superficial y por lo tanto, al paso de la energía procedente de la radiación. Esta cualidad se da básicamente a través de los cerramientos opacos.

El color de la piel tiene mucha importancia cuando consideramos la absorción superficial a la radiación en relación a la emisión (cuerpos selectivos).

Establecemos una gradación de color de la piel según su "*coeficiente de absorción*" (adimensional). Un coeficiente de absorción grande corresponde a una absorción alta, es decir, a colores oscuros; mientras que un valor bajo corresponde a poca absorción, que es el caso de colores claros.

---



Fig.10.28 Edificio de color claro

La "*repercusión lumínica*" de una piel de color claro influye, más que en el mismo edificio, en los edificios próximos, ya que reflejará más la radiación lumínica.

El color de la piel no tiene ninguna "*repercusión acústica*" apreciable.

La "*repercusión climática*" está determinada por el hecho de que, en general, los colores claros son muy reflectores y ello comporta poca captación de energía calorífica. Al contrario, con colores oscuros hay mucha absorción de la radiación solar, peligrosa en climas cálidos, especialmente en los cálidos secos.



Fig.10.29 Edificio de color oscuro

#### **j) Variabilidad de las características de la piel**

---

En este apartado tratamos la posibilidad de que la piel pueda cambiar sus características; para ello se deben distinguir los conceptos de "*cerramientos modificables*" y de "*cerramientos practicables*".

**Modificar** la relación vacío-lleno supone **convertir** elementos transparentes en opacos, y al contrario, **modificar** el aislamiento de la piel significa **convertir** elementos no aislantes en aislantes.

**Practicabilidad** significa que, en alguna parte de la piel, se puede **eliminar** el cerramiento a voluntad.



Fig.10.30 Edificios con posibilidad de variar las características de la piel

La "*repercusión lumínica*" se produce en el caso de modificar la transparencia de la piel, ya que se modifica el nivel lumínico interior.

La "*repercusión acústica*" de la variabilidad es el cambio del aislamiento acústico que se puede generar, en algunos casos favoreciéndolo, en otros perjudicándolo. Cerrar una contraventana significa proteger el edificio acústicamente, pero no dejará pasar la luz exterior.

La "*repercusión térmica*" está determinada por la variación de la cantidad de radiación que penetra al interior del edificio, así como por la de su grado de aislamiento. Esto puede variar mucho su comportamiento térmico y también puede cambiar las condiciones de ventilación del edificio. La variabilidad de las características de la piel es muy necesaria en climas templados, donde su ausencia puede ser muy incómoda según la época del año.

---

### 10.3 El interior del edificio

Consideramos como interior del edificio el conjunto de elementos, constructivos o no, que quedan encerrados por su piel y además la parte de esta piel que influye en el comportamiento de este interior. Es decir, si la piel es de una sola capa, se considera interior a la mitad de su grueso en contacto con el interior y si es de varias capas, consideramos interior la parte comprendida desde el aislamiento hacia adentro.

En cualquier caso, el interior tendrá su límite en el plano del cerramiento que tenga la temperatura promedio entre las del interior y exterior.

Las características del interior que consideramos más importantes son:

- a) Compartimentación
- b) Conexión
- c) Pesadez
- d) Color
- e) Textura
- f) Geometría del espacio

#### a) Compartimentación del interior

Es un concepto que se refiere a la forma de ordenar y relacionar entre sí los diferentes espacios que componen un edificio. Ambientalmente podemos distinguir diferentes criterios, pero en este apartado consideramos sólo el hecho de que existan pocos o muchos espacios en el interior.

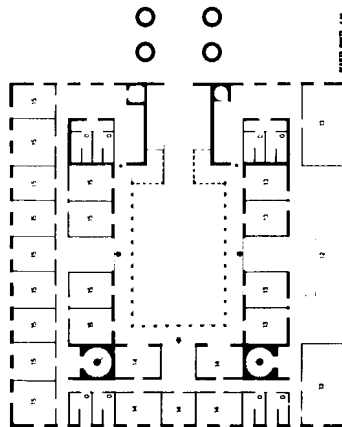


Fig.10.31 Ejemplo de planta muy compartimentada

Si hay poca compartimentación las condiciones interiores dependen mucho del contacto con el exterior que se realiza a través de la piel. Por ello, el aislamiento o no de la piel respecto a las condiciones exteriores es más importante. Las condiciones interiores acostumbran a ser más uniformes por todo el espacio y las posibles variaciones de un sector repercuten más en el ambiente total.

Si compartimentamos mucho el interior puede haber mayor diversidad ambiental y tenemos la posibilidad de situar cada espacio en el lugar que más convenga en cada caso, según sus necesidades.



Fig.10.32 Un ejemplo de arquitectura poco compartimentada

La "*repercusión lumínica*" de una baja compartimentación consiste en que se permite iluminar mejor las diferentes zonas con luz natural, a pesar de que las más interiores (o menos periféricas) reciben menor cantidad de luz. En general, los espacios compartimentados crean zonas centrales sin posibilidades de iluminación natural (excepto si se crean patios, atrios, etc.).

La "*repercusión acústica*" de la baja compartimentación consiste en que son, comparativamente, espacios mayores y por esto la posibilidad de aparición de fenómenos de eco y reverberación es más elevada que cuando se trata de espacios compartimentados, que son acústicamente más fáciles de controlar.

La "*repercusión térmica*" de la baja compartimentación hace que las condiciones térmicas se mezclen más y que pueda aparecer fácilmente estratificación del aire. En cambio, una compartimentación voluntaria y bien diseñada permite la adecuación del ambiente térmico a cada actividad.

---

## b) Conexión del interior

Es una característica del interior del edificio que se refiere a la forma en que trabajan los elementos de separación existentes entre los diferentes espacios y por lo tanto, como se producen los intercambios energéticos entre ellos.

Para las diferentes formas posibles de relación distinguimos entre "*conexión vertical*" y "*conexión horizontal*", de forma que se corresponden con las posibles compartimentaciones horizontales o verticales de los espacios internos del edificio.

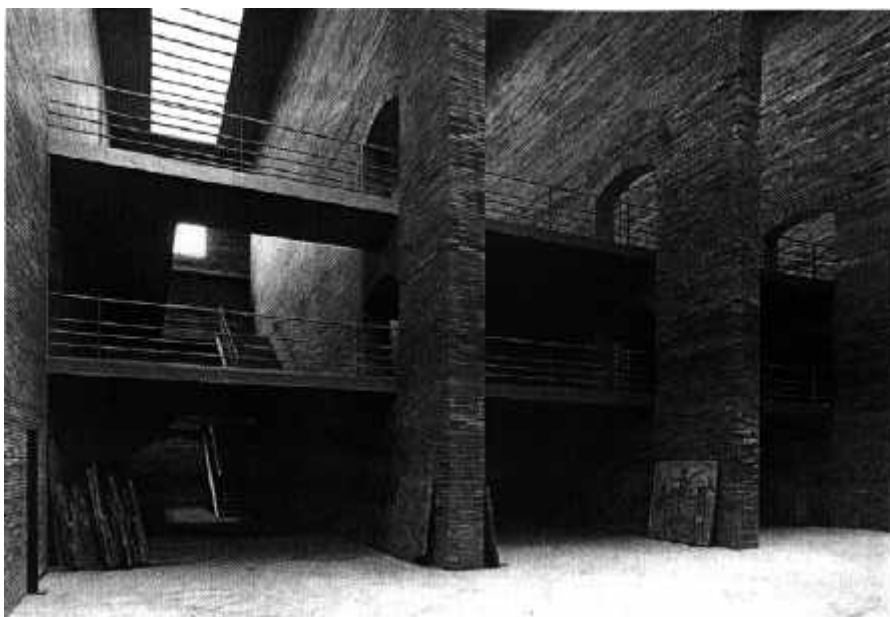


Fig.10.33 Ejemplo de gran conexión vertical

La "*repercusión lumínica*" que da la conexión entre espacios, tanto si es vertical como horizontal, es que, si tratamos con materiales transparentes la conexión entre espacios iluminados con luz natural y espacios que no lo están, se puede favorecer la iluminación de estos últimos.

La "*repercusión acústica*" viene determinada por el hecho de que, según el grado de conexión que exista entre espacios, los ruidos encuentran más o menos dificultad para pasar de un espacio a otro.

La "*repercusión climática*" cambia según se trate de conexión vertical u horizontal. La transmisión de energía entre espacios situados en un mismo plano horizontal se produce por transmisión y convección, pudiéndose favorecer esta última con aberturas en los elementos de separación. En el caso de conexión vertical la transmisión de energía se produce por convección natural en sentido ascendente y según la altura pueden producirse fenómenos importantes de estratificación térmica.

---

### c) Pesadez del interior

La pesadez del interior está asociada directamente al concepto de inercia térmica, ya que los materiales que se utilizan tradicionalmente en la construcción son de calor específico similar.

Expresamos la pesadez del interior según la masa unitaria, de la forma siguiente:

$$m_i = \frac{M_i}{V_h} \quad \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ de volumen habitable} \right),$$

donde:  $m_i$  = masa unitaria interior,  
 $M_i$  = masa del interior,  
 $V_h$  = volumen habitable.



Fig.10.34 Ejemplo de pesadez del interior

La pesadez del interior no tiene una "repercusión lumínica" directa aunque, en general, los elementos pesados son opacos.

La "repercusión acústica" está directamente ligada con la ley de masas, según la cual a mayor pesadez mejor aislamiento existe entre los espacios interiores, siempre que los cerramientos sean continuos.

La "repercusión térmica" está relacionada con la inercia. En general, la construcción con elementos pesados comporta mayor inercia térmica y por lo tanto, unas temperaturas más estables en el tiempo. Debe tenerse presente que, los elementos ligeros con poca inercia, según su constitución pueden ser buenos aislantes.



#### d) Color del interior

Es una característica que indica el comportamiento del interior frente a la absorción y reflexión superficiales y por lo tanto, de las posibilidades de redistribución de la energía radiante en el espacio. Los colores claros favorecen las reflexiones interiores y los oscuros su absorción.



Fig.10.35 Interior de un edificio donde predomina el color claro

La "*repercusión lumínica*" es importante, ya que los colores claros producen una reflexión mejor de la luz natural y por lo tanto, un aprovechamiento mejor de la misma. En general, con tonos claros se obtienen niveles de iluminación interiores más altos.

No existe ninguna "*repercusión acústica*" a considerar.

La "*repercusión térmica*" está ligada con el concepto de inercia térmica. Los colores oscuros favorecen la absorción de la radiación y por lo tanto, es mejor tener acabados oscuros si queremos favorecer la inercia térmica.



Fig.10.36 Interior de edificio donde predominan los colores oscuros



### e) Textura del interior

Hace referencia al acabado superficial interior, que puede ser más o menos rugoso y poroso. Esto repercute en la reflexión y la difusión de radiaciones y sonidos, así como en el coeficiente superficial de fricción con el aire. Según el tamaño de la rugosidad, los grados de textura se definen entre:

superficie muy rugosa  $\$0,003 \text{ m}$

y

superficie especular  $\#0,001 \text{ m}$

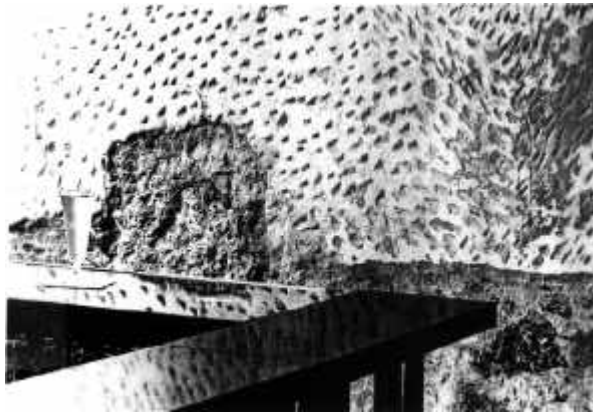


Fig.10.37 Ejemplo de textura en el interior de un edificio

La "*repercusión lumínica*" corresponde al comportamiento frente a la reflexión. Superficies muy rugosas comportan reflexión difusa y superficies lisas comportan reflexión muy especular.

La "*repercusión acústica*" se debe al hecho de que la textura hace variar las reflexiones del sonido (en relación con las longitudes de onda). Esto hace que exista mayor o menor absorción según la textura y porosidad del material, modificando el tiempo de reverberación de una forma muy acusada.

La "*repercusión térmica*" no es muy importante, únicamente una alta rugosidad favorece ligeramente el intercambio de calor por convección entre superficie y aire.



Fig.10.38 Ejemplo de un interior con superficies sin textura

## f) Geometría del espacio interior

Este concepto multiaspecto del interior de los edificios es importante para el comportamiento de los locales considerados individualmente. Se trata de analizar sus características geométricas en diversos aspectos, como son:

- el volumen,
- la forma,
- las proporciones,
- la existencia de desniveles.

### Volumen

El volumen del espacio tiene consecuencias sobre su comportamiento ambiental lumínico, acústico y térmico, aunque el orden de influencia depende del tipo de energía que consideremos.

Desde el punto de vista "*lumínico*", las medidas del espacio tienen una influencia neutra en el reparto de la luz. Manteniendo la radiación incidente, en relación con el cambio de escala, un espacio de la misma forma tiene condiciones de luz independientes del tamaño. Esto significa que, conservando la proporción entre el área de aberturas y de cerramientos, también se mantiene la luz resultante. Sólo se debe considerar, en grandes espacios de poca altura, la zona central oscura que necesitaría un complemento cenital.

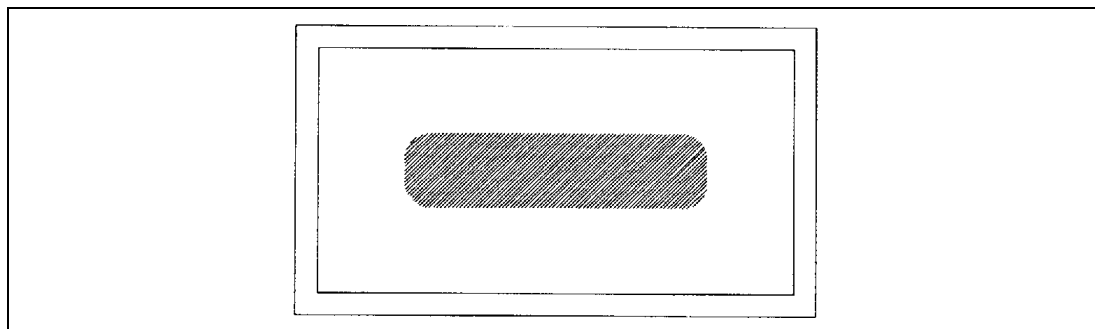


Fig.10.39 Zona central oscura en espacios de gran superficie

Desde el punto de vista "*acústico*", el aumento de volumen de un local tiene influencia directa sobre su tiempo de reverberación, al aumentar proporcionalmente el camino de las ondas entre reflexiones. Por ello a veces se diseñan salas con volumen variable, para poder ajustar la reverberación a voluntad.

Por otra parte, los espacios tienen una absorción adicional debida al aire, que va en sentido contrario al fenómeno anterior. Este efecto sólo es sensible para frecuencias altas y grandes volúmenes, siempre con menor influencia que el anterior.

---

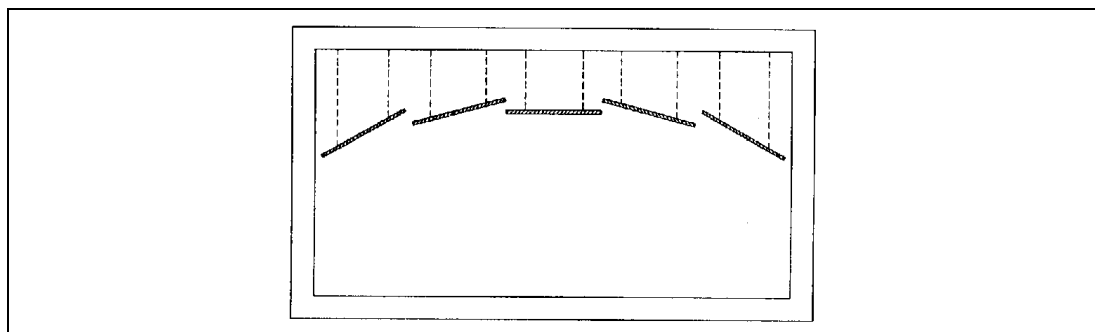


Fig.10.40 Control de reverberación con volumen variable

Desde el punto de vista "climático", en espacios grandes se debe tener presente cómo la estratificación ya comentada puede repercutir en la ausencia de uniformidad de las condiciones. De todas formas, distinguiremos los efectos radiantes, que se mantienen con el cambio de tamaño, de los de convección, que dan poca uniformidad en grandes espacios.

### Forma

La geometría del espacio tiene muchas repercusiones ambientales, de las cuales trataremos las más evidentes. Desde el punto de vista "lumínico" la calidad de la distribución de la luz depende de la situación de su acceso en relación con la forma. En general, los espacios irregulares o alargados con acceso de luz por el extremo tienen una distribución de luz poco homogénea.

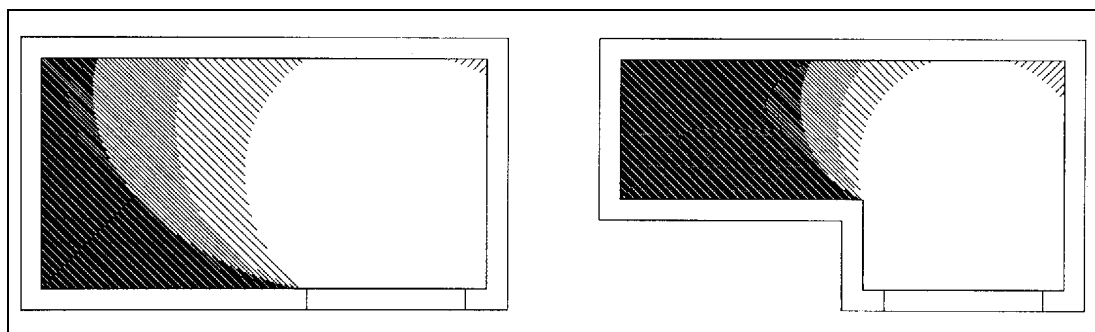


Fig.10.41 Relación de la forma con el reparto de la luz

Por lo que respecta a la "acústica", la forma del espacio interviene mucho en la distribución de la intensidad del sonido. Se debe tener en cuenta que las paredes paralelas pueden producir ondas estacionarias a ciertas frecuencias. En los auditorios, las peores formas son las cúbicas, circulares o esféricas. Los cerramientos planos reflejan el sonido especularmente, los convexos generan difusión, que normalmente es recomendable y los cóncavos focalizaciones sonoras, normalmente perjudiciales. Los espacios con función predominantemente acústica deben tener formas estudiadas para una distribución uniforme del sonido entre los oyentes y para evitar a la vez los efectos nocivos (ecos).

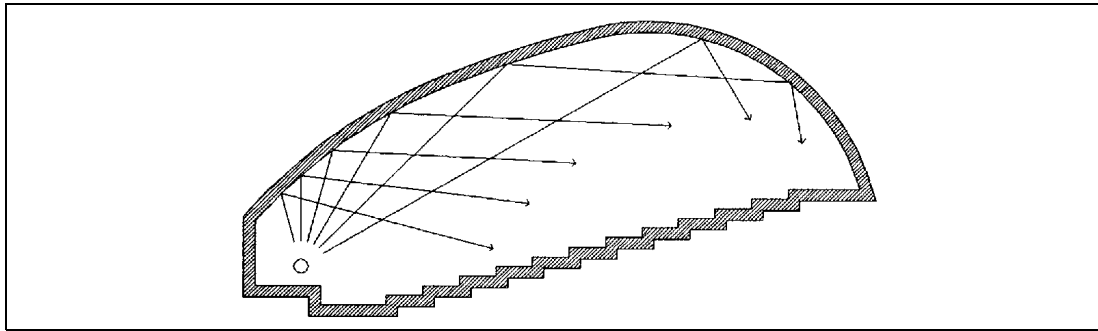


Fig.10.42 Distribución uniforme del sonido

Desde el punto de vista "climático", la forma de los locales no tiene una repercusión clara y basta con considerar que las formas complejas o alargadas pueden repercutir sobre la distribución de radiación y la convección, dependiendo de la disposición de las fuentes de calor dentro del local.

### Proporciones

Las proporciones de los espacios pueden considerarse como una concreción de su forma.

Desde el punto de vista "lumínico" ya hemos comentado el peligro de las formas alargadas en relación a la penetración de luz por un extremo. En este caso, se debe tener presente que la penetración de luz para un plano vertical es inoperante a partir de una profundidad de dos veces la altura del plano de penetración.

Desde el punto de vista "acústico", es importante considerar que hay ciertas proporciones, en locales rectangulares, en las cuales las ondas estacionarias se reparten más uniformemente, cosa que mejora la acústica del local. En recintos de grandes proporciones, se deben prever también los fenómenos de eco y las concentraciones focales producidas por formas cóncavas. La forma elíptica puede ser muy mala si la fuente sonora se encuentra en uno de los focos.

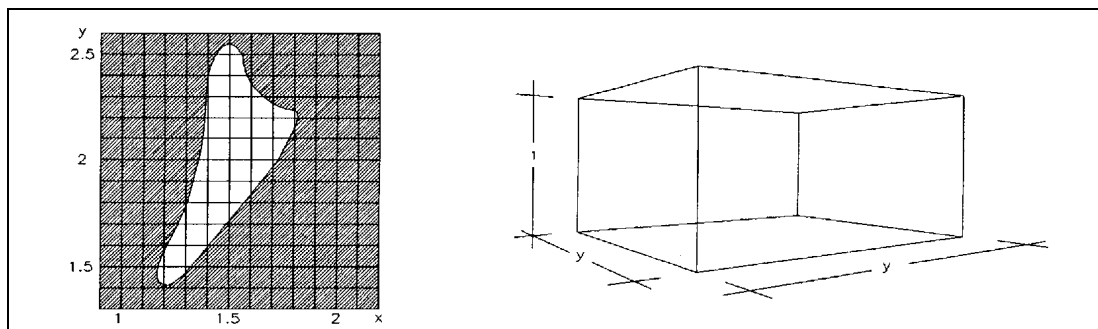


Fig.10.43 Proporciones de locales acústicamente favorables

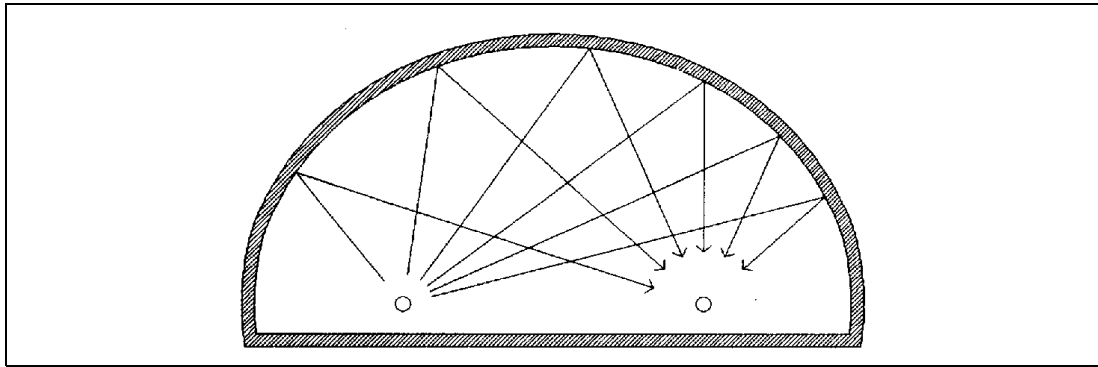


Fig.10.44 Concentraciones focales

Por lo que respecta al punto de vista "*climático*", los espacios de forma alargada mejoran con el acceso de energía lateral, para evitar la falta de uniformidad de condiciones. Igualmente, una altura mayor en un local favorece la estratificación térmica, favorable en tiempo o clima cálido y desfavorable en condiciones frías.

### Desniveles

La creación o existencia de diferencias de nivel dentro de un espacio puede tener consecuencias ambientales importantes.

Desde el punto de vista "*lumínico*", es importante la existencia de escalonamientos en el sentido de exterior-interior. En el caso de que estos escalonamientos sean descendentes, se produce una penetración mejor de la luz. Si el escalonamiento es en sentido opuesto, pasa lo contrario; pero en cambio mejora la visión hacia el exterior por la abertura.

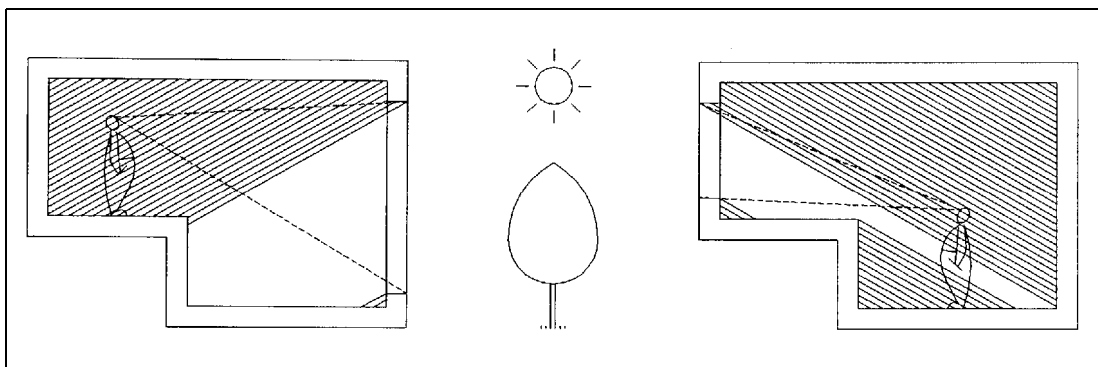


Fig.10.45 Variaciones de luz y visión en locales escalonados

Por lo que respecta a la "*acústica*", las pendientes o escalonamientos de los espacios tienen importancia

en locales de audición, donde la inclinación más favorable acústicamente es ligeramente más pronunciada que la visual, evitándose así el efecto difractor de las cabezas de las personas del público (unos 8 cm por fila).

Por lo que respecta al aspecto "*climático*", cualquier desnivel dentro del espacio habitable produce una estratificación térmica. Por este motivo, se debe procurar que la captación de energía en invierno en los espacios se haga en el nivel más bajo y que la convección sea la que reparta por el local la energía.

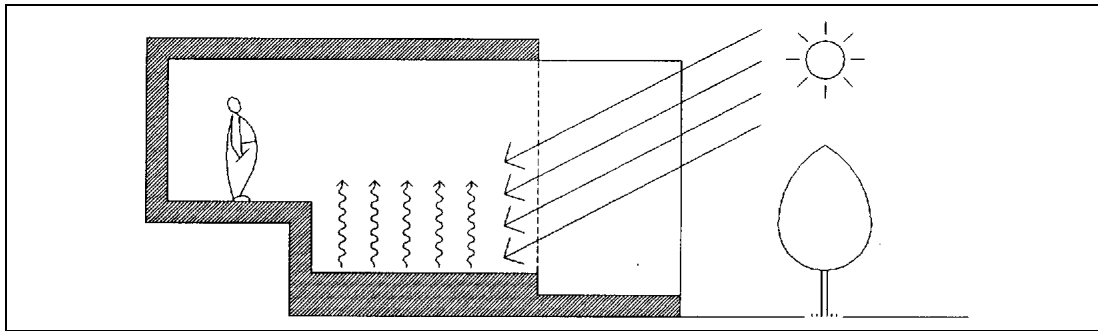


Fig.10.46 Estratificación térmicamente favorable en invierno

De la misma forma, en invierno y en el caso de cielos rasos escalonados, el aire más caliente se acumula en la parte más alta y por este motivo es conveniente prever una salida para el aire en esta situación, con una entrada en la parte inferior, por la parte más baja del suelo.

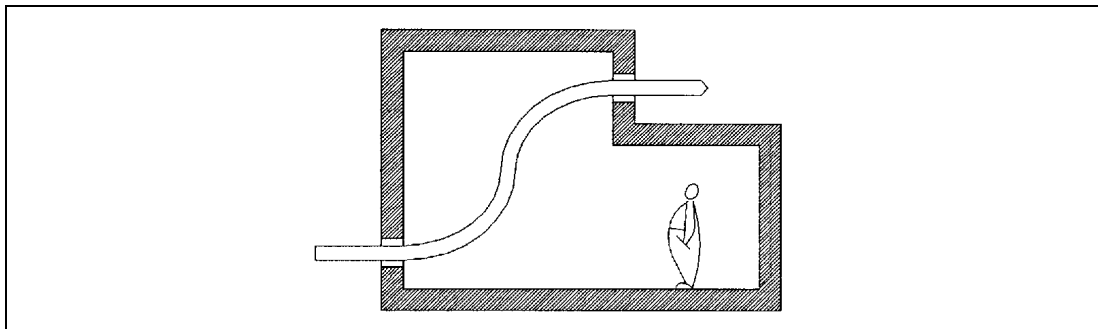


Fig.10.47 Ventilación por estratificación, favorable en caso de verano

## Capítulo 11 Las características específicas del proyecto

En este capítulo volvemos a tratar los temas: **ubicación, corrección del entorno, forma, piel e interior** de los edificios, pero lo hacemos desde una perspectiva más concreta. Tenemos presente la situación en el espacio de los elementos que forman el proyecto y cómo esta situación les influye en el comportamiento lumínico, acústico y térmico. Mientras que en los capítulos anteriores considerábamos el edificio como una entidad única y tratábamos sus características globalmente, aquí distinguimos sus partes componentes, teniendo presente la relación de cada una con las otras y con los agentes exteriores.

Por lo que respecta a la relación del proyecto con el exterior, se deberá tener presente en primer lugar la **orientación**, entendiéndola en un doble sentido: por una parte, está la "*orientación absoluta*", referida a los puntos cardinales y por otra parte, existe la "*orientación relativa*", referida a cualquier agente exterior que no tenga una dirección prefijada (como el viento, el sonido...).

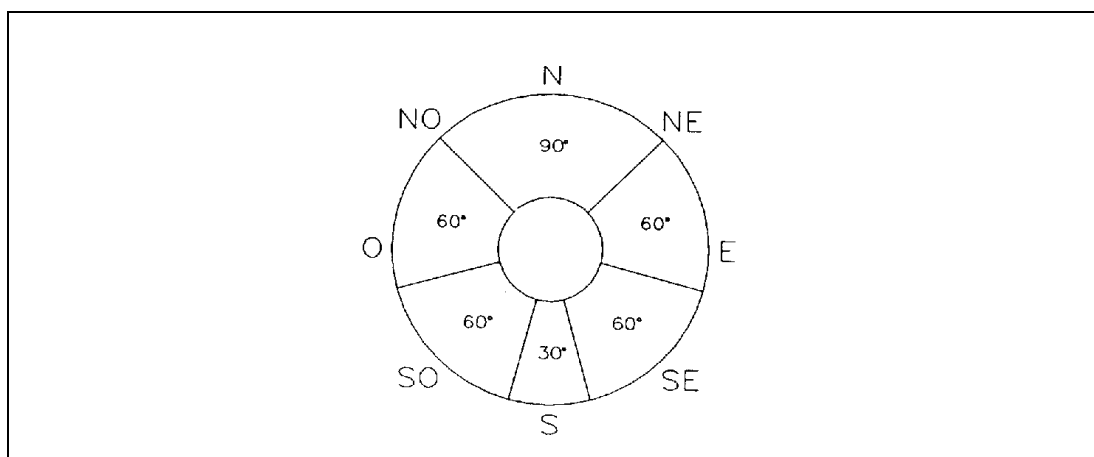


Fig.11.1 Orientaciones a considerar

Si consideramos la relación entre partes o espacios del mismo proyecto, o sea, lo que podríamos llamar su **topología**, se deberán tener presentes todas las complejas relaciones que pueden establecerse en el espacio entre las diferentes funciones incluidas en un edificio determinado. Estudiaremos estas relaciones, lógicamente, al tratar el tema del interior.

## 11.1 Las obstrucciones según las orientaciones

En este apartado trataremos todos los efectos que pueden tener sobre el comportamiento ambiental del edificio aquellas obstrucciones que actúan como barreras, reflectores o desviadores de los agentes ambientales.

Estas obstrucciones pueden provenir tanto de la elección de una ubicación determinada donde existen unas obstrucciones preexistentes, como de las acciones producidas por el mismo proyecto al crear en el entorno del edificio elementos que actúen de esta forma.

### 11.1.1 Ubicación

En el tema de la ubicación nos interesará considerar cómo influye, en los aspectos ya tratados anteriormente, la orientación, absoluta o relativa de los distintos elementos.

#### a) Obstrucciones sólidas

En este concepto consideraremos la influencia de la orientación de cualquier tipo de elemento topográfico o construido, que represente un obstáculo completo a la radiación, el viento, las vistas, etc. Para estudiarlo utilizaremos el gráfico de proyección estereográfica, con los seis sectores angulares establecidos según su importancia ambiental relativa.

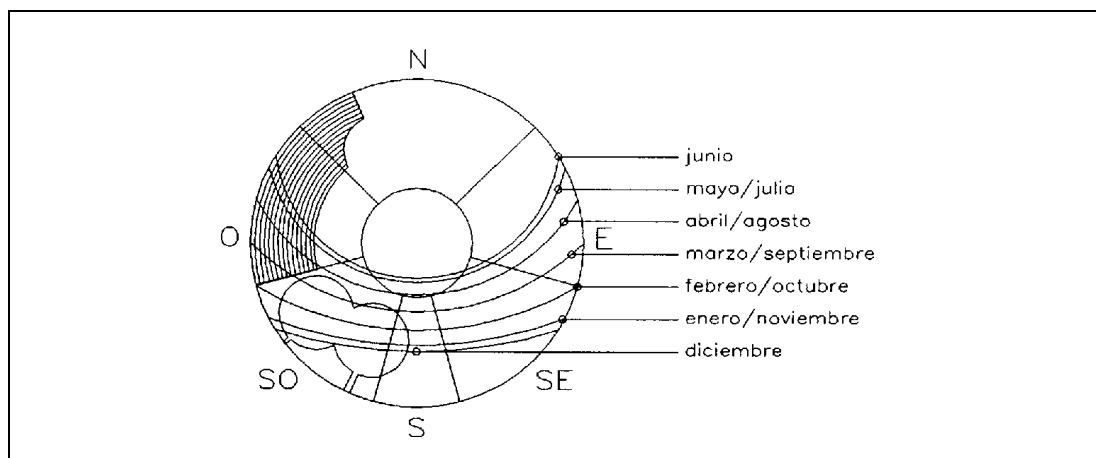


Fig.11.2 Ejemplo de análisis estereográfico de obstrucciones

Respecto a la **radiación**, se deberá comprobar cómo las obstrucciones afectan la trayectoria solar en diferentes épocas del año. En general, serán convenientes las obstrucciones a Este y Oeste que detengan el sol en verano sin hacerlo en invierno; no serán deseables en los sectores SE, S y SO, y serán indiferentes las situadas al Norte.



Respecto a la acción del **viento**, las obstrucciones sólidas pueden modificar sensiblemente su dirección e intensidad. En general se deberá considerar la dirección de los vientos dominantes de invierno (normalmente NO o N) e intentar protegerse con elementos del relieve o construidos ya existentes. En zonas húmedas es interesante favorecer el paso de las brisas y de los vientos más frecuentes en verano evitando obstáculos y buscando ubicaciones donde su efecto sea más acusado.

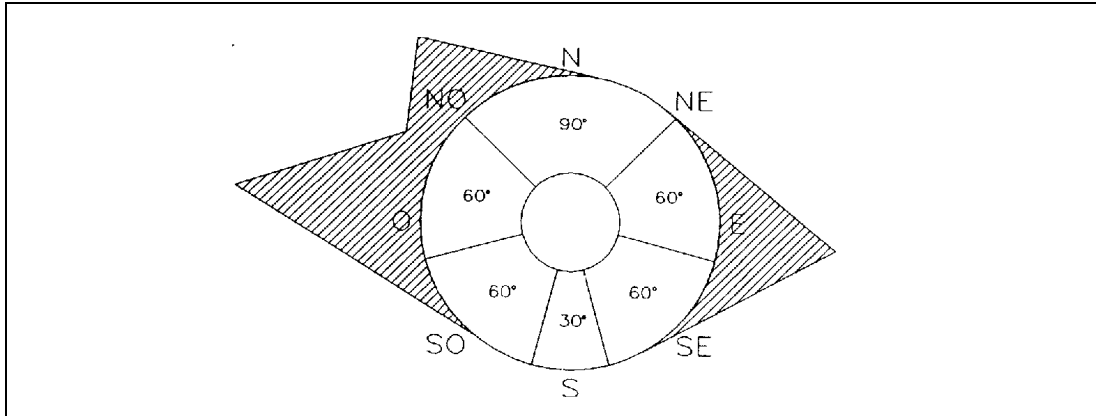


Fig.11.3 Análisis de vientos dominantes según las orientaciones

Respecto a las **vistas**, se deberá hacer el análisis de su interés para las diferentes direcciones y señalar los puntos de interés especial o las visiones que puedan ser molestas. Se debe tener presente la variación según la altura del punto de vista y el posible cambio en el tiempo del paisaje.

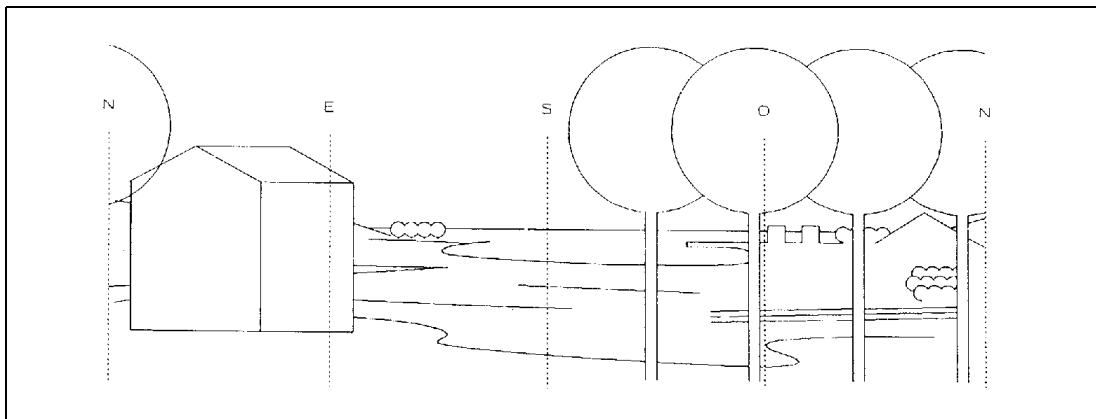


Fig.11.4 Análisis de vistas según las orientaciones

También se debe considerar la acción de las obstrucciones sólidas sobre el **sonido**. La topografía puede servir para disminuir o acentuar la acción de un ruido molesto o de un sonido agradable. Se deben recordar las limitaciones de las barreras acústicas, especialmente por lo que respecta a las bajas frecuencias, aún así su acción siempre será positiva si interfieren la trayectoria directa del ruido.

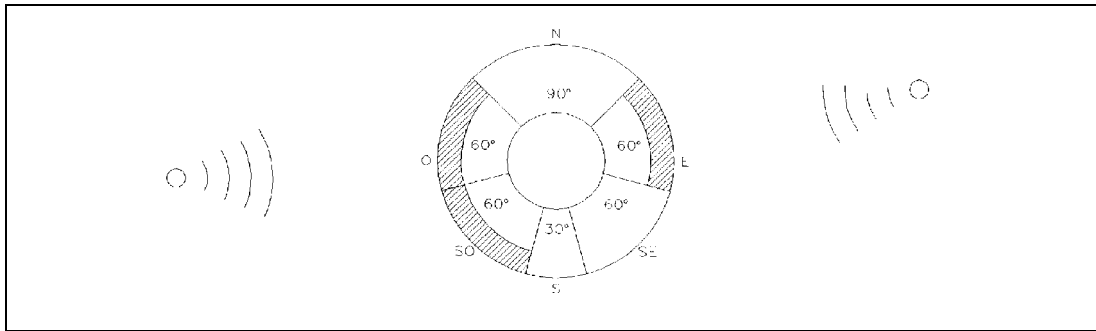


Fig.11.5 Análisis de procedencia de sonidos

Finalmente, en situaciones urbanas se debe considerar la **dirección de la trama** y su tipo y continuidad. En general, las direcciones E-O tienen mejores condiciones de radiación. Las que coinciden con los vientos dominantes son más secas y con temperaturas más oscilantes.

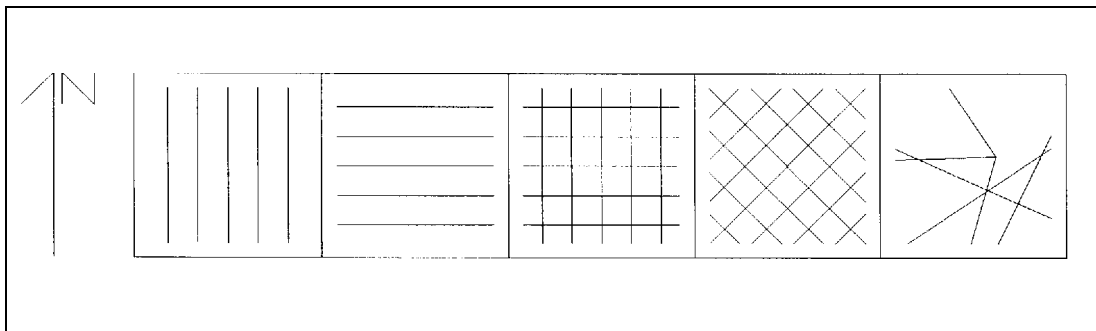


Fig.11.6 Tipo de tramas urbanas

### b) Obstrucciones vegetales

Consideramos aquí la presencia de masas vegetales en distintas orientaciones, que representen una barrera relativa a las acciones de radiación, vistas, viento y sonidos. Las acciones de una barrera vegetal son similares a las de las barreras sólidas, aunque con ciertas diferencias.

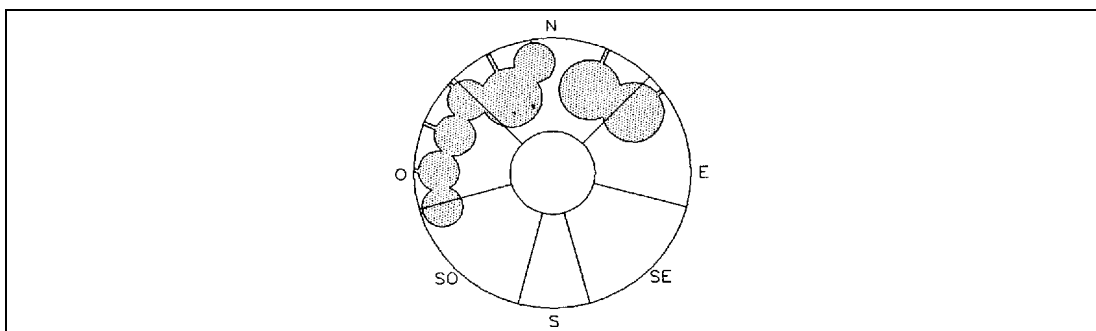


Fig.11.7 Análisis de obstrucciones vegetales según las orientaciones

Por lo que respecta a **la radiación** solar, la presencia de barreras vegetales en las diferentes orientaciones acostumbra a ser más aconsejable que la de obstrucciones sólidas. Sobre todo considerando que con arbolado de hoja caduca, la caída de la hoja permitirá el acceso al sol de invierno, que es el más deseable y a partir del nacimiento de las nuevas hojas parará el sol de verano, que es el más molesto.

Por lo que respecta a las **vistas**, la masa vegetal puede producir una obstrucción relativa mucho más agradable que si se trata de otros objetos que impidan la visión. Siempre se debe tener presente el posible crecimiento de los árboles, tanto en altura como en anchura, que modificará la acción futura de la vegetación sobre las vistas.

La acción de la vegetación respecto al **viento** será muy eficaz, pero la barrera que se interpone debe estar formada por un volumen de arbolado importante y debe permitir un control relativo en el paso de brisas entre los troncos.

En relación al **sonido**, la acción de la vegetación es bastante limitada y se necesitan importantes masas forestales, formadas principalmente por árboles con hojas que no sean de aguja, para tener un efecto apreciable. Pero además de esta influencia directa, se debe tener presente que el efecto visual que se produce tiene una acción acústica indirecta, por el hecho de disminuir psicológicamente la molestia que puede producir un ruido determinado.

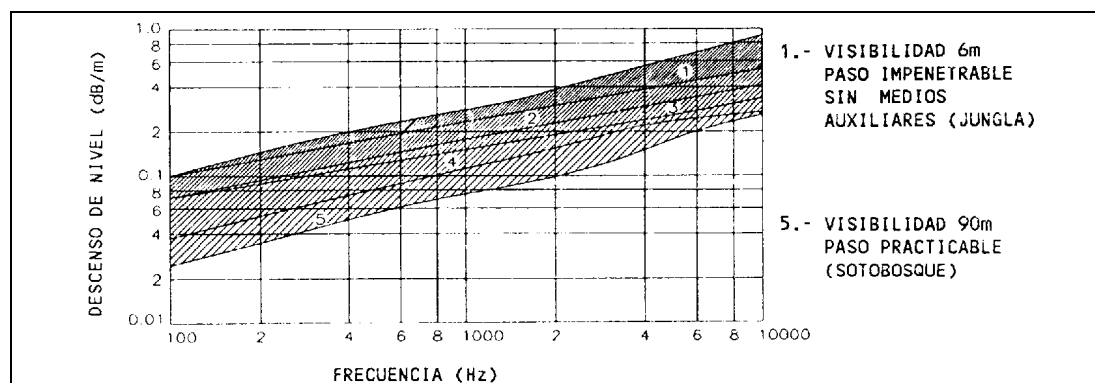


Fig.11.8 Efecto de la vegetación en la atenuación acústica

Además de los efectos anteriores, también deberíamos considerar otros efectos que genera el bosque por sus especiales condiciones climáticas. Así, por ejemplo, los bosques mantienen unas condiciones de humedad bastante constantes (inercia a la humedad), tienen una cierta inercia térmica, pueden generar sonidos agradables, etc.; todas estas condiciones son favorables siempre en relación con la orientación de los vientos dominantes.

### c) Presencia de agua

Los efectos de la presencia de agua en una ubicación determinada pueden ser modificados según su orientación absoluta o relativa.

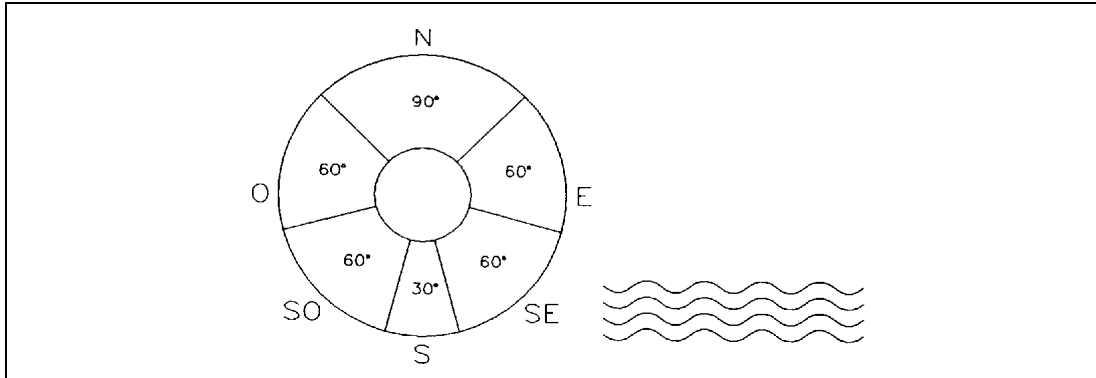


Fig.11.9 Análisis de la orientación de la presencia de agua

La coincidencia de la dirección del agua con la de la **radiación** sólo tendrá importancia por la ausencia de obstrucciones que esto representa o en todo caso, por las posibles reflexiones molestas del sol (levante o poniente).

En relación al **sonido**, el agua puede producir reflexiones de ruidos o sonidos propios del oleaje que aumenten el nivel en el emplazamiento, especialmente si coincide con la dirección del viento dominante.

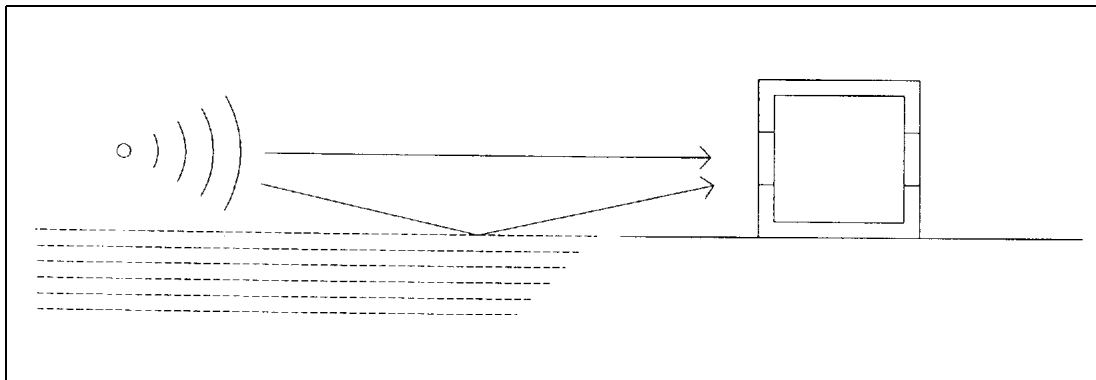


Fig.11.10 Reflexión acústica sobre superficie de agua

La coincidencia con los **vientos** dominantes también puede tener importancia al producir un aumento de humedad que puede refrescar las temperaturas en verano. La acción productora de brisas de las grandes masas de agua puede también modificar la acción de los vientos en unas horas determinadas.



Para protegerse de los efectos de los **vientos** más desfavorables, en general se deberán crear pantallas hacia el Norte.

La supresión de barreras hacia el mediodía casi siempre será favorable, ya que los efectos naturales que provienen de esta orientación, en nuestro clima y hemisferio, acostumbran a ser beneficiosos.

Para controlar las **vistas**, es decir, para favorecer las buenas y protegerse de las malas, sólo se debe tener la precaución de estudiar y dimensionar correctamente las pantallas que podamos crear.

Por lo que respecta a los **sonidos**, se debe considerar la acción protectora de las pantallas, que protegen contra el ruido no deseado, siempre con la limitación de las características de difracción de los sonidos más graves. Por otro lado, se debe tener precaución con las pantallas curvas, porque su geometría las puede hacer actuar como reflectores y concentrar o dispersar los sonidos.

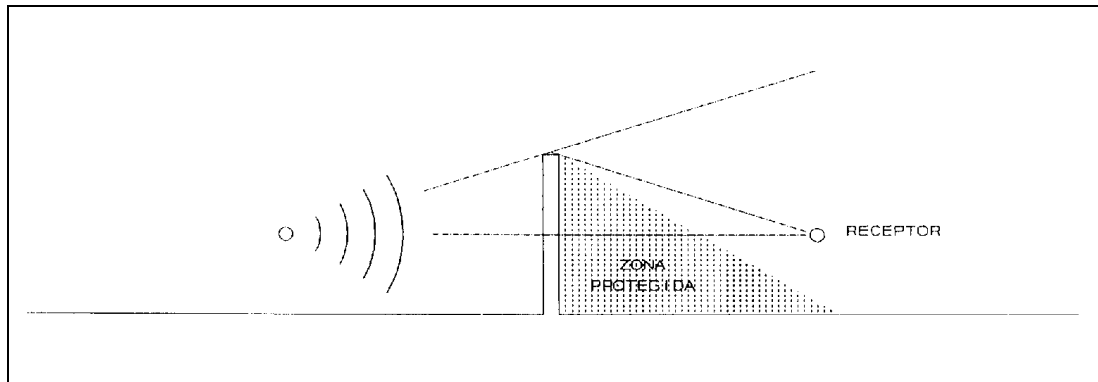


Fig.11.12 Efecto acústico de una pantalla

### b) Las obstrucciones vegetales

La acción de la vegetación sobre el entorno depende mucho de la orientación en la cual se coloque o se suprima, así como del tipo de plantas de que se trate. Su efecto será muy diferente si son de hoja perenne o caduca.

Por lo que respecta a **vistas**, la vegetación puede tener un papel importante y puede establecer barreras que creen primeros planos que alejen el paisaje posterior, visiones entre los troncos, etc.

En relación al **sonido**, la vegetación añadida al entorno ya hemos visto que tendrá muy poca influencia y sólo su acción de pantalla visual podrá representar una mejora sensible.

Se debe considerar también la acción de la vegetación sobre el entorno desde el punto de vista de la **radiación solar** y a la vez los posibles efectos sobre la acción del **viento**. En latitudes medias y climas templados se recomienda una distribución de plantas en torno de los edificios, parecida al gráfico.

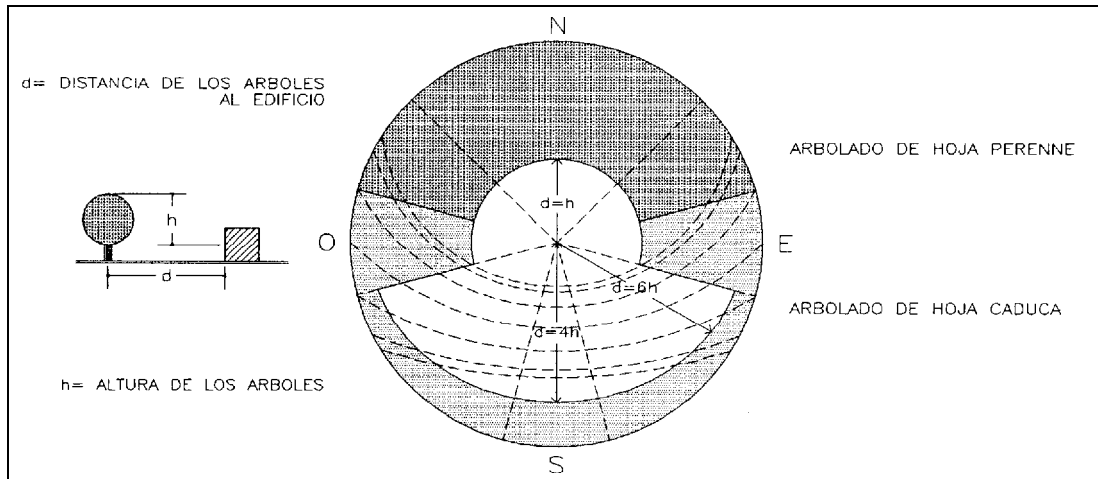


Fig.11.13 Diagrama de distribución de vegetación alrededor de un edificio

### c) Presencia de agua

La acción de la presencia de agua en el entorno próximo del edificio está muy limitada por la escala de la intervención, ya que los volúmenes de agua que se manipulan, por muy grandes que parezcan, siempre son muy pequeños comparados con las cantidades existentes en la naturaleza.

Colocar o suprimir pequeñas masas de agua en un lugar no tiene influencia en su inercia térmica o en la generación de brisas, ya que estos efectos sólo provienen de cantidades importantes. Donde sí pueden influir es en la humedad e indirectamente en la refrigeración por evaporación del agua. Estos efectos se pueden aprovechar en tiempo cálido y clima seco y pueden producir un efecto apreciable si el agua se sitúa en la dirección del viento dominante.

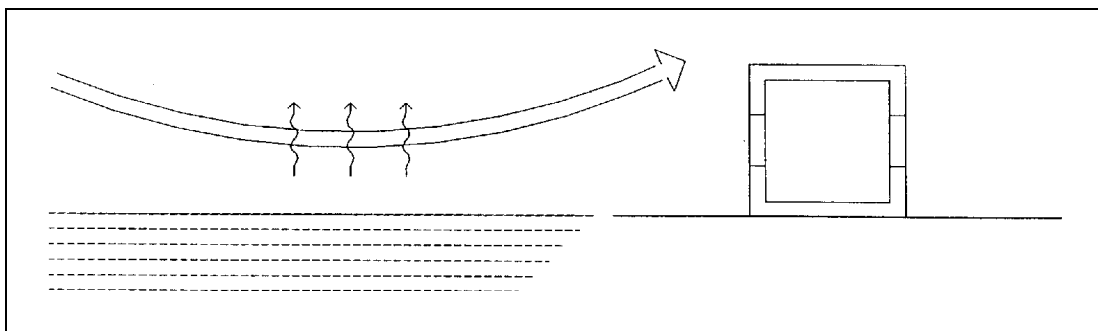


Fig.11.14 Efecto evaporativo

## 1.2 La orientación de la forma general del proyecto

En este apartado consideraremos cómo el comportamiento ambiental, sea térmico, acústico o lumínico de los espacios habitables, cambia según la variedad de formas geométricas que pueden tener los edificios. Esta forma general está influida en gran medida por la orientación que tengan, es decir su posición relativa respecto al sol u otros agentes exteriores.

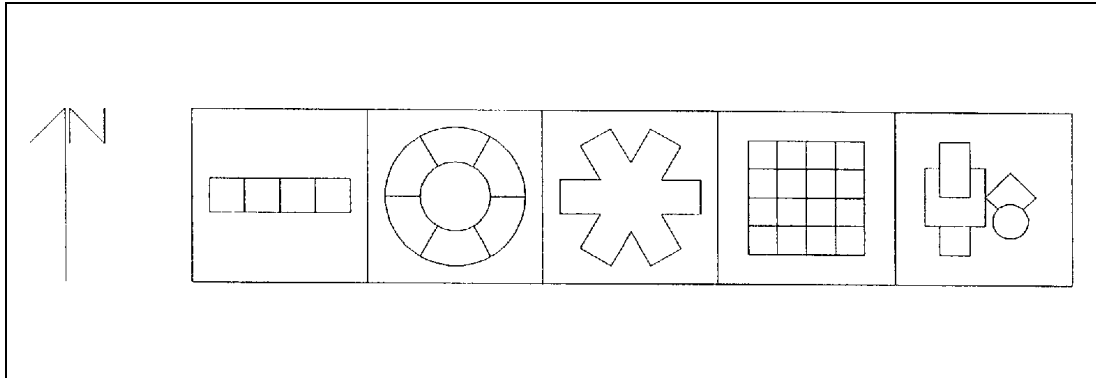


Fig.11.15 Tipo de forma de un edificio

Como consideración general podemos decir que las formas lineales tienen un **comportamiento térmico** mejor durante todo el año si se alargan en dirección Este-Oeste, ya que tienen más posibilidades de captar radiación en invierno con la gran superficie de exposición que representa la fachada a Sur y en cambio en verano captarán poco a causa de que las fachadas Este y Oeste son más reducidas. Las formas centrales y en estrella tienen un comportamiento térmico muy irregular y ofrecen pocas posibilidades de corrección por el efecto de la orientación. Finalmente, las formas en retícula o agregadas tendrán mejores posibilidades de tener un buen funcionamiento si predominan los ejes en dirección Este-Oeste.

Respecto a la acción del viento, la exposición más grande, y por lo tanto las mejores posibilidades de **ventilación**, las tienen las formas alargadas en dirección perpendicular al viento dominante. También se debe considerar el posible efecto de barrera que pueden producir estas formas lineales y las formas asimétricas en L o en U. Si se orientan adecuadamente, pueden favorecer la aparición de espacios exteriores protegidos del viento y crear microclimas exteriores muy agradables.

En relación a la **acústica**, vemos que los conceptos anteriores de efectos barrera son válidos en general, pero considerando que todo lo que se dice respecto a la dirección en este caso se refiere a la relativa a los sonidos que pueden llegar a ser molestos. Las formas lineales y en estrella también pueden actuar correctamente como barreras acústicas, si están bien colocadas respecto a la dirección de donde provienen los ruidos importantes.



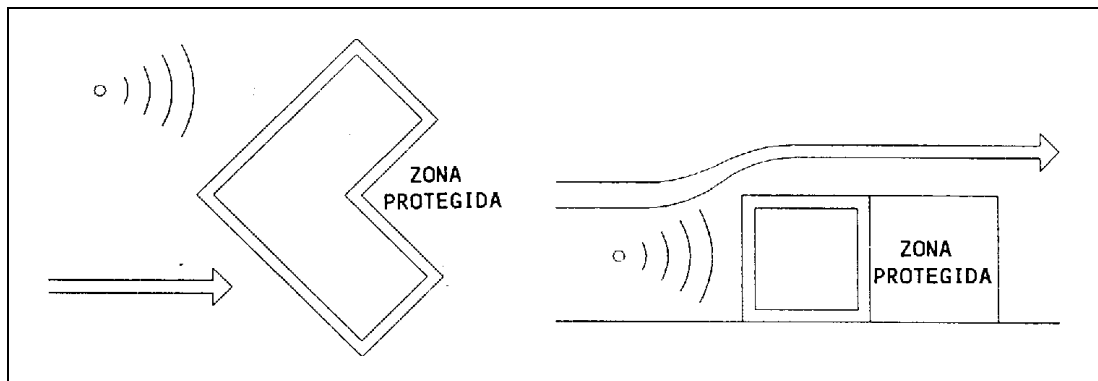


Fig.11.16 Creación de zonas protegidas

En el caso de que existan patios (porosidad) en el edificio, se deberá considerar que existe la posibilidad de que éstos abran principalmente o totalmente en una dirección determinada.

En este caso, se debe preferir la abertura hacia mediodía, en dirección opuesta a los vientos desagradables y según el clima del lugar puede ser conveniente una abertura en dos direcciones opuestas, si se quiere favorecer una ventilación cruzada en relación a las brisas.

### 11.3 Los cerramientos según la orientación

En todos los temas que se refieren a la piel del edificio, tiene una importancia especial la orientación, absoluta o relativa, de las diferentes superficies que forman la envoltura del mismo. Consideraremos así los aspectos ya tratados en el apartado 9.2, que se refiere a la permeabilidad del edificio frente las manifestaciones energéticas exteriores, pero teniendo presentes las orientaciones geográficas y además las orientaciones hacia la cubierta, el suelo o los patios interiores.

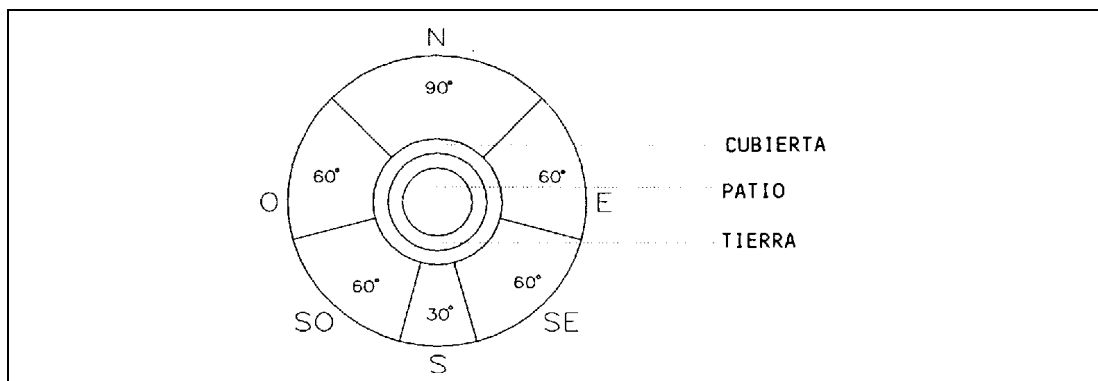


Fig.11.17 Tipo de superficies de la envoltura de un edificio según las orientaciones

### a) Asentamiento y adosamiento

Las orientaciones a Norte, Noreste, Noroeste, al suelo y a cubierta son las más adecuadas para asentar o adosar, protegiendo así el edificio térmicamente y conservando su capacidad captora. También serán convenientes las orientaciones que protejan de radiación, vientos desfavorables o ruidos molestos.

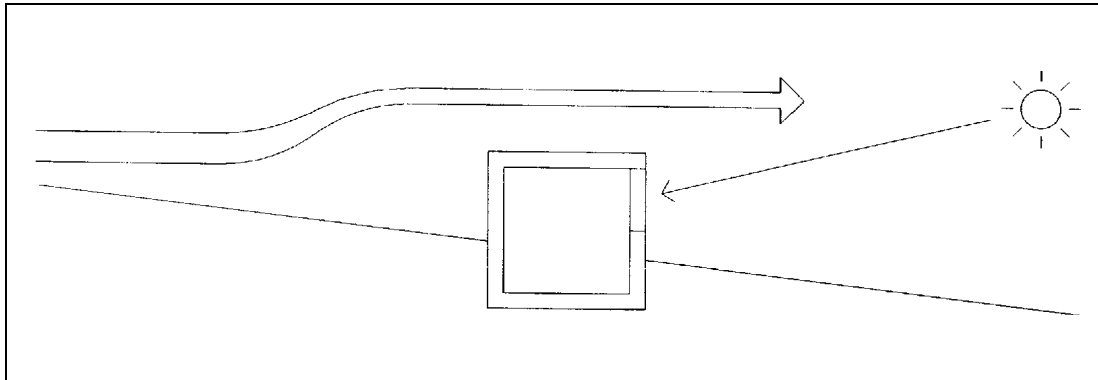


Fig.11.18 Asentamiento y protección

### b) Transparencia

Térmica y lumínicamente, las mejores orientaciones son las SE, S y SO, aunque la ganancia de energía tiene muchas variaciones temporales. Las orientaciones a E y O son peligrosas en verano y las orientaciones a Norte, buenas en verano y muy frías en invierno, con la ventaja de crear una iluminación muy uniforme pero con un nivel más bajo. La transparencia en la cubierta da los máximos niveles de iluminación, pero en nuestro clima es muy peligrosa al comportar un exceso de radiación en verano. En los patios la transparencia puede permitir obtener niveles de luz moderados en zonas interiores que normalmente serían oscuras.

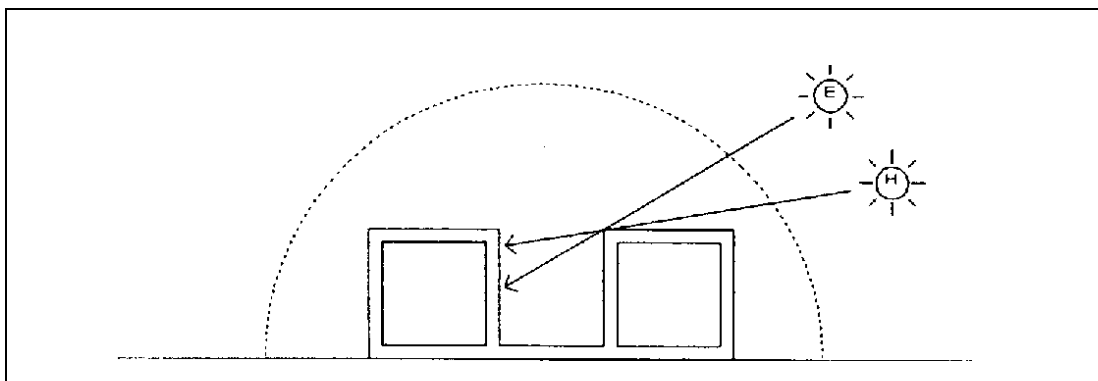


Fig.11.19 Importancia del patio para las zonas interiores

### c) Perforación

La perforación de los cerramientos permite la entrada de aire exterior y por ello se relaciona su comportamiento con el efecto de los vientos y de los sonidos exteriores.

Las perforaciones orientadas a Sur, Sureste y Suroeste permiten la entrada de aire más cálido y las que dan hacia el Norte de aire más frío. Situadas en fachadas opuestas favorecen la ventilación transversal, que es un recurso muy adecuado en climas húmedos, mejorando el comportamiento **térmico** del edificio. Este efecto se incrementa si se abren en dirección a las brisas.

Cualquier perforación en los cerramientos permite la entrada del ruido exterior, aunque la dimensión, la situación y demás características de la misma hacen que no siempre entre con la misma intensidad. En todo caso, para mejorar la **acústica** interior se deben evitar las aberturas en dirección a ruidos molestos. Como normalmente no es conveniente hacer grandes edificios sin perforaciones hacia el exterior, en el caso de que la intensidad acústica del entorno sea realmente muy molesta, se pueden hacer las aberturas hacia patios u otros espacios intermedios.

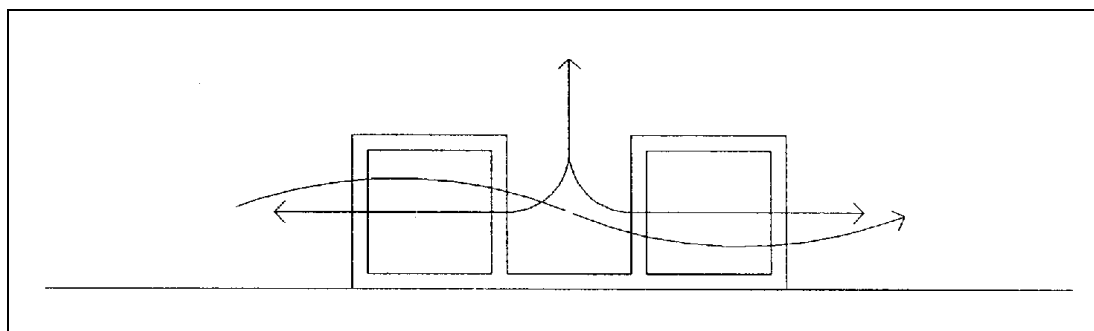


Fig.11.20 Ventilación del interior a través de patios

### d) Aislamiento

Al considerar el aislamiento de un edificio se deben diferenciar las posibles orientaciones, cosa poco usual. El efecto del aislamiento será básicamente **térmico** y para mejorarlo será conveniente reforzarlo en las fachadas orientadas a Norte y en la cubierta, sin preocuparnos si por ello se debe reducir en las fachadas orientadas a Sur, en los patios y en el contacto con el terreno. Este criterio no se limita a las partes opacas de los cerramientos, sino a todas las superficies de la piel y por ello también conviene seleccionar la situación del aislamiento reforzado de las aberturas, mediante vidrios dobles y aislamientos móviles (contraventanas o dispositivos similares).

A efectos **acústicos** el papel del aislamiento térmico es muy reducido y se debe recurrir a otros métodos para defenderse de los sonidos molestos.

### e) Tersura

Reducir la tersura de la piel del edificio con la introducción de entrantes y salientes respecto al plano de la fachada, puede ser **térmicamente** conveniente en verano si estos volúmenes están orientados hacia Sureste, Suroeste, Este y Oeste, ya que aumenta la superficie de intercambio con el ambiente exterior y esto acostumbra a ser conveniente en épocas cálidas. En otras orientaciones y meses del año puede ser un inconveniente, porque acentúa intercambios mucho más desfavorables.

Estos volúmenes que salen del edificio pueden proteger directamente a las aberturas de un ruido aéreo determinado, o actuar indirectamente al aumentar la absorción de las bajas frecuencias y al crear una difusión en las posibles reflexiones del sonido según sus frecuencias. Desde el punto de vista **acústico**, si estos volúmenes están bien dispuestos, son una ayuda importante para evitar la intromisión de ruidos exteriores en los espacios interiores.

### f) Pesadez

La pesadez de la envolvente de un edificio será un factor apreciable si interesa incrementar su inercia térmica. Pero para obtener valores que mejoren las condiciones **térmicas** del ambiente interior, conviene que esta piel pesada esté orientada hacia el sol, es decir, hacia el Sur, Sureste, Suroeste, Este, Oeste y cubierta.

Su acción como barrera **acústica** es muy buena, siguiendo los principios de la ley de masas en el aislamiento acústico, pero siempre se debe tener presente que una barrera al sonido debe ser, antes que nada, continua y homogénea. Por este motivo, aunque un cerramiento pesado tiene en principio un buen comportamiento, la presencia de pequeñas partes de envolvente que sean muy ligeras, le pueden hacer perder gran parte de su valor.

### g) Color

El color de las superficies exteriores del edificio puede ser importante por su repercusión **térmica**, especialmente en el caso de fachadas con poco o ningún aislamiento térmico. En climas cálidos es aconsejable disponer superficies selectivas frías, como son la cal, ciertas pinturas blancas, etc., en las orientaciones más soleadas en verano (levante, poniente y cubierta del edificio). Los acabados oscuros, en contra de lo que pueda parecer, no presentan una mejora con la captación solar en invierno, ya que el incremento de captación que se produce al ser muy absorbentes, se compensa con la mayor capacidad de emisión de radiación. Esto viene determinado por el hecho de que en un caso estamos hablando de cuerpos "*selectivos*" fríos, que son fáciles de encontrar entre los materiales constructivos habituales, mientras que en el otro hablamos de cuerpos oscuros, que no son selectivos, ya que cuerpos "*selectivos*" cálidos no se encuentran fácilmente en el mundo de la construcción.

---

## h) Textura

La rugosidad del acabado de la piel de un edificio tiene repercusiones limitadas sobre los agentes ambientales. La medida relativa que tiene la textura de la piel hace que el efecto posible sea muy pequeño aunque en casos puntuales sí que produce una cierta acción ambiental. Una superficie rugosa orientada al sol puede incrementar ligeramente la capacidad de captación, al ofrecer una superficie de contacto más grande. Aparte de este fenómeno no existen efectos **térmicos** importantes sobre el comportamiento el edificio.

Un acabado superficial muy liso, como es el caso del vidrio, puede producir reflexiones especulares. Este es un efecto **lumínico** puntual que no varía el funcionamiento del edificio, pero que puede producir molestias por deslumbramiento importantes en edificaciones vecinas. Si el edificio con superficies muy lisas es poco compacto, con muchos volúmenes entrantes y salientes, este efecto se puede producir entre los diferentes volúmenes del mismo.

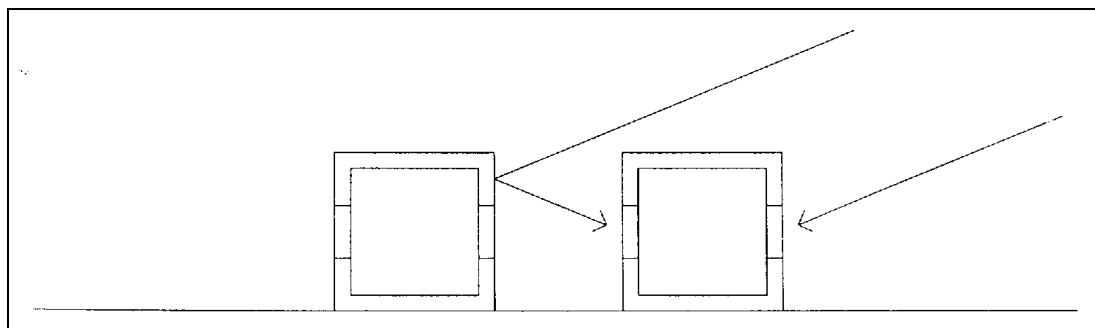


Fig.11.21 Reflexiones especulares entre edificios

Una gran rugosidad en los acabados superficiales de un edificio llega a afectar la **acústica** del entorno, ya que puede absorber o dispersar las frecuencias medias o altas de los sonidos. Este fenómeno puede disminuir la reverberación existente en espacios urbanos que sean relativamente cerrados y estén rodeados por estas fachadas rugosas.

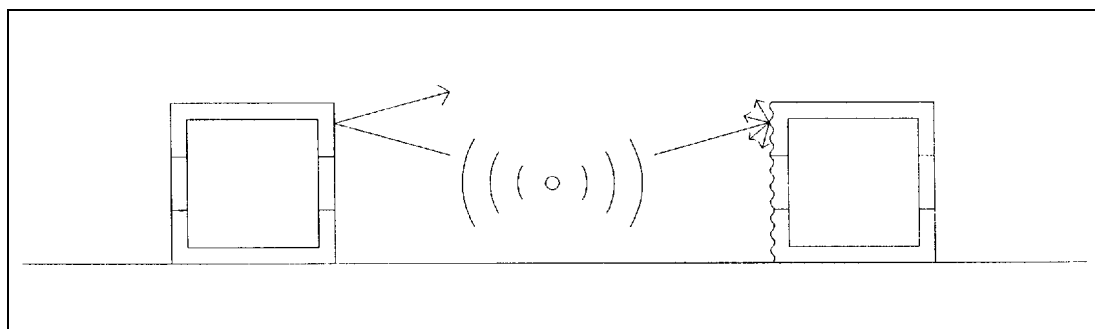


Fig.11.22 Acción acústica de la rugosidad

## 11.4 Topología del espacio interior del edificio

En este apartado consideraremos los ambientes interiores, tanto desde el punto de vista de su relación con las orientaciones geográficas y la dirección de las acciones del clima exterior, como desde el de la relación que pueda existir entre los mismos ambientes entre ellos. Con este objetivo analizaremos las funciones que se desarrollan en los edificios según su importancia relativa y las relaciones "*topológicas*" que tengan con el exterior y con otras funciones.

### a) Tipos de espacios y su orientación

Clasificaremos desde el punto de vista ambiental los diferentes espacios interiores de un edificio en tres tipos generales y partiendo de esta primera clasificación, analizaremos sus relaciones con el exterior.

**Espacios principales.** Son los que piden unas condiciones ambientales de confort más estrictas. Esto se debe a que, en general, son los destinados a un tipo de uso que exige una permanencia continua dentro de ellos. En el caso de las viviendas se trataría de salas de estar, dormitorios, comedores, etc. En el caso de edificios de oficinas serían los despachos, salas de reuniones, etc.

**Espacios secundarios.** Son los que permiten una cierta flexibilidad de las condiciones ambientales. En general, se trata de espacios de uso discontinuo, tanto a lo largo del tiempo como del espacio. En casi todo tipo de edificios pueden ser espacios de circulación, de almacenaje, etc.

**Espacios independientes.** Son los que tienen unas características ambientales propias que, según la función del espacio, pueden llegar a ser muy exigentes o muy diferentes de los otros espacios del edificio. Se trata pues de espacios que no pueden o no suelen estar integrados ambientalmente con el resto. Un ejemplo de este tipo son las cocinas en edificios de viviendas, siempre y cuando no se trate de cocinas-comedores.

---

Desde el punto de vista **climático**, es importante que los espacios principales estén orientados a Sur, Sureste o Suroeste, ya que esto permite que acumulen energía radiante en invierno sin peligro de un exceso de temperatura en verano. Los espacios secundarios pueden utilizarse como barrera protectora respecto a las orientaciones más desfavorables, protegiendo a los principales de las condiciones extremas. Los independientes pueden situarse con cierta libertad, teniendo siempre en cuenta su uso, y evitando siempre que sea posible las peores orientaciones, que podrían dificultar su utilización.

Desde el punto de vista **lumínico**, los espacios principales deben estar en la periferia del edificio, aprovechando al máximo la luz natural. Lo mismo se recomienda para los espacios independientes, pero con menor rigidez que en el caso de los espacios de uso continuado, que es donde la luz natural tiene una incidencia más fuerte en el confort global. Los secundarios pueden alejarse de la periferia, aunque será óptimo que tengan un cierto acceso de luz, o al menos la posibilidad de este acceso.

Desde el punto de vista **acústico**, se deberá relacionar la posición de los espacios con la existencia de ruidos exteriores. Por lo tanto se deberá evitar la percepción de los ruidos molestos en los espacios principales. En este caso pueden utilizarse los espacios secundarios como barreras respecto a las direcciones de donde venga el ruido. En algunos casos también se utilizarán los espacios independientes como barrera acústica, pero, como ya hemos comentado, estos espacios dependen mucho de su uso previsto.

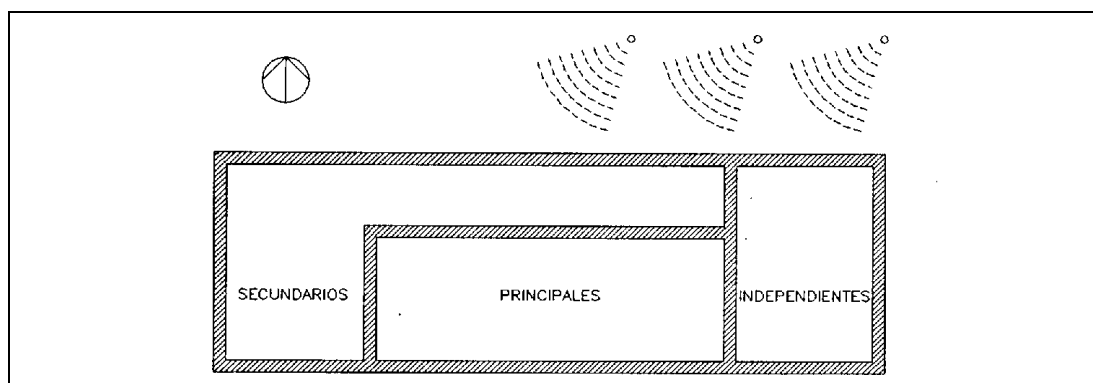


Fig.11.23 Disposición de los tipos de espacios

En el esquema podemos observar cómo de entrada tenemos en consideración tanto la orientación geográfica, como la dirección de donde provienen otras acciones exteriores, tanto climáticas (como puede ser el viento) como urbanas (como puede ser una fuente de ruido exterior). A continuación intentamos proteger al máximo los espacios principales, pero sin que pierdan el contacto con el exterior. En muchos casos estas acciones, que son claras y precisas a la hora de plantearlas, son difíciles de aplicar en el diseño. Cuando el sonido y el sol provienen de la misma dirección, o la dimensión relativa de los espacios principales respecto a los secundarios es desfavorable o en otros casos similares, nos encontramos con que hemos de optar por priorizar un efecto determinado.

### b) Tipo de espacios según sus funciones

Con respecto a la distribución interior del edificio, consideramos las relaciones existentes entre los diferentes tipos de espacios posibles en el mismo, según las relaciones topológicas que se establecen entre ellos de acuerdo con sus características ambientales (lumínicas, acústicas y climáticas).

En este análisis tendremos presente que cada uno de los espacios puede generar o requerir unas condiciones ambientales determinadas y que a la vez, estas condiciones ambientales pueden influir sobre las de los espacios contiguos. Para un primer análisis del problema hacemos una clasificación general de los tipos de espacios, según el tipo de funciones que se desarrollan en los mismos.

TIPO DE FUNCION	ACCION AMBIENTAL
1. Funciones complejas	Producen energía Requieren control
2. Funciones generadoras	Producen energía No requieren control
3. Funciones receptoras	No producen energía Requieren control
4. Funciones pasivas	No producen energía No requieren control

Una misma función podrá tener diferentes clasificaciones desde los puntos de vista lumínico, acústico y climático. A partir de aquí establecemos un cuadro de compatibilidad entre funciones, aplicable a los diferentes tipos de energía que estudiamos y a espacios cualesquiera, incluyendo los exteriores.

FUNCIONES	1. complejas	2. generadoras	3. receptoras	4. pasivas
1. complejas	incompatible	semicompatible	semicompatible	compatible
2. generadoras	semicompatible	compatible	incompatible	compatible
3. receptoras	semicompatible	incompatible	compatible	compatible
4. pasivas	compatible	compatible	compatible	compatible

Como regla general dos funciones incompatibles se deben separar con una función compatible con las dos. A partir de aquí procederemos a estudiar la aplicación concreta de estas relaciones a los diferentes tipos de fenómenos ambientales.



Desde el punto de vista **lumínico** se debe tener presente que no existe ninguna función que genere luz natural en un espacio, aunque existen las que necesitan poca o mucha luz para su buen funcionamiento. En cualquier caso, la compatibilidad lumínica no es muy crítica, ya que es fácilmente resoluble con una separación opaca. Resulta interesante, en cambio, la posibilidad de aprovechamiento de la luz de un espacio bien iluminado para iluminar indirectamente otro espacio mediante una separación translúcida.

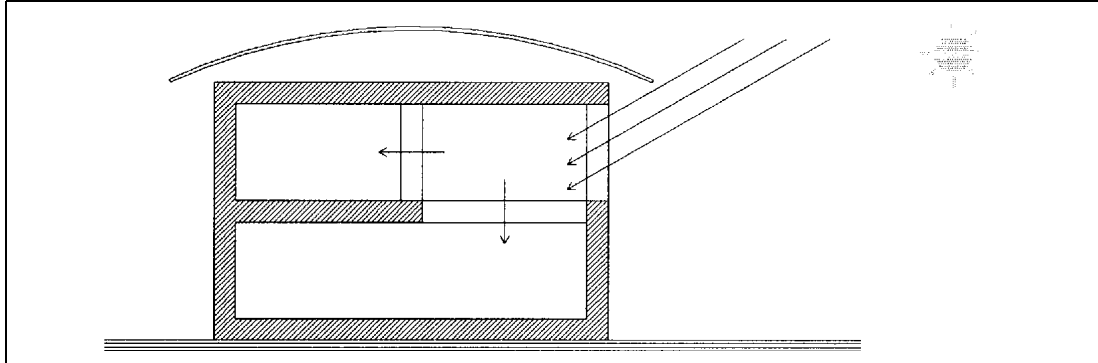


Fig.11.24 Aprovechamiento indirecto de la luz

Desde el punto de vista **acústico**, al hacer la distinción entre los tipos de espacio según su función, éstos son asimilables fácilmente a los tipos generales antes estudiados. Como ejemplos de productores de sonido que a la vez requieren control acústico tenemos: las salas de música, salas de estar con TV y/o HI-FI, salas de reuniones, etc. Como ejemplos del tipo 2, se encuentran dormitorios, bibliotecas y salas de estudio, etc. Como ejemplos del tipo 3, ruidosos pero que no requieren control, tenemos los sanitarios, cocinas, garages, ascensores, salas de máquinas, etc. Por último, como ejemplos del tipo 4, silenciosos y que no requieren control, tenemos armarios, archivos, vestuarios, etc. Como regla general, los espacios pasivos de tipo 4 servirán como protectores, respecto a los de tipo 3, de los de tipo 1 y 2; estos últimos se pueden agrupar sin problemas, pero los de tipo 1 deberían quedar separados entre ellos, hecho que dificulta mucho cualquier distribución espacial.

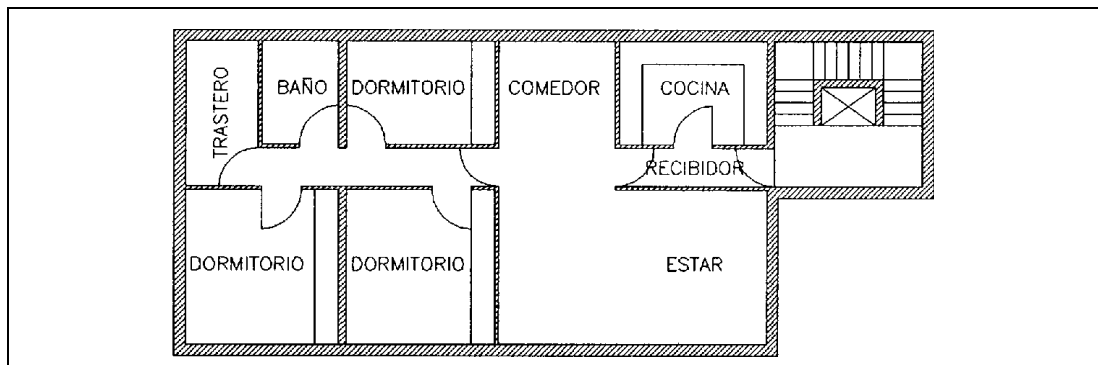


Fig.11.25 Ejemplo de distribución considerando el punto de vista acústico

Desde el punto de vista **climático**, se deberá tener presente que en los edificios actuales no existen muchos espacios que sean generadores de energía térmica, como los espacios tipo 1 y 3. Actualmente sólo podríamos pensar en cocinas y salas de calderas o de transformadores, donde existe un residuo de calor que podría ser aprovechado para locales cercanos del tipo 2, que son casi todos los espacios habitables.

De todas formas también podríamos incluir en el tipo 1 (generan calor y requieren control), algunos locales captadores de energía solar, como son los invernaderos, que pueden servir para ceder energía a otros locales vecinos.

Por otra parte, se debe considerar que en nuestro clima, en verano, se invierten los tipos de relación deseables, ya que el calor deseable en invierno, cuando llega el verano puede producir gran molestia.

El aprovechamiento extremo de cualquier fuente de calor interna, que es un recurso propio de climas más fríos, en nuestro caso puede requerir la presencia de unos sistemas de control muy eficaces que eviten posibles excesos de calor en espacios interiores.

En cambio, en todos los casos, pueden ser muy útiles los espacios de tipo 4, que no generan calor ni requieren control térmico, como es el caso de garages, almacenes, desvanes, etc. Este tipo de espacios son excelentes barreras climáticas, tanto en tiempo frío como en tiempo cálido, ya que actúan como un filtro regulador o aislante, entre las condiciones exteriores y el espacio interior habitable.

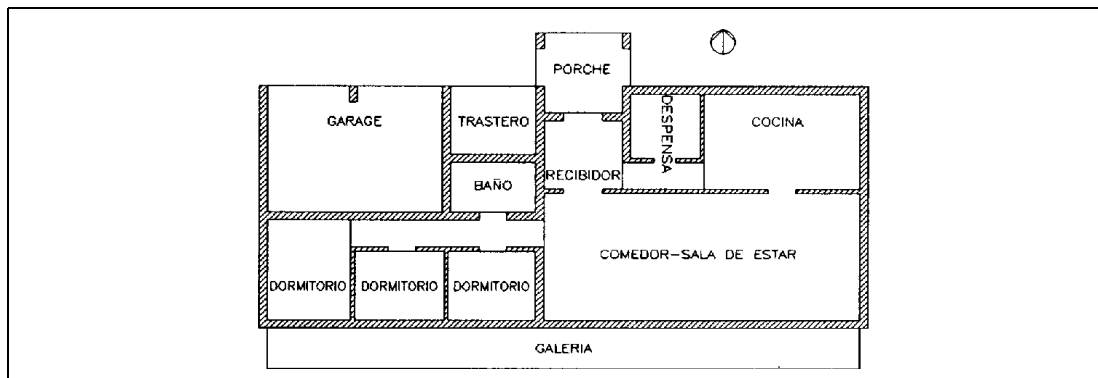


Fig.11.26 Espacios secundarios como protección climática

Teniendo en cuenta todas las consideraciones funcionales, juntamente con las diferentes implicaciones ambientales, al diseñar una distribución espacial interior, haremos prevalecer unos efectos sobre otros. Para realizar esta elección no existe una regla general, porque cada edificio y cada uno de sus espacios internos, es en sí mismo un complejo mundo de relaciones que se establecen a diferentes niveles. En cada caso, la decisión final puede ser y acostumbra a ser diferente, hasta el punto de que, en un caso muy similar al que se ha diseñado una vez, una pequeña variación de cualquier condicionante puede hacer que el resultado final sea totalmente diferente.

### e) Distribución temporal del uso de los espacios

Otro aspecto a tener presente es la simultaneidad temporal que puede existir entre las diferentes funciones o actividades en los espacios del edificio. Este factor puede hacer que sean irrelevantes incompatibilidades que podrían existir en otro caso. Como ejemplo más inmediato tenemos el caso de la relación entre un dormitorio individual y su local sanitario.

Por este motivo puede ser aconsejable en ciertos casos hacer un diagrama temporal de desarrollo de actividades en los espacios. Este análisis puede tener otras utilidades, como el estudio de necesidades y cargas eléctricas o de climatización a lo largo del tiempo.

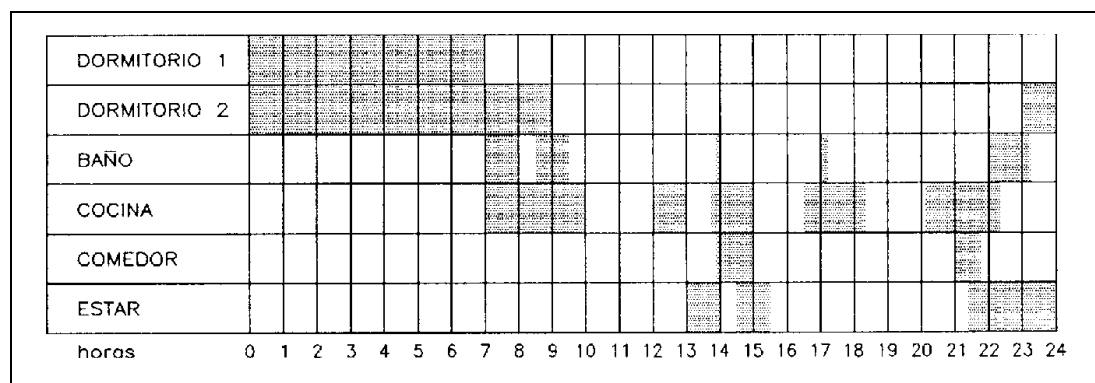


Fig.11.27 Diagrama de distribución temporal de usos

### d) Conexiones entre espacios

Este aspecto, que ya ha sido considerado con carácter general al hablar de la conexión del edificio como un conjunto, puede tratarse ahora teniendo presente, además, la dirección en que se hace esta conexión entre los espacios.

Como primer concepto, toda conexión que vaya en el sentido de un efecto favorable entre dos espacios diferentes, o entre el exterior y un espacio determinado, será aconsejable. De todas formas, siempre se debe recomendar que las conexiones sean regulables y que puedan interrumpirse a voluntad, cosa muy importante tanto en el aspecto lumínico, como en el del funcionamiento acústico y térmico de los diferentes espacios.

La flexibilidad de uso que permiten las conexiones regulables nos puede favorecer para iluminar espacios secundarios desde otros espacios que comuniquen directamente con la luz exterior y poderlos aislar cuando interese. También puede permitir conectar acústicamente dos locales cuando interese y separarlos en otros momentos.

Pero especialmente puede servir para favorecer la entrada de aire y dirigirlo para crear ventilaciones transversales en verano, aprovechando las brisas o los vientos dominantes, mientras que se sitúan barreras térmicas protectoras en invierno. Incluso puede servir para dejar pasar el calor de la radiación solar en determinadas horas del día y épocas del año y de la misma manera impedir este efecto en otros momentos.

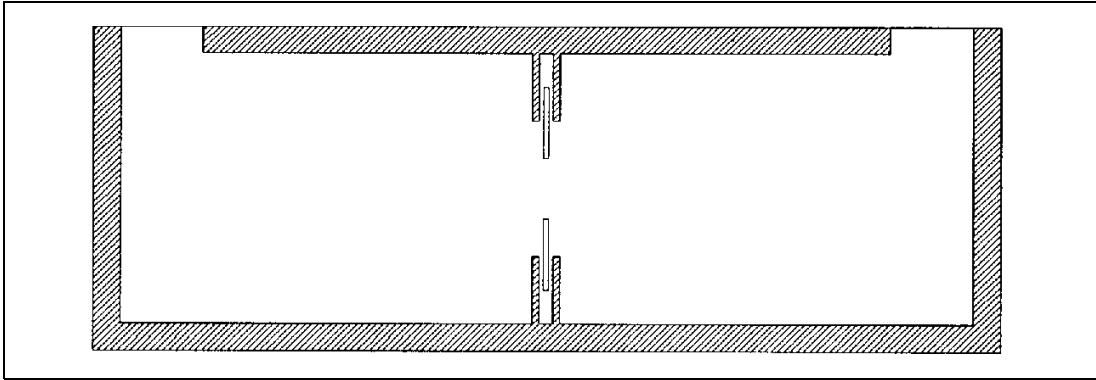


Fig.11.28 Conexión variable entre espacios

Es importante prever las conexiones indirectas entre espacios que se pueden producir por puertas enfrentadas a lado y lado de un pasillo. En este caso, si se quiere evitar esta comunicación acústica indirecta, además de evitar el enfrentamiento directo, se deberá hacer especialmente absorbente el espacio intermedio que queda entre las puertas, ya que la mayoría de estas son un punto débil de aislamiento acústico.

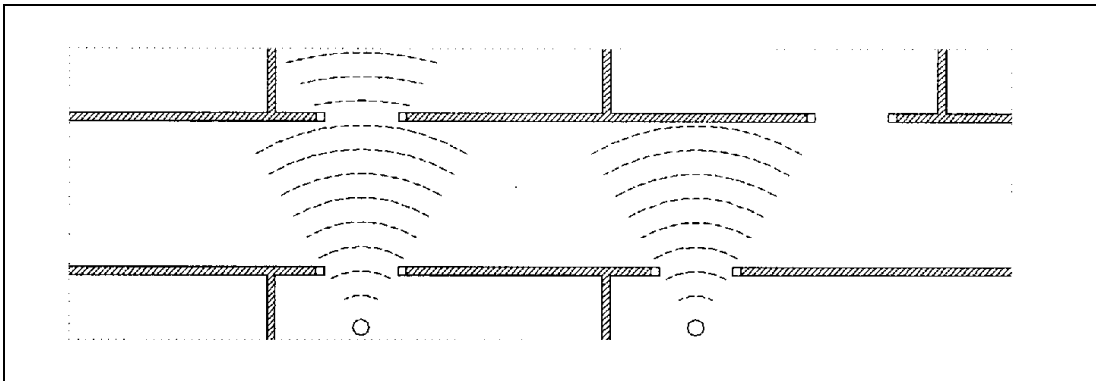


Fig.11.29 Disposición de puertas y repercusión acústica

## Capítulo 12 Sistemas especiales de control ambiental

Después de considerar cómo la situación, la forma general o los acabados de un edificio influyen en su comportamiento energético, pasamos aquí a tratar los sistemas que, con una finalidad ambiental concreta, permiten corregir las situaciones poco correctas desde este punto de vista.

Como repertorio de sistemas que podemos incorporar a los edificios estudiaremos las soluciones específicas utilizables climática, lumínica y acústicamente. Debemos, sin embargo, clarificar primero la terminología que a menudo se utiliza y que supone una distinción entre componentes arquitectónicos y sistemas especiales climáticos, lumínicos o acústicos.

Entendemos, en primer lugar, como **componentes arquitectónicos** las partes o conjuntos de elementos del edificio que pueden ser analizados con cierta independencia del resto, bien sea por su identidad constructiva, bien por su funcionamiento autosuficiente en alguna misión concreta. Nuestro análisis ambiental tratará los que están relacionados con el clima, la luz y la acústica.

Entendemos, en cambio, como **sistemas especiales climáticos, lumínicos o acústicos**, los conjuntos de componentes arquitectónicos que trabajan interrelacionados en un edificio en concreto, a fin de mejorar su funcionamiento ambiental en el aspecto de que se trate.

En la clasificación y explicación que sigue, trataremos independientemente los diferentes sistemas según sean climáticos, lumínicos o acústicos y según el tipo de actuación que tengan. Así y todo, se debe tener presente que, en un proyecto real, estos sistemas se presentan combinados entre ellos e integrados en otros sistemas funcionales del edificio, aunque no sean de carácter ambiental.

---

## 12.1 Sistemas de climatización natural

Son conjuntos de componentes de un edificio que tienen como función principal mejorar su comportamiento climático. Actúan sobre los fenómenos radiantes, térmicos y de movimiento del aire que se producen naturalmente en arquitectura. También se les llama **sistemas pasivos** por el hecho de no utilizar ninguna fuente de energía artificial para su funcionamiento.

Para poder hacer un análisis conjunto de estos sistemas, los clasificaremos según su función en sistemas **captadores** de la radiación solar, sistemas que aprovechan el efecto de la **inercia** térmica, sistemas que mejoran las condiciones a partir de la **ventilación** y del tratamiento del aire del ambiente interior y sistemas que **protectores** de la arquitectura contra excesos de radiación solar.

### 12.1.1 Sistemas captadores

Son aquellos conjuntos de componentes de un edificio que tienen como función captar la energía de la radiación solar y transferirla al interior en forma de calor. Se llaman normalmente "*sistemas pasivos de energía solar*" para diferenciarlos de los "*sistemas activos de energía solar*", que son los que consumen energías auxiliares para mejorar su rendimiento, con mecanismos que incrementan la circulación de los fluidos que transportan el calor captado de la radiación solar.

Los sistemas captadores se caracterizan por su rendimiento a la captación y por su factor de retardo. El **rendimiento a la captación (r)** es la relación entre la energía que penetra en el ambiente interior y la energía radiante incidente, mientras que el **factor de retardo (f)** expresa la uniformidad en el tiempo de la penetración de la energía en el ciclo de 24 h, como relación entre la energía que entra en horas sin radiación (noche) y la que entra como media diaria de las 24 h del ciclo.

Los sistemas captadores de la radiación solar se pueden clasificar en:

- a) Sistemas captadores directos
  - b) Sistemas captadores semidirectos
  - c) Sistemas captadores indirectos
  - d) Sistemas captadores independientes.
-

### a) Sistemas captadores directos

Son aquellos sistemas de climatización natural donde la energía radiante penetra directamente en el ambiente interior que se quiere acondicionar.

La radiación solar atraviesa superficies transparentes a la radiación de onda corta, como es el caso del vidrio de ventanas o lucernarios. Una vez ha penetrado es absorbida por las superficies interiores y las calienta. La energía térmica acumulada se cede al ambiente con retardo y amortiguación, por convección y radiación de onda larga, siendo esta radiación del tipo que no atraviesa el vidrio. La masa térmica en contacto con las superficies del interior sirve para reducir las oscilaciones de la temperatura del aire.

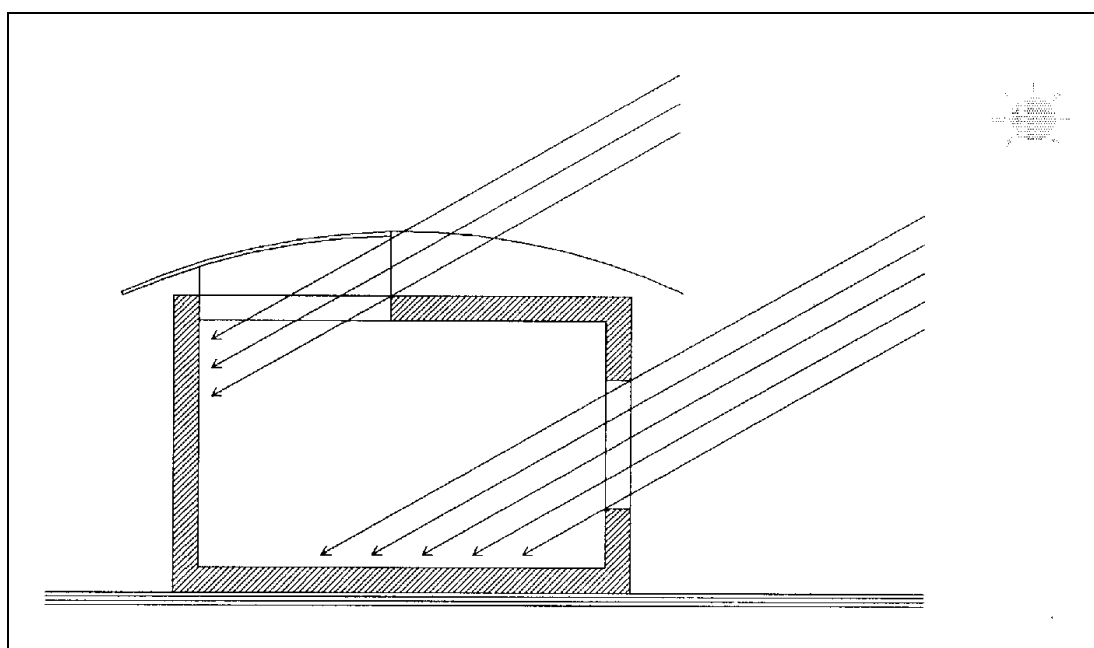


Fig.12.1 Captación directa por ventanas y lucernarios

En los sistemas directos se recomienda el uso de aislamiento móvil en las aberturas, para mejorar el aislamiento nocturno del edificio, que es en general demasiado bajo si existen grandes superficies de vidrio.

Los sistemas directos tienen unos rendimientos a la captación ( $r$ ) variables entre 0,4 y 0,7, según el tipo de vidrio, las carpinterías y el grado de limpieza. El factor de retardo ( $f$ ) es prácticamente nulo.

Los valores típicos son:  $r = 0,55$  y  $f = 0$ .

---

### b) Sistemas captadores semidirectos

Son aquellos donde, entre el ambiente interior y el exterior, se interpone un espacio que capta la energía solar. Este espacio intermedio o invernadero tiene una alta capacidad para captar radiación y por lo tanto, unas condiciones térmicas medias mayores que las del exterior, con una oscilación de temperaturas muy acentuada. La radiación que penetra en el invernadero es absorbida dentro del mismo, se convierte en calor y se puede ceder al ambiente interior por conducción o por convección.

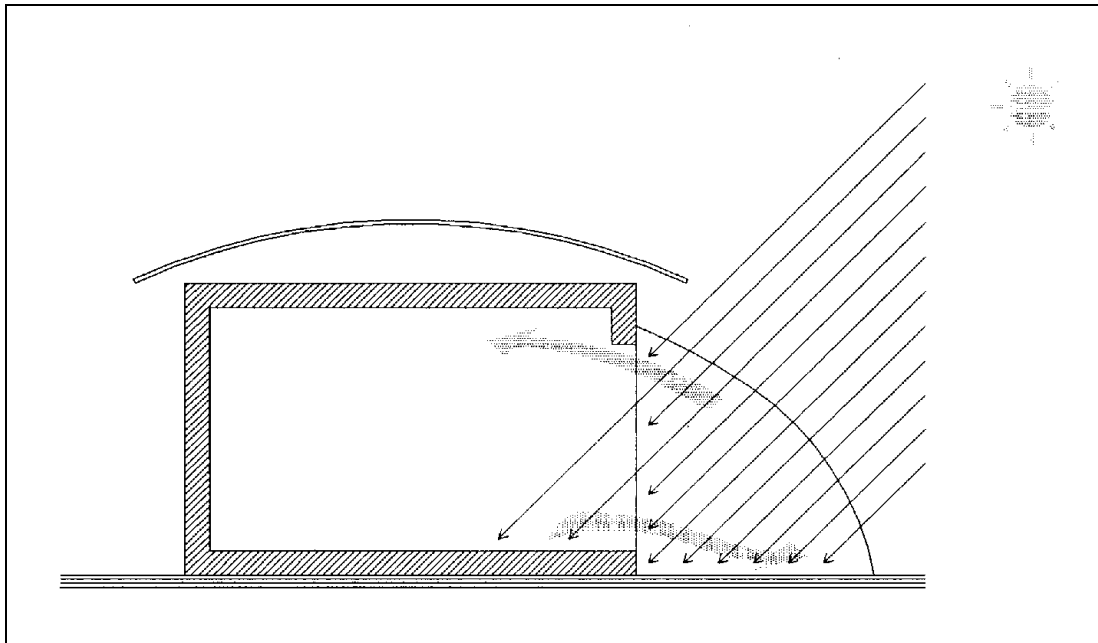


Fig.12.2 Captación semidirecta con invernadero

La gran variación temporal de las temperaturas de este espacio intermedio permite que, en ciertos momentos, su nivel energético sea más alto que el interior y se pueda realizar voluntariamente la transferencia por convección mediante aberturas. Además, los valores medios de las temperaturas pueden ser suficientemente altos como para permitir la transferencia amortiguada a través de un muro separador. El espacio intermedio o invernadero puede ser temporalmente habitable y actuar como una prolongación del espacio interior.

Estos sistemas semidirectos tienen **rendimientos (r)** variables entre 0,12 y 0,30, dependiendo básicamente de su forma (conveniente que sea lo más compacta posible) y del sistema de comunicación con el interior (mejor rendimiento si es con aislamiento móvil). Su **factor de retardo (f)** es bajo, alrededor de 0,3, si la comunicación con el interior básicamente es por convección y más alto, cercano a 1, si la transferencia se hace a través de muros separadores poco perforados y con inercia. Los valores típicos a considerar son: **r** = 0,18 y **f** = 0,4.



### c) Sistemas captadores indirectos

Son aquellos en los que la captación se hace mediante un elemento acumulador que almacena energía, para ceder posteriormente el calor al ambiente interior. La radiación, después de atravesar un vidrio, es absorbida y se acumula como calor en un elemento opaco de gran capacidad térmica. Desde este elemento se cede al ambiente interior como radiación de onda larga y por convección superficial y en el proceso se produce un retardo y una amortiguación de la oscilación de temperaturas. La pérdida de energía del sistema hacia el exterior puede reducirse con aislamientos móviles y vidrios dobles.

Los sistemas indirectos tienen, en general, rendimientos ( $r$ ) entre 0,15 y 0,28, mientras que los factores de retardo ( $f$ ) más habituales están situados entre 0,7 y 1,1.

Podemos clasificarlos en **sistemas indirectos por fachadas, por cubierta o por suelo**, según la situación del elemento de acumulación de calor.

El **muro invernadero o de inercia** es un sistema indirecto por fachada, que tiene un elemento de acumulación vertical, protegido por un cristal y acabado con una superficie selectiva cálida o de color oscuro. Este elemento puede ser un muro construido de obra de fábrica de ladrillo, hormigón o piedra, con gruesos de 30 a 40 cm. Esta gran masa retarda unas 12 h el máximo aporte de energía térmica al interior del edificio. Los valores típicos en este sistema son:  $r = 0,18$  y  $f = 1,05$ .

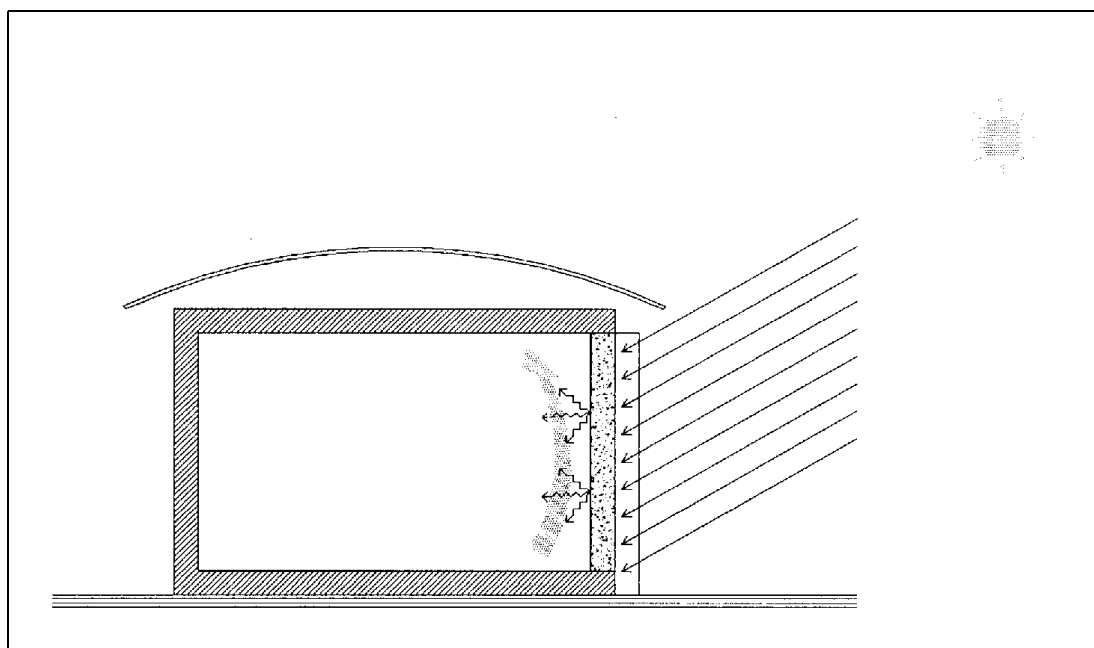


Fig.12.3 Captación indirecta con muro invernadero

El **muro Trombe** es un caso particular del anterior, donde se añaden unas perforaciones en la parte superior e inferior del muro para comunicar la cámara de aire que hay entre el vidrio y el muro con el ambiente interior.

Con esto se aumenta la cesión de calor, por termocirculación en el circuito de aire resultante, que además puede controlarse. Se puede evitar la termocirculación invertida de noche, colocando postigos manuales o automáticos en los orificios del muro. Esta circulación invertida también se puede evitar prolongando la cámara exterior por debajo del nivel del pavimento interior y haciendo los orificios en este nivel, ya que con ello se produce el efecto sifón.

Los valores típicos son:  $r = 0,27$  y  $f = 0,8$ .

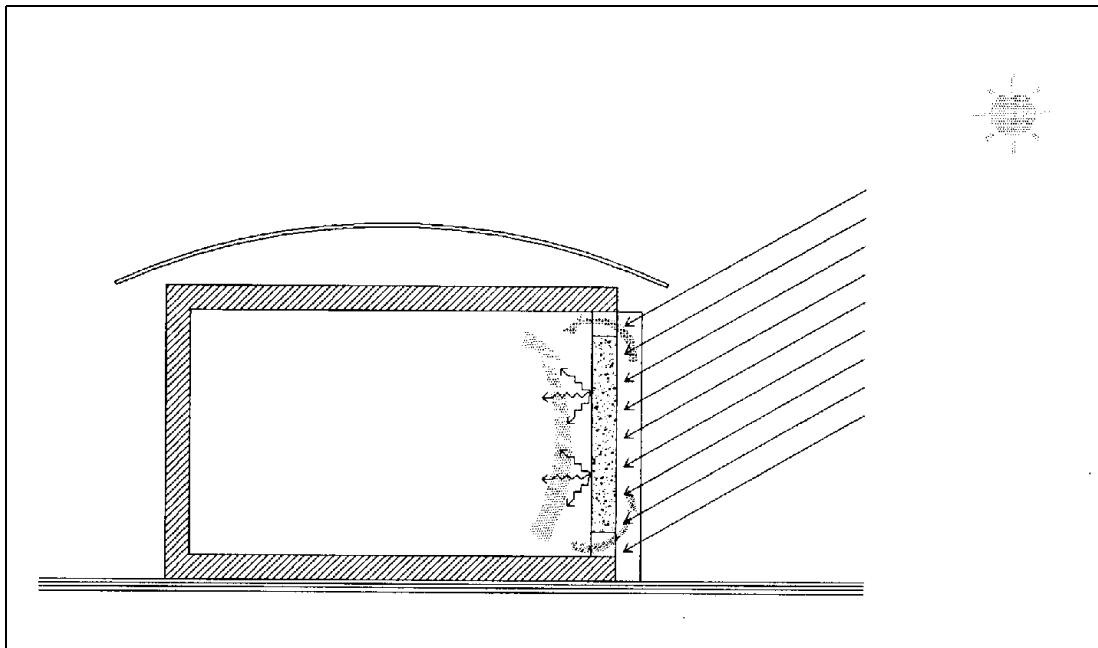


Fig.12.4 Captación indirecta con muro Trombe

El **muro de agua** es un tipo de muro invernadero con la pared formada por contenedores de agua, que almacenan la energía que entra y la ceden por radiación y convección, prácticamente sin retardo, pero con una fuerte amortiguación de su oscilación temporal. Si además existen huecos entre los depósitos que forman el muro, también existe termocirculación de aire caliente que aumenta el rendimiento y reduce el amortiguamiento. Se utilizan unos 200 litros de agua por metro cuadrado de captación.

Los valores típicos son:  $r = 0,22$  y  $f = 0,7$ .

Los **sistemas indirectos por techo** son los que tienen un elemento de acumulación horizontal en la cubierta, que capta la radiación y la cede al interior.

El caso más habitual es la **cubierta de agua o cubierta estanque**, que está realizada con bidones o sacos de plástico transparente llenos de agua, sobre un forjado pintado de color oscuro y buen conductor del calor. La masa de agua se utiliza como almacén de calor, captando en invierno la radiación solar para reemitirla hacia el ambiente interior. En verano el sistema puede refrigerar, enfriándose durante la noche por emisión de radiación hacia el cielo.

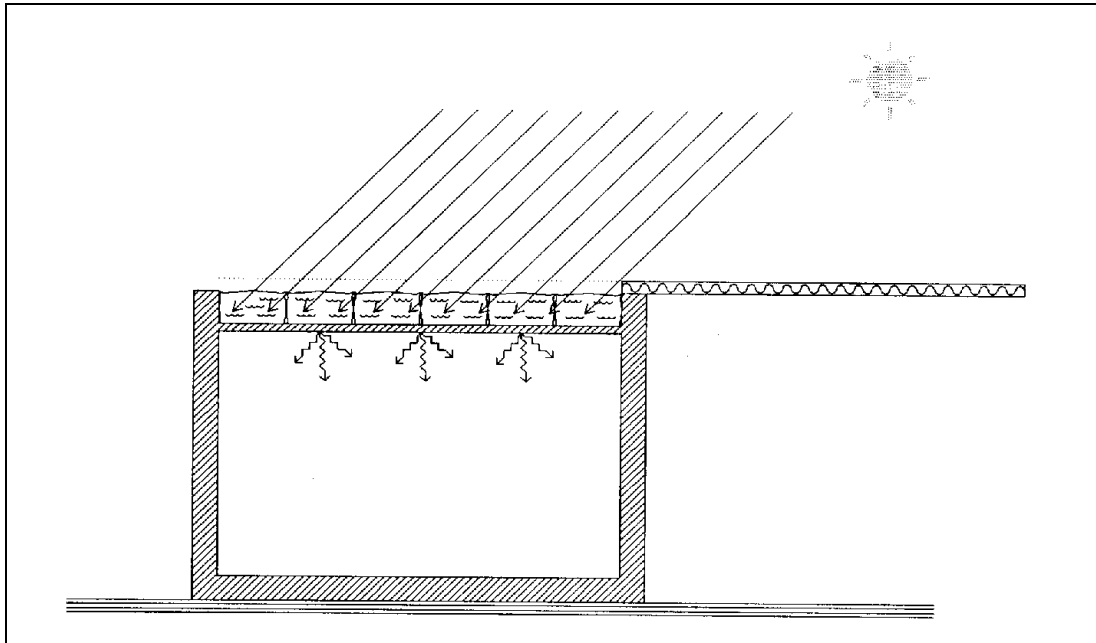


Fig.12.5 Captación indirecta con cubierta de agua

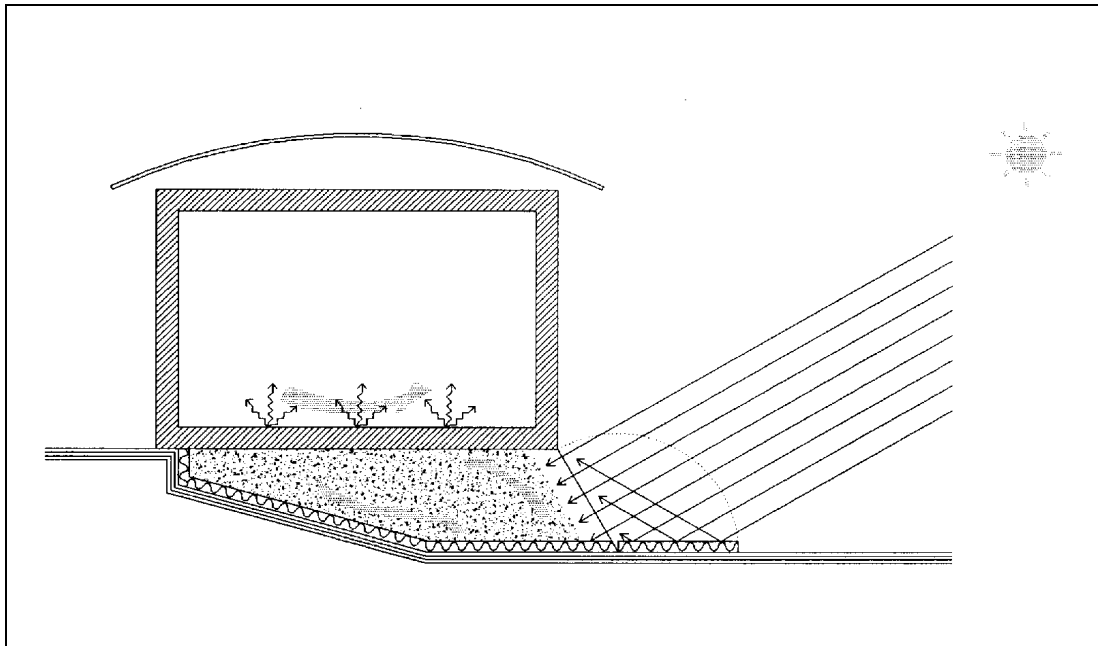
Son sistemas con bajo rendimiento a la captación de la radiación de invierno, que llega con un ángulo desfavorable. Por este motivo son aconsejables en regiones de baja latitud, donde mejora el ángulo de incidencia y además puede ser interesante usarlos también en verano. Como variante en latitudes altas pueden usarse aberturas inclinadas o verticales en una sobrecubierta que protege la acumulación. En todo caso es interesante utilizar aislamiento móvil, de noche en invierno y de día en verano.

La energía acumulada en la cubierta pasa al interior por conducción atravesando el forjado, con retardo y reducción de oscilación. Del forjado al ambiente la cesión es únicamente por radiación, de forma que se reduce el rendimiento del sistema en funcionamiento invernal.

Los valores típicos son:  $r = 0,12$  y  $f = 1$ .

Los **sistemas indirectos por suelo** son aquellos que tienen un elemento captador y acumulador de la energía solar, que está situado bajo el suelo del ambiente interior que se pretende acondicionar.

Este elemento captador y acumulador acostumbra a ser un depósito de piedras o agua, con una alta masa térmica, cuidadosamente aislado y que capta la energía radiante por una superficie orientada hacia el Sur.



*Fig.12.6 Captación indirecta con depósito de grava inferior*

La energía solar pasa desde la superficie de captación al interior del depósito por convección natural del aire o del agua. La cesión de energía al ambiente interior en el caso más directo se hace desde el suelo, por convección superficial y radiación de onda larga y se produce un cierto retardo y amortiguación de la oscilación.

También se puede mejorar el rendimiento y el control mediante un circuito de convección directa, haciendo pasar el aire del interior por el acumulador térmico, donde se calienta y se cede al ambiente mediante aberturas regulables.

Los valores típicos son:  $r = 0,22$  y  $f = 0,95$ .

#### d) Sistemas captadores independientes

Son sistemas de climatización natural donde la captación de la energía radiante, su acumulación y su cesión al ambiente interior que se quiere acondicionar, se hacen mediante componentes que son independientes entre ellos.

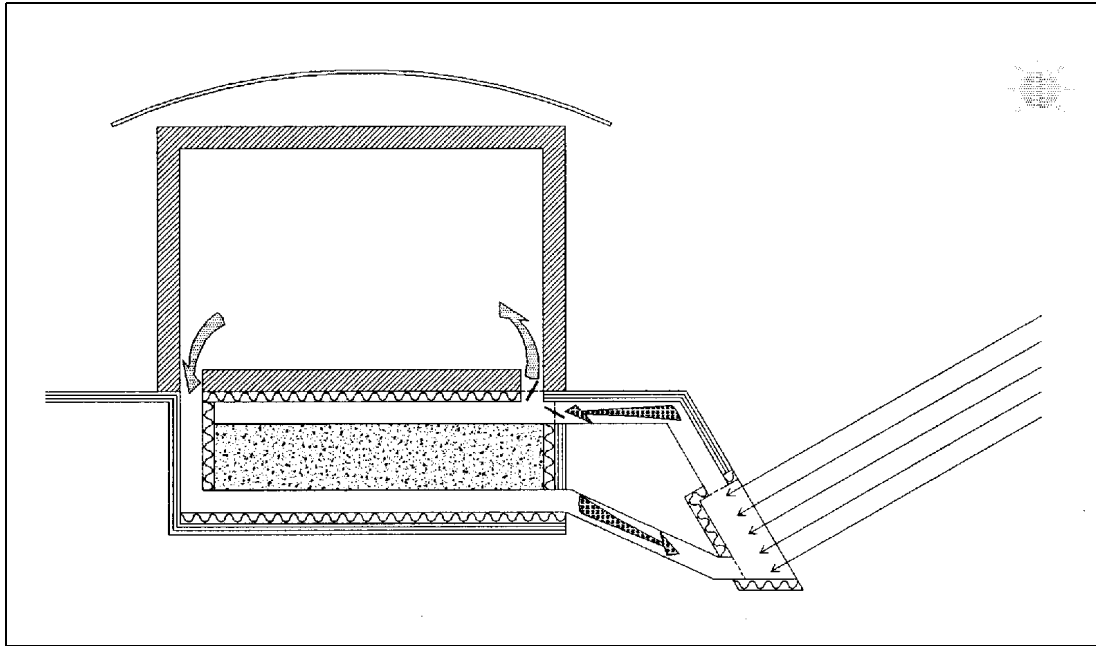


Fig.12.7 Captación por sistema independiente

La transferencia de calor entre componentes se hace por flujos naturales de aire o agua, que circulan por conductos que conectan entre ellos los diferentes elementos. Se pueden incorporar dispositivos de control o regulación a lo largo de estos conductos.

Puede incrementarse el rendimiento del sistema y reducirse las secciones de los conductos utilizando equipos mecánicos para hacer circular los fluidos. Pero esto representa una dependencia del suministro de energía externa y por lo tanto se trata de un sistema que puede ser considerado híbrido o activo y como tal siempre dependiente de dicho suministro exterior de energía.

Los sistemas independientes pasivos tienen rendimientos  $r$  diversos según la disposición de elementos, los tipos constructivos y su aislamiento, con valores normales de 0,2 a 0,55. El factor de retardo  $f$  es bueno, a causa de que el control puede ser voluntario, con un valor ponderado de 1,5.

### 12.1.2 Sistemas de inercia

Son partes o componentes de un edificio que incrementan su masa respecto a la masa constructiva inicial. Actúan estabilizando la temperatura interior frente las oscilaciones de las condiciones exteriores.

Su funcionamiento los hace adecuados para mejorar los efectos de las oscilaciones de temperatura exterior, tanto en el caso del frío como en el del calor.

Estos sistemas están caracterizados por su masa térmica útil, que es la que le conferirá al edificio **inercia térmica** en sus variaciones de temperatura. La inercia del edificio en un ciclo concreto, que puede ser diario, semanal o anual, es la capacidad de retener o ceder calor en el ciclo considerado.

Las masas que tienen un grueso considerable actúan mejor en los ciclos de larga duración, ya que la transferencia del calor tiene suficiente tiempo para atravesar toda la masa.

Los sistemas de inercia se valoran considerando que se puede sumar el efecto de las diferentes masas que integran el conjunto, para dar el resultado final:

$$M_x = \frac{\sum (V_i \delta_i C_{e_i} f_{im_i})}{V_h} \quad \text{en } \left( \frac{\text{Joules}}{^{\circ}\text{C m}^3} \right)$$

donde:  $M_x$  = masa térmica unitaria, diaria ( $M_d$ ), secuencial ( $M_s$ ), o anual ( $M_a$ ),  
 $V_i$  = volumen de cada tipo de material ( $\text{m}^3$ ),  
 $\delta_i$  = densidad de cada tipo de material ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ),  
 $C_{e_i}$  = calor específico del material ( $\text{Joules}/^{\circ}\text{C Kg}$ )  
 $f_{im_i}$  = factor de valoración de la acción de la masa "i", para el ciclo considerado,  
 $V_h$  = volumen habitable del edificio ( $\text{m}^3$ ).

Veremos a continuación, los siguientes sistemas de inercia:

- a) Sistemas de inercia subterráneos
  - b) Sistemas de inercia interior
  - c) Sistemas de inercia en cubiertas
-

**a) Sistemas de inercia subterráneos**

Son los que resultan de enterrar o de excavar, total o parcialmente, el edificio.

Los gruesos importantes de tierra tienen una gran inercia térmica y por lo tanto el interior del edificio queda en contacto con superficies de temperatura prácticamente constante, independiente de las variaciones energéticas de corta duración del clima exterior.

Son sistemas adecuados en climas muy extremados, si el terreno permite la excavación. Se debe tener en cuenta que a menudo la solución de enterrar el edificio no permite utilizar grandes gruesos de tierra y por lo tanto la acción de este grueso sobre el ciclo anual es muy limitada. En el caso de soluciones excavadas, en cambio, es frecuente que los gruesos de tierra aseguren inercias de más larga duración.

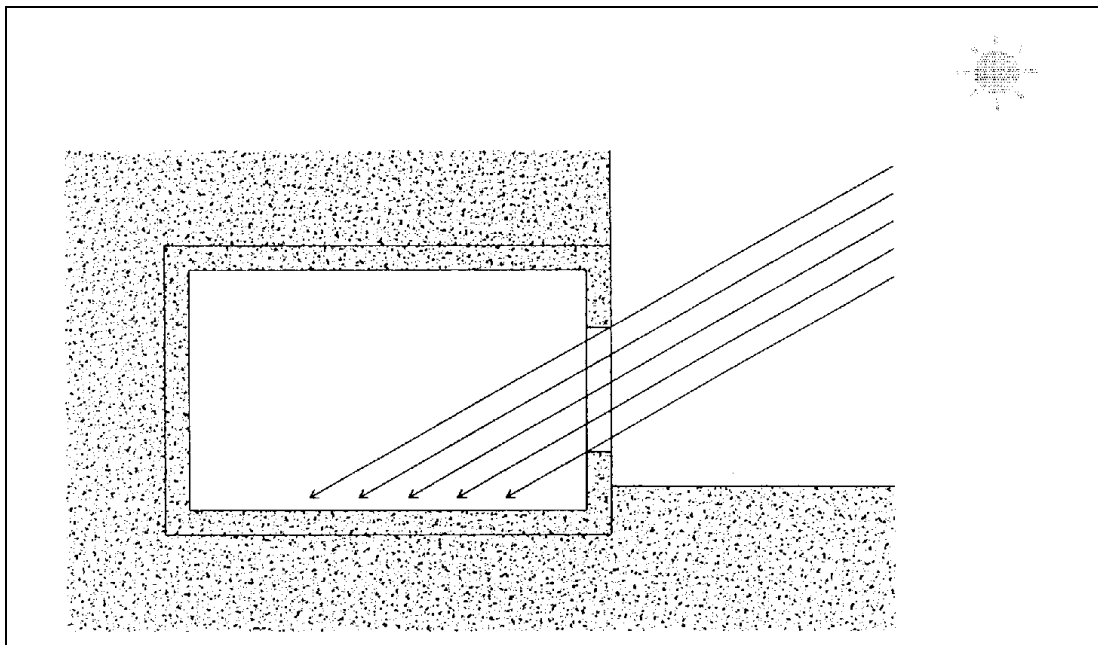


Fig.12.6 Sistemas de inercia subterráneos

Los gruesos útiles para amortiguar oscilaciones de temperatura diarias son de 20-30 cm, mientras que para conseguir este efecto a lo largo de días sucesivos de diferente clima, ciclo secuencial, debe estar entre 0,60 y 1,5 m. Para los ciclos anuales, invierno-verano, los gruesos a considerar están situados entre los 6 y los 12 m, según el tipo de terreno.

### b) Sistemas de inercia interior

Sistemas formados por elementos de gran capacidad térmica situados en el interior del edificio. Actúan amortiguando las oscilaciones interiores de temperatura producidas por la irregularidad de ganancias y pérdidas. Estos elementos pueden ser materiales de construcción pesados o recipientes con agua, debiendo tener un contacto térmico preferente hacia el interior. Esto último significa que el paso del calor de los materiales acumuladores hacia el ambiente interior debe ser mucho mayor que hacia el exterior, lo que es posible situando el aislamiento por el exterior de los elementos de inercia.

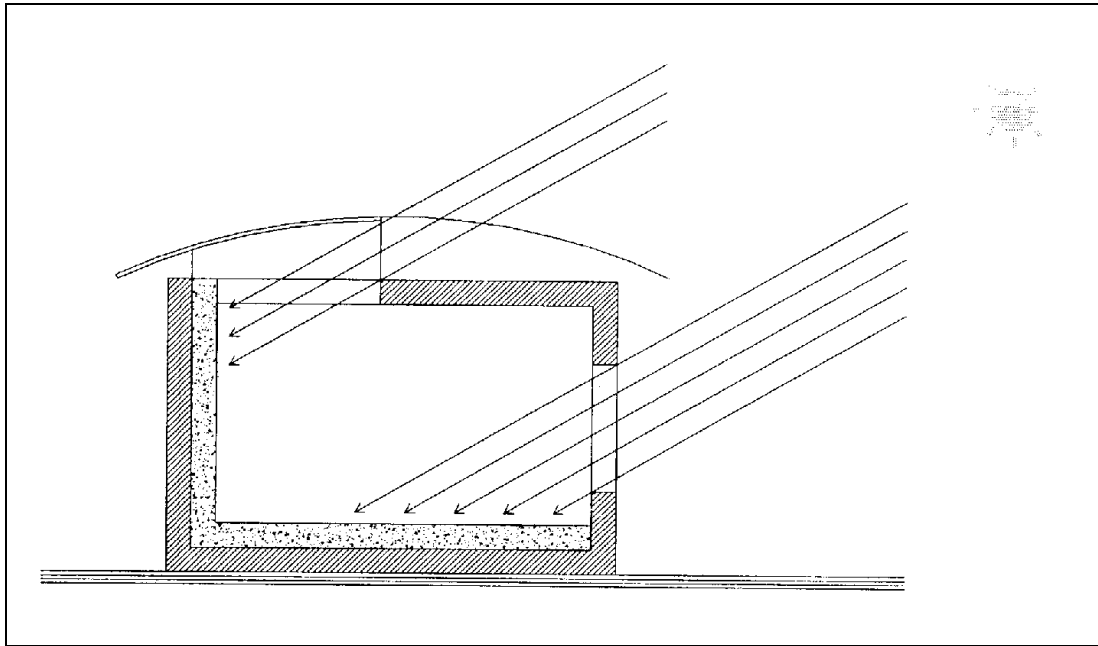


Fig.12.9 Sistema de inercia en el interior

Para favorecer el funcionamiento se deben situar las masas térmicas en las zonas del edificio donde el intercambio energético sea más grande, que normalmente está cercano a las superficies vidriadas, en los locales periféricos, etc.

Si colocamos materiales sólidos es mejor no concentrarlos, sino repartirlos en superficies de poco grueso, para mejorar su actuación en ciclos cortos día-noche. Ahora bien, cuando se trata de masas de agua ya no se presenta este problema de distribución irregular porqué, como el calor se propaga por convección se reparte rápidamente dentro del material.

Son sistemas de mucha eficacia para masas térmicas unitarias de más de  $80 \text{ kcal}/^\circ\text{C m}^3$  habitable, en el caso de materiales sólidos, o de depósitos de  $80 \text{ l/m}^3$  habitable, en caso de utilizar agua.



### c) Sistemas de inercia en cubiertas

Son aquellos que disponen de elementos de gran capacidad de acumulación térmica en la cubierta del edificio.

Estos sistemas actúan amortiguando el efecto interior de las oscilaciones energéticas, en el lugar donde son más importantes, que es la cubierta de los edificios.

Como masas térmicas se pueden utilizar recipientes o bolsas de agua colocadas sobre el forjado, formando la llamada cubierta-estanque o materiales sólidos de construcción de alto peso específico, colocados en el mismo lugar.

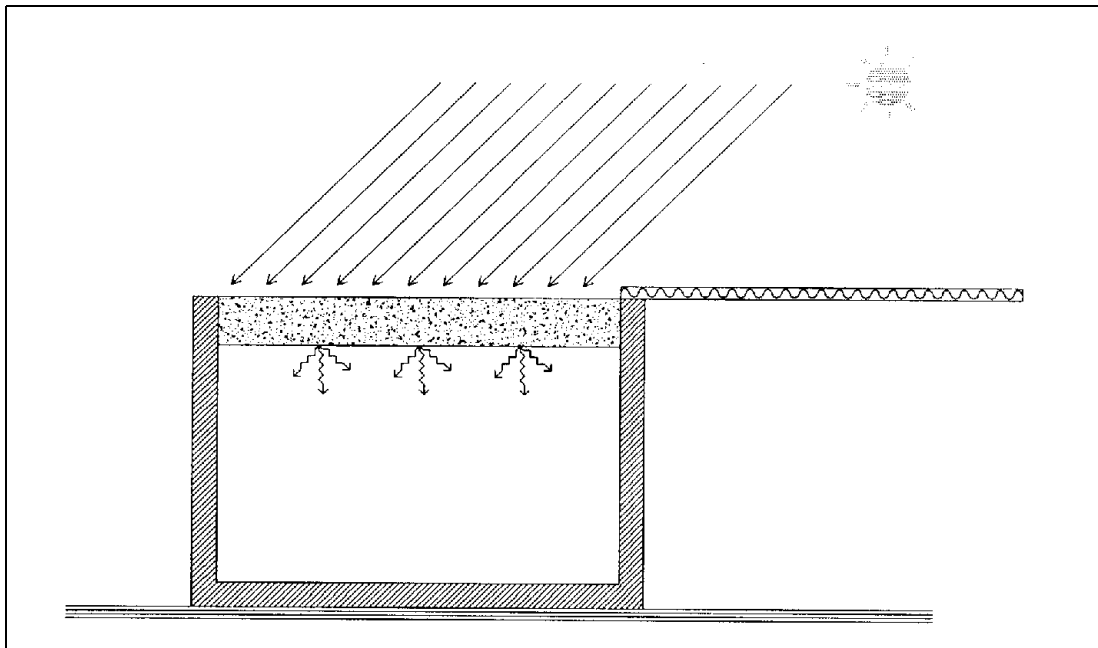


Fig.12.10 Sistemas de inercia en la cubierta

En cualquier caso se debe asegurar una buena transmisión del calor entre la masa acumuladora y el ambiente interior. Se recomienda añadir un sistema de aislamiento móvil exterior para evitar las pérdidas nocturnas en invierno y las ganancias de día en verano.

Como en el caso anterior, estos tipos de sistemas tienen mucha eficacia para masas térmicas unitarias de más de  $50 \text{ kcal}/^\circ\text{C m}^3$ , en el ciclo día-noche. Para conseguir esta inercia diaria se recomiendan unos gruesos aproximados de unos 20 cm de agua y 30 cm de material sólido.

### 12.1.3 Sistemas de ventilación y tratamiento del aire

Son componentes o conjuntos de componentes de un edificio que tienen como misión, por un lado, favorecer el paso del aire por su interior, lo que supone la renovación del aire de dicho interior. Además también puede tratarse el aire de ventilación para mejorar las condiciones de temperatura y de humedad.

Favorecer el paso del aire por el interior de los edificios comporta un aumento de la renovación del mismo y con ello se pueden cambiar las condiciones del interior, ya que podemos introducir un aire más puro, más fresco, etc. Por otro lado, el propio movimiento del aire también puede producir un efecto de refrigeración, por acción de su velocidad relativa al cuerpo humano, ello que significa que en condiciones de calor se incrementa positivamente el efecto de refrigeración para los ocupantes del espacio.

Como también podemos tratar el aire antes de introducirlo al interior de los edificios y mejorar las condiciones, las posibilidades de los sistemas de ventilación se multiplican. Se puede conseguir precalentar el aire de renovación en invierno, humedecerlo en climas muy secos enfriándolo en climas cálidos-secos, etc.

Los sistemas de ventilación y tratamiento del aire se caracterizan, tanto por el caudal de aire que son capaces de mover, como por el cambio en las condiciones del aire que son capaces de producir.

Aunque se analicen como sistemas individuales, en muchos casos dos o más sistemas diferentes pueden trabajar conjuntamente y favorecer mutuamente sus efectos. Esto es lo que normalmente pasa en los casos reales, pero para poderlos analizar los clasificaremos en:

- a) Sistemas generadores de movimiento de aire
  - b) Sistemas de tratamiento del aire
-

### a) Sistemas generadores de movimiento de aire

Son componentes de un edificio que fuerzan el paso del aire y por lo tanto su movimiento por el interior del edificio, mediante el efecto de depresiones o sobrepresiones que se generan. Estos sistemas de ventilación se caracterizan por el caudal de aire que hacen entrar o salir de un edificio, que renueva el aire interior y puede refrigerar a los ocupantes con el movimiento de aire que genera.

Sus efectos se valoran a partir de las renovaciones horarias del aire (**rh**) que se fuerzan, estas rh significan una velocidad del aire interior ( $v_i$ ), que se mide en metros por segundo. Las renovaciones horarias se calculan en metros cúbicos por hora y por metro cúbico de volumen habitable.

El primero y más sencillo de los sistemas para mover el aire es la **ventilación cruzada**, que consiste en favorecer el movimiento de aire de un espacio o de una sucesión de espacios asociados, mediante la colocación de aberturas que abren hacia dos fachadas opuestas.

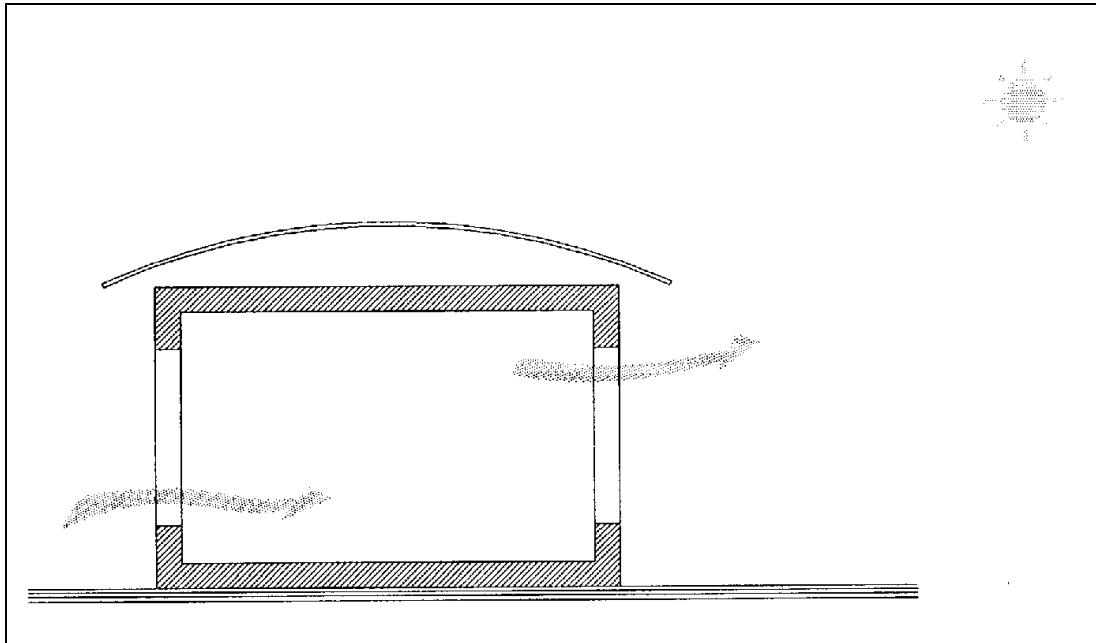


Fig.12.11 Sistema de ventilación cruzada

Es aconsejable en climas cálidos húmedos y también en climas templados en verano. Las aberturas se deben situar en fachadas que estén en comunicación con espacios exteriores con condiciones de radiación o de exposición al viento que sean muy diferentes.

Los valores típicos generados por una ventilación transversal son de 8 a 20 renovaciones horarias (**rh**), en presencia de un viento débil en el exterior.

---

Otro sistema que genera un movimiento de aire interior es el **efecto chimenea**, que se produce al crear una extracción de aire por unas aberturas que hay en la parte superior del espacio, conectadas a un conducto de extracción vertical. La propia diferencia de densidad del aire, en función de la temperatura hace que el aire caliente menos denso salga por estas aberturas superiores.

Este sistema siempre se ha de completar con la presencia de aberturas inferiores para la entrada de aire más frío, de mayor densidad, para poder asegurar su buen funcionamiento.

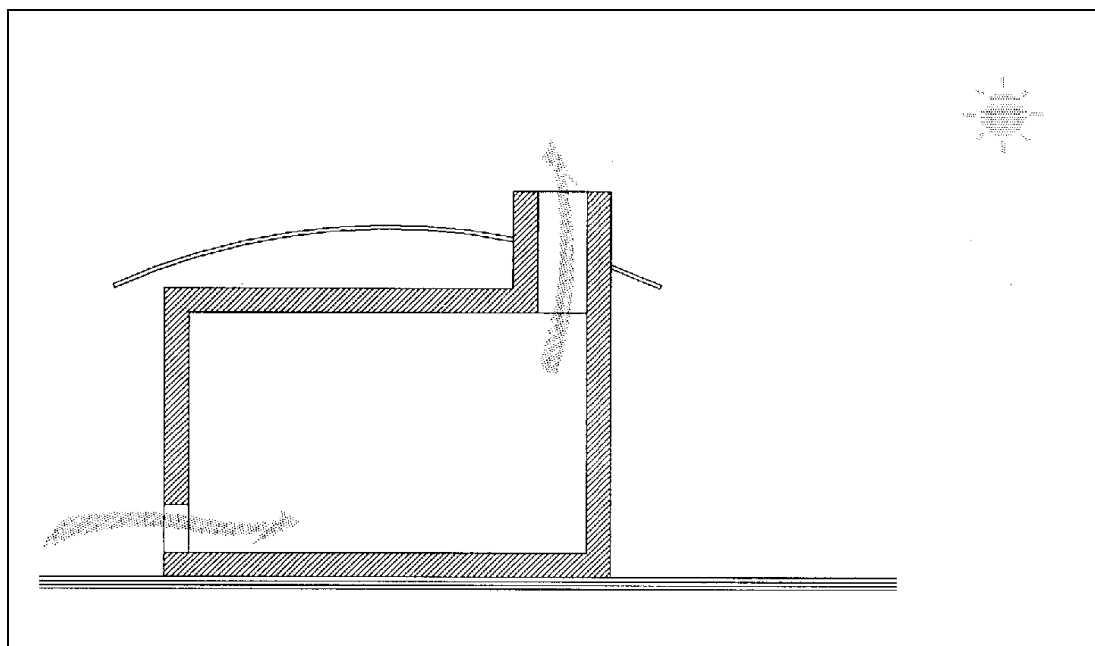


Fig.12.12 Sistema de extracción de aire por efecto chimenea

La ventilación que genera este sistema no es muy alta, ya que las renovaciones horarias (**rh**) a la que se puede llegar no acostumbra a superar valores de 4 a 6.

Es un sistema útil para evitar la estratificación del aire caliente en la parte superior de los ambientes interiores. En espacios con gran conexión vertical es muy fácil que se produzca esta molesta estratificación, que puede evitarse si se han previsto las salidas de extracción. Sin embargo, si no se han previsto desde el inicio, el aire caliente queda acumulado en la parte superior del espacio habitable y ello representa un problema de solución difícil.

Si la temperatura en el exterior es alta, no se genera una buena extracción por efecto chimenea. Para que funcione correctamente debe existir una diferencia de temperatura entre el aire caliente que está en la parte más alta del espacio habitable y el aire exterior.

Un sistema que favorece el movimiento del aire interior por el efecto de una extracción forzada por medio de la radiación solar es la **cámara solar o chimenea solar**.

El funcionamiento de este sistema consiste en calentar el aire que hay dentro de una cámara con un captador de color oscuro protegido por una cubierta de cristal. Al calentarse el aire y disminuir su densidad, se produce un efecto de succión en las aberturas inferiores que están en contacto con el ambiente interior y por lo tanto una extracción del aire interior hacia el exterior.

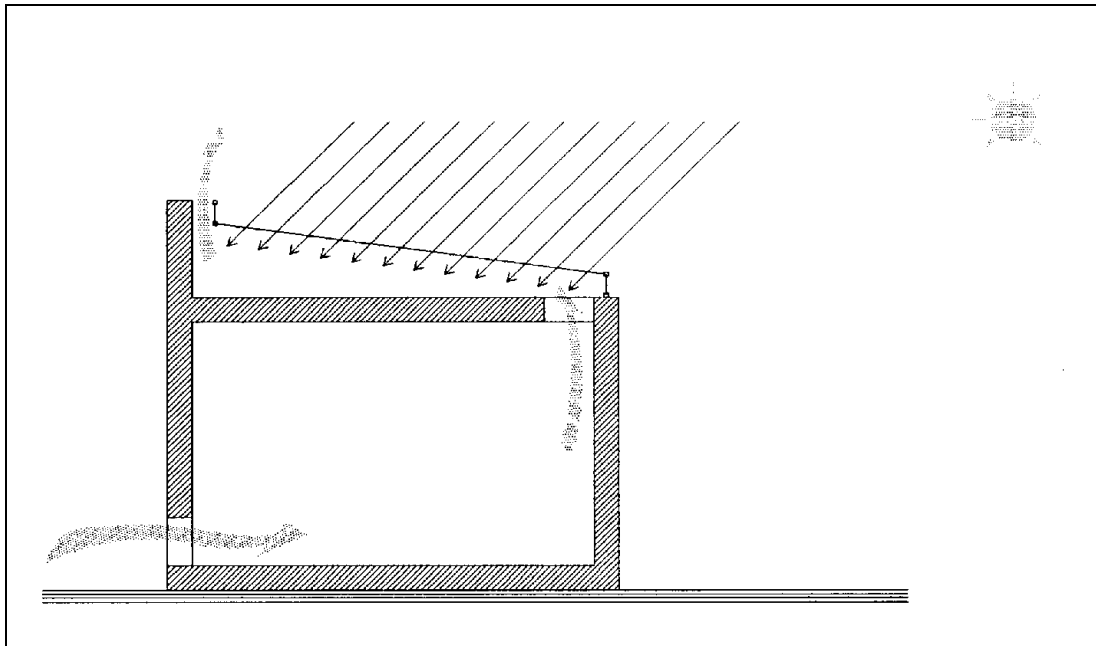


Fig.12.13 Sistema de extracción por cámara solar

Las cámaras solares se orientan siempre hacia la máxima intensidad de la radiación solar. Según la latitud pueden ser aconsejables tanto la orientación a Sur, como hacia arriba, como la Este y Oeste combinadas, de acuerdo también con el horario de utilización previsto.

Algunos sistemas captadores, como el muro Trombe, pueden utilizarse en verano para generar ventilación, si se invierte el sentido del flujo de aire. Esto se consigue abriendo hacia el ambiente exterior las aberturas que hay en la parte alta de la cámara y hacia el interior las aberturas inferiores.

Estos sistemas solares no crean una ventilación demasiado alta, ya que acostumbra a dar unos valores de renovaciones horarias (**rh**) entre 5 y 10 volúmenes por hora. Pero tienen otras ventajas importantes, como el hecho de que pueden combinarse fácilmente con los sistemas de tratamiento de aire, o que el rendimiento del sistema aumenta con la intensidad de la radiación y por lo tanto es más efectivo cuanto más calor hace y más necesario es.

Otros sistemas para generar movimiento de aire en el interior son los **aspiradores estáticos**, que también fuerzan una extracción de aire del ambiente interior que, juntamente con una entrada de aire de renovación, crean este movimiento. Estos aspiradores producen una depresión en el aire interior de un edificio debida a la succión producida por un dispositivo estático adecuado situado en la cubierta, donde al pasar el viento se produce un efecto Venturi, que es el que crea la aspiración.

Como todos estos sistemas que, de una manera u otra, favorecen o fuerzan la salida de aire interior, esta extracción se completará con una entrada de aire, situada en la parte inferior del circuito, para asegurar el funcionamiento correcto.

Existe una gran variedad de tipos de aspiradores estáticos, tanto por lo que respecta a su tamaño, que permite adaptarlos a muchas cubiertas, como por lo que respecta a las formas en las que se fabrican.

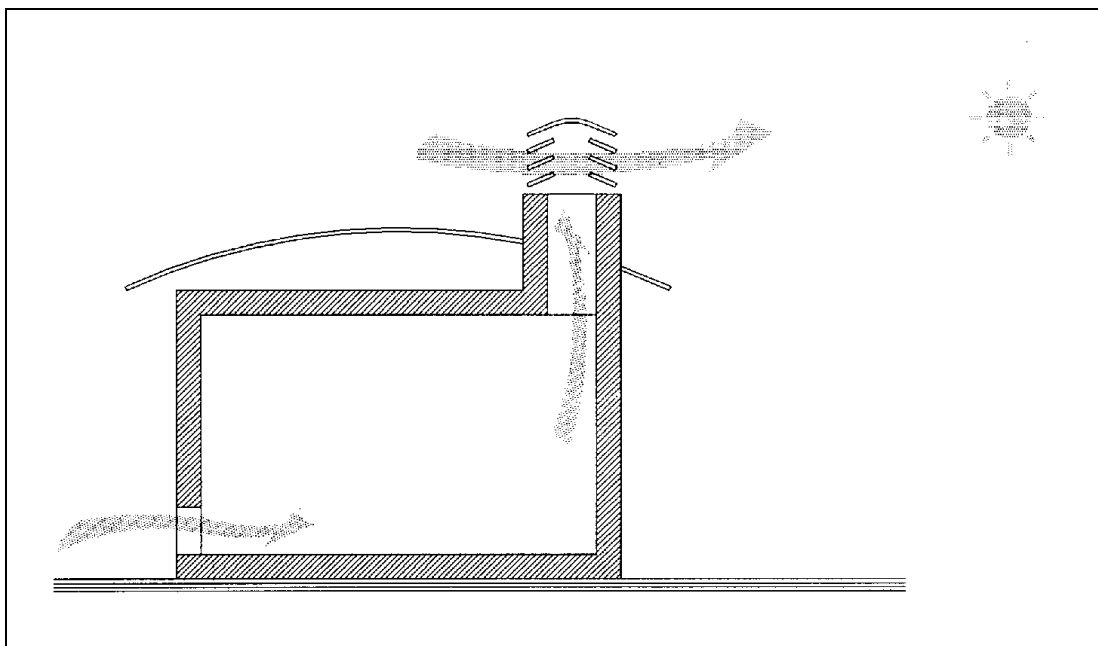


Fig.12.14 Sistema de aspiración estática

Son sistemas de ventilación que pueden utilizarse en climas templados y cálidos, para favorecer la refrigeración, pero deben ser zonas con vientos constantes si queremos que tengan utilidad real.

Los caudales de extracción son muy variables, ya que dependen tanto de los tipos de dispositivos escogidos como de la intensidad del viento. En presencia de vientos de una cierta intensidad es fácil generar renovaciones horarias (**rh**) superiores a 10 volúmenes por hora.

También se puede crear movimiento de aire hacia el interior del edificio, en sentido contrario a los sistemas tratados hasta ahora, como es el caso de las **torres de viento**.

Esta introducción de aire exterior al ambiente se hace mediante una torre que se eleva hasta una altura suficiente por encima de la cubierta del edificio y recoge el viento donde es más intenso. El aire así captado se conduce hasta la parte baja de los locales mediante conductos.

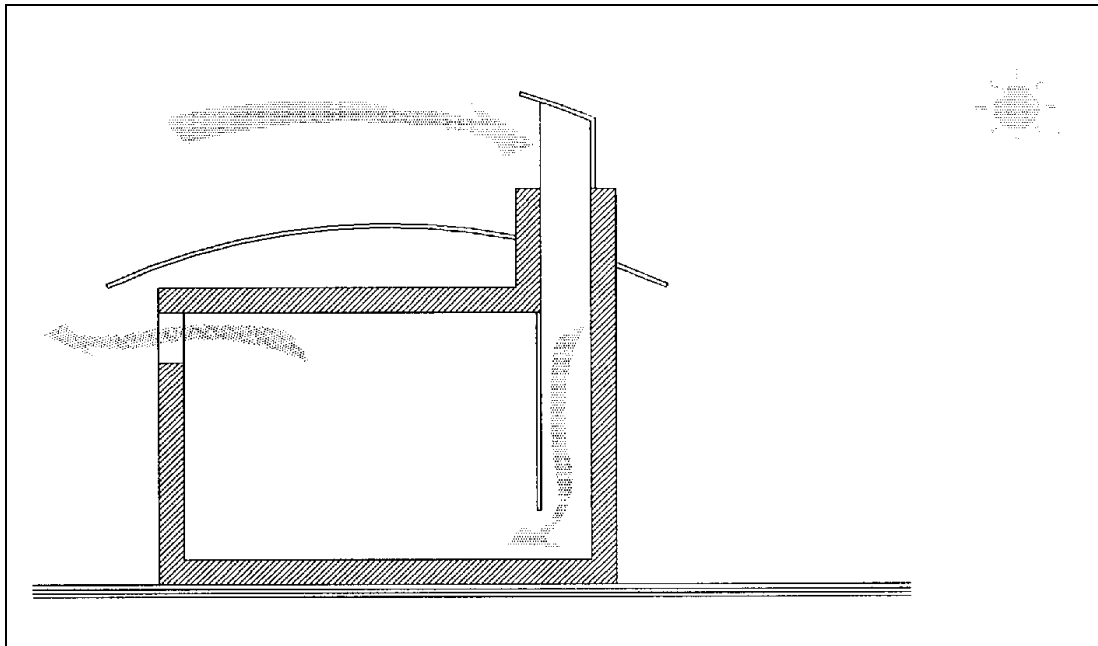


Fig.12.15 Sistema de entrada de aire por torre de viento

En zonas donde la dirección del viento es constante, la abertura es única y está orientada hacia esta dirección, mientras que en otros lugares donde existen diferentes direcciones predominantes se combinan diversas entradas de aire en la parte superior de la torre. En general es un sistema válido para climas cálidos con vientos frecuentes e intensos, ya que depende básicamente de esta característica climática.

La ventilación que genera no es muy grande y sólo empieza a ser notable si los vientos son intensos. Se pueden generar renovaciones horarias (**rh**) de entre 3 y 6 volúmenes por hora.

Estas torres de introducción de aire tienen la ventaja de poderse combinar con diferentes sistemas de tratamiento de aire y también con los sistemas de extracción.

## b) Sistemas de tratamiento del aire

Son componentes de un edificio que permiten que un determinado caudal de aire de ventilación se ponga en contacto con superficies con unas condiciones más favorables y como resultado que, el aire resultante mejore sus condiciones iniciales.

Estos sistemas se caracterizan por el cambio que producen en las condiciones del aire que entra al ambiente interior, normalmente la temperatura o la humedad del mismo.

Los más habituales son los que favorecen la evaporación del agua en la corriente de aire. Este efecto de **refrigeración evaporativa** se basa en el principio de que un líquido cualquiera, al evaporarse y por lo tanto pasar de estado líquido a gas, roba energía del aire con el que está en contacto. Esta evaporación del agua de la superficie comporta también que el aire aumente su contenido de vapor de agua. En el caso de un ambiente muy húmedo, el aire tiene poca capacidad de aumento de su contenido de agua y por lo tanto la evaporación es más pequeña.

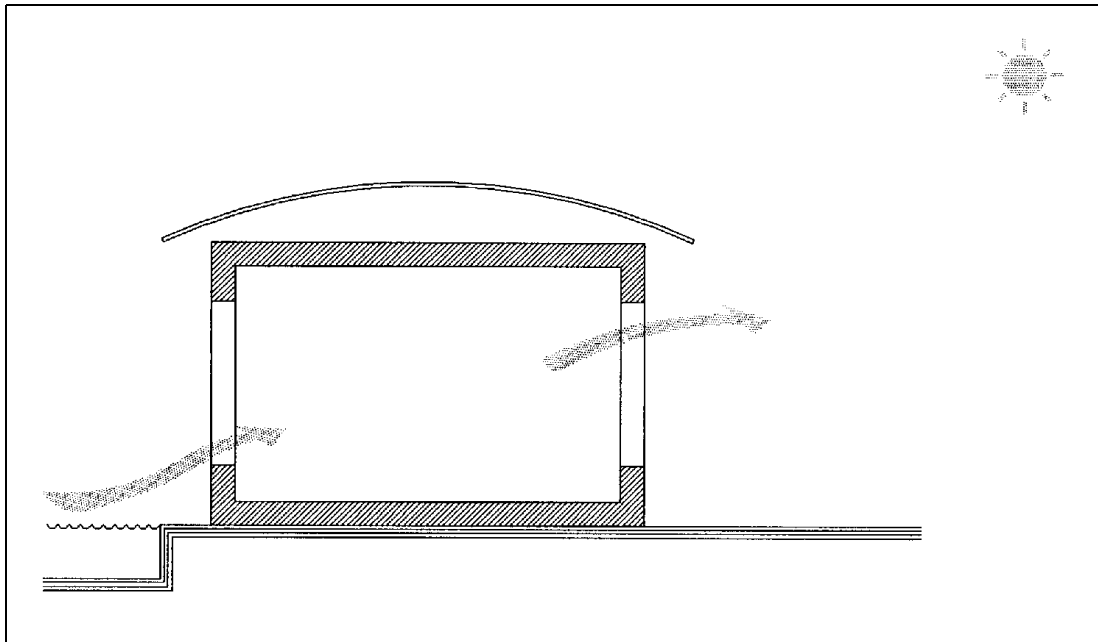


Fig.12.16 Tratamiento del aire por evaporación

Son sistemas apropiados para climas cálidos secos y su buen funcionamiento depende básicamente de la relación existente entre la superficie de agua y el volumen de aire tratado. En climas extremados será interesante combinar este sistema con otras formas de tratamiento, como el aprovechamiento de la inercia del terreno en sistemas subterráneos que trabajan conjuntamente con los evaporativos.



Otro sistema de tratamiento del aire son las **torres evaporativas** que, además, producen una cierta impulsión hacia el interior.

El aire que penetra por la parte superior de una torre se enfría por la evaporación del agua que humedece las paredes de su interior. Este aire enfriado y por lo tanto más pesado, tiende a caer y entra en el ambiente acondicionado desde la parte baja de la torre.

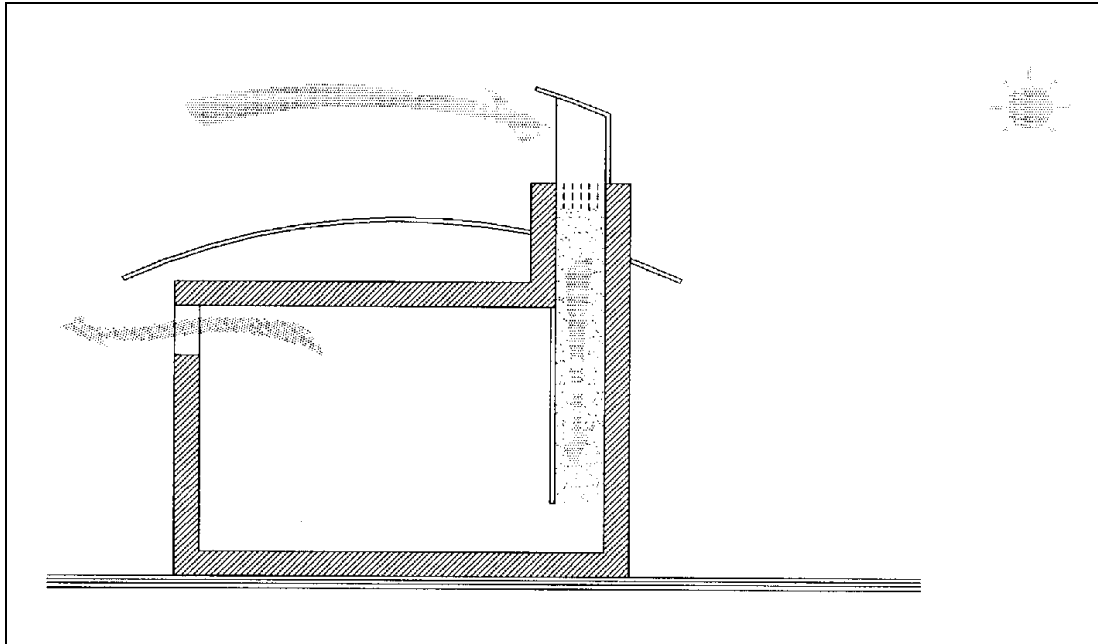


Fig.12.17 Sistema de tratamiento del aire con torre evaporativa

El efecto de impulsión hacia el interior es muy reducido y por lo tanto este sistema sólo será útil en conjunto con otros sistemas de extracción que fuercen el paso del aire por las paredes de la torre. Si la torre ya está diseñada como torre de viento para captar la entrada de aire, también se verá favorecido el paso del mismo.

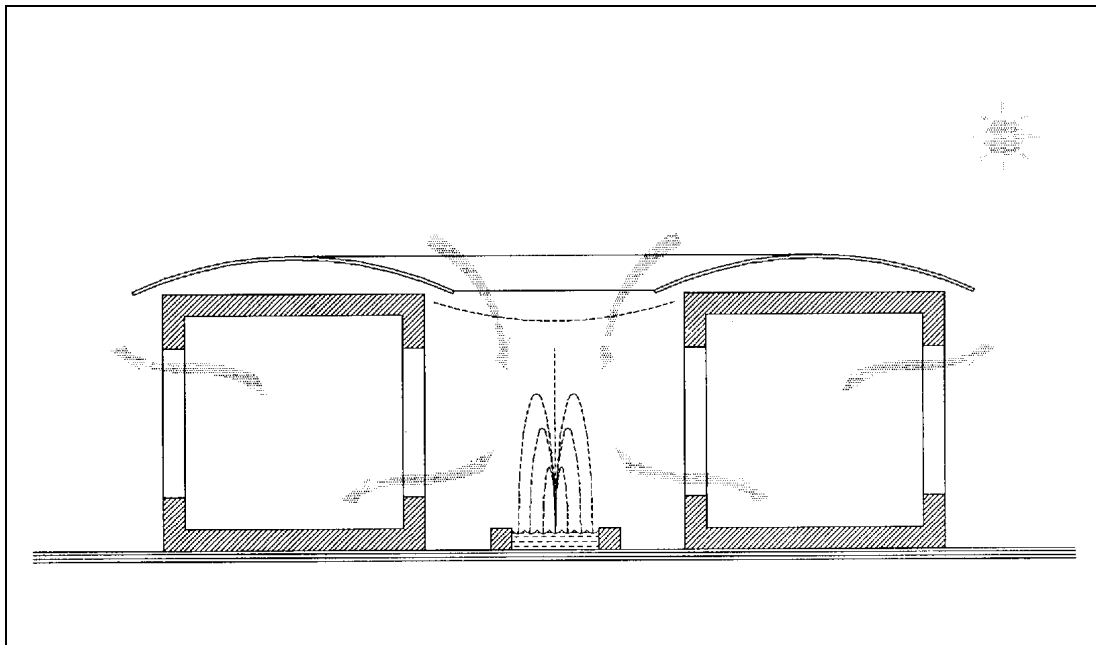
Es un sistema útil para tratar pequeños espacios ya que en otro caso la relación entre la superficie húmeda de contacto y el volumen de aire a tratar sería demasiado pequeña y por lo tanto su efecto en el ambiente interior no sería apreciable.

Como todos los sistemas que se basan en el enfriamiento evaporativo, sólo son recomendables para climas cálidos secos, que son los que tienen aire con gran capacidad para aumentar su contenido de humedad.

El **patio** es una solución aparentemente muy sencilla, que resulta compleja por el hecho de que actúan en el mismo muchos fenómenos simultáneos, que hacen difícil aislar el efecto de cada uno del conjunto.

El efecto ambiental de un patio consiste en crear un espacio abierto dentro del volumen de un edificio, que genera un microclima específico relativamente controlado y actúa como filtro entre las condiciones exteriores y las interiores. Como otros espacios intermedios el patio no actúa sólo sobre las condiciones térmicas, sino que también tiene efectos lumínicos y acústicos. Como sistema de tratamiento del aire, que es el caso que analizamos aquí, actúa sobre su temperatura y humedad.

Puede actuar sobre la temperatura del aire por efecto evaporativo, en los casos en que exista una fuente o un estanque dentro de este microclima. También puede actuar de otras formas, como es protegiendo este ámbito de la radiación directa del sol, para mantener más baja la temperatura del aire dentro del espacio sombreado. Por el mismo efecto evaporativo también actúa sobre la humedad del aire del patio y la posible existencia de vegetación también es una posible aportación de humedad.

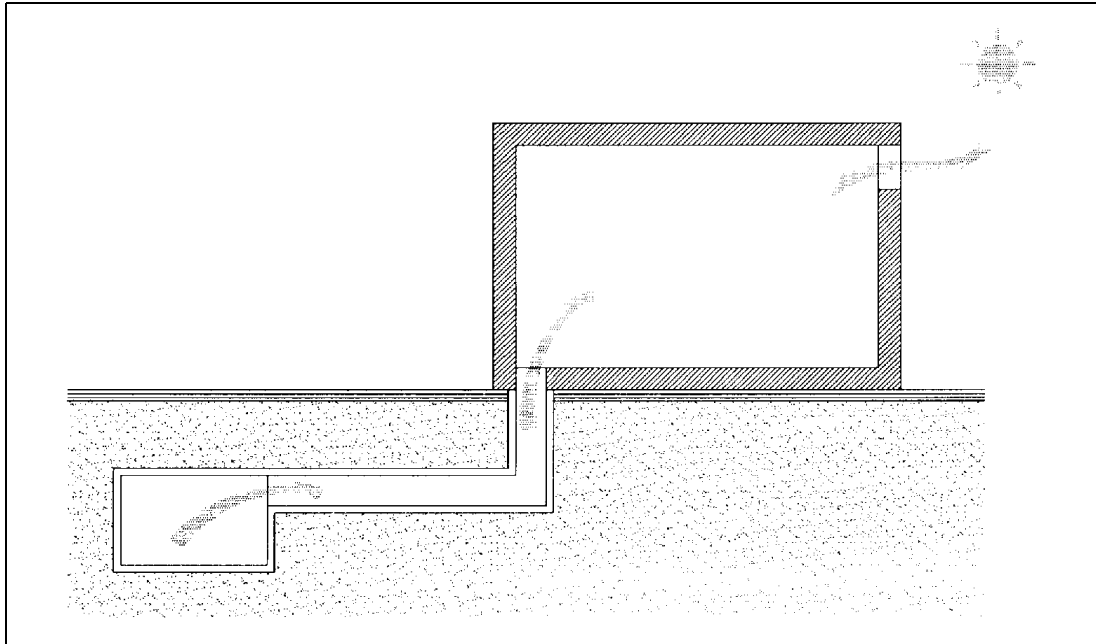


*Fig.12.18 Sistema evaporativo en un patio*

Con esta complejidad el patio se adapta a climas muy diversos, pero en general su actuación, basada en acondicionar el aire por efecto evaporativo, es recomendable en climas cálidos secos. La posibilidad que tienen los patios de favorecer la ventilación del edificio, junto con la de protegerse contra la radiación solar (vegetación, toldos, etc.), lo hacen también adecuado en climas templados.

La **ventilación subterránea** es un sistema de tratamiento del aire que consiste en favorecer la entrada de aire que proviene de un conjunto de conductos enterrados.

En la mayoría de los casos este sistema aprovecha la inercia del terreno para suministrar aire frío en tiempo cálido, mediante el contacto del aire de ventilación con el terreno dentro del sistema de conductos subterráneos.



*Fig.12.19 Sistema de ventilación con conductos subterráneos*

Es un sistema adecuado en climas que tengan grandes oscilaciones térmicas. Los conductos situados a gran profundidad (entre 6 y 12 metros según el tipo de terreno), pueden llegar a encontrar una masa térmica que está a temperatura prácticamente constante durante todo el año.

En este caso la temperatura del terreno siempre tendrá unas condiciones favorables, ya que en verano el terreno estará más frío que el aire exterior y en invierno pasará lo contrario.

Como la transmisión de calor del aire a la tierra es muy lenta, se deben utilizar conductos con unos recorridos subterráneos muy largos para obtener un efecto apreciable. Por este motivo también es mejor utilizar el sistema en edificios de uso discontinuo.

Si el aire que tratamos es seco, el rendimiento del sistema puede mejorar si el terreno está mojado, ya que aumenta su transmisión térmica y a la vez puede enfriarse el aire evaporativamente.

#### 12.1.4 Sistemas de protección a la radiación

Hasta ahora hemos tratado los sistemas que captan la radiación solar, los sistemas que aprovechan el efecto de la inercia térmica para regular las oscilaciones de temperatura en el interior y los sistemas que favorecen el paso del aire por el interior de los edificios. Por lo tanto faltará tratar los sistemas de protección a los excesos de radiación solar que puede incidir sobre el edificio.

Entrarán en esta categoría todos los elementos, componentes o conjuntos de componentes que protejan la piel de los edificios o los espacios exteriores que estén conectados al ambiente interior, contra el exceso de radiación solar, siempre indeseable en tiempo cálido.

Para valorar la importancia de estos sistemas se debe tener presente que, en climas calurosos o en épocas de calor en los templados, la mejora que comporta una buena protección contra la radiación solar es mucho más importante que el aislamiento térmico, siempre que intentemos impedir el sobrecalentamiento de los espacios interiores.

Estos sistemas se valoran por el **coeficiente de obstrucción media a la radiación ( $C_{or}$ )**, que se refiere a la parte rechazada de la radiación total incidente para una orientación y época del año determinadas y por el **coeficiente de obstrucción al paso de aire ( $C_{oa}$ )** o sección perforada respecto al total.

Según los mecanismos que se utilicen para detener la radiación solar directa que llega a los espacios interiores habitables, los podemos clasificar en **umbráculos** y en **elementos protectores** de la piel de los edificios. Su diferencia radica en el hecho de que los primeros crean unos espacios sombreados que se interponen entre la radiación solar y el ambiente interior, mientras que los segundos se limitan a proteger la piel del edificio contra el sol.

Los umbráculos comportan la ocupación de un determinado volumen, que a veces es difícil añadir al proyecto, por lo tanto siempre que se pueda se han de proyectar desde el inicio. En cambio los otros elementos son relativamente fáciles de añadir al edificio existente, aunque siempre estarán mejor integrados si están previstos desde el principio.

A continuación analizaremos separadamente los:

- a) Umbráculos
  - b) Protectores de la piel
-

### a) Umbráculos

Los umbráculos son sistemas que crean espacios sombreados interpuestos entre el ambiente exterior y los espacios interiores. Son anexos al edificio, hacia donde abren los espacios habitables del mismo. Estos umbráculos entran dentro de la categoría de espacios intermedios; por lo tanto no son espacios útiles únicamente desde el punto de vista funcional, ya que su flexibilidad de uso les permite convertirse en habitables en algunos momentos.

Para crear estos espacios se precisará una estructura portante que puede ser metálica, de madera, etc., que crea un espacio sombreado y además permite la ventilación. Según su geometría y la densidad de la estructura, la sombra que se produce tendrá unas características muy diferentes.

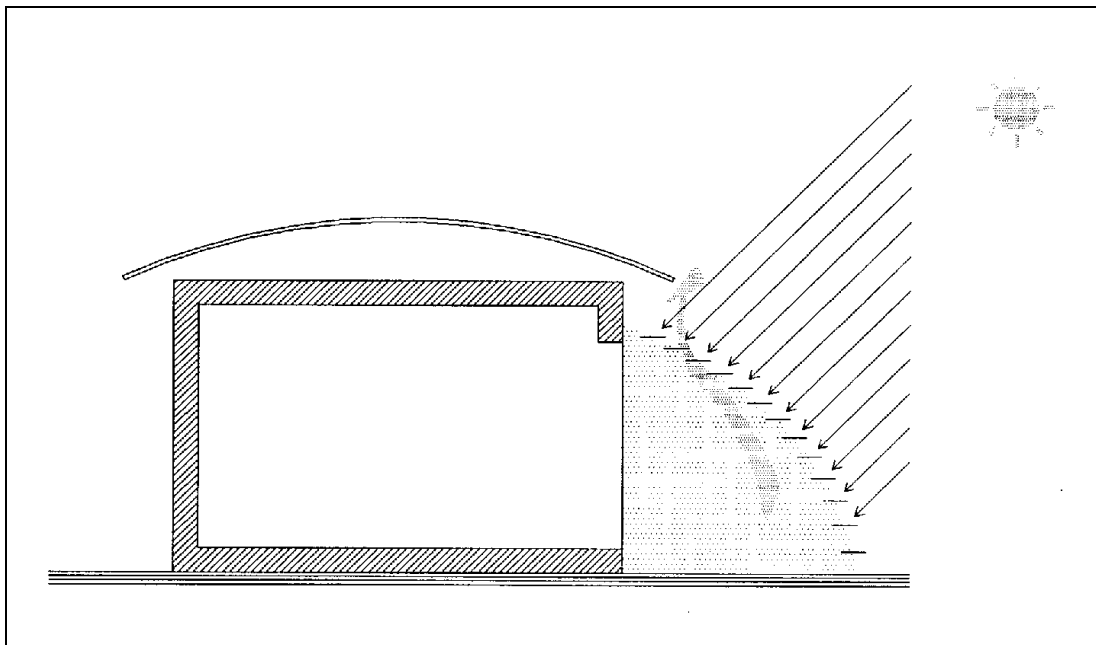


Fig.12.20 Umbráculo

Cuando los umbráculos se crean mediante simples estructuras ligeras que generan un espacio sombreado anexo a los edificios, permitiendo además la ventilación, la visión del exterior y una entrada de luz tamizada hacia los ambientes interiores, se les llama **pérgolas** y pueden incluir una gran variedad de formas y diseños. El control de la radiación se hace con la geometría de la estructura, que se diseña teniendo en cuenta las trayectorias solares.

También se pueden crear efectos similares a los anteriores con una estructura ligera, que soporta un entramado **vegetal** que crea un espacio intermedio ventilado y sombreado. Este sistema permite una regulación basada en los ciclos vegetales, que no coinciden con los solares y si lo hacen con los térmicos. La vegetación de hoja caduca permite pasar el sol de invierno y en cambio protege en verano del exceso de radiación.

Otra forma de crear umbráculos es colocar paralelamente a la fachada, celosías, lamas exteriores o estructuras geométricas que detienen parte de la radiación. Así se crea un espacio sombreado alrededor de la fachada del edificio, que también protege las aberturas. Este tipo de protección solar, que a la vez crea un espacio intermedio, puede estar formado mediante **brise-soleils o quiebrasoles**, que impiden el paso de la radiación solar directa con su misma geometría, pero dejan pasar el aire y crean una iluminación difusa en los espacios habitables a los que están conectados.

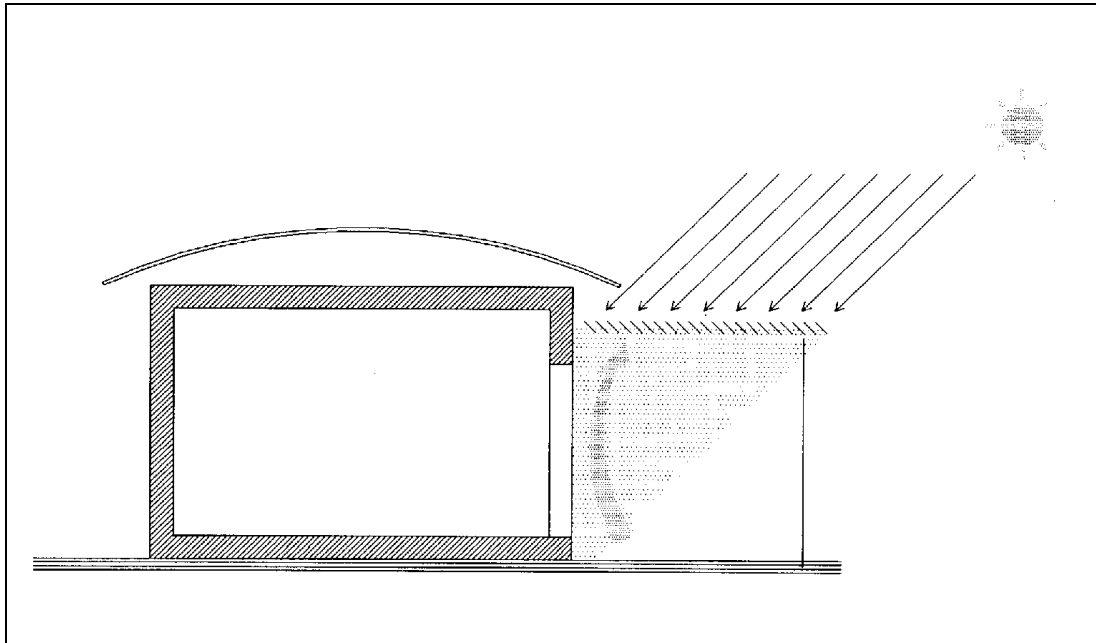


Fig.12.21 Espacio intermedio sombreado y ventilado. Pérgola.

Todos estos diferentes tipos de umbráculos, puesto que crean "*espacios*" en contacto con el edificio, no dejan de formar volúmenes y por lo tanto son parte de la arquitectura misma. Es por ello que pueden llegar a convertirse en componentes arquitectónicos de gran importancia, por el gran impacto visual que acostumbran a representar en el conjunto del edificio.

## b) Elementos protectores de la piel

Son diferentes tipos de dispositivos incorporados exteriormente a la piel de un edificio. Su misión es detener parte de la radiación que incide en la fachada, pero especialmente en las aberturas. También permiten la ventilación de los espacios interiores así como la visión del exterior y crean una cierta iluminación difusa en los espacios habitables, con los que están en conexión directa.

Los **aleros y voladizos** son elementos arquitectónicos fijos a la fachada que sobresalen en horizontal y la protegen de la radiación y la lluvia. Normalmente están contruidos con materiales opacos. Si su proyección hacia el exterior se ha diseñado considerando el ángulo solar, permiten el acceso del sol en invierno y protegen en verano. Son muy efectivos cuando están colocados en fachadas orientadas hacia el sur y en cambio su utilidad para proteger las aberturas de las fachadas a Este y Oeste es mucho menor. Tampoco son recomendables en las estaciones intermedias, ya que el recorrido solar está avanzado respecto a los días de máximo frío y de máximo calor. Su sencillez constructiva junto con las posibilidades puramente formales que pueden tener, los hace recomendables en muchos casos.

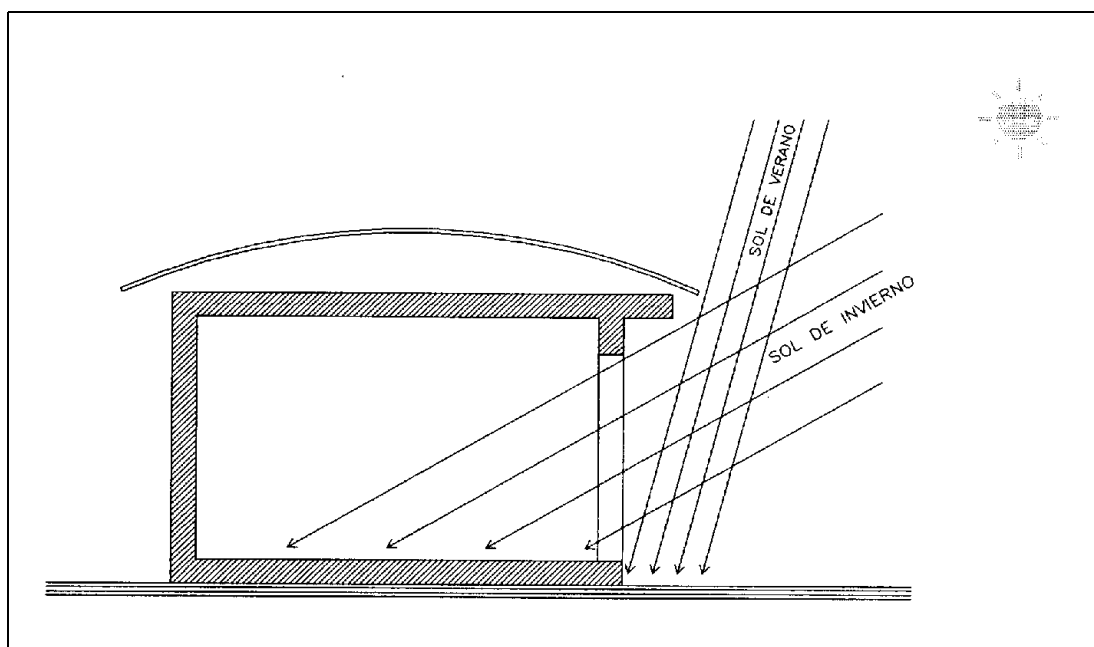


Fig.12.22 Alero que permite el acceso del sol de invierno y protege en verano

Otros elementos similares, igualmente opacos, rígidos y normalmente fijos, que también sobresalen de la fachada y protegen aberturas de ciertas incidencias solares. Se llaman simplemente **pantallas** porque no tienen una forma ni colocación determinada a priori y según su colocación pueden proteger de la radiación solar directa, pero también pueden favorecer la reflexión del sol en su superficie y mejorar así el acceso de luz difusa en espacios interiores, deteniendo a la vez la radiación directa.

Otra forma de proteger la piel de los edificios es con dispositivos móviles y regulables. El más conocido y propio de la arquitectura en nuestras latitudes son las **persianas**, conjuntos de pequeñas lamas ligadas entre sí, que pueden ser móviles y practicables. Colocadas frente a aberturas, detienen la radiación directa y permiten ventilar, conservar vistas y generar una iluminación controlada. Su mayor utilidad es que, al ser regulables, se adaptan a condiciones muy diversas. Las lamas pueden ser horizontales, adecuadas a la orientación Sur, o verticales, más efectivas a Este y Oeste.

Un caso similar son los **toldos** y cortinas exteriores, elementos móviles y flexibles situados verticalmente o con cierta inclinación delante de las aberturas que protegen. Según su material detienen el sol dejando pasar cierta cantidad de luz difusa. No son permeables al aire pero, al no tapar toda la abertura, permiten cierta ventilación y pueden recogerse dejando pasar el sol cuando se desea.

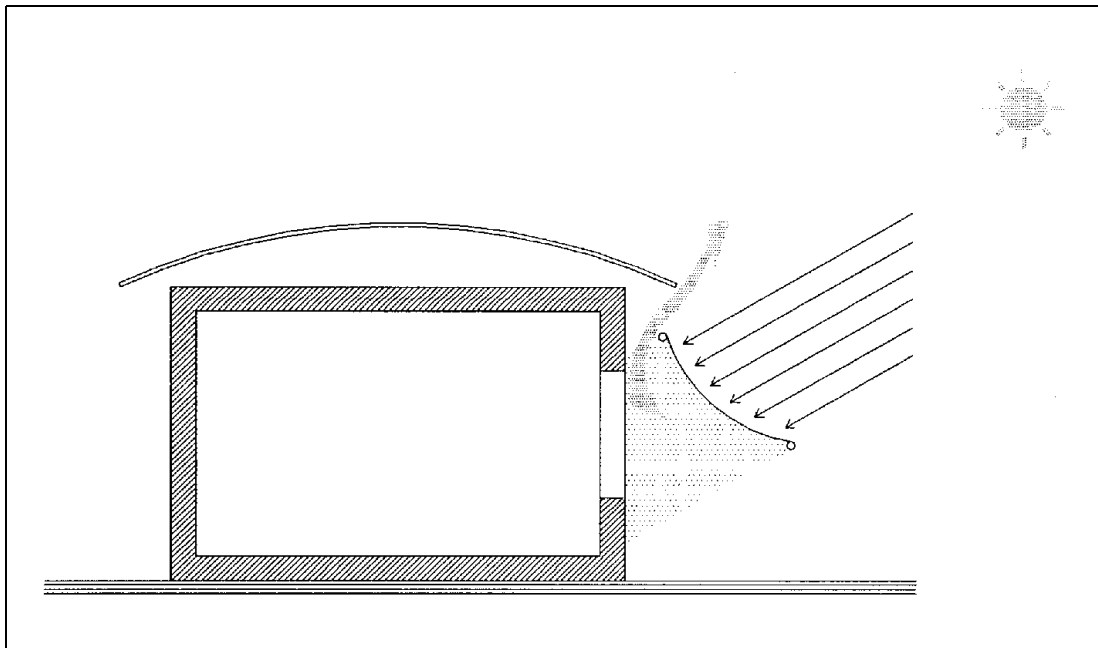


Fig.12.23 Toldo colocado para proteger una ventana

La **vegetación**, adherida a una fachada sin tapar las aberturas, protege la pared de la radiación y permite la ventilación entre la pared y las hojas, cumpliendo la misma función que algunos sistemas rígidos, pero con mejor adaptación al paso de las estaciones cuando la vegetación es de hoja caduca.

Un último sistema contra la radiación solar son los **crisales de color y los reflectantes** que protegen del sol y permiten la visión con la ventana cerrada. No están indicados cuando la ventilación es importante y la radiación alta. En todo caso su efecto acostumbra a ser más lumínico que térmico, ya que reducen más la luz que el calor.



## 12.2 Sistemas de iluminación natural

Son componentes o conjuntos de componentes de un edificio que tienen como misión principal mejorar la iluminación natural de los espacios interiores habitables, optimizando la distribución de la luz en las zonas periféricas y procurando una buena penetración de la luz natural hacia las zonas interiores que no tienen contacto directo con el exterior.

Entre los componentes de iluminación natural distinguimos los componentes de paso de la luz y los componentes de conducción de la luz.

Los **componentes de conducción** de la luz son los componentes que llevan la luz natural del exterior hacia zonas interiores del edificio. Se trata de componentes que en muchos casos se conectan entre sí formando series continuas.

Los **componentes de paso** de la luz son dispositivos que hay en los edificios, diseñados para dejar pasar la luz a través suyo, desde un ambiente lumínico determinado hasta otro situado a continuación.

A partir de este análisis se puede establecer cualquier combinación o sucesión de componentes de paso y de conducción. Podemos interpretar lumínicamente un edificio como una serie de componentes de paso colocados entre componentes de conducción que los conectan. Así se podrá esquematizar cualquier sistema complejo de entrada de la iluminación natural hacia los espacios interiores.

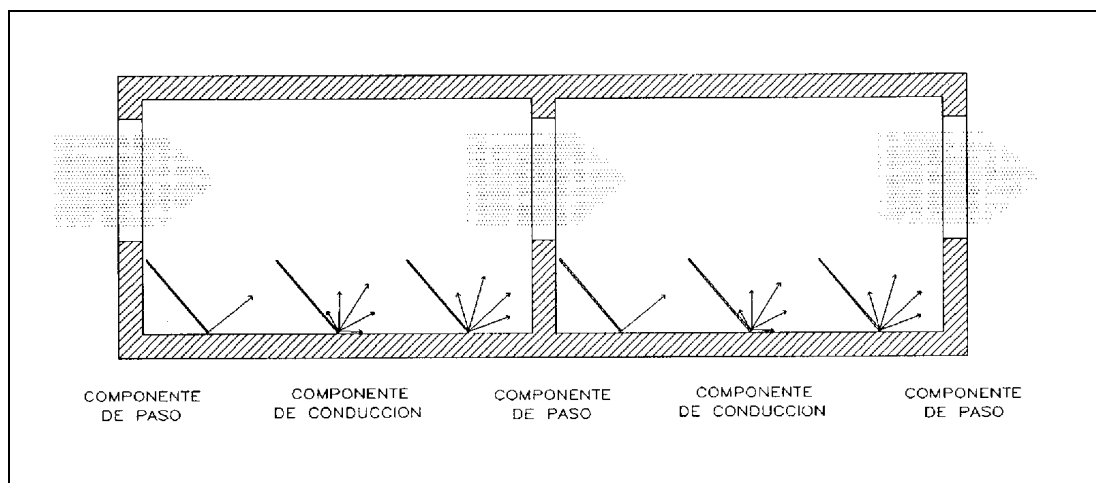


Fig.12.24 Componentes de iluminación natural. Componentes de conducción y componentes de paso

Los componentes de paso de la luz natural pueden llegar a tener una gran complejidad; para poderlos analizar los consideramos compuestos por un conjunto de **elementos de control** de paso de la luz. Estos elementos de control situados en los componentes de paso corrigen la luz que les llega y la hacen llegar al componente de conducción siguiente de una manera controlada.

### 12.2.1 Componentes de conducción

Los componentes de conducción de la luz natural son espacios diseñados para conducir y distribuir la luz natural desde el ambiente lumínico exterior hasta las zonas interiores de un edificio.

Son espacios que están situados a partir de un primer componente de paso de luz, que es el que capta la luz natural del exterior. Recogen la luz captada por el componente de paso, la conducen hasta el componente de paso siguiente y así sucesivamente.

Se caracterizan por su **factor de compacidad**, que es la relación entre la de la esfera del mismo volumen y su superficie envolvente, según su **esbeltez**, entendida como la relación que hay entre la dimensión del componente en el sentido de entrada de la luz y su ancho característico y finalmente según sus **propiedades ópticas**, como son los tipos y coeficientes de reflexión de sus paramentos.

Debe observarse que la forma propia tiene mucha importancia a la hora de caracterizarlos, ya que la capacidad para conducir la luz recibida depende en gran medida de esta característica geométrica del espacio conductor.

Por otro lado son importantes también las características de los acabados superficiales de sus paramentos, porqué es donde incide la luz natural y son los que harán que el componente actúe de manera diferente, según sean superficies reflectoras, especulares, difusas, absorbentes, etc.

Los clasificamos en dos grupos según su ubicación en el conjunto del edificio del cual pretendemos mejorar la iluminación. Pueden estar situados entre el ambiente lumínico exterior o perímetro del edificio y los espacios interiores que pretenden iluminar, caso en que los llamaremos espacios de luz intermedios. Pero también encontramos espacios conductores de la luz que están formando parte del espacio interior del edificio, relativamente alejados de la periferia y estos son los que llamaremos espacios de luz interiores.

- a) Espacios de luz intermedios
  - b) Espacios de luz interiores
-

### a) Espacios de luz intermedios

Los espacios conductores de la luz intermedios son los situados en la zona perimetral del edificio, que están situados entre el ambiente exterior y los espacios habitables. Pueden actuar como filtro regulador entre las características ambientales exteriores e interiores; conducen y distribuyen la luz que les llega de un exterior con luz natural hasta el interior. Están cerrados con materiales transparentes o translúcidos y pueden incorporar elementos de control para regular el paso de la luz a su través.

Los más característicos son las galerías, los porches y los invernaderos.

Entendemos las **galerías** como espacios cubiertos de la periferia del edificio, abiertos totalmente al paso de la luz exterior, separados de dicho exterior por un cerramiento acristalado y del interior por diferentes tipos de separaciones regulables.



Son espacios que pueden ser ocupables en determinados momentos, aunque no se consideren totalmente como superficies habitables y que permiten el paso de luz hacia zonas internas a las que están conectadas mediante componentes de paso. Sus dimensiones típicas acostumbran a ser de un piso de altura, aunque a veces tienen dos o más pisos y una profundidad de 0,8 a 4 m.

---

Definimos los **porches** como espacios cubiertos adosados a la planta baja de un edificio, o que forman parte del volumen propio de la planta baja y están abiertos hacia la luz exterior.

Son espacios ocupables intermedios que iluminan las zonas interiores comunicadas con el porche con componentes de paso.

Proporcionan un nivel de luz bajo y poco contrastado al interior, que protegen del sol directo y de la lluvia. Tienen dimensiones típicas de una planta o dos de altura y de 1 a 5 m de profundidad. Pueden ser de madera, metálicos, etc.



Finalmente los **invernaderos** son considerados como espacios adosados a un edificio por una de sus caras, con las otras caras separadas del ambiente exterior con un cerramiento vidriado, que puede ser practicable en parte para facilitar la ventilación.

Permiten la entrada de mucha radiación directa y difusa a través del cerramiento y hacia el espacio interior comunicado con el invernadero por componentes de paso. A la vez, se protege térmicamente de viento y lluvia el interior.

Tienen alturas variables de una a más plantas y anchuras y profundidades que permiten, como mínimo, el uso como espacio de estancia. Los materiales típicos son carpinterías metálicas o de madera que soportan un cristal transparente.

---

## b) Espacios de luz interiores

Son componentes de conducción de la luz que forman parte de la zona interna de un edificio y conducen la luz natural que les llega hasta espacios habitables interiores que están alejados de la periferia.

Consideramos que están dentro de este grupo los patios, los atrios y todo tipo de conductos de luz, así como los conductos de sol.

Los **patios**, desde el punto de vista lumínico, se interpretan como espacios rodeados por los muros de un edificio o de diversos edificios y abiertos al exterior por una de sus caras, que acostumbra a ser la superior.



Son espacios con condiciones lumínicas similares a las del exterior o en cualquier caso intermedias entre las condiciones interiores y las exteriores, de forma que permiten una cierta iluminación natural, así como la ventilación en las zonas interiores del edificio que están conectadas al patio mediante componentes de paso.

Tienen dimensiones muy variables y normalmente su altura es mayor que su anchura. Los acabados con colores claros mejoran su acción lumínica.

---

Otros componentes de conducción que se adaptan a climas fríos y que sobre todo se utilizan en edificios públicos son los **atrios**, entendidos como espacios de la zona interior del volumen de un edificio que están en contacto con el ambiente lumínico exterior por alguna de sus superficies envolventes, pero que están separados del mismo por un cerramiento acristalado.



Son espacios de conducción de la luz considerados como interiores al edificio, ya que normalmente tienen funciones definidas, que pueden ser albergar las comunicaciones verticales o espacios de relación. Permiten cierto acceso de luz natural a otros espacios subsidiarios conectados con el atrio mediante otros componentes de paso.

Sus dimensiones normales son de una altura similar a la del edificio o algo inferior y una superficie en planta muy variable según su utilización y el tamaño del conjunto edificado.

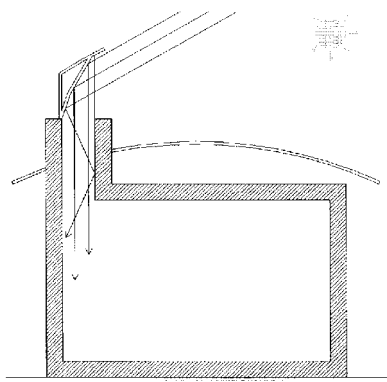
Los materiales del cerramiento serán transparentes o difusores, soportados por una estructura que generalmente es metálica. Siempre que sea posible deberán disponer de elementos de control de la radiación para evitar sobrecalentamientos.

Los acabados superficiales interiores de colores claros mejoran la distribución de la luz y por lo tanto, la cantidad de luz natural que llega a los espacios que iluminan indirectamente.

---

Los **conductos de iluminación** acostumbran a ser espacios no habitables y poco accesibles, diseñados para conducir luz que captan del exterior hasta zonas interiores del edificio que de otra manera serían difíciles de iluminar con luz natural. Proporcionan normalmente una luz difusa y también pueden facilitar la ventilación a zonas internas, siempre que no estén muy alejadas de la periferia.

Sus dimensiones típicas son pequeñas, ya que al no tener otra utilización funcional se procura reducir al máximo posible la sección, que puede ir desde 0,5 x 0,5 hasta 2 x 2 m, mientras que su longitud máxima útil llega hasta 8 m. El material de revestimiento es de color blanco y pueden estar separados del exterior con elementos transparentes o translúcidos.



Otro tipo similar son los **conductos de sol**, entendidos también como espacios no habitables diseñados para conducir específicamente los rayos de sol a zonas del núcleo del edificio.

Iluminan con rayos de sol atenuados a zonas interiores que en condiciones normales serían oscuras. Su objetivo principal no es la cantidad de luz que llega hasta los espacios interiores sino la calidad de la luz que llega. Por esto se diseñan considerando la trayectoria solar y normalmente intentan captar los rayos del sol de invierno y rechazar la incidencia del sol de verano en el espacio interior.

Las dimensiones en sección varían normalmente de 0,5 x 0,5 a 1,2 x 1,2 m, pero pueden ser secciones rectangulares mucho mayores. La dimensión en profundidad puede superar los 10 m, con niveles de iluminancia resultantes suficientes.

Su interior está revestido de espejos u otras superficies reflectoras de tipo especular. La extremidad captora de la radiación tiene un componente especial proyectado para recoger eficazmente los rayos de sol, que puede ser fijo o móvil y que estará diseñado para favorecer el acceso del sol en los períodos de año o las horas del día que interese.

---

### 12.2.2 Componentes de paso

Los componentes de paso de la luz natural son aquellos dispositivos o conjuntos de elementos que conectan dos ambientes lumínicos diferentes, separados por un cerramiento donde se sitúa este componente de paso.

Dichos componentes de paso se definen por sus propias características geométricas y por la composición de elementos que los forman.

Las características geométricas son: su tamaño, que será relativo al del cerramiento donde se sitúen, su ubicación en este cerramiento, según sea central o lateral, alto o bajo y la forma geométrica que tenga la abertura.

Su composición depende de los elementos que incorpore para controlar y regular las acciones lumínicas, visuales y de paso de aire.

Para su estudio los dividimos en tres grupos, según la dirección de incidencia de la luz en los espacios habitables, llamándolos componentes de paso laterales si la luz penetra por un plano vertical en el espacio que se quiere iluminar, componentes cenitales cuando la luz llega preferentemente desde arriba al interior y componentes de paso globales si no hay una dirección que predomine y por lo tanto el acceso de luz a los espacios interiores es global.

- a) Componentes de paso laterales
- b) Componentes de paso cenitales
- c) Componentes de paso globales

#### a) Componentes de paso laterales

Son los que se sitúan en cerramientos verticales, tanto en la piel del edificio como en paramentos interiores y separan dos ambientes con características lumínicas diferentes. Su función principal es permitir la penetración lateral de la luz natural al ambiente receptor.

Los componentes de paso más característicos son las ventanas, los balcones, los muros translúcidos y los muros cortina.

---



Las **ventanas**, analizadas como componentes de paso de la luz, son aberturas situadas en una pared, que tienen su límite inferior por encima del nivel del piso interior.

Permiten la entrada lateral de la luz y de la radiación solar directa, la visión y la ventilación natural. Incrementan mucho el nivel lumínico del local junto a la ventana.

Sus dimensiones son variables, desde pequeñas ventanas de 0,1 m<sup>2</sup> hasta grandes ventanas de más de 6 m<sup>2</sup> de superficie. Normalmente su altura está comprendida entre 1,2 y 1,8 m y su anchura de 0,8 a 2,5 m. La abertura en la pared se realiza con los materiales constructivos propios de la construcción de la misma (ladrillo, hormigón, etc.). Pueden incorporarse a ellas todo tipo de elementos de control.



Los **balcones** también son aberturas en una pared, pero que tienen su límite inferior a la altura del piso interior y pueden permitir el paso de los usuarios entre el interior y el exterior.

Favorecen la penetración lateral de la luz natural y del sol directo, la visión del exterior, el paso de personas y la ventilación. Crean un alto nivel lumínico junto al balcón. Tienen dimensiones de 1 a 3 m de ancho y de 2 a 3 m de alto. Como las ventanas, los balcones también pueden incorporar diversos elementos de control para regular la entrada de luz.

---

Los **muros translúcidos** son paredes construidas con materiales que dejan pasar la luz y ocupan una parte o la totalidad de un cerramiento.

Separan dos ambientes lumínicos, de forma que permiten la penetración lateral de luz difusa e impiden la visión y la ventilación. Se crea un nivel uniforme de luz difusa en el borde del muro. Sus dimensiones son las del muro de cerramiento, con gruesos de 5 a 30 cm. Los materiales más normales pueden ser piezas paralelepípedicas de vidrio en masa o perfiles semirresistentes en forma de U, fabricados por extrusión, también de vidrio o de plástico.



Los **muros cortina** son superficies continuas verticales, transparentes o translúcidas, sin función estructural, que separan dos ambientes de luz diferentes y que normalmente son el ambiente exterior y el interior. Permiten la entrada de luz y sol, la visión y normalmente no ventilan. Crean altos niveles de iluminación en el borde del muro cortina.

Las dimensiones de los muros cortina son las de la pared a la que substituyen y se construyen con una estructura portante que incorpora las carpinterías, normalmente metálicas, que sostienen las superficies de vidrio o plástico que cierran el conjunto.

Si se construyen muros cortina en nuestras latitudes, acostumbran a precisar elementos de control para evitar sobrecalentamientos, ya que la superficie de iluminación también actúa como superficie de captación de radiación solar. Como en estos casos acostumbra a tratarse de grandes superficies en relación al volumen habitable, el exceso de radiación puede resultar muy peligroso.

---

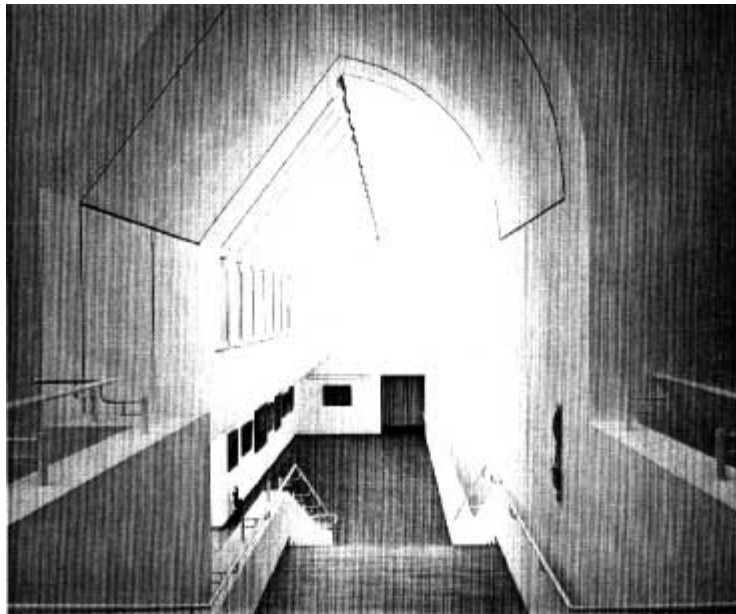
### b) Componentes de paso cenitales

Son los situados en cerramientos horizontales de la cubierta o del interior de un edificio, que separan dos ambientes de luz diferentes y procuran la penetración de luz cenital al ambiente receptor inferior.

Los más característicos en la arquitectura son los lucernarios, las cubiertas monitor o en diente de sierra, los forjados translúcidos y las claraboyas, las cúpulas y las linternas.

Los **lucernarios** son elevaciones sobre el plano de la cubierta de un espacio, con aberturas verticales o inclinadas en uno de los laterales.

Permiten la entrada de la luz que proviene de la bóveda celeste y protegen o redirigen la radiación solar directa hacia el espacio inferior. Pueden permitir la ventilación natural sin visión exterior y crean niveles altos de iluminación en el ambiente interior, con luz normalmente difusa.



Su elevación sobre la cubierta puede ser de 0,8 a 3 m y su longitud coincide normalmente con la del espacio iluminado. Construidos normalmente con los mismos materiales de la cubierta, las aberturas se cierran con vidrios transparentes o translúcidos con carpinterías metálicas.

---

Desde el punto de vista de la iluminación natural llamamos **cubierta monitor** al sector de la cubierta que incluye la cumbre, que se levanta dejando aberturas laterales por donde penetra la luz.

Permite la penetración cenital de la luz natural hacia el ambiente inferior, incrementando su nivel lumínico y permite la ventilación si las aberturas tienen elementos de cerramiento practicables.

La elevación por encima de la cubierta va de 1 a 2,5 m y su largo normalmente es el del espacio iluminado. Se construye con los mismos materiales de la cubierta y las aberturas laterales se cierran con superficies translúcidas o transparentes soportadas por carpinterías de cualquier tipo.



Las **cubiertas en diente de sierra** son un conjunto de planos de cubierta con cumbres paralelas, que dejan entre ellas una serie de aberturas lineales, verticales o ligeramente inclinadas, por donde penetra la luz del cielo, directamente o por reflexión en los otros planos opacos de la cubierta.

Permiten la entrada de luz cenital difusa y uniforme y evitan contrastes lumínicos en el espacio inferior, favoreciendo la ventilación si las aberturas tienen elementos practicables.

La altura de las aberturas puede ir de 1 a 2,5 m y su longitud es la anchura del espacio iluminado. Se construyen con los materiales típicos de cubierta y las aberturas se cierran con superficies separadoras, translúcidas o transparentes.

---

Llamamos **forjados translúcidos** a cerramientos horizontales transitables, contruidos parcialmente con materiales translúcidos, que separan dos espacios interiores superpuestos, o uno de estos espacios respecto al exterior.

Permiten acceder luz cenital al espacio inferior, difusa por el paso a través del material translúcido. Resulta, por lo tanto, un nivel de luz relativamente débil y muy homogéneo en dicho espacio inferior.

Normalmente ocupan una parte importante de la superficie del forjado sobre el espacio que se pretende iluminar; en cualquier caso no acostumbran a ser inferiores a 4 m<sup>2</sup>. La construcción se hace normalmente con bloques de vidrio soportados por una estructura metálica o de hormigón armado.



Las **claraboyas** son aberturas situadas en la cubierta de un espacio habitable, que permiten la iluminación cenital de las zonas que están bajo las mismas. En algunos casos son practicables y por lo tanto permiten la ventilación del espacio inferior.

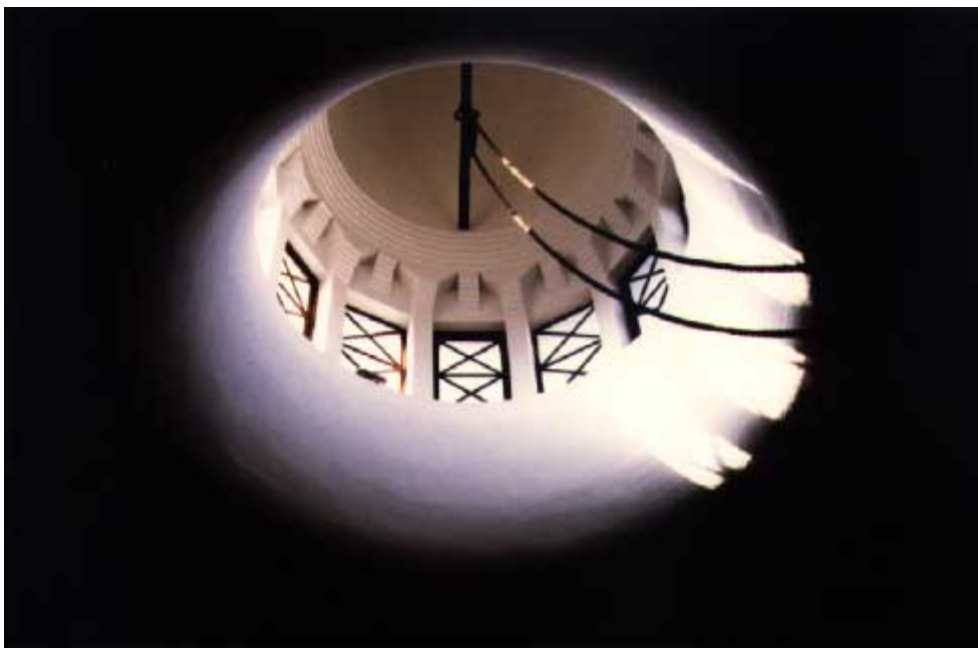
Tienen superficies de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, aunque a menudo son mayores y con gran variedad de formas y de distribución en la cubierta. La iluminación que procuran a los espacios inferiores está directamente ligada con estas características de tamaño y distribución espacial.

Los materiales del cerramiento son vidrios o plásticos translúcidos o transparentes, para permitir la entrada de la luz natural, pudiendo incorporar una gran variedad de elementos de control.

---

Las **cúpulas** son cubiertas semiesféricas con perforaciones para permitir la entrada puntual de la luz o también pueden estar construidas globalmente con materiales translúcidos, de forma que la luz atraviesa a través de toda su superficie.

Iluminan el espacio interior habitable que tienen bajo ellas, al cual cubren totalmente o casi totalmente. Si dejan pasar la luz globalmente se construyen con materiales plásticos transparentes o translúcidos y si se favorece el efecto puntual, son perforaciones transparentes en una cúpula realizada con materiales de construcción opacos o linternas que veremos a continuación.



Se llaman **linternas** a las aberturas situadas en el punto más alto de una cúpula, protegidas por una pequeña cubierta levantada por encima del plano superior de aquella.

Permiten la entrada puntual de luz cenital difusa en la zona central del espacio inferior y también pueden ventilar la parte alta del ambiente y evitar la estratificación del aire caliente. Normalmente tienen dimensiones reducidas, de 0,5 a 1,5 m de elevación por encima de la cúpula y de 0,5 a 2 m de diámetro.

---



### c) Componentes de paso globales

Los componentes de paso de luz globales son los formados por una parte del mismo cerramiento de un volumen edificado que, compuesto por una superficie de material transparente o translúcido, rodea total o parcialmente un ambiente y permite la entrada global de la luz natural.

El componente más característico de este tipo es la **membrana**, con superficies translúcidas o transparentes, que rodean globalmente un ambiente interior.



Permiten la entrada generalizada de la luz y crean un alto nivel interior uniforme, parecido a las condiciones exteriores.

Son componentes de iluminación que pueden generar fácilmente problemas de exceso de radiación en climas moderados o cálidos, especialmente en verano, cuando las trayectorias solares son más altas. Por este motivo es aconsejable complementar estos componentes con elementos de control de la radiación que los protejan de forma continua en toda su superficie. Igualmente se deberán prever aberturas practicables en los puntos más altos, que permitan la evacuación del aire caliente.

Las dimensiones superficiales de estos componentes globales son usualmente superiores a la superficie en planta del espacio rodeado por la membrana. Los materiales típicamente utilizados para el cerramiento son plásticos (policarbonatos acrílicos o fibras de vidrio) soportados por una estructura de aluminio o de acero. En muchos casos, estos componentes de paso se convierten en definidores del volumen de componentes de conducción perimetrales, como invernaderos o atrios.

---

### 12.4.3 Elementos de control

Son aquellos dispositivos particulares diseñados especialmente para hacer penetrar i/o controlar la entrada de la luz natural a través de un componente de paso.

Entre sus características generales, que serán las que los harán más adecuados en cada caso, deberemos considerar su **situación** respecto al componente de paso que están regulando, su **movilidad** o posible regulación por parte de los usuarios de los espacios y sus **propiedades ópticas**, como son la transparencia, la difusión y la reflexión de la luz.

Además de su comportamiento lumínico, estos elementos de control pueden actuar en otras funciones ambientales de los componentes de paso, como pueden ser la ventilación, la posibilidad de visión controlada, la protección térmica del espacio interior o la seguridad del edificio.

Clasificaremos los elementos de control en cinco grupos generales según la forma en que controlan la luz incidente: superficies separadoras entre dos espacios lumínicos diferentes, pantallas de materiales flexibles, pantallas rígidas o de materiales rígidos, filtros respecto a alguna característica de la radiación solar y obstrutores totales de la radiación.

- a) Superficies separadoras
  - b) Pantallas flexibles
  - c) Pantallas rígidas
  - d) Filtros solares
  - e) Obstrutores solares
-



### a) Superficies separadoras

Son elementos superficiales de material transparente o translúcido, sostenidos por una carpintería de madera o metálica, que se incorporan a un componente de paso que separa dos ambientes distintos. Permiten el paso de la radiación a su través y a veces la visión exterior, pero impiden el paso del aire.



Entre los numerosos tipos de superficies separadoras existentes en el campo de la arquitectura, existen las convencionales transparentes, las superficies tratadas química o mecánicamente, las que siguen una determinada pauta geométrica y las que conforman cerramientos activos.

Los **cerramientos convencionales** son las superficies de vidrio o plástico transparente.

Los **cerramientos tratados** incluyen toda clase de vidrios de color, de vidrios espejo, de vidrios translúcidos o más modernamente, de vidrios con películas termocrómicas u holográficas incorporadas. Su utilidad queda determinada por el hecho de que modifican las características de la luz que pasa a su través de forma variable, según determinados parámetros térmicos o geométricos.

Los **cerramientos geométricos** están formados por superficies de material plástico con propiedades ópticas especiales debidas a su geometría, que redirigen la luz incidente hacia una dirección determinada.

Los **cerramientos activos** son los realizados con materiales de alta tecnología incorporados a la superficie translúcida o transparente, que regulan la luz que pasa mediante acciones eléctricas que modifican las propiedades ópticas del cerramiento.

---

## b) Pantallas flexibles

Son elementos que, incorporados a un componente de paso, detienen parcial o totalmente el paso de la radiación solar y convierten en difusa la luz que los atraviesa. Según su colocación pueden permitir la ventilación y pueden servir para obtener privacidad visual. Pueden recogerse, enrollados o doblados para suprimir su acción cuando interesa.

Los tipos más comunes de pantallas flexibles son los toldos y las cortinas exteriores.

Los **toldos** son pantallas flexibles hechas de materiales opacos al paso de la luz o que tienen un comportamiento difusor de la radiación solar. Definimos en este grupo a todos los toldos y cortinas exteriores siempre y cuando estén situados en la cara exterior de un componente de paso, para detener selectivamente el paso de la radiación solar antes de que atravesase dicho componente.



Las **cortinas** están realizadas con materiales opacos o difusores a la radiación y están situadas en la cara interior de las superficies separadoras de cristal, para controlar la parte de la radiación solar que ya ha atravesado el componente de paso y que ilumina los espacios interiores.

Además de actuar sobre los efectos lumínicos, también son utilizadas para controlar la visión del espacio exterior y la privacidad de los espacios habitables.

---

### c) Pantallas rígidas

Son elementos opacos y rígidos que redirigen i/o detienen la radiación solar directa que incide sobre un componente de paso de un edificio. Normalmente son fijos y no regulables, aunque pueden haber excepciones. Su característica principal será la situación respecto a la abertura que protegen. De entre los diferentes tipos posibles destacaremos los aleros, las repisas de luz, los antepechos, las aletas y los reflectores.

**Aleros.** Son elementos que vuelan horizontalmente sobre la fachada de un edificio y que protegen un abertura que está debajo de la radiación que incide en los ángulos más cercanos a la vertical.



**Repisas de luz.** Son elementos horizontales situados en una abertura por encima del nivel de la vista. Protegen de la radiación solar la parte inferior y a la vez redirigen la luz por reflexión de la cara superior hacia el techo del local.

**Aletas.** Son pantallas que sobresalen verticalmente en sentido perpendicular a la fachada, a los lados de la abertura de un componente de paso. Protegen parcialmente de las radiaciones y de la visión en determinadas orientaciones, a la vez que reflejan luz difusa hacia el interior.

**Reflectores.** Pantallas específicamente situadas en una posición cualquiera, estudiadas para reflejar los rayos solares procedentes de orientaciones determinadas.

---

#### d) Filtros solares

Son elementos superficiales que cubren exteriormente toda, o casi toda el área de un componente de paso, lo protegen de la radiación solar y permiten la ventilación. Pueden ser fijos o practicables (que pueden retirarse y dejar libre la abertura) y regulables si se puede cambiar la orientación de las lamas que los forman. Los tipos más utilizados en arquitectura son las persianas de todo tipo y las celosías.

Las **persianas** son elementos muy extendidos en la práctica de la arquitectura, en diferentes climas y culturas. Por lo tanto podemos encontrar un amplio abanico de posibles formas y materiales para este mecanismo tan utilizado.

Como características generales acostumbran a ser practicables y pueden ser móviles para permitir la orientación de sus lamas.



Las **celosías** también tienen muchas y diversas formas posibles, ya que pueden estar hechas de diferentes materiales y acostumbran a tener dimensiones y dibujos variables, según su adaptación climática, cultural o estética. Como características que permiten englobarlas en un mismo grupo se puede decir que su conjunto es fijo y sus elementos componentes también lo son, aunque a veces es posible graduar la orientación de sus elementos, convirtiéndose en este caso en lamas fijas orientables.

---

e) **Obstructores solares**

Son elementos superficiales contruidos con materiales opacos a la luz y que pueden acoplarse sobre la abertura de un componente de paso para cerrarlo totalmente.

Normalmente se llaman **postigos o contraventanas** y pueden estar situados tanto al exterior como al interior de cerramiento separador de cristal.



La acción que tienen sobre la entrada de luz a los espacios interiores habitables queda completada con la acción de control visual y la de aislamiento térmico. Actúan como una barrera a todos los efectos, en los períodos de tiempo en que interesa anular las interacciones que se producen entre el ambiente exterior y el interior a través del componente de paso sobre el cual actúan.

---

### 12.3 Sistemas de control acústico

Son sistemas acústicos los conjuntos de componentes de un edificio que tienen como función la mejora de su comportamiento acústico, actuando sobre los sonidos externos o internos sin requerir ningún tipo de energía artificial para su funcionamiento. En el caso de la acústica nos encontramos con el hecho de que la mayoría de las acciones de control sobre las condiciones de los espacios dependen directamente de aspectos más generales del diseño, tal como han sido tratados en los cap. 9, 10 y 11.

Para considerar los sistemas que se incorporan al proyecto con una finalidad exclusivamente acústica se deben analizar dos tipos principales de acciones: por un lado la corrección de aspectos genéricos de diseño enfatizando su función acústica y por el otro la incorporación, menos frecuente, de sistemas específicamente acústicos para conseguir un efecto particular. Desarrollaremos este capítulo integrando el análisis de estos dos tipos de acción, pero se debe recordar en todo momento la estrecha relación que existe entre muchas acciones aquí descritas y los aspectos generales tratados anteriormente.

Los sistemas de control acústico se pueden clasificar en cuatro categorías, según el tipo de acción que hacen para corregir el comportamiento del ambiente: si proporcionan **protección acústica** a los ambientes interiores contra ruidos externos, si **corrigen la acústica** de los locales, si **generan** algún tipo de sonido o si **transmiten** el sonido.

La aplicación de estos sistemas acústicos especiales en la arquitectura no será necesaria casi nunca en el caso de espacios de utilización normal, pero en cambio será imprescindible en el caso de espacios que tengan un uso prioritario acústico, como salas de conciertos, estudios de grabación, etc.

#### 12.3.1 Sistemas de protección acústica

Son conjuntos de componentes que se incorporan a los edificios con la intención de detener sonidos no deseados antes de que penetren en los espacios que queremos controlar. Al considerar las características de la piel de los edificios ya se toma en cuenta la importancia de su peso, de la continuidad y uniformidad de sus cualidades como barrera acústica y de la hermeticidad en los cerramientos practicables. Consideraciones parecidas se hacen al tratar el diseño del interior en cuanto a su compartimentación, la distribución de los espacios y el peso y la continuidad de los cerramientos. Aquí planteamos el caso en que las acciones en el diseño general no han sido suficientes para separar espacios incompatibles acústicamente. En este caso los sistemas posibles, que significan un incremento del aislamiento en decibelios, son:

- a) Pantallas acústicas especiales
  - b) Espacios acústicos intermedios
-

### a) Pantallas acústicas especiales

Sistemas de protección acústica que refuerzan el efecto de barrera de los componentes constructivos que hacen de separación entre el ambiente exterior y el espacio interior, o entre espacios acústicos interiores diferentes pero contiguos. Su función es la de reducir la inmisión de sonido del exterior o de un local que produce ruido a otro espacio interior. Pueden actuar como pantallas acústicas los elementos que sobresalen de las fachadas, cualquier tipo de cerramiento doble y los sistemas flotantes.

Los **elementos salientes** de una fachada, sean voladizos, aleros, balcones, etc., pueden reflejar las ondas acústicas que llegan desde una dirección, que normalmente va de abajo a arriba y así proteger las ventanas u otros puntos débiles desde el punto de vista acústico del cerramiento del edificio.

Se debe prever que estos mismos elementos no se conviertan en reflectores que incrementen la incidencia del sonido sobre las aberturas. Para evitarlo conviene convertir en absorbentes acústicos las superficies reflectoras peligrosas. El incremento de aislamiento acústico que pueden proporcionar estos sistemas puede significar fácilmente una reducción de entre 6 y 12 dB.

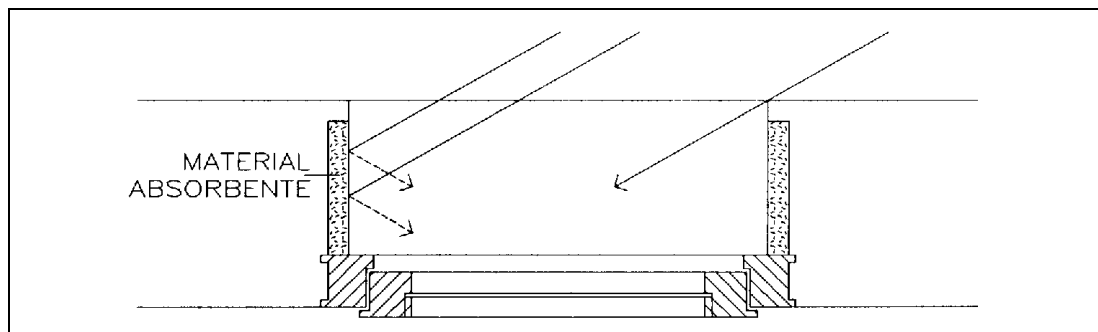


Fig.12.42 Colocación de absorbente acústico para evitar la reflexión hacia la ventana

Otra manera de crear pantallas de protección acústica es doblar los cerramientos, sean transparentes u opacos, que tengan un aislamiento acústico insuficiente. Puede ser necesario incrementar su acción con la superposición de una capa que refuerce el efecto.

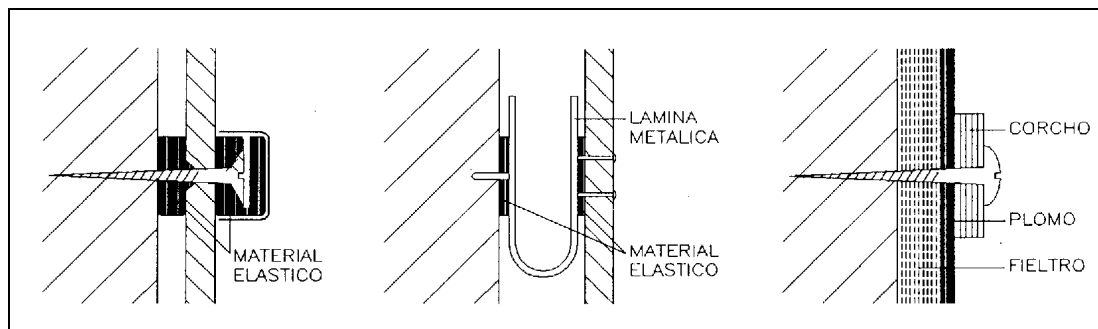


Fig.12.43 Dispositivos de estanqueidad para la sujeción de paneles

Siempre se debe dejar una cámara de aire que independice las dos capas y se debe procurar reducir la reverberación que se puede producir en el interior de la cámara, por lo que es favorable una alta absorción en el interior de la misma.

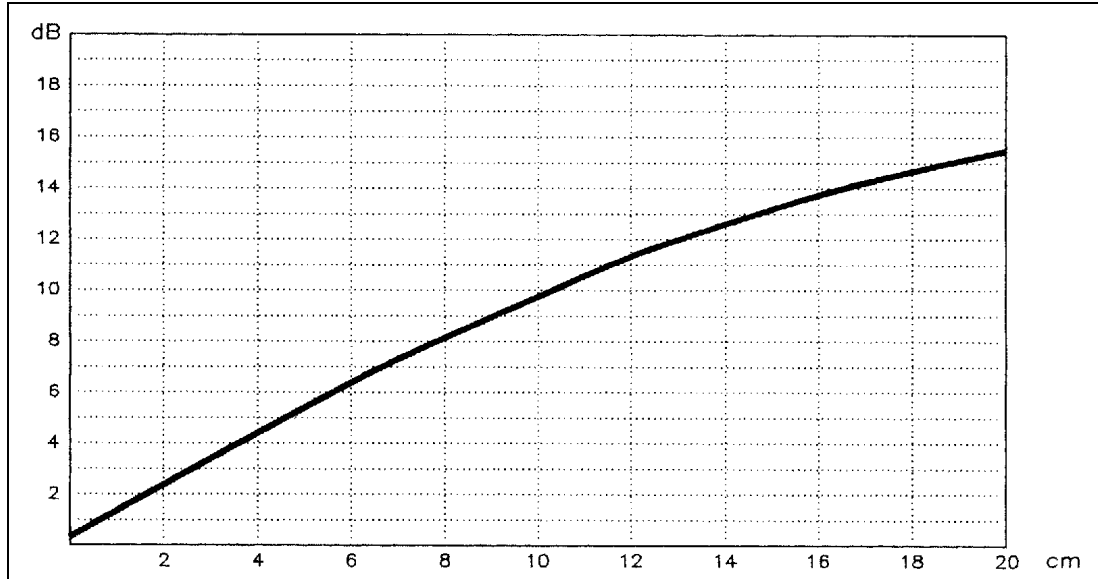


Fig.12.44 Aislamiento acústico que representa una cámara de aire, según su anchura

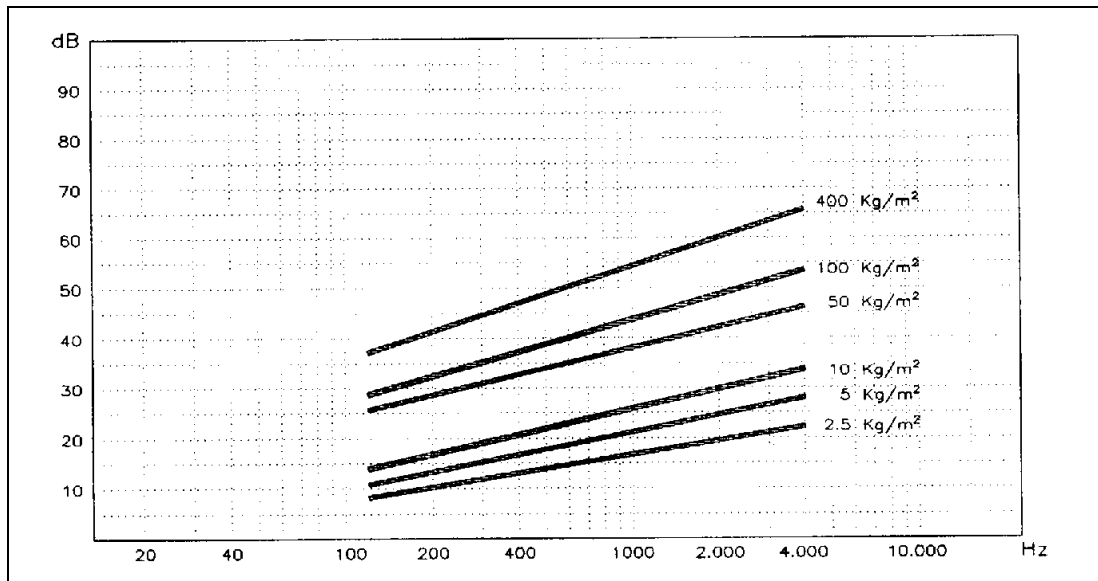


Fig.12.45 Aislamiento acústico del sonido aéreo de un panel, según su frecuencia y su masa



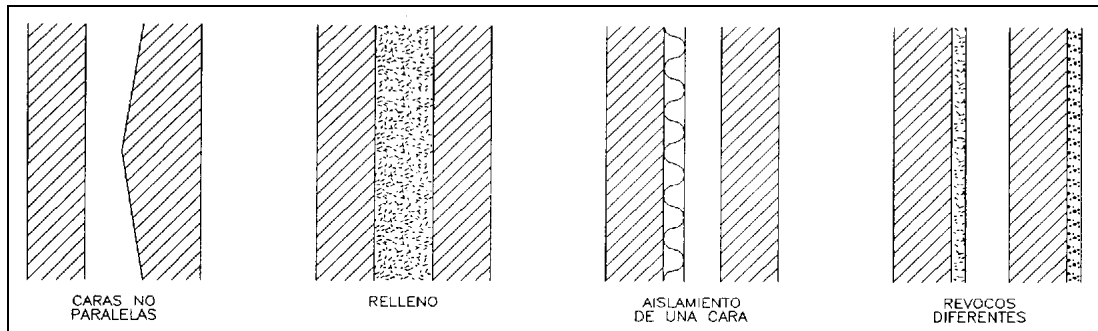


Fig.12.46 Soluciones que evitan ondas estacionarias en cámaras de aire

Los sistemas de pantallas acústicas creadas por el efecto que produce doblar los cerramientos, pueden ser **ventanas o puertas dobles, falsos techos de aislamiento, paredes dobles, etc.**

Los incrementos de aislamiento que comportan estas soluciones pueden ir de los 10-20 dB de las ventanas dobles, hasta los 20-30 dB de una pared doble, pasando por los 15-25 dB de un falso techo especial.

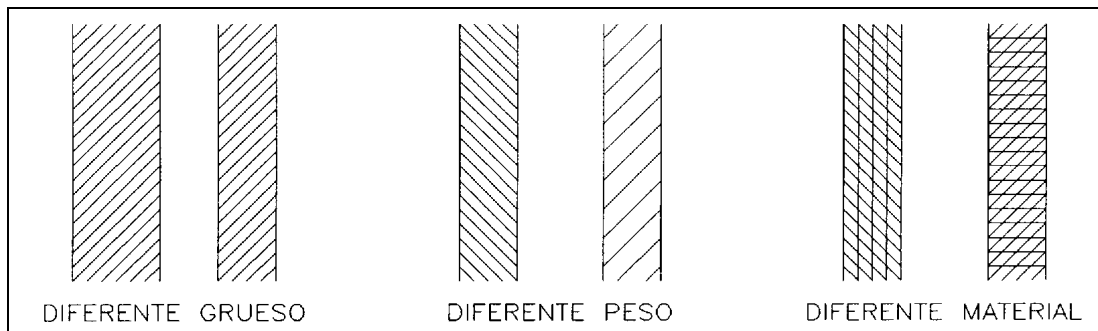


Fig.12.47 Soluciones que evitan vibraciones coincidentes en paredes dobles

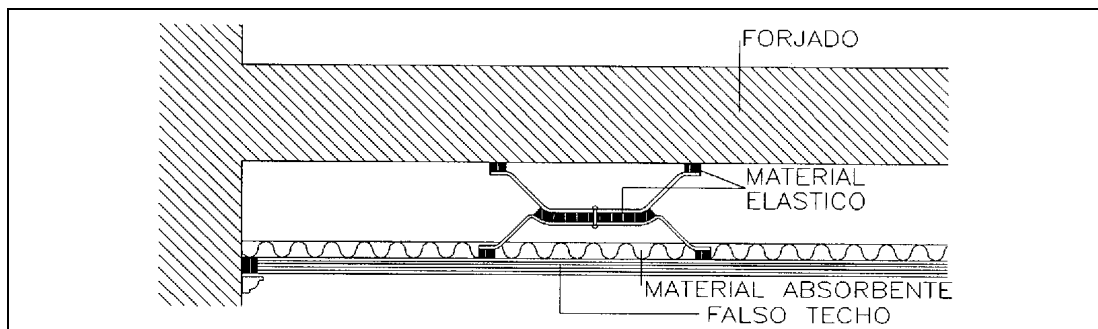


Fig.12.48 Esquema de un tipo de falso techo aislante

En el caso de las ventanas es muy importante considerar que el vidrio, por su cualidad vibrátil, acusa

mucho el fenómeno de la resonancia. Con tal de mejorar el aislamiento, se puede recurrir a vidrios dobles de diferentes groesos, que son ventajosos si los dos cristales no son paralelos, si las juntas son de caucho sintético y si las cámaras de aire están revestidas lateralmente con material absorbente.

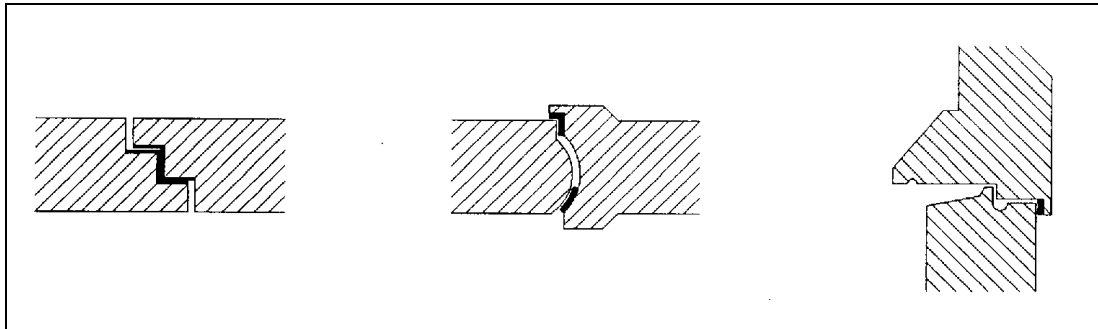


Fig.12.49 Tipos de juntas estancas en carpinterías

Igualmente, en el caso de las ventanas practicables, será muy importante controlar las juntas entre la carpintería y el marco, mediante burletes de caucho, dobles galces, etc. En cualquier caso la mejor solución siempre será doblar todo el conjunto de la ventana (con los laterales revestidos de absorbente).

Un tipo de vidrio de comportamiento especialmente bueno es el blindado, que además de un peso elevado, favorable según la ley de masas, tiene una buena resistencia a la vibración, debida a su composición heterogénea por capas.

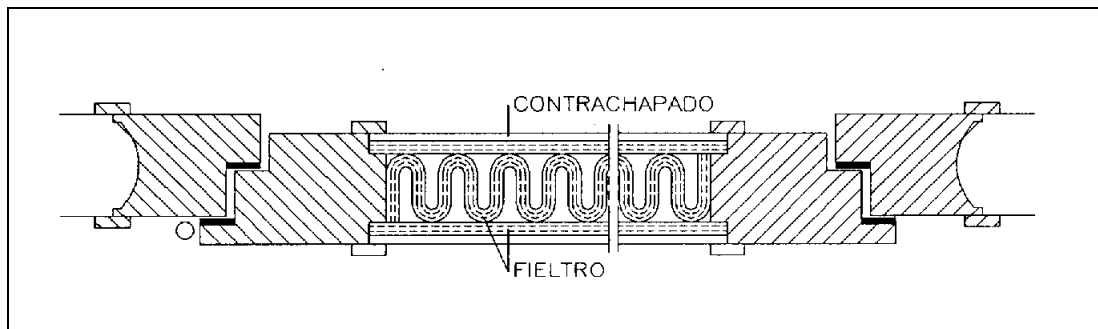


Fig.12.50 Puerta diseñada para conseguir un buen aislamiento acústico

Otro caso especial es el de las puertas, importante sobre todo en separaciones entre locales interiores. Se debe favorecer el incremento de su peso e incluso llenarlas de arena, si es posible.

Se deben controlar con cuidado las juntas de las puertas y en especial la solución del umbral, que acostumbra a ser un perfecto puente acústico entre locales.

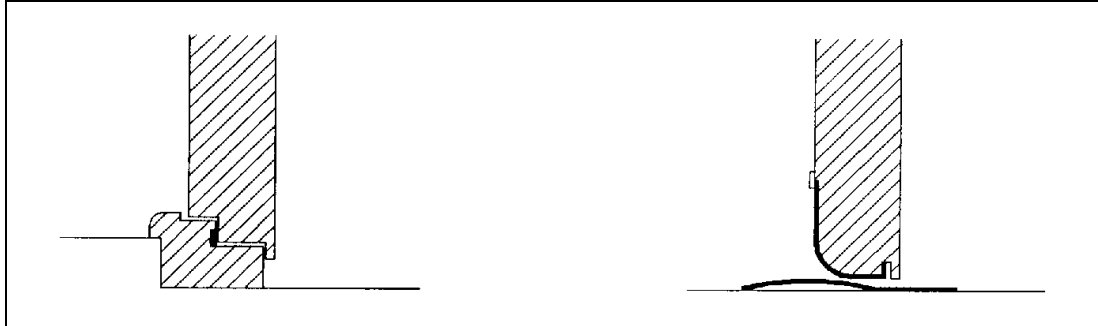


Fig.12.51 Soluciones para evitar los puntos débiles que tienen las puertas

Un caso especial de refuerzo de barreras acústicas es el de los **suelos flotantes**; en este caso se refuerza el aislamiento de un forjado con la superposición de un pavimento que queda separado elásticamente.

Esta solución representa una mejora en el aislamiento a los ruidos de impacto y puede llegar a significar incrementos de aislamiento o de índice  $\alpha$  de unos 20 - 30 dB. También actúa como aislamiento contra los ruidos aéreos con mejoras de los aislamientos que pueden llegar a 25 - 40 dB.

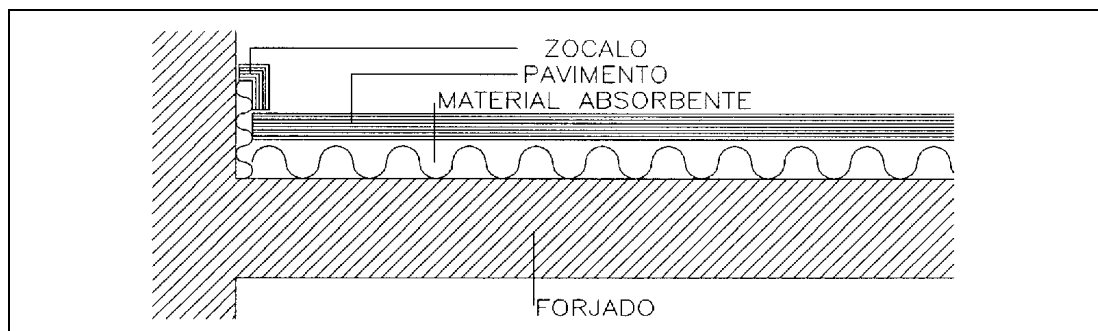


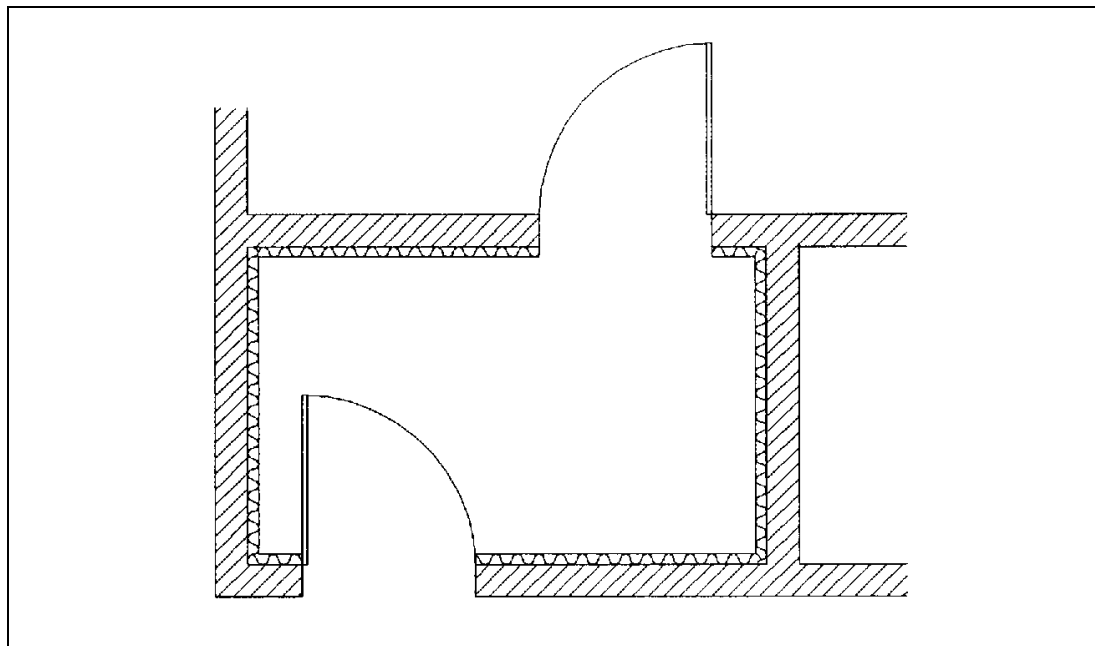
Fig.12.52 Esquema de un tipo de pavimento flotante

Su único inconveniente, además del sobrecoste, es que representa un incremento de carga sobre la estructura del edificio que si no se ha tenido en cuenta, puede representar un riesgo para la construcción.

**b) Espacios intermedios acústicos**

Un segundo tipo de sistema de protección acústica es la generación de espacios intermedios que actúen como barrera entre dos ambientes incompatible acústicamente.

Además de todo lo comentado al tratar el interior de los edificios, en el capítulo 11, se debe recordar aquí la importancia del tratamiento de este espacio intermedio como cámara de alta absorción, cosa que permite obtener fácilmente incrementos de aislamiento de más de 40 dB.



*Fig.12.53 Espacio intermedio acústico que actúa como separador*

### 12.3.2 Sistemas de corrección acústica de locales

Son conjuntos de componentes que tienen como misión específica corregir el comportamiento acústico de un local. Su función no es aislar el espacio interior contra sonidos que provienen del exterior, sino procurar un buen reparto espacial y temporal de la energía acústica.

Tener un local con un reparto de la energía acústica correcto significa mejorar la reverberación, evitar ecos y cualquier tipo de concentraciones focales del sonido, así como reforzar las ondas acústicas cuando sea necesario y en las direcciones más convenientes.

Como los materiales y acabados de los espacios interiores de los edificios acostumbran a ser muy reflectores al sonido, la mayoría de veces la corrección acústica de locales significa disponer materiales especialmente absorbentes situados en los lugares más idóneos.

La elección del tipo más apto de absorción selectiva según las condiciones y necesidades del local que queramos corregir, así como el uso de sistemas de absorción variable, permitirán un control ajustado de las cualidades acústicas resultantes.

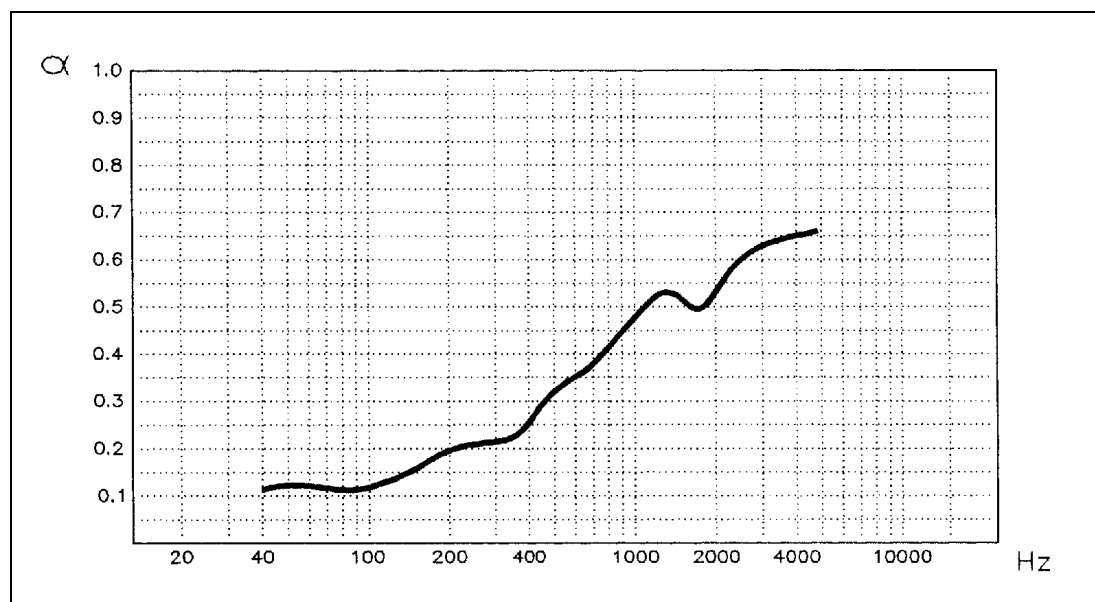


Fig.12.54 Gráfica del comportamiento de un panel absorbente colocado directamente sobre una pared

**Los sistemas absorbentes** se caracterizan según los valores de su coeficiente de absorción para las diferentes frecuencias y se puede afirmar que, cuando este coeficiente tiene valores superiores a 0,15, ya se puede considerar como un absorbente.

El aumento de la absorción de un paramento determinado puede conseguirse con el adosamiento de materiales o dispositivos que, tanto por su composición como por su geometría, sean capaces de absorber la energía del campo acústico.

Hay diferentes tipos de sistemas absorbentes, que podemos clasificar según el proceso o el mecanismo de degradación de la energía acústica que utilicen. El proceso de degradación determinará donde tienen su máximo rendimiento y por lo tanto qué tipo de sonidos absorberán preferentemente.

Es muy importante desde el punto de vista de la acústica arquitectónica el conocimiento de los tipos de sonidos que son capaces de absorber los diversos sistemas, tanto si son agudos como graves, ya que esto da una primera información sobre la calidad acústica del espacio resultante, incluso antes de conocer la cantidad de energía que pueden absorber.

Básicamente se dividen en sistemas absorbentes porosos y sistemas absorbentes resonadores.

#### **a) Sistemas absorbentes porosos**

Los sistemas absorbentes porosos basan su funcionamiento en la degradación de la energía que se produce por fricción en el interior de sus poros.

Se pueden agrupar en dos grupos: los materiales porosos de esqueleto rígido y de esqueleto flexible, que tienen un funcionamiento acústico muy similar, pero en cambio con unos mecanismos de puesta en obra muy diferentes, cosa que hace decisiva la elección de un tipo u otro según su sencillez de colocación y de adaptación a un espacio determinado.

porosos de esqueleto rígido

porosos de esqueleto flexible

#### **b) Sistemas absorbentes resonadores**

Los sistemas absorbentes resonadores basan su funcionamiento en la degradación de energía que se produce al convertirse la energía sonora incidente en energía mecánica.

Se pueden agrupar en resonadores simples y resonadores acoplados, que en este caso sí que tienen un comportamiento acústico muy diferente. Los resonadores simples, sobre todo el de Helmholtz, tienen un comportamiento absorbente muy puntual para determinadas frecuencias, mientras que los acoplados amplían el campo de frecuencias críticas absorbidas.

resonadores simples

\* de Helmholtz

\* de membrana

resonadores acoplados

---

En el gráfico se representan las curvas de respuesta de diferentes tipos de absorbentes acústicos. Se puede observar que la máxima capacidad de absorción varía mucho según la frecuencia del ruido que incide. Es por esto que acostumbra a ser recomendable combinar la acción de estos absorbentes para obtener una respuesta más uniforme en todo el espectro acústico.

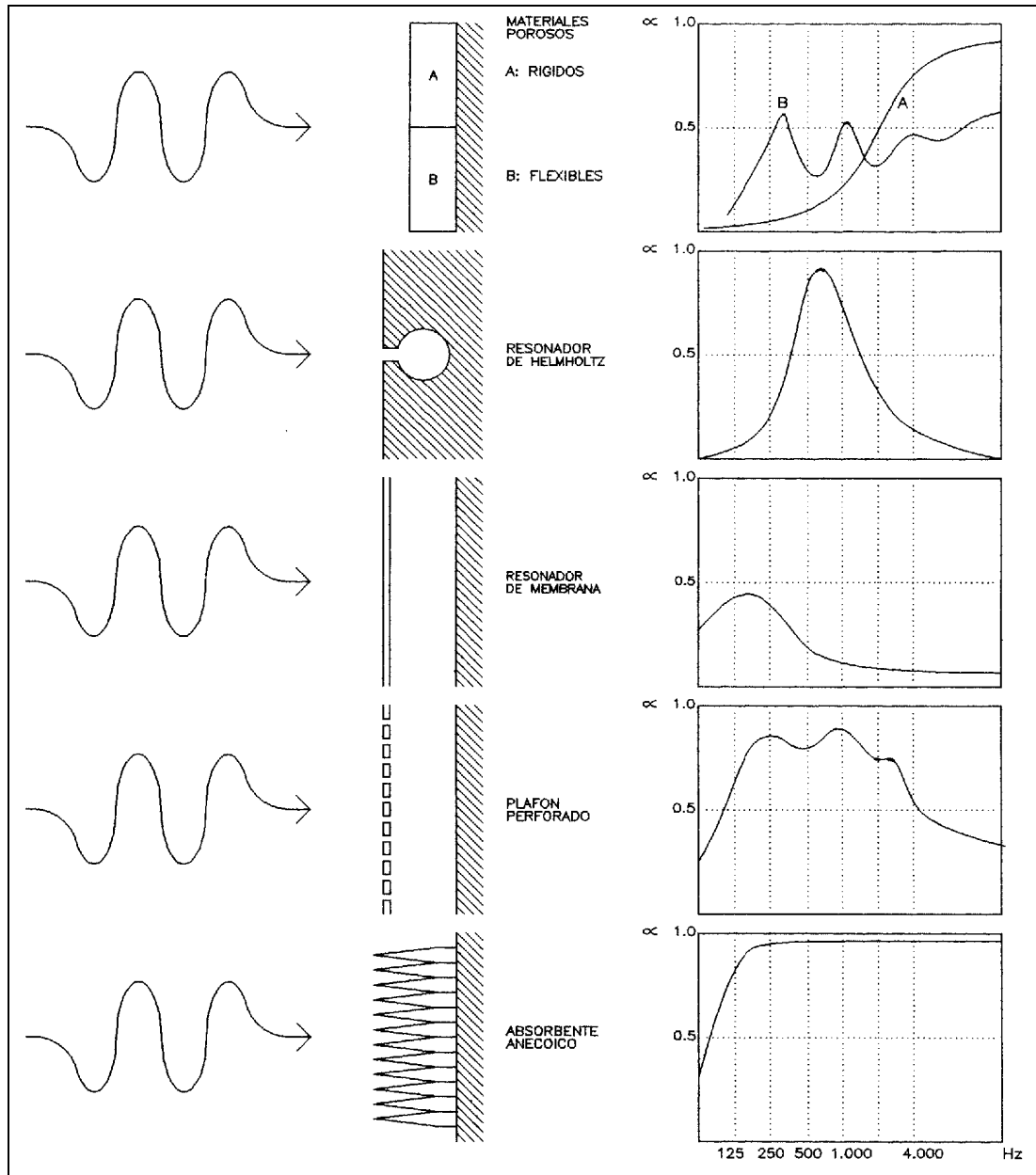


Fig.12.55 Tipos de absorbentes acústicos y sus curvas de respuesta

Los **materiales porosos** que actúan como absorbentes acústicos son materiales de celda abierta y en

contacto directo con el aire exterior.

Absorben la energía acústica por fricción de las moléculas de un fluido, que es el aire, al entrar al interior de estas cavidades tortuosas e intentar pasar a su través.

Su capacidad de absorción aumenta típicamente a las frecuencias más altas y por lo tanto tienen mucha más absorción a los sonidos agudos que a los graves.

Esto se puede observar en la gráfica de comportamiento de diferentes materiales absorbentes porosos de esqueleto rígido como son los filtros sintéticos, las piezas de aglomerados de corcho y los tejidos similares a terciopelos sintéticos, que se utilizan habitualmente como sistemas correctores de la acústica de los locales.

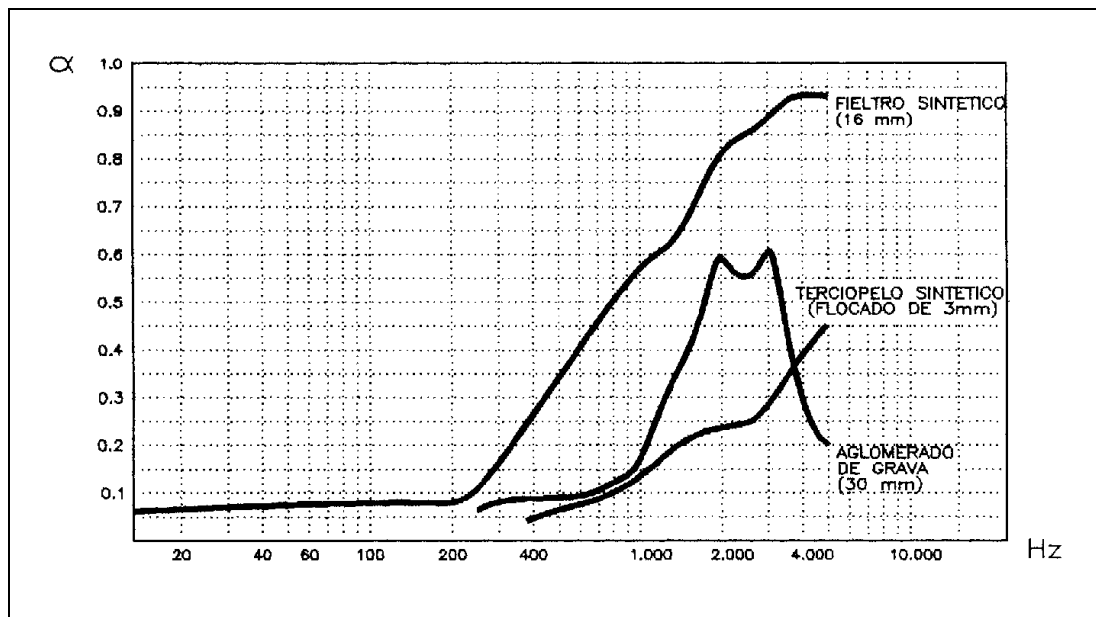


Fig.12.56 Gráfica del comportamiento absorbente a diferentes frecuencias de materiales porosos de esqueleto rígido

En la gráfica de la página siguiente se representa el efecto que tiene el aumento del grosor de un panel absorbente en su comportamiento como corrector acústico.

Se puede observar cómo la influencia del grosor es mucho más importante para las bajas frecuencias, que para las otras, ya que para el caso de ruidos a altas frecuencias, como son los sonidos agudos; los paneles absorbentes de más de 4 cm de grueso no aumentan significativamente su capacidad de absorción.



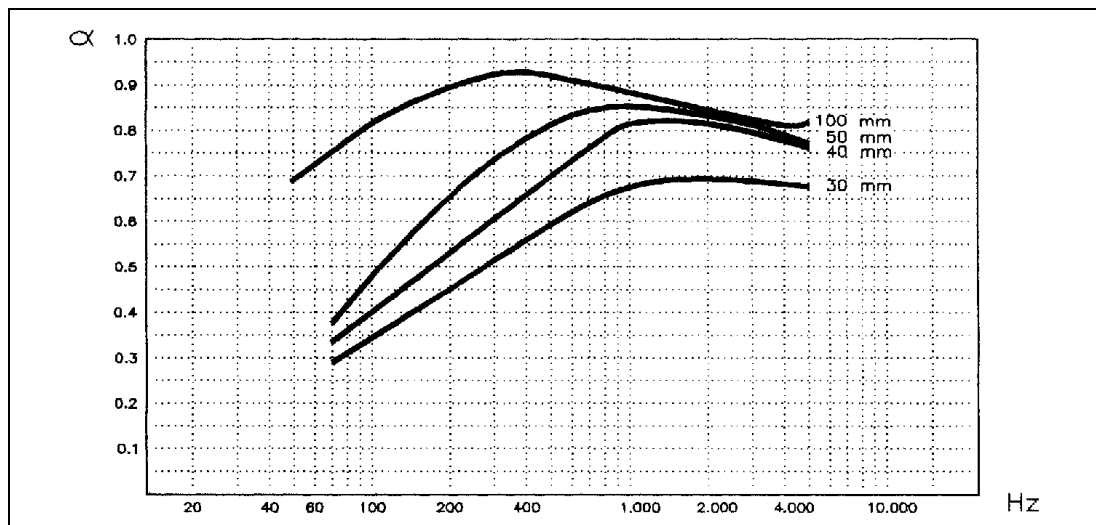


Fig.12.57 Gráfica de absorción de un material poroso de esqueleto flexible, como es la fibra de vidrio, según su grosor

En los **sistemas resonadores** la absorción de la energía acústica se produce por un fenómeno resonante, donde una parte móvil transmite la vibración a una parte posterior elástica que, con una frecuencia de resonancia propia, convierte la energía sonora en energía mecánica.

Trabajan bien para ciertas frecuencias y por esto la capacidad de absorción de un resonador es muy selectiva y llega a un valor máximo a su frecuencia propia, que normalmente es una frecuencia baja. Por este motivo los paneles resonadores son más indicados para absorber sonidos graves que los sistemas absorbentes con materiales porosos.

Como caso particular de estos sistemas están los resonadores de Helmholtz, donde el elemento móvil y el elástico están formados por el aire contenido en una cavidad con una abertura que comunica con el exterior. Estos resonadores pueden acoplarse en paralelo, formando una placa perforada a cierta distancia de la pared de soporte.

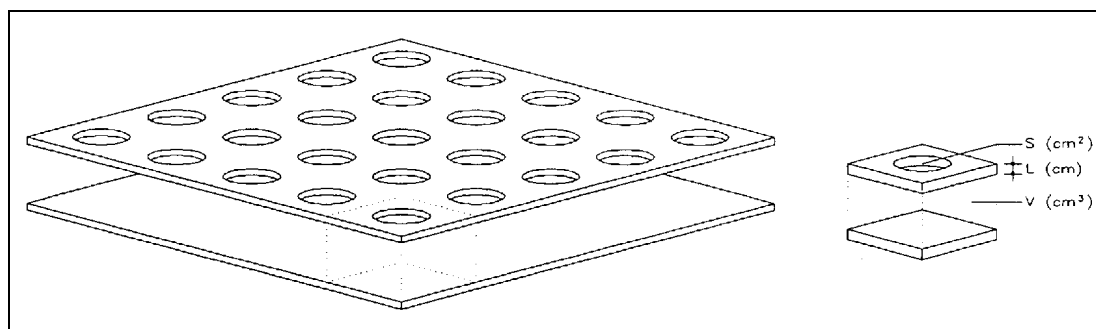


Fig.12.58 Resonador acoplado en paralelo. Panel perforado

En cualquier caso los diferentes tipos de absorbentes pueden trabajar conjuntamente y ofrecer gráficas

de absorción más continuas a las diferentes frecuencias y obtener, así, un comportamiento global favorable de los sistemas.

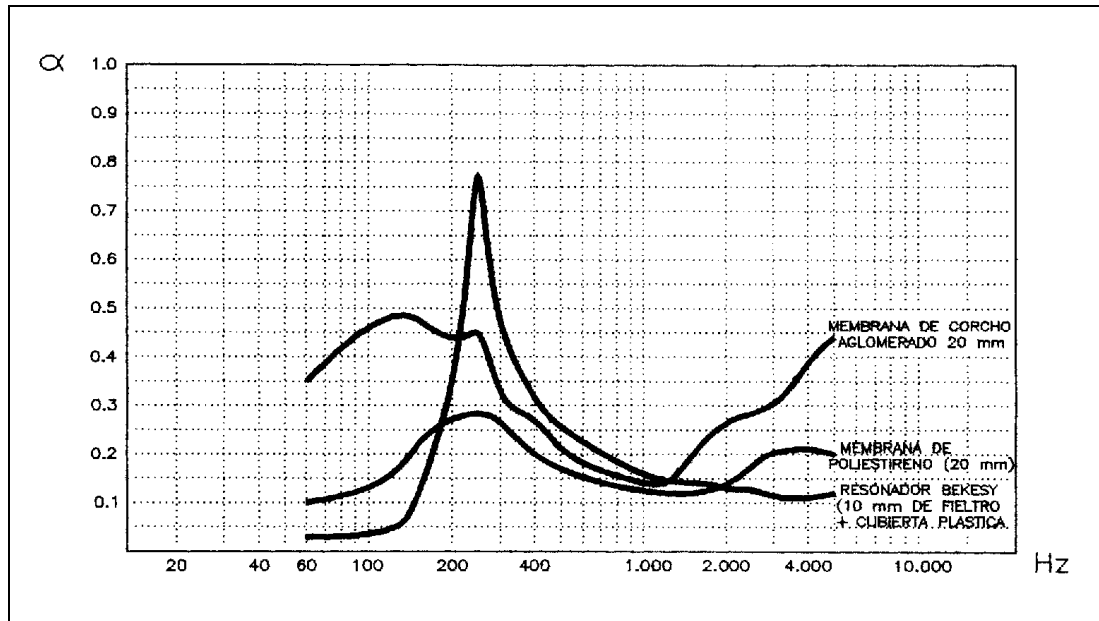
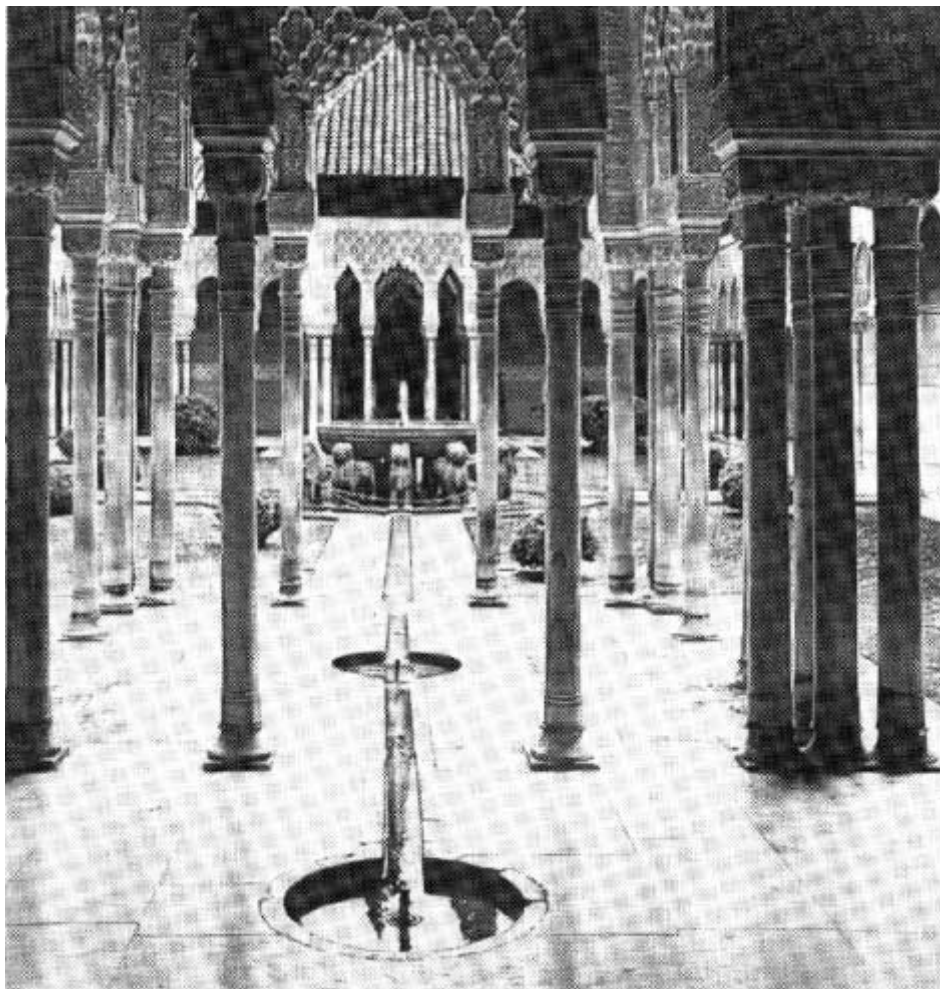


Fig.12.58 Gráficas de absorción acústica de diferentes resonadores de membrana

### 12.3.3 Sistemas generadores de sonido

Son los que actúan produciendo un sonido en el ambiente que se pretende controlar y con ello mejoran sus características. En general puede tratarse de cualquier sonido natural que resulte agradable o de sonidos más o menos artificiales, como es el caso de cortinas que con el movimiento del aire pueden generar un sonido agradable e incluso informativo,.

En otros casos este sonido agradable cumple una función de enmascaramiento y esconde otros sonidos que no se quieren oír, o que no queremos que sean oídos. Este es el caso de surtidores o pequeñas cascadas, que en un interior pueden ser especialmente adecuadas como enmascaradoras, ya que producen un sonido agradable, que cubre las mismas frecuencias de la voz humana y como no es un sonido informativo ni rítmico, no resulta molesto con el paso del tiempo.



### 12.3.4 Sistemas transmisores de sonidos

Aunque históricamente tenían una especial importancia los sistemas de transmisión del sonido en la arquitectura, desde la aparición de los sistemas electroacústicos se ha perdido su utilidad y sólo quedan como curiosidades los efectos especiales de las "salas de los secretos" y los conductos acústicos de otros tiempos.



A pesar de todo, no se puede menospreciar totalmente la posibilidad de recuperar en nuestros edificios sistemas de conducción acústica, para recuperar sonidos agradables, interiores o exteriores al edificio y transmitirlos mediante conductos de interior reflector, concentrarlos con sistemas cóncavos, etc.

Otro caso aparte es el del tratamiento acústico que se debe hacer en conducciones de aire o de ventilación, naturales o artificiales que pueden convertirse fácilmente en conducciones acústicas no deseadas.

En este caso se deberá impedir la propagación del sonido con la creación de sistemas silenciadores, o como mínimo con la utilización de materiales absorbentes en sus paredes. También se pueden convertir en transmisores de ruido los conductos de agua, de gas y de calefacción que atraviesan separaciones entre locales. En este caso, no solamente se deberá interrumpir la continuidad del conducto estableciendo secciones elásticas, sino que también convendrá evitar la unión rígida con las paredes mediante soportes elásticos en los anclajes.

## Anexo A La evaluación del comportamiento ambiental

### A.1 Dimensionado de luz natural

El objetivo de un método de dimensionado del alumbrado natural de un proyecto o edificio, es conocer la cantidad de luz existente en el ambiente interior, así como su distribución.

En el alumbrado natural existe una variabilidad de los factores que generan el ambiente, siendo los sistemas de evaluación poco exactos. El cálculo permite conocer las condiciones interiores en relación con unas exteriores que sabemos cambiantes. Por ello se presentan los resultados en porcentajes respecto al nivel exterior: "*Factores de Iluminación Natural*" (FIN) o "*Daylighting Factors*" (DL):

$$\text{FIN} = \text{DL} = 100 \times E_i (\text{interior}) / E_e (\text{exterior}).$$

En general, los sistemas de cálculo de la luz natural se pueden clasificar en: métodos de predimensionado, métodos punto por punto y cálculo exacto con la ayuda del ordenador.

Los primeros permiten conocer aproximadamente la cantidad de luz que penetra en el espacio y deducir a partir de ello la iluminancia media resultante en el plano de trabajo. El problema de este método es que, dado que normalmente la distribución de la luz en un interior es irregular, el valor medio hallado da poca información sobre el ambiente lumínico resultante. Sólo en el caso de sistemas cenitales difusores o de evaluaciones generales comparativas, puede considerarse útil este sistema.

Los sistemas punto por punto dan la distribución de luz en el local, mediante el cálculo repetitivo de la luz que llega desde las aberturas a cada uno de los puntos de una red teórica o malla del plano de trabajo considerado. Este sistema permite juzgar mejor el ambiente resultante y construir gráficas de valores relativos de iluminancia, pero su precisión es baja, ya que no se considera el efecto de las reflexiones de la luz en los paramentos interiores.

Los sistemas con ordenador permiten calcular punto a punto y tener además en cuenta las reflexiones interiores. De gran exactitud en los resultados, tiene su limitación en la fiabilidad de los datos sobre luz exterior, sólo mejorables con estadísticas detalladas sobre las condiciones medias del cielo.

Por último, es muy importante el sistema de representación de la luz resultante, que se podrá hacer a partir de cualquier método que nos dé los valores "*punto por punto*". Teniendo la malla de puntos del local se pueden dibujar las curvas "*isolux*" o "*isofin*", que unen los puntos del mismo valor de iluminancia, para valores fijos cada 50 o 100 lx o cada 2, 5 o 10 FIN. Estas curvas, parecidas a las de un plano topográfico, dan una información visual muy buena sobre el reparto de luz en el espacio.

---

### A.1.1 Método de predimensionado

El método de predimensionado lumínico más utilizado, tanto por su sencillez, como por la relativa exactitud de los valores que da en relación al tiempo que comporta hacer el cálculo, es el **método del flujo**.

El resultado que da es el valor medio de la iluminancia sobre un plano de trabajo situado a poca altura del suelo de un espacio interior. La formulación es la siguiente:

$$E_i = \frac{E_e S_{pas} v t u}{S_l}$$

- donde:  $E_i$  = iluminancia interior, en lux
- $E_e$  = iluminancia media exterior en un plano horizontal, en lux  
(Normalmente en los cálculos se toma 10.000 lx por día cubierto de invierno y 100.000 lx por día claro de verano.)
- $S_{pas}$  = superficie bruta de paso de la luz para las aberturas, en m<sup>2</sup>
- $v$  = factor de abertura, o ángulo sólido de cielo visto desde la abertura respecto del ángulo sólido total del cielo (2B), en tanto por uno (en un plano vertical valdrá 0,5)
- $t$  = factor de transmisión del cerramiento globalmente considerado en tanto por uno (normalmente valdrá por debajo de 0,7)
- $u$  = coeficiente de utilización, o relación entre el flujo que llega al plano iluminado y el flujo entrante al local por la abertura, en tanto por uno (valores de 0,2 a 0,65)
- $S_l$  = superficie del local, en m<sup>2</sup>
-

### A.1.2 Método de cálculo punto por punto

Este método calcula la iluminancia resultante para cada uno de los puntos escogidos, que están formando una malla de metro por metro y para cada una de las aberturas, consideradas como superficies emisoras difusas. Las fórmulas básicas que se aplican son:

$$E = \frac{I \cos^2 \theta}{d^2}$$

donde: E = iluminancia resultante, en lux  
 I = intensidad que llega al punto, en candelas  
 " = ángulo con el que llega la luz desde la abertura  
 d = distancia del centro de la abertura al punto, en m

$$I = L S_0$$

donde: L = iluminancia de la abertura, en cd / m<sup>2</sup>  
 S<sub>0</sub> = superficie de la abertura, en m<sup>2</sup>

$$L = \frac{E_0}{B}$$

donde: E<sub>0</sub> = iluminancia que emerge de la abertura

$$E_0 = E_c v t$$

donde: E<sub>c</sub> = iluminancia media exterior en un plano horizontal, en lux  
 v = factor de abertura, o ángulo sólido celeste visto desde la abertura respecto del ángulo sólido total celeste (2B), en tanto por uno  
 t = factor global de transmisión del cerramiento en tanto por uno

Existen tablas y ábacos gráficos que permiten el cálculo del factor de abertura v y de la iluminancia media exterior en un plano horizontal E, dependiendo de la situación geométrica de las aberturas en relación al exterior y al punto iluminado.

---

### A.1.3 Métodos de cálculo con ordenador

Son los que utilizan las potencialidades del cálculo informático para integrar los resultados de la luz que llega a cada punto, procedente, tanto de las aberturas como de las reflexiones interiores.

A continuación se incluye el manual de uso del programa que acompaña este texto:

**R A F I S** (*Rough Analysis For Illuminated Spaces*)

MANUAL DE USO

Se trata de un programa de cálculo de la iluminación natural de un espacio interior. Con una entrada de datos simplificada al máximo se obtienen resultados, con la máxima precisión posible, de la luz que llega al interior.

Como programa de uso didáctico o de diseño general, admite prácticamente cualquier forma de local, con la limitación de que se considera el suelo horizontal y de que sus cerramientos no deben proyectarse nunca hacia el interior, ya que no admite formas convexas.

El programa puede utilizarse en ordenadores personales compatibles tipo IBM con pantalla VGA color o similar. Se utiliza desde el teclado con la ayuda de un ratón para entrar los datos gráficos, aunque si dicho ratón no existe se puede hacer lo mismo con los cursores. Dicho programa calcula y representa gráficamente los valores de "*factor de iluminación natural*" en un plano horizontal teórico situado a 80 cm del suelo.

#### Fundamentos

Para el cálculo de las iluminancias resultantes se utiliza el proceso siguiente: en primer lugar se hace una división geométrica de la superficie total de los paramentos interiores en áreas equivalentes, en un número aproximado de 40. En cada una se calcula la luz directa que llega desde todas las ventanas definidas en el local, teniendo presente la luminancia del cielo según las diferentes orientaciones y la altura por encima del horizonte.

A continuación se calcula la reflexión en cada una de las áreas y las considera focos emisores que iluminan todas las demás. Este proceso se repite dos veces, obteniéndose valores bastante exactos de la iluminancias y por lo tanto de la luminancia de todos los paramentos interiores.

Por último se calculan, en el plano de trabajo teórico definido, las iluminancias que llegan, directamente de las ventanas y de las áreas interiores del local.



A continuación se describe el programa RAFIS siguiendo el mismo orden de las pantallas de ordenador que van apareciendo al ejecutarlo:

## **PANTALLA 1**

---

### **PRESENTACIÓN**

Aparece el nombre del programa, autores, versión, etc. Se continúa pulsando cualquier tecla.

## **PANTALLA 2**

---

### **NOMBRE DEL ARCHIVO**

Permite introducir el nombre del proyecto que se quiere realizar, con el que se archivará.

**F1 SALIR** Permite salir del programa.

## **PANTALLA 3**

---

### **PROCESO 1 DEFINICIÓN PAREDES**

Aparece un campo gráfico limitado por las cuatro orientaciones (N, E, S, O), un indicador (>) de dibujo y unas coordenadas que cambian con la posición de este. Al colocar el indicador sobre un punto del dibujo previamente definido, se asocia a este punto con sus coordenadas y altura (aparece en el indicador un cuadrado que denota esta asociación).

Las coordenadas son "*unidades de dibujo*" que, consideradas como metros, permitirán locales de medidas normales. Se puede aplicar el cambio de escala en casos de locales muy grandes.

Los cerramientos no podrán tener formas "*convexas*", es decir, salientes hacia el interior.

Un paramento puede descomponerse en sectores (para diferenciar diferentes coeficientes de reflexión). Los cerramientos se numeran a partir de 1, considerando el suelo como plano 0.

En el ángulo superior izquierdo de la pantalla aparecerá una vista axonométrica del local dibujado, observado desde el SE.

---

Las indicaciones que van apareciendo en la pantalla 3 son las siguientes:

**Señala 1er. punto del cerramiento:**

Se debe señalar con el ratón o con los cursores, pulsar < -

**Indicar altura:**

del punto que se esté definiendo con las unidades de dibujo de las coordenadas, pulsar < -

**Señala 2º punto del cerramiento:**

Aparece una línea en pantalla unida al punto anterior, que se mueve con el ratón o con los cursores, para señalar el punto se sigue el mismo proceso que en el caso anterior.

**Indicar altura:**

Se introduce un valor o se deja el valor por defecto, que es el del punto anterior.

**Coef. Reflexión cerramiento 1:**

Se introduce un valor de 0 a 1 (o se deja el valor que tiene por defecto), pulsar < -

..... se repite el proceso hasta cerrar el local.

Además de seguir las indicaciones de la pantalla, hay otras opciones, en color verde, que sólo aparecen si están activadas (o sea que son posibles), como son:

- F1 SALIR-SALVAR**  
Sale del programa, salvando y archivando el proyecto
- F2 MODIFICA COEF**  
Cambia los coeficientes de reflexión dados anteriormente. Cuando ya se han introducido, vuelve al PROCESO 1 DEFINICIÓN DE PAREDES con **F10**
- F6 REINICIA PROCESO**  
Reinicia el proceso en que se está, en este caso el PROCESO 1 DEFINICIÓN DE PAREDES y se comienza de nuevo el dibujo de las paredes del local.
- F10 CAMBIO DE PROCESO**  
Aparece cuando se ha cerrado el local y si no aparece, quiere decir precisamente que hay algún plano definido de tal forma que el local no queda totalmente cerrado y no permite continuar adelante con el cálculo. Si el local es correcto lleva al siguiente PROCESO 2 DEFINICIÓN DE CUBIERTAS

**Intro VALIDAR**

**Cursores / Ratón MOVER PUNTO**

## PANTALLA 4

---

### PROCESO 2 DEFINICIÓN CUBIERTA

Continúa el dibujo anterior y define los planos que componen la cubierta, que se dibujan uno a uno, señalando sucesivamente los vértices del perímetro de cada plano, hasta cerrarlo.

Si se escoge como vértice uno de los puntos definidos en el PROCESO 1 (paredes), el programa toma como altura la de la pared en este punto; de otra forma se debe definir la altura del punto señalado.

Los planos definidos deben ser "posibles" y cerrar el volumen del local para poder continuar.

Las indicaciones que van apareciendo en la pantalla 4 son las siguientes:

**Señala 1er. punto cubierta:**

Se señala con ratón o con cursores.

**Indicar altura:**

Se introduce el valor en las unidades de dibujo escogidas.

**Señala 2º punto cubierta:**

Se van señalando sucesivamente, hasta que se indica de nuevo el primer punto.

**Coef. Reflexión cerramiento:**

Se introduce un valor entre 0 y 1, o se deja el valor que tiene por defecto.

..... se repite el proceso hasta cerrar el local.

En esta pantalla las opciones que están activadas son las siguientes:

**F1 SALIR-SALVAR**

**F2 MODIFICA COEF**

**F6 REINICIA PROCESO**

Si la superficie dibujada no coincide con la deseada se vuelve al PROCESO 2.

**F10 CAMBIO DE PROCESO**

Aparece cuando se ha cerrado el volumen y lleva al PROCESO 3.

**Intro VALIDAR**

**Cursores / Ratón MOVER PUNTO**

---

## PANTALLA 5

---

### PROCESO 3 DEFINICIÓN VENTANAS

El programa presenta, uno a uno, todos los planos de fachadas y cubiertas, siempre vistos desde el interior y en el caso de las cubiertas, con la máxima pendiente en dirección vertical. Podemos dibujar ventanas rectangulares en cualquier plano, indicando dos ángulos opuestos.

Las coordenadas que aparecen indican, en primer lugar, la situación del punto inicial de la ventana en el plano donde está (origen en el ángulo inferior izquierdo); en segundo lugar da las medidas de la ventana que se está definiendo al situar el segundo punto, todo ello en unidades de dibujo (m).

Definida una ventana, el programa pide el coeficiente de transmisión (valor 1 por defecto), que será el del conjunto de la ventana a la luz natural y que incluirá la acción del vidrio, carpintería, suciedad, persianas, cortinas y todo elemento incluido en el plano de ventana.

A continuación pide un coeficiente de obturación de la misma ventana, con valor 0 por defecto. Este coeficiente indicará aproximadamente el tanto por uno del cielo que resulta obstruido por elementos exteriores a la misma ventana (aleros, árboles, otros edificios, etc.).

Las acciones que se deben seguir para completar este PROCESO 3 DEFINICIÓN DE VENTANAS son las siguientes:

Con la tecla **PgUp/PgDn** se escoge el plano donde se quiere situar la ventana y a la vez se le identifica en la perspectiva axonométrica superior, donde queda resaltado.

Para definir las dimensiones y la colocación de la ventana, con el ratón se indica el primer vértice de la ventana y a continuación el vértice opuesto. Una vez definida, aparecen las indicaciones siguientes:

**Coef.Trans:**

Se introduce el coeficiente de transmisión, valor que está entre 0 y 1.

**Coef.Obtr:**

Se introduce un valor entre 0 y 1, que es el coeficiente de obturación para esta ventana

..... se repite el proceso para cada ventana.

---

Las opciones activadas en esta pantalla 5, proceso de definición de ventanas son:

- F1      SALIR-SALVAR**
- F2      BORRAR VENTANA**  
Permite eliminar una ventana y volver al PROCESO 3 con **F10**
- F3      EFECTUAR CÁLCULO**  
Si tenemos un local cerrado y hay como mínimo una ventana.
- F10     CAMBIO DE PROCESO**  
Vuelve a llevar al PROCESO 1.

**Intro   VALIDAR**  
**PgUP/PgDN   CAMBIO DE PLANO**  
**Cursores/Ratón   MOVER PUNTO**

## **PANTALLA 6**

---

### **CALCULANDO**

El programa toma cierto tiempo, según la capacidad del ordenador, para calcular la luz que llega a los diferentes paramentos, las interreflexiones entre ellos y la luz resultante en el plano de trabajo. En la pantalla van apareciendo los rótulos siguientes:

**OPTIMIZANDO MALLA.....**  
**PLANO... VENTANA... PUNTO.....**  
**....REFLEXIÓN PUNTO... SOBRE.....**  
**PLANO DE TRABAJO COLUMNA... FILA.....**

### **Ctrl C   Cancela cálculo**

Al acabar el cálculo se retorna a una de las pantallas de PROCESO (1, 2 o 3), donde aparecen, además de las opciones que ya existían, las nuevas opciones, que son:

- F4      VISUALIZAR**  
Lleva a PANTALLA 7.
  - F5      IMPRIMIR**  
Lleva a PANTALLA 8.
-

## PANTALLA 7

---

### GRAFICA FIN

Presenta los resultados del cálculo gráficamente en un dibujo del plano de trabajo coloreado, donde las diferentes intensidades de color se corresponden con diferentes valores de "*Factor de Iluminación Natural*" (FIN), expresadas en tanto por ciento en una escala situada por debajo del dibujo.

También se dan numéricamente los valores mínimo, medio y máximo de estos Factores.

### F10 CAMBIO DE PROCESO

Lleva a una de las pantallas de proceso.

## PANTALLA 8

---

### IMPRIMIENDO RESULTADOS

Procede a la impresión de los resultados del cálculo en una hoja donde aparecen:

El nombre del proyecto

Los diferentes planos con su coeficiente de reflexión

Las diferentes ventanas con las medidas y sus coeficientes de transmisión y de obturación

Los valores de FIN Mínimo, Medio y Máximo

Un dibujo en planta donde se representan, en una gama de grises, los valores del FIN en el plano de trabajo.

Al finalizar el programa de mandar información a la impresora, se retorna automáticamente a una de las pantallas de proceso.

---

## A.2 Dimensionados acústicos

El objetivo de los métodos de dimensionado acústico consiste en hacer un análisis que permita controlar la reverberación del sonido y la inmisión de ruido proveniente del exterior. Estos dos datos, controlados para diferentes frecuencias, son suficientes para evaluar un local de uso y dimensiones normales. Sólo en casos de locales de gran dimensión i/o destinados a audiciones musicales, se harán cálculos más complejos y estudios geométricos cuidadosos.

### A.2.1 Evaluación de la reverberación

El método de Eyring, derivado del de Sabine, permite conocer aproximadamente el tiempo de reverberación de una sala, suponiendo que existe una distribución relativamente uniforme de materiales absorbentes del local, que la absorción total no es muy alta y que por lo tanto se genera una situación aproximada de cámara reverberante, con niveles de sonido estabilizado parecidos en todos los puntos del local. En estas condiciones se puede aplicar:

$$TR = \frac{0,162 V}{A}$$

donde: TR = tiempo de reverberación teórico de la sala, en segundos

V = volumen de la sala, en m<sup>3</sup>

A = unidades de absorción de la sala, en m<sup>2</sup>

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

donde: S<sub>i</sub> = superficies totales del interior, en m<sup>2</sup>

α = coeficiente de absorción media, α =  $\sum G S_i \alpha_i / S_t$

Existen tablas que nos dan los valores típicos de los coeficientes de absorción de cada uno de los materiales, así como tablas y ábacos que dan los valores recomendables del tiempo de reverberación según el volumen y el tipo de actividad de la sala.

Se debe realizar el cálculo, como mínimo, para las frecuencias de 125, 500 y 2.000 Hz. Se admite en el tiempo de reverberación resultante del cálculo una tolerancia respecto al teórico óptimo de un ± 5 % a 500 Hz, y de un ± 10 % en las otras frecuencias.

### A.2.2 Cálculo del aislamiento

Nos dará el nivel medio de intensidad o de presión sonora expresado en decibelios, existente en la sala por la acción de la inmisión de un sonido exterior a la misma. El cálculo se realiza para cada uno de los diferentes cerramientos donde incide el sonido, con:

$$L_i = L_e - R + 10 \log \frac{S}{A}$$

- donde:  $L_i$  = nivel interior en dB  
 $L_e$  = nivel exterior en dB  
 $R$  = aislamiento acústico del cerramiento, en dB  
 $S$  = superficie del cerramiento considerado, en  $m^2$   
 $A$  = unidades de absorción de la sala, en  $m^2$

Si existen diferentes penetraciones, se deberán sumar los valores resultantes de cada una, con una conversión previa de los valores en decibelios a valores energéticos normales en  $w/m^2$ .

---



### A.2.3 Métodos de cálculo por ordenador

Permite optimizar los resultados, utilizando la gran velocidad de los ordenadores para realizar cálculos que pueden resultar pesados si se hacen manualmente, sobre todo en el proceso de ajustar los tiempos de reverberación a los óptimos.

A continuación mostramos el manual de uso del programa que acompaña este texto:

O I D A (*Open Input for Developping Acoustics*)

MANUAL DE USO

Programa previsto para un ordenador tipo PC o compatible, que permite hacer el predimensionado de las condiciones acústicas de una sala, evaluar los tiempos de reverberación resultantes y los niveles de intensidad sonora para tres bandas de frecuencia (125, 500 y 2.000 Hz).

#### Fundamentos

Los datos de características geométricas y acústicas de un local permiten evaluar las condiciones en un campo reverberante sin requerir un gran número de entradas, quedando resumidas en:

Datos geométricos del volumen del local y la superficie de cada uno de los cerramientos (con un valor máximo de 64 cerramientos).

Datos sobre la constitución de los paramentos definidos. Estos datos se encuentran en una base de datos que existe en el programa de cálculo y que incluso es ampliable desde el mismo programa.

Datos sobre los acabados (absorción) de los mismos paramentos definidos antes, donde los datos se encuentran en una base de datos existente en el programa y ampliable desde éste.

No se realizan todas las comprobaciones explícitas de la compatibilidad de los datos entre sí y se entiende la coherencia de los datos como responsabilidad del usuario del programa.

---

Para hacer el cálculo del tiempo de reverberación se aplica la fórmula de Eyring-Knudsen, que considera que la absorción del sonido dentro del local proviene, por un lado, de las reflexiones del sonido en los cerramientos y por otro de la absorción del aire; así:

$$TR = \frac{0,162 V}{\sum S_t \ln(1 + \alpha) + 4mV}$$

donde:  $m$  = coeficiente de absorción del sonido en el aire, de 0,004 en casos normales.

Para el cálculo del nivel de intensidad resultante en el interior por la emisión de sonido exterior, se aplica el resultado del balance energético (en potencias) entre la transmisión de sonido por los cerramientos y la absorción de las superficies interiores. Esto se expresa:

$$I_{ext} S_i t_i = I_{int} S_i$$

donde:  $I_{ext}$  = intensidad exterior incidente al cerramiento, en  $W/m^2$

$I_{int}$  = intensidad resultante en el interior, en  $W/m^2$

$t_i$  = coeficiente de transmisión sonora del cerramiento

A continuación está la descripción del programa OIDA siguiendo el mismo orden de las pantallas de ordenador que aparecen al ejecutarlo:

## PANTALLA 1

---

### PRESENTACIÓN

Aparece el nombre del programa, de los autores, de la versión, etc. Desde aquí podemos entrar en el programa propiamente dicho o entrar en la base de datos de materiales para modificarla o ampliarla.

**F1 continuar**

Entra en el programa de cálculo.

**F2 fichero de materiales**

Visualización y/o ampliación de las bases de datos.

**ESC salir del programa**

---

## PANTALLA 2

---

### DATOS GENERALES DEL PROYECTO

En esta pantalla van apareciendo los títulos siguientes, que se deben llenar para continuar:

**Código del proyecto:**

Pide un nombre para conservar los datos del proyecto y si ya existe, recupera el proyecto archivado.

**Denominación del proyecto:**

Este será el nombre del proyecto que irá saliendo en las sucesivas pantallas y también el que saldrá con los resultados.

**Volumen total del local:**

Introducir su valor en m<sup>3</sup>

Si se han completado estos datos aparece una tabla sobre la cual se deben ir llenando y corrigiendo los diferentes datos de los cerramientos:

### DATOS DE LOS CERRAMIENTOS:

**No. comentario**

Espacio reservado para cualquier comentario que facilite al usuario la identificación de los paramentos de su proyecto.

**No. param.**

Se introduce un número que representa un determinado tipo de paramento, según el fichero de materiales existentes en la base de datos (F6).

**No. acabado**

Se introduce un número que representa un tipo de acabado superficial, según el fichero de acabados existentes en la base de datos (F7).

**S (m<sup>2</sup>)**

Metros cuadrados del paramento considerado.

**Ruido incidente (125, 500, 2.000 Hz)**

Se introduce el valor del ruido incidente sobre este paramento, en las frecuencias principales, en decibelios.

---

En esta misma pantalla de datos generales encontramos las opciones siguientes:

- F6: consulta del fichero de paramentos**  
En la parte superior de la pantalla aparece la tabla de los diferentes paramentos que hay en la base de datos; sin que se puedan modificar los valores se vuelve a la tabla de datos de los paramentos con **F10**.
- F7: consulta del fichero de acabados**  
También aparece en la parte superior de la pantalla la tabla de los diferentes tipos de acabados que hay en la base de datos. Podemos volver a la tabla de datos de los paramentos con **F10**.
- F1: continuar**  
Lleva a la pantalla de resultados, sólo si la absorción es >0.
- ESC: salir del programa**

### PANTALLA 3

---

#### RESULTADOS

Muestra de datos generales que se han introducido, como son la denominación del proyecto, el volumen en metros cúbicos, el número de cerramientos y la superficie total de los cerramientos, así como los resultados acústicos para las diferentes frecuencias: **tiempo de reverberación**, en segundos y **nivel de ruido**, en decibelios.

Al lado del tiempo de reverberación calculado, aparece un valor entre paréntesis que es el "*tiempo de reverberación recomendable*" (TR óptimo).

En esta pantalla de resultados acústicos hay las opciones siguientes:

- F1: continuar**  
Vuelve a la primera pantalla.
- F4: corregir datos del proyecto**  
Va a la pantalla de introducción de los datos de los paramentos.
- F5: imprimir el resultado**  
Los imprime conjuntamente con los datos generales del proyecto.
- ESC: salir del programa**  
Sale salvando el proyecto.
-

## BASE DE DATOS

---

En el caso de que se quieran añadir o modificar datos acústicos de paramentos o de acabados superficiales, se puede acceder a la base de datos que tiene el programa desde la PANTALLA 1 PRESENTACIÓN con **F2**

### FICHERO 1

### MATERIALES-PARAMENTOS

Aparece una tabla con los tipos de cerramientos y su aislamiento acústico a las diferentes frecuencias.

Las opciones que tenemos en esta pantalla son:

- F1: continuar**  
Hacia el fichero de la base de datos siguiente, que es el de acabados.
- F3: para modificar o añadir datos**
- ESC: salir del programa**

Si seguimos dentro de la base de datos, aparece el siguiente fichero:

### FICHERO 2

### MATERIALES-ACABADOS

Aparece una tabla con los datos de absorción a las diferentes frecuencias de los diferentes tipos de acabados superficiales de los cerramientos.

Las opciones que tenemos en esta pantalla son:

- F1: continuar**  
Como no hay ningún otro fichero en la base de datos, va a la PANTALLA 2 DATOS GENERALES DEL PROYECTO, si se empieza desde aquí.
  - F3: para modificar o añadir datos**
  - ESC: salir del programa**
-

### A.3 Dimensionado climático

El objetivo de los cálculos climáticos es el de permitir conocer la temperatura media interior y la oscilación tipo de temperatura de un edificio con comportamiento natural, sometido a la acción del clima de los meses extremos del año (Enero en invierno y Julio en verano).

#### A.3.1 Métodos estáticos, situación de balance

Estos métodos pretenden obtener un valor medio de la temperatura interior (temperatura de balance o de equilibrio), para unas condiciones determinadas del clima exterior y del edificio (invierno o verano), suponiendo que todas las acciones son constantes en el tiempo. Tienen valor orientativo de las condiciones generales de la arquitectura respecto al clima, sin embargo no reflejan las variaciones temporales, que pueden ser muy importantes en los climas templados.

La expresión básica para calcular la temperatura media interior ( $T_i$ ) es:

$$T_i = T_e + \frac{I + D}{G}$$

donde:  $T_e$  = temperatura media exterior para el mes considerado, en EC

$I$  = ganancia media por radiación solar, en  $W/m^3$

$D$  = aportes medios internos, en  $W/m^3$

$G$  = coeficiente de intercambio térmico, en  $W/(EC m^3)$

Las ganancias medias por radiación solar ( $I$ ) se pueden calcular como:

$$I = S_{vs} R_v$$

donde:  $R_v$  = radiación media en un plano vertical a Sur, en  $W/m^2$  valores típicos: enero =  $125 W/m^2$ , julio =  $104 W/m^2$

$S_{vs}$  = superficie equivalente de ventana a Sur, en  $m^2/m^3$

---

La superficie equivalente de ventana a Sur ( $S_{vs}$ ) es:

$$S_{vs} = \frac{\sum_j S_i \zeta_i CR_i}{V_h}$$

donde:  $S_i$  = superficies captoras, en  $m^2$

$\zeta_i$  = coeficiente de captación

para sistemas directos vale de 0,4 a 0,7

para sistemas indirectos  $\zeta_i = a r_e / (r_e + r_i)$

$a$  = coeficiente de absorción

$r$  = resistencias al paso de calor

$CR_i$  = coeficiente según la orientación y las obstrucciones

valores típicos	S	E/O	N	Cubierta
Enero	1	0,4	0	0,6
Julio	1	1,8	0,6	2,2

$V_h$  = volúmen habitable, en  $m^3$

Los aportes medios internos ( $D$ ) se pueden calcular como:

$$D = \frac{\sum_j n_i e_i nh_i}{V_h 24}$$

donde:  $n_i$  = número de elementos que desprenden calor

$e_i$  = energía que desprende cada elemento, en W

$nh_i$  = número de horas diarias de funcionamiento

El coeficiente de intercambio térmico (  $G$  ) se puede calcular como:

$$G = G_t + G_v$$

donde:  $G_t$  = coeficiente de intercambio por transmisión,  $W/(EC \text{ m}^3)$

$G_v$  = coeficiente de intercambio por ventilación,  $W/(EC \text{ m}^3)$

El coeficiente de intercambio por transmisión (  $G_t$  ) es:

$$G_t = \frac{\sum S_i K_i \eta_i}{V_h}$$

donde:  $S_i$  = superficies de la piel, en  $m^2$

$K_i$  = coeficiente de transmisión del calor, en  $W/(EC \text{ m}^2)$

$\eta_i$  = coeficiente de situación de la superficie

valores típicos:

$\eta_i$	Sur	E/O	Norte	Patio	Cubierta	Suelo	Locales
Enero	0,9	1,0	1,1	0,8	1,2	0,4	0,5
Julio	1,0	1,1	0,8	0,9	1,2	0,0	0,6

El coeficiente de intercambio por ventilación (  $G_v$  ) es:

$$G_v = 0,29 \text{ rh}$$

donde: rh = volúmen horario de intercambio de aire en  $m^3/(m^3 \text{ h})$

valores típicos: Enero = 0,25 - 2,5 Julio = 6 - 12



### A.3.2 Métodos dinámicos, situación de variabilidad

Con estos métodos se pretende encontrar el valor de la oscilación de la temperatura interior respecto al valor medio resultante de la aplicación de la fórmula del balance. En este valor de oscilación influirá la variación de condiciones producida por la situación de noche respecto a la de día, así como la variación que se produce en una secuencia de días extremados que se alejan de la media del mes considerado. Las dos variaciones, diaria y secuencial, producen oscilaciones que pueden acumular sus efectos en un momento dado.

La fórmula base que se utiliza es:

$$* T_i = \left( * T_e \cdot \frac{I\%D}{G} + \frac{I'\%D}{G} \right) \left( 1 + e^{-\frac{tG}{M}} \right)$$

donde:  $* T_i$  = oscilación de la temperatura interior, en EC

$* T_e$  = oscilación efectiva de la temperatura exterior, en EC

$$* T_e = (T_{\max} - T_{\min}) / 4$$

$I'D'G'$  = valores de estos parámetros en el período de la variación (durante la noche o en días extremados)

*I' será igual a 1 si toda la captación es indirecta.*

*I' será igual a 0 si toda la captación es directa.*

*En otros casos se hará la media ponderada.*

$t$  = tiempo que dura la variación, en segundos  
(16 h en ciclo diario  $\times 3.600 = 57.600$  s y 48 h en secuencial  $\times 3.600 = 172.800$  s)

$M$  = masa térmica unitaria, en Joules/(EC m<sup>3</sup>)

La masa térmica ( $M$ ) se puede calcular como:

$$M = \frac{\sum V_i D_i c_{e_i} Ct}{V_h}$$

donde:  $V_i$  = volumen de los materiales interiores en m<sup>3</sup>

$D_i$  = densidad, en kg/m<sup>3</sup>

$c_{e_i}$  = calor específico, en joules/EC Kg)

*( $c_e = 840$  para materiales normales y  $c_e = 4.186$  para el agua)*

$Ct$  = factor de tiempo

*(ciclo día-noche = 0,6 y ciclo secuencial = 0,7)*

### A.3.3 Métodos de cálculo por ordenador

Permiten realizar cálculos que reproducen el comportamiento térmico de un edificio, con una precisión muy alta. El problema en muchos casos se presenta con la entrada de datos, que normalmente es muy pesada. Por otra parte, los cálculos que se realizan usualmente son de tipo reiterativo y resultan muy lentos y superan fácilmente las capacidades de los ordenadores más ligeros. En nuestro caso presentamos con este texto un programa que utiliza sistemas de cálculo diferentes, basados en los conceptos expuestos antes de balance y la variabilidad, que permite obtener resultados bastante precisos sin cálculos reiterativos y en períodos cortos de tiempo. A continuación mostramos el manual de uso del programa.

CLACA (*Climatic Analysis for Comfortable Architecture*)

MANUAL DE USO

El programa ha sido concebido como una herramienta de ayuda en el diseño arquitectónico que permite conocer aproximadamente los resultados energético-ambientales de las decisiones del proceso de diseño, conociendo las características geométricas y constructivas del proyecto.

No explicaremos este programa pantalla a pantalla, ya que no sigue un proceso tan lineal como el RAFIS o el OIDA. Como tiene muchas más posibilidades existen diversas subrutinas posibles, lo que hace que se pueda acceder a un mismo punto desde diferentes lugares.

#### PRESENTACIÓN

Esta primera pantalla es de carácter general y aparece el nombre del programa, los autores, la versión, etc.

#### MENÚ DE ELECCIÓN GENERAL

Se trata de la pantalla que permite el acceso a las diferentes posibilidades del programa, a donde se vuelve normalmente después de las diferentes subrutinas posibles y desde donde se puede salir del programa.

- 1 DATOS GENERALES
- 2 DATOS CLIMÁTICOS
- 3 DATOS DEL EDIFICIO
- 4 RESULTADOS DEL DISEÑO
- 5 ARCHIVOS

**Pulse ESC para acabar el programa**

---

## 1 DATOS GENERALES PARA EL PROYECTO

---

Pantalla donde se solicitan sucesivamente:

**Nombre del proyecto**

Cualquiera hasta 10 caracteres.

**Tipo de edificio**

A escoger entre los que se presentan en el programa ( 4 tipos ).

**Volumen (metros cúbicos) > 40**

**Número de ocupantes aproximado (>0)**

El que se supone aproximadamente.

## 2 DATOS CLIMÁTICOS

---

Pantalla donde se muestran, para el verano y el invierno, los valores que el programa toma para los parámetros del clima exterior: T, \*T, R, E, H, V y \*V.

La tabla que muestra estos valores, los especifica para el día medio del mes más extremado de invierno y de verano, pero también lo hace para tres tipos de "días tipo" de cada estación: A, B y C para el invierno, y X, Y y Z para el verano. Para estos tres tipos de día, el programa muestra las secuencias típicas que utilizará, de una semana de duración.

Todos los valores de la tabla, así como las secuencias típicas, pueden ser modificados por el usuario introduciendo nuevos valores en el lugar correspondiente. Esta utilidad permite precisar un clima del cual se conozcan más exactamente los datos, pero también permite ampliar la utilidad del programa en cualquier otro clima.

(Desde aquí se volverá al menú general, una vez validados todos los datos introducidos con Ctrl F).

---

### 3 DATOS DEL EDIFICIO

---

Esta opción permite introducir los datos geométricos y constructivos de un proyecto.

- (1) PIEL
- (2) INTERIOR
- (3) ESPECIALES
- (4) PATIOS

#### (1) PARÁMETROS DE LA PIEL DEL EDIFICIO

En una tabla se introducen, una a una, todas las superficies que cierran el volumen habitable. Arriba a la derecha aparece la orientación que se está considerando, incluyendo los casos de límite con cubierta, patios o el suelo. Se pide para cada superficie:

**la superficie** (en m<sup>2</sup>).

**la k** diurna y nocturna (coef. de transmisión térmica en w/EC m<sup>2</sup>).

**La obstrucción** en tanto por uno, que hay delante de la superficie (aberturas), siempre que la obstrucción sea móvil.

preguntas (S/N) si está **adosada** a otro edificio o **asentada** al terreno.

**el peso del cerramiento** en kg/m<sup>2</sup>

**la situación del aislamiento** (exterior, al medio o interior)

pregunta (S/N) si es una **abertura** y en el caso de que lo sea:

su **factor de transparencia** en tanto por uno (incluyendo obstrucciones fijas),

su **practicabilidad** (comunicación directa con el exterior para ventilar (S/N).

**la hermeticidad** (en el caso de ser practicable), expresada en tanto por mil de lo que representan las grietas sobre el total de la superficie.

en superficies ni asentadas ni adosadas, ni aberturas, se pide si es **superficie de captación indirecta** (S/N) y en caso positivo se piden:

**coeficiente de captación a la radiación solar** en tanto por uno y

**factor de retardo a la transmisión** de la energía hacia el interior (1 para sist. directos, o para indirectos e intermedios para semidirectos).

---

## (2) PARÁMETROS INTERIORES DEL EDIFICIO

Esta opción permite entrar los datos de paredes y forjados interiores, con una tabla que pide, para dos direcciones principales escogidas por el programa según la dirección del viento dominante, las paredes separadoras sucesivas que existen, con su peso superficial, la superficie de las perforaciones que tienen y el grado del cerramiento posible de las aberturas, expresado en tanto por uno y que puede significar la proporción de aberturas que pueden cerrarse respecto del total de su superficie.

También se piden los mismos datos para los forjados separadores, considerados en dirección ascendente.

Por último, cuando se han llenado todas las separaciones y se validan (Ctrl F), se pide el peso total añadido de elementos interiores, mobiliario y otros, para tenerlo presente en la inercia térmica del edificio, con la particularidad de que si se utilizan recipientes con agua para aumentar esta inercia introduciendo su peso, se debe multiplicar éste por 5, para tener presente su calor específico más alto.

## (3) SISTEMAS ESPECIALES DEL EDIFICIO

En esta opción se pide si existen algunos de los sistemas especiales de mejora climática del edificio y se introducen, en los seleccionados, los datos básicos para poder calcular su efecto. Los sistemas tratados son:

**Captación independiente** (los sistemas directos e indirectos ya están incluidos en la piel del edificio).

**Torre de viento evaporativa** (si sólo es torre de viento la superficie húmeda será 0).

**Conductos enterrados** (como sistema de entrada de aire).

**Efecto chimenea** (como sistema de salida de aire).

**Cámara solar** (como sistema de salida de aire).

**Aspirador estático** (valorado por su capacidad extractora en m<sup>3</sup>/h, valor dado por el fabricante que puede ser muy variable).

**Sistema captor de verano** (suponiendo un sistema captador de invierno que se utiliza en verano como cámara solar).

---

#### **(4) DATOS SOBRE PATIOS DEL EDIFICIO**

En esta pantalla se pide simplemente el número de patios que hay en el edificio y para cada uno se pide la superficie de agua que tiene (si hay) y el tanto por uno aproximado de sombra en el patio en verano, todo ello para valorar su posible acción refrigeradora en verano.

### **4 RESULTADOS DEL DISEÑO**

---

Aparece:.....calculando.....

y a continuación las pantallas siguientes:

#### **RESULTADOS TÉRMICOS**

Da la gráfica de tiempo y temperaturas interiores, con la variación durante siete días (en el caso de invierno y de verano). Muestra la temperatura del aire y la de sensación, que tiene presente también la humedad, la radiación y el movimiento del aire. En la gráfica están rayadas las zonas de confort de invierno y de verano correspondientes al tipo de edificio y abajo se muestra en una barra el consumo previsible en calefacción del edificio en kw/h por m<sup>3</sup> y por año.

Desde aquí se puede volver al menú general (<-), o pasar a la siguiente (la otra tecla).

#### **RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL EDIFICIO**

Resume numéricamente los datos de superficies y volúmenes que se han introducido, y forma la tabla de las superficies de los diferentes contactos para cada orientación.

Desde esta pantalla se continua hacia :

---

## PARÁMETROS GENERALES RESULTANTES DEL DISEÑO

Se muestran los parámetros numéricos que el programa ha utilizado para el cálculo:

T	temperatura exterior media (EC)
*T	oscilación temperatura (EC)
V	velocidad media del viento (m/s)
*V	dirección del viento dominante
H	humedad media específica (gr/kg)
R	radiación media sobre plano vertical a Sur ( $w/m^2$ )
E	iluminancia horizontal (lux)
Gt	coeficiente de intercambio por transmisión ( $w/EC$ y $m^3$ )
Gv	coeficiente de intercambio por ventilación ( $w/EC$ y $m^3$ )
fe	coeficiente de intercambio evaporativo ( $w/m^3$ )
fs	superficie vertical equivalente a captadora de radiación a Sur ( $m^2/m^3$ )
fl	superficie vertical equivalente a captadora de iluminación ( $m^2/m^3$ )
Cu	coeficiente de utilización lumínico a 1/6 de la anchura del edificio
me	masa térmica unitaria exterior de la piel ( $kwh/EC$ y $m^3$ )
mi	masa térmica unitaria interior del edificio ( $kwh/EC$ y $m^3$ )
ft	coeficiente de intercambio por contacto con el terreno ( $w/m^3$ )

---

## RESULTADOS ENERGÉTICOS APROXIMADOS DEL DISEÑO

En este sector de la pantalla se muestran los valores ambientales energéticos resultantes del cálculo para el invierno y el verano, con el significado siguiente:

$T_i$	temperatura media interior (EC)
$*T_i$	oscilación de la temperatura media interior (EC)
$E_i$	iluminancia media interior a 1/6 de la anchura del edificio (lux)

(Desde esta pantalla se vuelve al menú general.)

## 5 ARCHIVOS

---

Con esta opción aparece un menú que permite:

- 1 Nombrar proyecto**
- 2 Salvar proyecto**
- 3 Cargar proyecto**
- 4 Cambio de Directorio de Proyectos**

Además, en la parte inferior de la pantalla, aparece el nombre actual del proyecto y el del directorio donde se guardará en caso de ser salvado.

(Desde esta pantalla se vuelve la menú general).

---