

ARCHITECTURA Y ENERGIA

1 Arquitectura Bioclimàtica

1.1 El confort tèrmico

1.2 Principios básicos de la arquitectura bioclimática

1.3 El clima

2 El Sol

2.1 El recorrido del sol y las sombras

2.2 Protección de ventanas

3 Sistema Solar Pasivo

3.1 Ganancia directa de calor

3.2 Ganancia indirecta de calor

3.3 Ganancia aislada

3.4 El Vidrio

3.4.1 La arquitectura del vidrio en el siglo XIX

3.4.2 La vuelta a los espacios urbanos acristalados

4 Enfriamiento pasivo

4.1 Principios de Enfriamiento pasivo

4.2 Los efectos del viento

4.2.1 Efecto Vòrtice descendente

4.2.2 Efecto Esquina

4.2.3 Efecto Estela

4.2.4 Efecto Torre

4.2.5 Efecto Vacío

4.2.6 Efecto de Enlace de Presiones

4.2.7 Efecto Canal

4.2.8 Efecto Venturi

4.2.9 Efecto Piràmide

4.2.10 Efecto Refugio

4.3 La masa termica (vease texto en ingles)

4.4 La masa del terreno (vease texto en ingles)

4.5 L'epavoracion (vease texto en ingles)

4.6 Hassan Fathy: la energía natural y la arquitectura vernacular

4.6.1 La mashrabiya

4.6.2 El qa'a

4.6.3 El malqaf

4.7 Lazlo Mester de Parajd: la arquitectura bioclimática en África

4.7.1 La arquitectura tradicional y la tecnología moderna

4.7.2 Nuevas técnicas

4.7.3 El edificio Onersol

4.8 Aplicaciones del control climático en espacios abiertos en la Expo'92, Sevilla

4.8.1 Coberturas

4.8.2 Reducción de las temperaturas a nivel superficial

4.8.3 Reducción de la temperatura del aire

4.8.4 Torres de enfriamiento

4.8.5 La Rotonda Bioclimática

4.9 La Arquitectura de Vasco Vieira da Costa: diseño en climas cálidos y húmedos

4.10 Enfriamiento pasivo en escuelas. Jaime Lòpez de Asiain y colaboradores

4.10.1 Centro ATAM. Mairena del Aljarafe, Sevilla, España

4.10.2 Escuela primaria, Guillena, España

4.10.3 Escuela Primaria, Almería, España

4.10.4 Colegio Athenea, Mairena del Aljarafe, España

5 Iluminación natural

5.1 Principios de iluminación natural

5.2 Ejemplos de edificios que utilizan la iluminación natural

6 Climas extremos

6.1 Mesa Verde, Colorado, E.E.U.U.

6.2 Ghardaia, Argelia

6.3 Ralph Erskine y su ciudad subártica

7 Arquitectura bioclimática: ejemplos históricos

7.1 La arquitectura vernácula "inteligente"

7.1.1 El "Dammusi" de la isla Pantelleria

7.1.2 El Trullo y su comportamiento tèrmico

7.2 Las ciudades romanas

7.3 La estratagema renacentista

7.3.1 Las villas de Costozza (Italia)

7.4 Rafael, como arquitecto bioclimático

7.4.1 Villa Madama, Roma

7.4.2 Las logias del Vaticano

7.5 Torres del viento en Irán

8 El factor “energía” en la arquitectura moderna i contemporanea

8.1 Principios del uso de la energía en relación con la arquitectura

8.1.1 Alexander Klein

8.1.2 C.I.A.M.

8.2 Le Corbusier y el Sol como instrumento de arquitectura

8.2.1 La Torre de las Sombras, Chandigar, India

8.2.2 La tabla climática, instrumento esencial para un correcto enfoque en el diseño

8.2.3 La casa Sarabhai, Ahmedabad, India

8.2.4 El Museo en el Centro Cultural de Ahmedabad

8.2.5 Control climático

8.2.6 Barreras solares en diversos climas

8.3 Frank Lloyd Wright. La climatización integrada: innovación tecnológica e invención espacial

8.3.1 Larkin Building, Buffalo (E.E.U.U.)

8.3.2 Robie House, Chicago (E.E.U.U.)

8.3.3 Hemiciclo Solar, Middleton, Wisconsin

8.4 Alvar Aalto

8.4.1 Más allá del bienestar psicológico

8.5 Louis Kahn y la radiación solar

8.5.1 La envoltura que respira

8.6 R. Buckminster Fuller

8.6.1 La arquitectura concebida como sistema energético

8.6.2 La envoltura como válvula de la energía

8.7 Moldeando el medioambiente: la creación de un microclima

8.7.1 L. Halprin, Sea Ranch, California (E.E.U.U.)

8.8 Equipamiento técnico

8.8.1 *Instalaciones ocultas*

8.8.2 *Instalaciones al descubierto*

8.9 La expresividad de la Arquitectura Bioclimática

8.10 Las casas “introvertidas” de Mario Botta

8.11 Manfredi Nicoletti y su arquitectura ecoclimática

8.11.1 *La Biblioteca Alejandrina, Egipto, 1989*

8.11.2 *El Nuevo Museo de la Acròpolis en Atenas, 1990 (M. Nicoletti con el Estudio Passarelli)*

8.11.3 *Teatro de la Òpera de la Bahía de Cardiff - 1994*

8.11.4 *Reconstrucion de los Souks en Beirut (vease texto en ingles)*

8.11.5 *El nuevo Museo del Prado (vease texto en ingles)*

8.12 Arquitectura Bioclimática según Lucio Passarelli

8.13 Pica Ciamarra associati

8.13.1 *Laboratorios de Investigaciòn CNR, Nápoles 1985*

8.13.2 *Edificio para oficinas en Recanati (vease texto en ingles)*

8.13.3 *Esquela Primaria en Pianura, Nápoles (vease texto en ingles)*

8.14 Thomas Herzog

8.14.1 *Vivienda Unifamiliar en Regensburg*

8.14.2 *Complejo de viviendas en Munich*

8.14.3 *Construcciòn de un Albergue del Instituto Educativo de la Juventud, Baja Bavaria (1987-1991)*

8.14.4 *Edificio para Wilkhahn - Salas de Producciòn y Planta de Energía Central*

8.14.5 *Sistema de paneles Novel para la cubierta transparente del Congreso y de la Sala de Exposiciones en Linz*

8.14.6 *Sala de Exposiciones en Hannover (vease texto en ingles)*

8.15 Horst Schmitges

8.15.1 *Residencia para estudiantes, Stuttgart*

8.16 Sir Norman Foster & associates

8.16.1 *Estadio de atletica, Frankfurt (vease texto en ingles)*

8.16.2 *Terminal del Aeropuerto de Stansted, Londres*

8.16.3 *Stockley Parque, Uxbridge (vease texto en ingles)*

8.16.4 *Centro de Promociòn de Negocios, Puerta de Europa, Centro de Microelectronica, Duisburgo*

8.16.5 *Nuevo centro direccional para ITN (vease texto en ingles)*

8.16.6 *Universidad de Cambridge, Facultad de Derecho (vease texto en ingles)*

8.16.7 *2º Liceo Polivalente regional del Fregius (vease texto en ingles)*

8.16.8 *Oficinas Centrales del Commerzbank, Frankfurt*

8.16.9 *Centro direccional para EDF (vease texto en ingles)*

8.16.10 *ARAG 2000 Dusseldorf (vease texto en ingles)*

8.16.11 *Oficinas para Mistral (vease texto en ingles)*

8.17 *Richard Rogers y el enfoque ecológico al medioambiente*

8.17.1 *Kabuki-Cho, Tokio*

8.17.2 *La torre turbina*

8.17.3 *El Crystal Palace en la Ovilla Sur, Londres*

8.18 *Ove Arup & partners - Proyectos de energía pasiva*

8.18.1 *Pabellòn del Reino Unido - Expo '92, Sevilla*

8.18.2 *Edificio GSW - Berlín*

8.18.3 *Northumbria - Proyecto Solar*

8.18.4 *Nuevo Parlamento, Londres (vease texto en ingles)*

8.18.5 *Anglya Poly LRC Chelmsform (vease texto en ingles)*

8.18.6 *Oficinas Inland Revenue, Nottingham (vease texto en ingles)*

8.19 *Proyecto Monitor: algunos edificios bioclimáticos seleccionados por la C.E.E.*

8.19.1 *Ecole de Turnai*

8.19.2 *El liceo en Casalpalocco*

8.19.3 *Casa Briarcliff*

8.19.4 *Maison Quinet*

8.19.5 *La Salut*

8.19.6 *Le Lievre d'Or*

8.20 *Laboratorio de ENEA en Ispra*

8.21 *Centro de informaciòn de Casaccia*

8.22 *Edificio Conphoebus di Catania*

9 Bibliografía

A cargo de: *Arq. Cettina Gallo*

Gracias para la colaboración a:

Costanza De Simone, Giovanni Di Leo, Francesca Plantamura, Gabriele Ricci.

Agradecimientos a:

Marco Citterio, Luciana De Rosa, Gabriele Del Mese, Thomas e Verena Herzog, Katy Harris (Foster & Partners), Augusto Maccari, Manfredi Nicoletti, Gareth Young (Ove Arup & Partners), Jo Olsen (Foster & Partners), Massimo Pica Ciamarra, Alessandro Rogora, Marco Sala, Simon Smithson (Richard Rogers Partnership).

We particularly thank Rafael Serra (University of Barcelona) for the software RAFIS on Daylight.

We thank for their collaboration European Commission (DG XII) .

1 ARQUITECTURA BIOCLIMATICA

1.1 El confort térmico

El cuerpo humano, debido de su actividad metabólica, produce constantemente calor. Nuestro organismo necesita permanecer a una temperatura casi constante para conservarse saludable. En consecuencia, el calor producido debe ser cedido al ambiente con el mismo ritmo con que se genera. Si nuestro cuerpo pierde más calor que el que genera nos enfriamos; en cambio, si perdemos menos calor que el que generamos, la temperatura de nuestro cuerpo subirá. Nuestro cuerpo cede calor al entorno de diversas formas: al aire por convección (C), dependiendo de la temperatura y velocidad del aire; por conducción con cuerpos sólidos con los que está en contacto directo (K), como el suelo, y esto depende de las temperaturas de los cuerpos con los que está en contacto; por radiación del cuerpo (R) a las diversas superficies “vistas” (osea, en contacto visual), dependiente de la temperatura de dichas superficies; o por intercambio de calor por evaporación y transpiración, dependiente de la temperatura y de la humedad del aire.

Todos estos intercambios de calor también dependen de todo lo que separe al cuerpo del medioambiente; osea, de los tipos de vestimentas que llevemos puestas. Si llamamos (M) a la cantidad de calor producida por la actividad metabólica de nuestro cuerpo durante una unidad de tiempo dada (M dependerá también de la intensidad de la actividad física en ese momento dado), tendremos confort o bienestar térmico cuando se satisfaga la siguiente ecuación:

$$M = \pm C \pm K \pm R \pm E$$

Los símbolo + o - indican que todos los intercambios pueden producirse por ganancia o pérdida.

Como podemos ver, hay un amplio abanico de combinaciones posibles de intercambios de calor que pueden asegurar un nivel de confort satisfactorio. La entidad de los diversos factores depende, como hemos visto, de los siguientes elementos:

- a. nivel de actividad (M)
- b. tipo de vestimenta (C, K, R, E)
- c. temperatura del aire (C, E)
- d. velocidad del aire (C, E)
- e. humedad del aire (E)
- f. temperatura de los distintos cuerpos vistos por el cuerpo humano (R) o en contacto con el mismo (K).

Si bien las necesidades fisiológicas pueden considerarse constantes en el tiempo, el método de cumplimiento de un nivel de confort depende de condicionantes económicos y culturales.

Este hecho se entiende fácilmente si se considera la diferencia de calidad entre los espacios “acondicionados” de los países industrializados de hoy en día y los espacios equivalentes de otros tiempos o los de países menos industrializados, donde el tipo de vestimenta de la gente y el tipo de actividad diaria juegan un papel diferente.

Actualmente, el término “área de confort”, está definido como la combinación de los diversos factores característicos necesarios para asegurar un equilibrio térmico sin causar ningún estrés al cuerpo humano. Hoy en día, se consideran como necesidades básicas una vestimenta ligera, baja velocidad del aire y baja humedad. Estas condiciones se cumplen actualmente por medio de un equipamiento técnico variado, relacionado con el tipo de edificio, que utiliza energía fósil.

El objetivo de un proyecto “energéticamente consciente” es el de lograr las condiciones necesarias para conseguir un confort térmico y bioclimático utilizando un mínimo de equipamiento técnico que consuma energía fósil no renovable.

1.2 Principios básicos de la arquitectura bioclimática

La expresión arquitectura bioclimática abarca distintos conceptos. Esquemáticamente se podría definir como el conjunto de soluciones a nivel de proyecto capaz de crear un nivel de confort satisfactorio en un edificio determinado. Esto puede suponer la utilización de un mínimo equipamiento alimentado por energías no renovables.

El edificio en cuestión debe ser diseñado de forma que sea capaz, en su interior, y gracias a sus características (morfológicas, dimensionales, termofísicas, etc.), de modificar las condiciones medioambientales.

Obviamente, las condiciones exteriores varían de un lugar a otro y en el tiempo. En consecuencia, un “edificio bioclimático ideal” debe poder reaccionar a esas condiciones absorbiendo la máxima cantidad de energía solar durante el día en invierno, a la vez que dejando la menor cantidad de calor posible. Por otro lado, en verano, el mismo edificio debe rechazar la radiación solar y a su vez dispersar la máxima cantidad posible de calor.

Este comportamiento ideal se puede intentar alcanzar utilizando una serie de medidas y mecanismos. Primero ha de considerarse la forma y la orientación del edificio; por ejemplo, una forma muy compacta minimizará la dispersión del calor y las ganancias de radiación solar y calor cuando la temperatura exterior sea superior a la interior.

Una forma abierta permitirá una mayor ventilación e intercambio de calor entre el interior y el exterior. La orientación de un edificio afectará a las dimensiones de las superficies correspondientes a las distintas exposiciones y, consecuentemente, a la interacción con el viento y su capacidad para captar la energía solar.

Para minimizar las pérdidas de calor es necesario un buen aislamiento térmico. Ello requiere la instalación de materiales aislantes en los muros, cubiertas y suelos (áticos), un mínimo de superficie de **crystal** en los muros expuestos a *SOL* directo, y acristalamiento doble y pantallas protectoras móviles que limiten la dispersión de calor por la noche.

Las superficies expuestas al sur deben tener grandes aberturas acristaladas que permitan una máxima recepción de la radiación del sol (las dimensiones variarán de acuerdo con la latitud y las condiciones climáticas).

Por la noche, se colocarán las protecciones adecuadas para minimizar la dispersión del calor acumulado durante el día.

Se utilizará un colector térmico para almacenar la energía que pueda ser redistribuida cuando sea necesario.

Las características del “contenedor” afectarán a la distribución interior; por ejemplo, en climas fríos, debemos concentrar las superficies acristaladas en los muros situados al sur, limitando las aberturas en las otras orientaciones. Por ello, debemos ubicar las estancias de estar en la zona sur del edificio y situar la zona de servicios y escaleras en la zona norte.

En verano, se debe mantener la radiación solar alejada del interior del edificio mediante la apertura de las superficies acristaladas

y/o utilizando los mecanismos de protección adecuados (fijos o móviles) que puedan proporcionar sombra durante las horas más calurosas del día.

La forma y la ubicación de las aberturas deben asegurar una ventilación y *ENFRIAMIENTO* nocturno adecuados durante la noche. Allí donde sea posible, se debe cubrir en parte con el terreno la cara norte para mejorar las condiciones invernales y estivales gracias a la temperatura constante del mismo, a la vez que protege de los fríos vientos del invierno.

1.3 El clima

El problema básico lo constituye la diferencia de temperaturas entre las condiciones exteriores e interiores del edificio y los requerimientos para el confort térmico interno. Mientras mayor sea la diferencia, mayor será la dificultad del proyectista que desea conseguir el confort térmico con el mínimo consumo energético.

Para diseñar correctamente los edificios de forma que interaccionen acertadamente con el medioambiente es necesario un conocimiento preciso de las características climáticas del lugar (tales como la temperatura del aire, la humedad relativa, los vientos y la radiación solar).

Temperatura del aire

Podemos ver, observando los niveles medios, que se dan variaciones periódicas con un punto máximo en julio y un mínimo en enero. El rango térmico diario nos da el diferencial entre la media mensual máxima y mínima.

Todos estos datos permiten estimar las pérdidas de calor de un edificio en invierno y las ganancias de calor en verano. Desde este punto, podemos determinar el tipo de aislamiento y el tipo de protección térmica nocturna necesaria.

La humedad relativa del aire

Se trata de un componente importante pues afecta a los intercambios térmicos y al nivel general de confort. Se necesita el conocimiento del mismo para verificar las condensaciones en superficie y en las cámaras, etc.

Velocidad y dirección de los vientos

Normalmente, este factor no es considerado suficientemente. La determinación de la entidad tanto de los intercambios térmicos en invierno como en verano es muy útil.

Un buen proyectista debe considerar estos factores: la orientación y morfología de los edificios, la relación entre distintos edificios y entre los edificios y el entorno natural, barreras, estanques, la ubicación y dimensiones de las aberturas, etc.

La radiación solar

El conocimiento cierto de la energía radiante disponible que llega a las diversas superficies que constituyen el edificio.

La radiación solar puede ser tanto un factor negativo (en verano) como parte de la solución (en invierno). Esto afectará en la etapa de diseño a la ubicación, orientación y el tamaño de las aberturas acristaladas, a la sombra que proporcionen los elementos que sobresalgan del edificio y a la sombra del propio edificio.

2 EL SOL

2.1 El recorrido del sol y las sombras

La Tierra se mueve alrededor del Sol recorriendo una órbita elíptica casi circular. Emplea un año para hacer un giro completo. Además, la tierra gira sobre si misma, alrededor de un eje inclinado de $23^{\circ}27'$ con respecto al plano orbital.

Como consecuencia de ello, tenemos las distintas estaciones y las distintas duraciones del día, según la latitud y los períodos del año. El sol sigue un movimiento de este a oeste respecto a la tierra, lo cual puede mostrarse en un casquete hemisférico imaginario. La posición del sol (fig. 1, 2, 3) viene definida por su altitud sobre el horizonte, lo que en términos científicos se representa por la letra griega alfa, y por su azimut (ángulo entre la proyección en el plano horizontal de la línea que une el Sol y la Tierra y el eje norte-sur en el mismo plano) representado por la letra griega gamma.

El recorrido del sol en un día determinado a una latitud determinada puede ser representado en un gráfico (carta solar) por una línea curva definida por las coordenadas alfa y gamma.

Si para cada latitud marcamos en el mismo gráfico las líneas relacionadas con el recorrido del **sol** en un día medio representativo de cada mes (normalmente el 21 de cada mes), obtendremos un diagrama que nos permitirá localizar fácilmente la posición del sol en un lugar determinado y en un momento determinado.

Por ejemplo: en Rimini,

latitud local = 44°
hora solar = 11:00 a.m.
Fecha = 21 de abril o 21 de agosto
por tanto,
altitud solar alfa = 55°
azimut gamma = 25°

Las sombras desde un punto determinado también se pueden definir por medio de los ángulos alfa y gamma. Es suficiente determinar los pares de ángulos alfa y gamma que definen el perfil de la oclusión tal como se ve desde un punto determinado. Entonces, el perfil así definido, se transfiere a la carta solar, permitiéndonos saber en que períodos del año ese punto determinado estará a la sombra.

En Rimini, se puede ver que la presencia de un edificio evitará que la radiación solar directa alcance el punto considerado entre, digamos, las 9 a.m. y las 10:30 a.m. el 21 de diciembre, pero no así en los meses de primavera, verano y otoño

El mismo procedimiento puede utilizarse para determinar las sombras generadas por diversas partes del mismo edificio que engloben el punto considerado. Por lo tanto, se puede utilizar el mismo método para determinar el tamaño y las dimensiones de, por ejemplo, una protección solar determinada, y de esta manera proteger del sol algunas partes de la fachada de un edificio durante períodos específicos del año.

2.2 Protecció de ventanas

Como ya se ha visto, el *VIDRIO* juega un importante papel en el equilibrio *TéRMICO* de un edificio. En consecuencia, se debe cuidar en particular el desarrollo de las tecnologías adecuadas que puedan tener relevancia en este campo.

Los problemas más importantes a resolver son:

- 1) darle al **vidrio** la función positiva y útil de recoger y acumular la energía radiante durante el día, y de calentar el espacio interior durante las horas invernales en que el vidrio se utiliza para **iluminación natural**.
- 2) evitar que el **vidrio** se comporte negativamente como un gran disipador de calor.

Las soluciones más comunes implican la utilización de acristalamientos dobles o triples y de protectores solares regulables. Hay infinidad de estas soluciones. (fig. 1, 2).

Están las contraventanas con bisagras, fabricadas con diversos materiales, con mayor o menor capacidad de aislamiento, ya por dentro o ya por fuera del **crystal**. También están las persianas enrollables y plegables, de funcionamiento mecánico o manual, y las cortinas interiores, que pueden estar rellenas de material aislante, ser acolchadas, o fabricadas con diversas capas de material plástico con aire en su interior, formando una serie de colchones de aire.

En cada caso, es importante que la superficie interior de estas pantallas sea reflectante para así reducir la absorción de la radiación emitida por las fuentes internas.

A menudo, las protecciones de las ventanas son un elemento arquitectónico (fig. 1, 2, 3, 4, 5).

También existen soluciones más avanzadas y complejas. Por ejemplo: una pequeña bomba eléctrica bombeará bolitas de poliuretano dentro o fuera (dependiendo de las necesidades) de la cámara existente entre dos cristales. Cuando la cámara está vacía, el vidrio se comporta como tal, dejando pasar la radiación del sol. En el caso contrario, con la cámara llena de las bolitas, el conjunto presentará una resistencia térmica similar a la de una pared maciza.

Existen también otras soluciones en proyecto: al aplicarse una película en el interior del acristalamiento doble, esta permanecerá transparente en condiciones normales, y se convertirá en opaca al aplicársele electricidad a través de la cámara.

El apantallamiento utilizado como método de conservación de energía durante el invierno, puede generalmente utilizarse también en verano como pantalla contra la radiación solar no deseada. Una solución interesante es la representada por un tipo de persiana veneciana situada entre dos vidrios, y regulable desde el interior del edificio.

Las lamas están recubiertas por un lado con un material aislante oscuro, y por el otro están pintadas en color plata. Esta solución presenta una amplia gama de combinaciones: totalmente abierta, posición intermedia, lado plateado hacia el exterior (en verano), lado plateado hacia el interior (de noche en invierno), etc.

Existe también otra ingeniosa propuesta de sistema automático de apantallamiento. También se trata de un tipo de veneciana, con lamas plateadas de mayores dimensiones. El movimiento de las lamas está controlado por dos pequeños depósitos comunicados entre sí y que están llenos de gas freón.

En verano, los depósitos se colocan de tal manera que la radiación solar, al llegar al depósito exterior provoca la expansión del gas, haciendo que fluya hacia el depósito interior. De esta forma, el incremento de peso producido hace que las lamas se cierren. En invierno, se invierte la posición de los depósitos, de manera que las lamas se abren por el día y se cierran al anochecer.

También hay varios tipos de membranas aplicables a las superficies del vidrio que modifican sus propiedades ópticas. Destaca en particular el “reflector de calor”, una membrana metálica muy fina caracterizada por poseer una máxima transparencia a la radiación solar y una gran capacidad para reflejar los rayos infrarrojos.

3 SISTEMA SOLAR PASIVO

Un sistema solar pasivo es aquel que utiliza parte de la energía solar que llega a la envoltura exterior de un edificio: la recoge, la convierte en calor, la acumula y entonces, cuando es necesario, la distribuye por el interior, todo ello sin instalaciones - bombas o ventiladores - que necesiten combustibles fósiles.

Estas funciones las llevan a cabo diversas partes del edificio que también cumplen otras funciones tales como: cerramiento, iluminación, etc.

Hay varios tipos de sistemas:

3.1 Ganancia directa de calor

Esta es la solución más simple. La radiación solar penetra directamente en los espacios habitados a través de las superficies acristaladas, donde es recogido y acumulado gracias a la capacidad térmica de los suelos y las paredes. Una ventana representa el ejemplo más sencillo de este sistema.

Actualmente, para que una ventana “merezca” ser calificada como tal, debe garantizar: que la ganancia de calor en invierno a través de la superficie acristalada sea mayor que las dispersiones de calor, que no se produzca sobrecalentamiento (esto significaría una deficiente utilización de la energía disponible durante el invierno y unas condiciones de inhabitabilidad durante el verano) y, por último, que la contribución neta a las necesidades térmicas del edificio sean importantes. Todo esto implica grandes superficies acristaladas de los muros con exposición sur, acristalamiento doble y/o protección nocturna, adecuada capacidad térmica expuesta a la radiación, regulación de la ganancia de calor en verano.

3.2 Ganancia indirecta de calor

Para evitar una temperatura excesiva en los colectores de calor (inhabitables desde un punto de vista del confort), la masa que se comporta como colector se sitúa entre la superficie acristalada y la zona habitada.

Un ejemplo típico es el llamado “Muro Trombe” (inventada por Félix Trombe), que es un colector de calor compuesto por un muro macizo (de hormigón o mampostería) cuya superficie exterior está pintada de color oscuro y está separada por una cámara de aire del cristal.

El calor producido por la conversión de la radiación solar se transmite parcialmente al interior a través del muro que trabaja como colector. Otra parte del calor es la aportada al aire de la cámara; este aire, al calentarse, asciende y penetra en la habitación a través de pequeñas aberturas situadas en la parte superior del muro, a la vez que el aire más frío es succionado a la cámara a través de las aberturas situadas en la base del muro.

Este movimiento del aire sucede durante el día (por convección): el calor pasa a través del muro, llegando a la cara interior tras unas horas, o sea, por la noche.

Algunas variantes de la idea anterior, utilizando superficies con contenedores de agua, son el colector “water-wall” (muro de agua) cuyo mejor es el “Drumwall” (“muro de bidones”) utilizado en la casa Baer, en Corrales, Nuevo México, y el colector tipo roof-pond (estanque de agua en la cubierta) “Sky therm” desarrollado por Harold Hay en Phoenix, Arizona, y puesto en práctica en una casa en Atascadero, California.

3.3 Ganancia aislada

Un ejemplo típico que sigue este esquema implica la adición de un invernadero a un lateral del edificio. La radiación es capturada y almacenada en un espacio separado de la zona habitada. Este invernadero puede funcionar como una zona de estar añadida además

de utilizarse para vegetación.

Este clase de espacios va de los pequeños espacios, del tipo veranda (galería), agregados a un lateral del edificio, a los grandes espacios acristalados que cubren toda la fachada sur del edificio. La acumulación del calor tiene lugar en el suelo, las paredes, los tanques de agua, etc.

3.4 El Vidrio

La importancia del vidrio en la determinación del comportamiento energético de un edificio se define principalmente por su reacción a la energía radiante.

Todos los cuerpos con temperaturas diferentes al cero absoluto irradian energía. La distribución en el espectro, o sea, la cantidad de energía emitida en función de la longitud de onda, depende de la temperatura del cuerpo. Los cuerpos que tienen un nivel de temperatura alto emiten radiaciones con longitudes de onda relativamente corta, mientras que los cuerpos con baja temperatura irradian en longitudes de onda larga.

Una radiación de longitud de onda corta, o sea, menor que 0,8 micras (micra = unidad de longitud de onda de radiación solar igual a una millonésima parte de un metro) significa “luz”, es decir, la radiación que podemos percibir; mientras que una radiación con longitudes de onda mayores se conoce como “radiación infrarroja”, también asociadas a la sensación de calor”. La radiación emitida por el *SOL* es equivalente a la emitida por una “masa negra”, a una temperatura aproximada de 5.500 °C, lo que significa que más del 90 % de la energía irradiada por el sol tiene una longitud de onda inferior a 2 micras, por lo que está comprendida entre el rango visible y el “casi” infrarrojo.

Los cuerpos situados en el interior de los edificios tienen una temperatura entre 10 y 50 °C, y por lo tanto un espectro correspondiente situado principalmente en “rango lejano”. El vidrio se caracteriza por una gran transparencia a la energía radiante de longitudes de onda hasta de 2-3 micras, y muy escasa para longitudes de onda superiores.

El efecto combinado de los dos fenómenos (la diferente distribución en el espectro para cuerpos con diferentes temperaturas, y la diferente transparencia del vidrio a las distintas longitudes de onda) se denomina “efecto invernadero”.

Por ejemplo, aproximadamente un 85 % de la radiación solar incidente atravesará una hoja de vidrio expuesto a los rayos perpendiculares del sol. Esta radiación, cuando alcanza las diversas superficies (suelos, paredes, mobiliario, etc.), en parte se absorbe y en parte se refleja. La parte de energía reflejada, normalmente con una distribución espectral diferente a la de la radiación incidente (esto es lo que hace que los objetos tengan distinto “color”), alcanza bien a otros cuerpos, con resultados análogos, o bien sale al exterior a través de las superficies acristaladas (si bien tan sólo lo hacen en una pequeña cantidad).

Las superficies más absorbentes se muestran con un color más oscuro. Por ejemplo, una superficie que absorba hasta un 90 % de la radiación incidente se muestra de color negro. La energía absorbida se convierte en calor, por lo que eleva la temperatura de dicha superficie. Sin embargo, las radiaciones reflejadas por las superficies interiores tienen una longitud de onda más larga, y no pueden penetrar el vidrio de nuevo.

Por consiguiente, el vidrio funciona como una especie de válvula: deja pasar la radiación solar pero impide, al menos parcialmente, la salida de la radiación reflejada. El nivel de intercambio de calor debido al diferencial de temperatura entre el aire interno y el externo es alto, especialmente debido al poco espesor de las hojas de vidrio. Por ejemplo, una hoja de vidrio, siendo las condiciones de temperatura iguales, deja pasar de cinco a diez veces más calor que un muro de mampostería opaco con un aislamiento medio. La conveniencia de utilizar superficies acristaladas en vez de opacas debe evaluarse caso por caso desde el punto de vista del equilibrio entre las ganancias y las pérdidas.

3.4.1 La arquitectura del vidrio en el siglo XIX

En los últimos decenio del siglo XVII ya se utilizaba ampliamente el vidrio en la construcción de invernaderos y “orangeries” (“invernadero de naranjos”); esos edificios se diferenciaban de los normales por la gran cantidad y tamaño de sus ventanas.

A comienzos del siglo XVIII el número de publicaciones que trataba sobre los invernaderos con cubiertas de cristal se incrementó considerablemente.

Sin embargo, la construcción de estas estructuras sólo empezó a extenderse tras la publicación de un manual sobre el tema del invernadero calentado, proyectado y patentado por Anderson en 1809. En 1818, Loudon, un arquitecto y paisajista inglés construyó en un lateral de su propia casa unas estructuras experimentales realizadas con costillas arqueadas y cristal, caracterizadas por poseer el primer y más sencillo sistema de acondicionamiento: la ventana practicable.

Joseph Paxton, futuro autor del Crystal Palace, tomando como base los estudios preliminares de Loudon, elaboró en Chatsworth, en 1834, un interesante prototipo de invernadero realizado con una única superficie inclinada de cristal apoyada contra el muro de un edificio, y conectada con el interior del mismo a través de pequeñas aberturas situadas en la parte superior del muro. Así aparecieron los primeros elementos de control medioambiental. Paxton también realizó una importante contribución a la evolución del invernadero: la instalación en la estructura de perfiles metálicos acanalados que permitieran la utilización de ventanas correderas.

Durante el siglo XIX se extendió considerablemente el uso de galerías acristaladas para cubrir pasajes peatonales.

Estas estructuras de cristal sirvieron como lugares de encuentro para la elegante burguesía de la época, que las utilizaron para pasear placenteramente bajo ellas.

La transparencia de estos espacios, definidos por las galerías tradicionales, satisfacían tanto las necesidades de utilidad como las estilísticas. No hay duda de que estas estructuras de cristal se aprovecharon ventajosamente del “efecto invernadero”.

La transformación del Jardín d’Hiver en París, en 1847, de un simple invernadero a un lugar de reunión social, que incluía sala de bailes, cafetería, sala de lectura, es un gran ejemplo de la evolución directa del invernadero climatizado a la galería acristalada.

La utilización de cubiertas de cristal también se extendió durante todo el siglo XIX a los edificios públicos.

En este caso, es difícil establecer si la presencia del vidrio implica un equilibrio *TÉRMICO* positivo. Para que así suceda, la energía solar entrante debe por lo menos compensar las pérdidas de calor, que en este caso son muy superiores a las de una sólida estructura de mampostería, posible alternativa a la estructura de cristal.

A menudo, el vidrio se utilizó para cubrir los patios interiores de edificios como bancos, grandes almacenes, bibliotecas.

Una necesidad común: la luz. Desde arriba recibimos una gran proporción de luz difusa, que no es otra cosa que la misma radiación solar, reflejada por el polvo presente en la atmósfera. En ese caso, luz es igual a calor. Además, debe considerarse que esos edificios no se utilizan durante la noche, cuando se dan las condiciones menos favorables.

Los procesos derivados de la revolución industrial del siglo XIX, especialmente el comercio, crearon nuevas necesidades en las grandes ciudades. Estas necesidades provocaron la aparición de nuevos tipos de edificios. Todos estos edificios presentaban una característica común: la gran cantidad de transacciones de las diversas actividades comerciales; esto requería una rápida distribución de los bienes en grandes cantidades, y el movimiento de gran número de personas (además de la necesidad mercados a cubierto de venta al por mayor, estaciones de ferrocarril, almacenes, etc.).

Las Grandes Exposiciones, las Ferias Mundiales nacieron como respuesta a la necesidad de difundir las innovaciones tecnológicas. Al mismo tiempo, surgieron problemas en relación con la prefabricación estandarizada, la unión del hierro fundido con el vidrio se impuso para satisfacer las necesidades de ligereza, la facilidad de transporte, las dimensiones modulares, facilidad de montaje, capacidad de cubrir grandes luces, máxima iluminación. Su grandiosa apariencia constituyó un verdadero desafío tecnológico, un símbolo de agresividad en una era tumultuosa.

Las nuevas posibilidades abiertas por el uso del hierro fundido y, más tarde, el acero, facilitaron la “desmaterialización” de la fachada; esta, obedeciendo a las necesidades de los edificios comerciales, se convirtió en una secuencia continua de ventanas de cristal cuyos marcos estaban realizados con los mismos elementos estructurales de hierro fundido o acero.

Este continuo proceso, junto con otras consideraciones comerciales como, por ejemplo, el incremento desmesurado del costo de los solares edificables en todas las ciudades más importantes de los E.E.U.U., dio lugar al nacimiento de los rascacielos.

El binomio acero-cristal aparece inicialmente en los edificios del sector secundario (comercio e industria). Su utilización en edificios residenciales y del sector terciario (ocio y otros servicios) tuvo que esperar al final del siglo XIX, cuando el desarrollo comercial y la explotación de los objetos producidos en masa provocó una subida impresionante de los precios de los materiales.

Al mismo tiempo, hubo también un aumento sensible del tamaño y número de las ventanas, dictado por la necesidad de luz.

No se puede decir que ese aumento tuviera consecuencias benéficas desde un punto de vista energético. En opinión de B. Fletcher, “el calentamiento sistemático de los edificios facilitó las mismas grandes ventanas que enfriaban en exceso los espacios contiguos, si bien tan necesarias en las contaminadas ciudades del oscuro *CLIMA* septentrional”.

3.4.2 La vuelta a los espacios urbanos acristalados

La llegada del siglo XX marca el final del gran ciclo de la arquitectura del hierro fundido y el **vidrio**, sin proponer modelos alternativos, especialmente en cuanto a espacio público se refiere. El resultado fue un empobrecimiento general de la calidad de vida, sobre todo en las grandes ciudades.

En los años setenta, como reacción a ese estado de las cosas, se desarrolló un nuevo interés por la arquitectura de la vida asociada al espacio público.

Los países con **climas** severos con los E.E.U.U., Canadá, Inglaterra, Francia, construyeron paseos protegidos (fig. 1, 2, 3, 4, 5), principalmente para usos recreativos y comerciales, que quizás deben ser considerados como una evolución de las galerías acristaladas del siglo XIX.

En algunos casos, la referencia a esa experiencia histórica es explícita, en otros, lo contrario es lo correcto: estructuras históricas muy importantes fueron sacrificadas para hacer sitio a los nuevos centros de interés, como en el caso del tristemente famoso Forum des Halles en París.

Los otros ejemplos mostrados - Eaton Center en Toronto en Canadá (fig. 1, 2, 3), Edmonton Mall también en Canadá y el TomaKomai Sun Garden en Japón - dan una imagen clara de la búsqueda contemporánea de la utilización de invernaderos habitables como medio de mejorar la calidad de vida urbana.

4 ENFRIAMIENTO PASIVO

4.1 Principios de Enfriamiento pasivo

En el proceso de diseño de un edificio existen diversas razones por las que se considera apropiado la utilización de métodos de enfriamiento pasivo.

En primer lugar, están los razonamientos económicos: los gastos anuales ocasionados por los sistemas de aire acondicionado fueron superiores a 20 millones de dólares a finales de los 80. En términos reales, las ventas en el campo de los sistemas de aire acondicionado se han más que triplicado en la década que va del año 1976 al 85.

Tras estos razonamientos económicos, también deben indicarse otros climáticos y medioambientales.

La mayoría de los equipos de aire acondicionado (de enfriamiento) - particularmente los más pequeños - utilizan CFCs (Clorofluorocarbonos), que están entre los elementos más responsables de la reducción de la capa de ozono. Los CFCs también contribuyen a la aparición del efecto invernadero.

Además, estudios comparativos recientes sobre la calidad del aire en el interior de los edificios con sistemas de aire acondicionado o con ventilación natural han demostrado que los índices de enfermedad son más altos en los edificios con aire acondicionado.

El enfriamiento pasivo está basado en dos conceptos fundamentales:

- a) **reducción de las fuentes de calor**
- b) **enfriamiento**

Es posible reducir la carga de fuentes internas de calor como puedan ser neveras y, generalizando, aparatos domésticos, elementos de iluminación y computadoras. Esto puede conseguirse utilizando aparatos que produzcan menor cantidad de calor (por ejemplo bombillas de alto rendimiento), creando puntos de ventilación conectados con el exterior, colocando los serpentines de enfriamiento de las neveras fuera de los edificios, conectando las cajas de las lámparas de techo al exterior, etc.

Para reducir el calor proveniente del exterior es necesario limitar los efectos de conducción así como de radiación, y los puntos de infiltración de aire caliente.

Un aislamiento *Térmico* adecuado de los cerramientos es una prioridad si se desea reducir el calor por conducción proveniente del exterior, siendo también muy útil en cuanto a mantener el calor en el interior en invierno. El calor por radiación también puede reducirse mediante el uso correcto de barreras contra la radiación: por ejemplo, una lámina de aluminio colocada en el desván o bajo el tejado contribuye a reducir la ganancia de calor; mientras que refleja bien los rayos infrarrojos, la lámina emite una cantidad muy pequeña de ellos (1/18 partes en comparación con la madera contrachapada); el empleo de aluminio en nuevos edificios no supone un costo adicional (ya que es utilizado en sustitución de materiales de construcción tradicionales) y tiene un costo de instalación en edificios más antiguos muy bajo.

Aparte del aislamiento, la capacidad calorífica de la parte exterior de un edificio o, como también se la conoce, la masa térmica, juega también un importante papel en la reducción de la carga de calor. Por ejemplo, los muros gruesos construidos con materiales con gran capacidad calorífica suponen una masa térmica que reduce las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche al acumular calor durante el día y redistribuirlo dentro del edificio durante el atardecer y la noche.

La capacidad calorífica también puede ser un elemento de retardo en la transmisión del calor. En los casos más favorables, el calor absorbido por la cara exterior de los muros durante las horas del día más calurosas penetra en el interior a las últimas horas de la noche o primeras horas de la mañana, pero de una manera mucho más suave, o sea, cuando es más necesario que inoportuno. La masa térmica también puede utilizarse ventajosamente como medio de acumulación de frío, como por ejemplo transfiriendo aire fresco disponible sobre la cara interna del muro.

Un método disponible es emplear losas hechas con materiales como el hormigón (y similares) para las cubiertas, ya que poseen una gran masa térmica. Estas losas se cubren con paneles móviles aislantes, que les protegen del *SOL* durante el día, y que se abren al anochecer. Esto hace posible que absorban y acumulen el frescor de la noche.

Existen interesantes ejemplos de este tipo en la historia de la arquitectura, incluso en la llamada arquitectura vernacular o regional: por ejemplo, el “trulli” de Apulia y el dammusi de la isla de Pantelleria consiguen la necesidad de acondicionamiento en verano exclusivamente a través de la función termoreguladora de los gruesos muros.

La vegetación alrededor de un edificio es importante: esto significa el buscar un lugar rico en vegetación o sino crearla allí donde no existiera. El papel del microclima, y de sus posibles brisas y corrientes de aire es fundamental a la hora de determinar las condiciones de bienestar en un entorno edificado.

A parte de proporcionar sombra, la vegetación transpira agua provocando de esta manera un enfriamiento pasivo gracias a la evaporación. Un estudio recientemente publicado (1) cita reducciones de temperatura gracias a la evaporación de 2 a 3° C. Parece demostrado que, conjuntamente, la evaporación y transpiración de un solo árbol puede significar entre 1MJ hasta 24MJ anuales de electricidad en cuanto a acondicionamiento de aire se refiere; un prado puede enfriar una finca soleada entre 6 y 8° C, mientras que la evaporación producida por una hectárea de hierba supone más de 125MJ por día.

En uno de sus trabajos (2), el Rocky Mountain Institute compara la reducción de la carga térmica debida a la vegetación en tres ciudades: Sacramento (34%), Phoenix (18%, *CLIMA* seco), Los Angeles (44%). Estos datos parecen indicar que la vegetación actúa más eficientemente en un clima húmedo, donde sin embargo puede producir un incremento de la humedad.

En los climas secos la vegetación puede modificar el bulbo de temperatura seca.

El aislamiento puede ser reducido por la vegetación. De igual manera, puede reducirse mediante pantallas colocadas en las ventanas, ya sea con contraventanas con bisagras interiores o exteriores, de diversos materiales con propiedades aislantes, o persianas enrollables de accionamiento manual o mecánico, o que se doblan sobre las mismas, o con cortinas interiores, toldos exteriores como en la Holy Mosque en Medina proyectada por el arq. B. Rash, (fig. 1, 2, 3, 4) en la Phoenix Solar Oasis proyectada por el arq. J. Cook (fig. 1, 2).

Se puede aplicar sobre ventanas preexistentes películas metalizadas. Además de reducir los rayos infrarrojos de calor también reflejan una cantidad predeterminada de luz; también reducen los rayos ultravioletas, una gran ventaja para el mobiliario y las alfombras, a la vez que aumentan la seguridad en caso de rotura.

Es importante actuar sobre las aberturas transparentes de un edificio ya que son las fuentes principales de aislamiento. Pero también es posible actuar sobre el exterior del edificio aumentando su albedo: por ejemplo, la utilización de tejados en colores claros reduce sobremanera la ganancia solar.

Diversos sistemas que suponen la humidificación de la cubierta de un edificio son eficaces en climas secos. La superficie externa de la cubierta se mantiene húmeda gracias a pulverizadores de agua. El agua transforma el calor sensible en calor latente y la evaporación enfría la cubierta y las habitaciones que están debajo suya.

Otro sistema es el “roof-pond” (estanque de agua en la cubierta), esto es, una lámina de agua sombreada situada sobre una cubierta plana no aislada. El agua es evaporada a la seca atmósfera tanto durante el día como por la noche. La temperatura de la cubierta sigue fielmente la del bulbo húmedo, mientras que el techo funciona como un panel radiante y de convección hacia el interior. Otro sistema de enfriamiento es el de crear una lámina muy fina de agua en movimiento sobre la cubierta. La idea que sirve de base a este método es que la evaporación es estimulada mediante un incremento de la velocidad relativa entre el aire y el agua: el agua enfriada por la evaporación se acumula en el sótano, y es enviado a las habitaciones para así enfriarlas.

Sin embargo, se debe recordar que todos estos sistemas que “mojan” la cubierta dan por hecho que la temperatura de la cubierta debe ser superior que el bulbo húmedo de temperatura del aire, o sea que la cubierta debe estar caliente y el aire no muy húmedo.

Además, todos estos sistemas, aparte de utilizar una lámina de agua en movimiento, sólo son eficientes en edificios de una sola planta, y sólo enfrían las habitaciones situadas bajo la cubierta.

También debe recordarse que los conductos requeridos para canalizar agua a la cubierta exigen un mantenimiento periódico, ya que se pueden romper debido a las heladas, etc.

Cuando se empleen diversos métodos para disminuir el calor, también es necesario enfriar el aire caliente que aparece en entornos cerrados, o sea transferir el calor a un elemento de temperatura más baja, ya sea aire, agua o el terreno.

Por ello el calor debe ser transferido al aire exterior cuando este esté más frío: el aire nocturno, o el aire fresco proveniente de canalizaciones subterráneas.

Hay dos interesantes ejemplos de enfriamiento pasivo en la historia de la arquitectura. El primero son las “torres del viento” en Irán y Pakistán.

El segundo es un ejemplo de Italia, un grupo de villas construido en el siglo XVI cerca de Vicenza.

La ventilación es esencial en el enfriamiento del aire. Además, incluso si el aire no está frío, la ventilación proporciona una sensación de bienestar físico al fomentar la evaporación.

La ventilación natural y, generalizando, la circulación de aire en los edificios, es muy difícil de calcular. Se han desarrollado algunos modelos físicos, pero su utilidad es limitada: en efecto, muchos flujos de convección dependen de pequeñas variaciones de temperatura y de detalles geométricos y de superficies, los cuales son difíciles y caros de considerar en detalle. Además, la mayoría de los modelos no tienen en cuenta las turbulencias.

La ventilación puede ser forzada mecánicamente con un ventilador. Sin embargo es más ventajoso explotar primero todos los fenómenos naturales como los vientos, la diferencia de temperaturas entre diversas partes de un edificio o entre su interior y el exterior.

Situando de manera apropiada masas en la planificación urbanística, es posible crear flujos de aire (efecto esquina, efecto canal, efecto Venturi, etc.) que enfrían áreas urbanas. Naturalmente todo esto puede utilizarse a menor escala en un único edificio, por ejemplo imaginándolo como un grupo de masas conectadas (Fig. 5).

Para un urbanista, es importante conocer los vientos dominantes (velocidad, dirección, frecuencia) en el lugar donde se edifica, de manera que pueda tenerlos en cuenta a la hora de planificar. También es posible aumentar su capacidad de enfriamiento utilizando otros medios que puedan incrementar la ventilación natural (como por ejemplo, chimeneas de viento solares, ventiladores de techo, etc.).

La utilización de “wingwalls” (“muros-aleros”) junto con la colocación adecuada de ventanas puede contribuir al enfriamiento al establecer ventilación cruzada. Las ventanas horizontales producen mayor flujo de aire que las verticales.

Actualmente, el enfriamiento por evaporación se utiliza más habitualmente junto con o en sustitución de sistemas de aire acondicionado más comunes.

Las variaciones estacionales de temperatura disminuyen a medida que se profundiza en el terreno. Es por ello que puede obtenerse una disipación de calor subterránea ya sea por conducción (edificios parcial o totalmente cubiertos por el terreno), ya por convección: el aire del interior del edificio es impulsado a través de conductos enterrados en los que se enfría antes de ser devuelto al edificio, por ejemplo a través de la cubierta.

Hay muchos interesantes ejemplos de asentamientos que han sido parcialmente construidos bajo el nivel del suelo y que emplean la disipación de calor con fines de enfriamiento. Entre los más conocidos están los asentamientos de los indios Anasazi (c. 1200) en Mesa Verde, Colorado, que están situados en una hendidura horizontal de la roca.

El paso más extremo en este sentido fueron las edificaciones enterradas; actualmente tenemos testimonio de ello en muchos lugares del mundo que se caracterizan por tener condiciones climáticas adversas: Matmata en Túnez, Capadocia (fig. 1, 2, 3) en Turquía (a - b), Honnan en China. En la Facultad de Filosofía de la Universidad de Iannina en Grecia se ha enterrado una fila de conductos de PVC de 25 cm de diámetro a una profundidad de 1,5 m bajo el nivel del terreno. Su objetivo es pre-enfriar el aire estival que entra en el edificio antes de que llegue a las bibliotecas de la universidad. El mismo sistema también ha sido experimentado por una compañía agrícola: las diferencias de temperatura del aire en los puntos de entrada y de salida han alcanzado hasta los 20° C.

4.2 Los efectos del viento

El intercambio de calor entre el edificio y el aire que lo rodea depende, entre otras cosas, de la velocidad del aire. En el sentido de que, mientras mayor sea la velocidad del aire mayor será el intercambio de calor. En consecuencia, cuando queramos eliminar calor de un edificio, debemos facilitar la penetración del viento, mientras que tendremos que protegerlo de los vientos cuando queramos contener la dispersión del calor.

El movimiento del aire facilita los intercambios por convección en función de la superficie de la envoltura, y también los intercambios debidos a la infiltración y a la ventilación. Cuando el viento golpea la fachada de un edificio produce un incremento de la presión del aire, mientras que en la fachada situada a sotavento (la que está protegida del viento) se produce una reducción de la presión. Por ello se ocasiona un movimiento del aire de un lado del edificio a otro a través de las aberturas y grietas.

Para reducir estas dispersiones es necesario proteger el edificio de los vientos invernales y utilizar puertas y ventanas herméticas. Los obstáculos desviarán el viento hacia arriba, y proporcionarán un área relativamente protegida a nivel del suelo. El tamaño de esta área protegida depende de la altura y de la forma del obstáculo. Por ejemplo: cuando una superficie compacta vertical (un muro) es alcanzada por un viento perpendicular a ella genera un área protegida donde aparece una reducción de la velocidad del viento de un 75 % aproximadamente. Si el obstáculo es una fila de árboles de espeso follaje, la reducción de la velocidad será menor, pero el área protegida será más amplia (por ejemplo, una reducción de un 75 % de la velocidad del viento se producirá a una distancia igual a 25 veces la altura de la barrera arbórea).

Obviamente, para beneficiarse de una barrera de árboles en invierno, los árboles deben ser de hoja perenne. Por otro lado, cuando queremos utilizar el movimiento del aire para enfriar un edificio, debemos eliminar todos los elementos que obstaculicen los vientos dominantes estivales. Debe tenerse en cuenta que la calidad de las superficies sobre las que empuja el viento antes de llegar

a un edificio, afectará a su temperatura; un viento cálido se enfriará cuando pase por encima de una superficie con agua debido a la evaporación del agua, mientras que un viento que pase por encima de una superficie grande y negra castigada por el *SOL* (como un aparcamiento) se calentará. La ubicación de unos edificios respecto de otros define un complejo campo de velocidades y presiones, afectadas por las dimensiones, la forma, la distancia, etc. Los efectos resultantes pueden ser bien de protección recíproca, bien de canalización y de consiguiente aumento de la velocidad del viento. Buscaremos uno u otro efecto, si queremos proteger o exponer los edificios al movimiento del aire. Por último, la circulación interior de aire en un edificio, o sea, su capacidad de enfriamiento por ventilación natural, depende de la forma y las dimensiones de las aberturas. Por ejemplo: el que las aberturas sean más grandes a sotavento que a barlovento producirán un aumento de la velocidad de circulación del aire interior, haciendo de esta manera que la acción de enfriamiento sea más efectiva; si se invierte la situación la velocidad del aire disminuye.

También, debido a que el aire caliente de un edificio está más cercano al techo, las tomas y las salidas de aire que se sitúen a baja altura tendrán un efecto de enfriamiento limitado; mientras que las tomas de aire situadas a baja altura y las salidas de aire situadas a gran altura en los muros serán especialmente eficientes.

4.2.1 Efecto Vórtice descendente

Algunos de los efectos del viento más intensos y frecuentes se producen cuando un edificio de gran altura sobresale por encima del entorno urbano. Debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura, las presiones que aparecen en la fachada del edificio situada a barlovento son mayores en la parte superior del edificio que en su base. La diferencia de presiones crea un fuerte flujo descendente. La intensidad es todavía mayor si un edificio de baja altura está situado frente al de gran altura, produciendo una mayor succión en la base del edificio. Una vez que alcanza la zona de baja presión, a nivel del suelo, el flujo de viento tiende a dar vueltas sobre sí mismo de manera turbulenta, añadiendo aún más disconfort del que producía.

4.2.2 Efecto Esquina

Otro efecto muy frecuente es el de los vientos muy intensos que aparecen en las esquinas de los edificios. El efecto esquina se produce por el flujo del viento de una zona de alta presión en la cara situada a barlovento del edificio hacia la zona de baja presión situada a sotavento. Generalmente, las turbulencias creadas por el efecto esquina se restringen a un área cuyo radio no es mayor que el ancho del edificio. Mientras más alto y más ancho sea el edificio, más intenso es el efecto. Si dos edificios de 30 o más plantas se colocan a menor distancia que el doble del ancho del edificio, se producirá un efecto esquina muy intenso en el espacio situado entre ellos.

4.2.3 Efecto Estela

El efecto estela está relacionada con el fenómeno producido por el efecto esquina. El viento succionado por el vacío situado en la cara del edificio situada a sotavento continua fluyendo y girando, creando una zona de turbulencias. Generalmente, las estelas del viento siguen el modelo indicado en la ilustración, aunque tienden a ser irregulares. A veces, las estelas que aparecen a lo largo de los lados del edificio se unen a las estelas de los flujos que van de arriba a abajo, dependiendo de la longitud del lado paralelo a la dirección del viento del edificio.

4.2.4 Efecto Torre

En general, los efectos vórtice, esquina y estela son más intensos cuando un edificio de gran altura está situado junto a otros de considerable menor altura. Los edificios más bajos reducen las velocidades de los vientos a ras de suelo, produciendo mayores diferencias entre las presiones de niveles altos y las del nivel de la calle y aumentando la succión en sentido descendente.

4.2.5 Efecto Vacío

Cuando un edificio de cinco o más plantas está colocado sobre pilares o tiene un pasaje que lo atraviesa, el aire forzado por las aberturas crea una corriente de viento muy intensa, aumentando la succión en sentido descendente.

4.2.6 Efecto de Enlace de Presiones

Los efectos de enlace de presiones se desarrollan cuando el viento fluye sobre filas paralelas de edificios, produciendo succiones entre ellos que aspiran los flujos descendentes y los vientos, generando corrientes transversales, especialmente a ras de suelo. La intensidad de este efecto varía según la altura del edificio, siendo los edificios más altos los que generan efectos más intensos. Los efectos se intensifican aún más si el canal por donde discurren las corrientes transversales se trata de una zona estrecha y regular. Cuando existe un modelo donde las alturas aumentan de forma continuada, se generan distintas zonas de presión en las zonas situadas a sotavento de cada edificio, y las corrientes transversales tienden a fluir hacia las zonas con las presiones más bajas.

4.2.7 Efecto Canal

Cuando una calle u otro espacio abierto posee alineaciones de conjuntos de edificios muy agrupados puede tender a encauzar el viento si dicho espacio es alargado y estrecho en relación con las alturas de los edificios que lo definen.

4.2.8 Efecto Venturi

El efecto Venturi puede aparecer cuando dos grandes edificios situados en ángulo uno respecto del otro generan un embudo con una estrecha boca que no es mayor que dos o tres veces la altura del edificio. Los vientos son canalizados a través de la abertura, generando velocidades de vientos muy intensificadas. Este efecto sólo sucede cuando los edificios son de al menos de cinco pisos de altura y tienen, conjuntamente, una longitud de 100 m, y cuando las zonas delantera y trasera del embudo son relativamente abiertas.

4.2.9 Efecto Pirámide

Las estructuras piramidales ofrecen poca resistencia al viento, y generalmente suelen dispersar la energía del viento en todas direcciones. Una aplicación del principio de la pirámide es la utilización de configuraciones “en gradas” en el diseño de edificios de gran altura como medio de reducir los efectos vórtice, estela y esquina.

4.2.10 Efecto Refugio

El efecto refugio aparece cuando los edificios están dispuestos de tal manera que se protegen unos a otros del viento. Cuando una corriente se encuentra con una zona construida, tiende a crear el mayor efecto en una franja de aproximadamente 200 m de ancho. Más allá, la velocidad del viento y las turbulencias se mantienen a niveles reducidos hasta que el viento se encuentra con edificios de una altura superior al doble de la media de las edificaciones del entorno.

4.6 Hassan Fathy: la energía natural y la arquitectura vernacular

Se deben estudiar los fenómenos del microclima, y los nuevos materiales de construcción, métodos y diseños deben ser analizados hasta que las complejas relaciones entre los edificios, el microclima y los seres humanos sean totalmente comprendidos.

Otra ciencia a la que la arquitectura le debe mucho es a la aerodinámica. Actualmente, los métodos de investigación de las corrientes de aire alrededor de las alas y de los fuselajes de los aviones están siendo utilizados para estudiar las corrientes de aire que pasan por el interior, por encima y alrededor de los edificios. Se han analizado modelos a escala y a escala natural en los túneles del viento para determinar los efectos de las dimensiones, la localización y la disposición de las aberturas sobre las corrientes de aire en edificios aislados, así como la naturaleza de los tipos de vientos y de las reacciones resultantes que aparecen en agrupaciones de edificios... Cada línea en un diseño implica a todo una biblioteca de ciencias físicas. En arquitectura, cada línea está dictada por un conjunto de ciencias mecánicas y físicas, más un conjunto de ciencias de humanidades como la fisiología, la psicología, la sociología, la antropología, etc., que son menos exactas que la física, sin mencionar la propia sensibilidad y la creatividad del artista.

(H. Fathy - Vernacular Architecture, Chicago 1986)

4.6.1 La mashrabiya

El nombre mashrabiya deriva de la palabra árabe “beber” y que originalmente significò “lugar para beber”. Era un espacio en voladizo con una abertura cerrada por una celosía, donde se colocaban pequeñas jarras de agua para ser enfriadas por el efecto de la evaporación al moverse el aire a través de la abertura. Actualmente el nombre se utiliza para una abertura con una celosía de madera formada por pequeños balaustres de madera de sección circular y dispuestos en intervalos regulares específicos, a menudo siguiendo un patrón decorativo y de intrincada geometría.

La mashrabiya posee cinco funciones. Se han desarrollado diferentes patrones para satisfacer una variedad de condiciones que requiere enfatizar en una o más de una de esas funciones. Estas funciones implican: 1) controlar el paso de la luz; 2) controlar el paso de corrientes de aire; 3) reducir la temperatura de las corrientes de aire; 4) aumentar la humedad de las corrientes de aire; y 5) asegurar la privacidad. Cada diseño de una mashrabiya se selecciona para satisfacer algunas o todas estas funciones. En el diseño, se determinan el tamaño de los intersticios (espacios entre balaustres adyacentes) y el diámetro de los balaustres.

4.6.2 El qa'a

El qa'a es una habitación central del piso superior para recibir a los invitados, normalmente una sala de estar en una residencia o una sala de reuniones en un pabellón oficial.

Tradicionalmente está compuesta por tres espacios conectados entre sí: una parte central llamada dur-qa'a, área de circulación de techo elevado y sin enmoquetar que proporciona luz y asegura la ventilación; y dos grandes alcobas enmoquetadas, cerradas y sobreelevadas llamadas iwanat (en singular: iwan). Las paredes de la qa'a, al ser muy altas, están reforzadas mediante contrafuertes que dan rigidez y ligereza a la estructura.

Los espacios que hay entre los contrafuertes se utilizan como alcobas para sentarse, y se llaman kunja. Normalmente los suelos de los kunja están más sobreelevados respecto a los espacios adyacentes, el dur-qa'a y el iwan. El acceso al qa'a es a través del dur-qa'a, que de hecho es un patio cubierto o shan que ha mantenido el suelo pavimentado y los mosaicos de mármol característicos de un patio abierto.

4.6.3 El malqaf

“El malqaf es una chimenea que sobresale por encima de la casa, con una gran abertura dirigida hacia el viento dominante que captura aire del exterior y lo introduce en el interior. El malqaf es de tiempos muy antiguos, como lo demuestran los frescos de la tumba de Neb-Amun in Gourna, que data de la Dinastía XIX”.

En Bâriz se utilizò para enfriar las bodegas del mercado:

“El sistema tiene dos chimeneas, una contra el viento y otra a favor del viento, cada una con una coronación de metal y con tablillas inclinadas hacia dentro y hacia fuera... eso genera una toma por el efecto Venturi. Todo el conjunto está pintado de negro de forma que la temperatura aumentará el tiro por convección...” Para aumentar el enfriamiento generado por el malqaf, “se colgaban esteras en el interior y se mantenían húmedas por medio de una bomba manual que se alimentaba de un tanque situado en la planta baja. Periódicamente, se bombeaba de vuelta el agua no evaporada para volver a humedecer las esteras. Un viajero... relata que tenía escalofríos del frío de esas habitaciones cuando la temperatura exterior era de 46° C a la sombra”.

(Architecture d'aujourd' hui - H. Fathy - Febrero 1978)

4.7 Lazlo Mester de Parajd: la arquitectura bioclimática en África

4.7.1 La arquitectura tradicional y la tecnología moderna

El barro prensado es un material maleable al que puede darse forma manualmente. Al contrario que estructuras construidas con materiales duros como la piedra el ladrillo, aquellos construidos con barro prensado tienen bordes redondeados y en cierta forma irregulares. El barro prensado utilizado en la arquitectura tradicional es exactamente el mismo material que la tierra que rodea las estructuras redondeadas y de baja altura, de forma que encajan perfectamente con el paisaje.

En este salto de la arquitectura tradicional a la moderna, la cuestión no es copiar las antiguas formas dictadas por el uso racional de los materiales, sino absorber el espíritu de los constructores primitivos y transponer sus conceptos estéticos sin caer en la imitación.

Esta nueva estética proviene de una nueva filosofía de la arquitectura que corre en contra del modernismo. El modernismo sostiene que gracias al poder de la tecnología, se puede erigir el mismo tipo de edificios en Nueva York, Abidjan, Singapur o París. Esta nueva concepción postula los siguientes axiomas:

- a) cada lugar tiene su propio entorno físico en el que el edificio debe encajar;
- b) cada lugar tiene un pasado y un contenido cultural latente que debe ser totalmente tenido en cuenta.

4.7.2 Nuevas técnicas

Hace treinta o cuarenta años, antes de que el aire acondicionado estuviera tan extendido, se tenían que tomar precauciones para equipar las casas con protección natural al calor: techos altos, ventilación natural, y galerías porticadas para proteger los muros exteriores del calor del *SOL*. Con la llegada masiva de pequeños aparatos de aire acondicionado y la de la electricidad a bajo costo, los edificios cambian gradualmente. Para ahorrar en costes de construcción, los muros se construyen más delgados, se eliminan los pórticos, y las habitaciones se hacen más pequeñas. Poco a poco, los arquitectos olvidaron las sencillas reglas de sentido común como las de orientar apropiadamente y retranquear las ventanas.

Esta situación cambió cuando subió el coste de la electricidad. El aire acondicionado se volvió carísimo, pero las casas construidas recientemente no están preparadas para ser habitadas sin él. Los ahorros a corto plazo en costes de construcción son absorbidos por las facturas de electricidad en unos pocos meses.

Es por ello que es urgente volver a proteger los edificios del calor con medios naturales, incluso si ello implica un pequeño incremento de los costes de construcción. Y, esencialmente, las ideas para llevarlo a cabo se han tomado de la arquitectura islámica. Las técnicas principales son las siguientes:

- a) Proteger las ventanas de los rayos solares.
Los rayos solares que llegan a una ventana entran en la habitación, y su energía radiante es atrapada en su interior debido al efecto invernadero. El principio básico es que ninguna abertura debe ser alcanzada por el sol a ninguna hora del día.

Las cartas solares publicadas por el Centre for Building Science and Technology (Centro para la Ciencia y Tecnología de la Construcción) en París muestra la dirección del sol en cualquier lugar y a cualquier hora del día. Consultando estas cartas, se puede determinar que métodos utilizar para mantener las ventanas protegidas todos los días.

Primeramente, lo mejor es darle a todas las ventanas una orientación al norte o al sur; es relativamente fácil proteger el acristalamiento que da a estas dos direcciones porque el sol siempre está muy arriba en el cielo. La situación es diferente al este y al oeste, donde el sol está bajo en el horizonte y puede entrar muy al fondo de las habitaciones. Una vez que las habitaciones hayan sido orientadas apropiadamente, el siguiente paso consiste en retranquearlas para mantenerlas sombreadas a todas horas.

4.7.3 El edificio Onersol

En la sección de oficinas y de laboratorios, la presencia de un pasaje lateral coloca las ventanas alejadas de la fachada. Si en la sección que alberga las viviendas para los investigadores hubiera habido un pasaje de este tipo que causara algún problema, se utiliza una celosía para proteger el acristalamiento del *SOL*.

También es importante proteger los muros de una excesiva radiación solar, ya que absorben el calor exterior y lo transmiten en parte al interior.

En las viviendas del edificio Onersol, los muros portantes están protegidos del sol por un contramuro inclinado separado 90 cm en su parte más baja y 20 cm en la más alta. El espacio entre los dos muros está ventilado por arriba y por abajo, creando una corriente de aire ascendente constante.

Los contramuros inclinados y ventilados se utilizan con profusión en los palacios de justicia de Arlit y Agadez y en el edificio del Tribunal de Casación en Niamey, donde son, evidentemente, eficaces.

- b) Protección de las cubiertas del sol.
Las cubiertas de aluminio y de cemento se calientan mucho porque los rayos del sol inciden sobre ellos casi verticalmente durante casi todo el día. Las habitaciones situadas debajo se protegieron del calor con techos colgantes bien aislados y ventilados.
- c) Ventilación de todo el edificio.
Cuando el aire puede circular libremente entre un espacio abierto fresco y un espacio abierto caliente, se genera un flujo natural del espacio más frío al más templado. Basándose en este principio, se crearon corrientes naturales de aire fresco para enfriar las diversas áreas del edificio, circulando de un patio interior a otro y de los patios al exterior, en función de la cantidad de luz solar directa y del tipo de los revestimientos del suelo.

4.8 Aplicaciones del control climático en espacios abiertos en la Expo'92, Sevilla

Debido a las extremas condiciones climáticas de Sevilla en los meses estivales, los espacios abiertos de la EXPO'92 se acondicionaron para hacer viables las actividades previstas.

Tan sólo se trataron las áreas de uso intensivo por parte de los visitantes y, dentro de estas áreas, la intensidad del acondicionamiento varía desde el muy intenso en las zonas de descanso, al medio de los paseos y al muy bajo o nulo para otros espacios.

4.8.1 Coberturas

Respecto a las coberturas, básicamente optamos por el uso de vegetación, debido a sus ideales propiedades que permiten obtener bajos niveles de transmitividad, mientras que la radiación absorbida no supone sobrecalentamiento pues se compensa con la transpiración de las plantas.

De cualquier modo, para asegurar su correcto funcionamiento, la vegetación debe producir una cobertura continua y uniforme. El crecimiento de las plantas se aseguró mediante la utilización de las llamadas "pérgolas EXPO", que incorporan unos contenedores de plantas integradas en la estructura misma, evitando de esta manera la necesidad de hacer crecer las plantas desde el terreno. Se prepararon módulos de 6x6 y 12x12 m hasta un total de 50.000 m². Estos módulos se trasladaron a espacios abiertos a distintas alturas.

Independientemente de la vegetación, se utilizan coberturas dobles, como en la terminal de trenes, y sencillas, como en el palenque y en el quiosco de la Avenida I.

Aproximadamente un 40 % de las áreas de alta ocupación están protegidas del SOL para ofrecer permanentemente a los visitantes una alternativa para evitar la radiación solar.

4.8.2 Reducción de las temperaturas a nivel superficial

El agua, tanto en estanques como en cascadas, es un elemento frecuente en todos los espacios abiertos. A modo de ejemplo, mencionaremos la cascada, de unos 400 m de longitud y 6 altura que corre todo a lo largo de la Avenida V, y el lago artificial (Lago de España) de 15 hectáreas de superficie.

La temperatura bajo las coberturas se reduce habitualmente con irrigación controlada, como en el Palenque y el quiosco en la Avenida I.

Tan sólo se eliminaron los pavimentos enfriadores, debido a su bajo nivel de eficacia en las zonas protegidas.

4.8.3 Reducción de la temperatura del aire

Entre otras técnicas de enfriamiento, todos los subsistemas ensayados en la Rotonda se utilizarán en los espacios abiertos. Merece la pena subrayar la presencia en la Avenida de Europa de 12 torres de enfriamiento, de 30 metros de altura. Estas torres de enfriamiento poseen receptores del viento en los extremos superiores y micronizadores distribuidos en diferentes secciones a lo largo de las torres. Las torres pueden suministrar más de 3,5 millones de frigorías/hora.

Prácticamente se instalaron micronizadores en casi todas las avenidas, entre las ramas de los árboles y en la estructura de las pérgolas EXPO, que produjeron un continuo flujo descendente de aire fresco.

En el Palenque y en la Avenida IV (Avenida del Ombú) hay micronizadores y cortinas de agua en los anillos periféricos (barreras de agua) que refrescaron el aire por convección forzada, siendo el viento la fuerza conductora.

En los espacios abiertos de la EXPO'92 se instalaron 12 sistemas diferentes, con aproximadamente 7.000 micronizadores.

Por último, en el Palenque, y en las avenidas I, III y V se utilizaron unidades de manipulación del aire que poseían secciones de enfriamiento sensible y de enfriamiento por evaporación. Las secciones sensibles utilizaban agua fría del estanque más cercano. Para evitar que este agua calentara los estanques están equipados con sistemas de pulverización de agua.

4.8.4 Torres de enfriamiento

Hay un total de 12 torres en el jardín, repartidas en dos filas paralelas. Cada torre tiene unos 30 m de alto, 5 de los cuales son parte del mástil y los 25 restantes forman el tronco, cubierto con un material plástico de color blanco. El diámetro del tronco decrece de los 8 m en la base hasta los 3 m en el extremo. El peso total de cada torre es de aproximadamente 15 toneladas.

La idea de suministrar aire fresco por medio del viento o por flujo gravitacional dentro de la torre tiene precedentes en las antiguas torres del viento del Oriente Medio, como las descritas por Bahadori (ver Scientific American n. 116, 1978) y especialmente en las corrientes descendentes naturales de las torres de enfriamiento por evaporación, desarrolladas por el profesor Baruch Givoni.

La principal diferencia entre las aplicaciones arriba descritas y el proyecto aquí descrito es que las primeras funcionan por el paso del aire a través de plataformas de enfriamiento por evaporaciones mientras que las torres de la Avenida de Europa utilizan aparatos atomizadores como fuente de enfriamiento.

La utilización de atomizadores se debe fundamentalmente a dos razones:

- La necesidad de minimizar las pérdidas de presión del aire con el objeto de obtener una buena eficacia bajo condiciones tanto de aire inmóvil como de viento.
- La necesidad de tener una precisa capacidad de regulación de forma que, independientemente de las condiciones climáticas del exterior (temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento), la capacidad de enfriamiento pueda ser maximizada mientras que evite mojar a la gente debido a pequeñas gotas de agua no evaporada.

La altura de las torres sirve para aumentar el efecto chimenea de flujo descendente, para utilizar aire de entrada más fresco y para evitar cambios en la dirección del viento debido a elementos contiguos (la orientación del receptor de viento es fija, estando situada de cara al suroeste, dirección del viento dominante).

El diseño actual de las torres de enfriamiento y de los receptores del viento representa un compromiso entre la estética y los criterios de control climático.

La metodología utilizada durante el trabajo sobre control climático de espacios abiertos en la EXPO'92 incluyó una extensa etapa dedicada a la experimentación a escala natural. El objetivo de los ensayos es triple:

- Suministrar datos para caracterizar el comportamiento *TéRMICO* de cada componente individual.
- Suministrar datos para caracterizar las condiciones higrotérmicas resultantes en las diversas zonas.

- Suministrar datos para convalidar los modelos teóricos.

Se proyectó todo un modelo a escala natural, conteniendo los elementos más significativos, teniendo en cuenta el tamaño, la funcionalidad y la apariencia estética de los espacios abiertos de la EXPO'92 donde posteriormente se distribuyeron.

El proyecto arquitectónico fue realizado por el Seminario de Arquitectura Bioclimática (hoy, Seminario de Arquitectura y Medio Ambiente), de la Universidad de Sevilla, dirigido por el profesor Jaime López de Asiain. El Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos estuvo a cargo del diseño de la ingeniería, monitorización y evaluación.

4.8.5 La Rotonda Bioclimática

El modelo experimental incluye básicamente dos caminos de diferentes tamaños y coberturas, un estanque central con surtidores y aspersores y, esencialmente, un área de descanso conocida como la rotonda bioclimática, donde se ensayaron técnicas de enfriamiento natural.

Geoméricamente, la rotonda posee tres niveles unidos por escaleras y formando un cuadrado con lados de 31 metros. Los dos niveles inferiores constituyen la zona que supuestamente sería utilizada por los visitantes. Forman dos círculos concéntricos con diámetros de 24 y 16 metros respectivamente. La diferencia de altura entre los distintos niveles es de 80 cm; cascadas de agua caen de un nivel a otro. La rotonda está cubierta con una cubrición piramidal de PVC de color blanco abierta en su extremo superior.

Como se mencionó anteriormente, el propósito de la rotonda es de servir como experimento piloto a escala natural. En consecuencia, alberga un número considerable de técnicas y estrategias con el objetivo de acondicionar térmicamente los espacios abiertos.

A modo de ejemplo, mencionar las técnicas naturales de enfriamiento del aire utilizadas, quizás los elementos más innovadores del proyecto. Todas ellas se basan en el enfriamiento por evaporación, que tiene lugar cuando se ponen en contacto aire y agua:

- Unidad de manipulación del aire

Concepto: enfriamiento por evaporación mecánica.

- Micronizadores (pulverizadores de alta presión) en los árboles

Concepto: evaporación de pequeñas gotas de agua (convección natural).

- Micronizadores en la torre

Concepto: evaporación de pequeñas gotas de agua (convección forzada; fuerza conductora: ventiladores).

- Micronizadores en los anillos periféricos. Barreras de agua

Concepto: evaporación de pequeñas gotas de agua (convección forzada; fuerza conductora: el **viento**).

4.9 La Arquitectura de Vasco Vieira da Costa: diseño en climas cálidos y húmedos

La obra del arquitecto Vasco Vieira da Costa (1911-1982) merece ser estudiada. Nacido en Angola, Vieira da Costa estudió en la Escola Superior de Belas Artes en Oporto (Portugal). Trabajó en París con Le Corbusier entre 1945 y 1948, retornando a Angola en 1950, donde se encuentran todos sus edificios.

Vieira da Costa está considerado como uno de los más brillantes exponentes de la versión tropical del Movimiento Moderno. Aunque la documentación sobre su obra es muy incompleta, la que está disponible revela evidentes signos de interés en materia medioambiental, a la que el arquitecto prestó gran atención.

En uno de sus artículos, Vieira da Costa habla explícitamente de los principios que deben dirigir el diseño del trazado de los pueblos de las zonas rurales. El hace gran hincapié en la importancia en la orientación de los edificios para utilizar al máximo la **ventilación** natural, indicando la conveniencia de situar las fachadas principales en sentido perpendicular a la dirección de los **vientos** dominantes durante los períodos calurosos. También habla sobre la protección del **SOL**, sugiriendo que el eje principal de

los edificios deber ser el Este-Oeste, para así evitar la entrada de radiación solar al interior. También sugiere que debe encontrarse un compromiso entre los dos criterios que contrastan uno con otro: a esto le llama la “orientación preferente”.

Su preocupación con la orientación es tan fuerte que sugiere que es mejor ignorar “la norma equivocada y anacrónica de paralelismo entre carreteras y edificios”, si esta choca con las necesidades de la orientación preferente.

También dedica su atención a la distancia entre diferentes edificios. Esto debe ser de tal manera que permita una adecuada ventilación y evite el peligro de la radiación solar que cae sobre el terreno y los muros de otros edificios siendo parcialmente reflejada sobre el mismo edificio.

Muchos de los proyectos de Vieira da Costa revelan su gran capacidad de dar respuestas a los especiales problemas que se presentan al utilizar la luz natural en climas tropicales.

Todavía no es posible realizar un análisis detallado de los proyectos de Vieira da Costa. Sin embargo, se deben mencionar de algunos de sus muchos edificios fundamentales que diseño para Luanda, caracterizados todos por la minuciosa atención que presta a la relación con el medioambiente, y especialmente a la protección de las ventanas, ventilación natural y control de la iluminación natural. Entre de estos proyectos ejemplos importantes son el "Predio da Mayanga" y la escuela Anangola.

Tablas como las indicadas en las figuras para Luanda, capital de Angola, pueden ser utilizadas para analizar y describir sucintamente las características climáticas de una localidad.

Hay dos tipos de tablas. La primera indica los períodos del año cuando existe peligro de sobrecalentamiento, es decir, cuando la temperatura del aire excede los 22° C (zona sombreada). Las indicaciones de diseño que da esta tabla se refieren principalmente a la protección de huecos de los rayos del sol: es absolutamente esencial que dentro de los períodos indicados se deban proteger para evitar el sobrecalentamiento. Esta información, junto con la concerniente a la posición del sol en momentos relevantes del día, permite un diseño muy preciso de los elementos de protección solar.

Cada recuadro de la tabla corresponde a un intervalo de dos horas, señalado en el eje vertical, y a un día medio de cada mes, señalado en el eje horizontal. Las temperaturas están marcadas (por puntos) según isotermas cada dos grados de temperatura.

Un examen de los datos revela que los edificios en Luanda han de ser diseñados para asegurar que los huecos permanezcan sombreados prácticamente todo el año, con las únicas excepciones de las mañanas del invierno (junio, julio, agosto, septiembre y parte de octubre).

El segundo punto es la tabla psicométrica: se trata de una representación gráfica de la temperatura del aire y de la humedad absoluta, es decir, de la combinación aire-agua. La zona sombreada indica la zona de *CONFORT*, osea que esa combinación de temperaturas y humedades que aproximadamente garantiza el bienestar termohidrometrico sin la necesidad de aplicar medidas correctoras. En esta tabla se muestran segmentadamente los días medios de cada mes.

Los segmentos se obtienen por la unión de los dos puntos representativos de las condiciones de mínima-temperatura/máxima-humedad y máxima-temperatura/mínima humedad. Debido a la falta de datos sobre la humedad los valores utilizados han sido estimativos. La utilidad de las tablas consiste en las indicaciones que proporcionan en toda la extensión de los períodos del año cuando las condiciones medioambientales naturales son aceptables.

De esta manera es fácil ver que las condiciones en Luanda nunca son de tal forma que se asegure el confort. Por ello, el diseño debe permitir la modificación de estas condiciones, cuando sea posible, utilizando medios naturales (enfriamiento mediante adecuada ventilación, deshumidificación, y reducción de la calefacción gracias a la acumulación de energía solar).

4.10 Enfriamiento pasivo en escuelas. Jaime Lòpez de Asiain y colaboradores

Esta sección sigue la filosofía de diseño en continuo desarrollo durante los últimos diez años de práctica arquitectónica de Pilar Alberich Sotomayor y del Seminario de Arquitectura Bioclimática, bajo la dirección del prof. Jaime Lòpez de Asiain en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sevilla. Junto con José María Cabeza Láinez, también profesor e investigador en el Seminario, la grupo ha aceptado el desafío de crear edificios con una dependencia mínima de fuentes energéticas convencionales,

siguiendo las estrictas normativas locales. Aquí se ilustran cuatro de sus proyectos, tres en los alrededores de Sevilla y uno en la Costa de la luz.

El *CLIMA* de la región de Andalucía es suave en invierno, con temperaturas medias diarias de alrededor de 10°C en enero y muchas horas de *SOL*. Aunque existe la necesidad de una fuente de calor durante este período, especialmente por la mañana temprano, el uso de calentamiento *mecánico* puede ser minimizado, o incluso eliminado mediante un cuidadoso diseño de la envoltura del edificio y mediante la utilización de las ganancias de calor del sol y la ocupación. Los veranos son calurosos y secos con temperaturas máximas por encima de los 30° C. La prevención del sobrecalentamiento depende del despliegue de medios eficaces de control solar, de la acumulación de calor en la fábrica del edificio, y de los medios de enfriamiento del edificio tanto por la noche como por el día. La arquitectura tradicional de la región ha proporcionado muchos ejemplos de acertada adaptación al clima, subrayando a menudo la importancia de proteger transitoriamente espacios abiertos como los patios. El potencial creativo oculto en la fusión de elementos tradicionales con las nuevas tecnologías y técnicas científicas ha dado sorprendentes e ingeniosas expresiones en los edificios y el paisaje de la Expo de 1992 en Sevilla. En esta página se muestran ilustraciones de ello.

El diseño de edificios escolares siguiendo las estrictas normativas locales dejan poco espacio para la experimentación o para la expresión creativa. El Ministerio de Educación establece instrucciones de diseño. Las clases están diseñadas para hasta 40 alumnos, con superficies en planta de aproximadamente 56 m² y alturas de suelo a techo de 2,70 m. Hay muy pocas posibilidades de elección de materiales y terminaciones. La instalación de un sistema mecánico de calefacción es obligatorio. Aunque varían en tamaño, los resúmenes de proyectos que aquí se muestran comparten una serie de características y las estrategias medioambientales adoptadas son básicamente las mismas. En todo momento, hay una estricta observancia de la orientación respecto a los puntos cardinales, con un alargamiento de la planta siguiendo el eje este-oeste y con una simetría de la disposición interna según el eje norte-sur. Los planos están dispuestos en tres zonas de parecida profundidad, de norte a sur, con la zona intermedia como espacio de transición, iluminado desde arriba y diseñado como patio o calle interna. Gracias a la cuidada situación, orientación, distribución y sombreado de los huecos, este modelo ha demostrado ser muy adecuado para proporcionar buenas condiciones térmicas y visuales y un entorno común interno muy agradable a muy bajo costo, y casi sin utilizar energía convencional.

4.10.1 Centro ATAM Mairena del Aljarafe, Sevilla, España

Arquitectos: P. Alberich Sotomayor, J. López de Asiain, J.M. Cabeza Láinez

Promotor: Compañía Telefónica de España

El edificio fue encargado por la Compañía Telefónica de España para albergar unas instalaciones educativas para minusválidos. Está ocupado por 65 personas con diversos grados de minusvalía, siendo la mayoría disminuidos psíquicos. El centro, a la vez que cuida de ellos durante el día, les proporciona educación en tareas productivas en sus talleres y jardines. Los arquitectos se han esforzado en conseguir un entorno amigable y agradable, sin la atmósfera de tipo hospitalario que tienen centros parecidos en otros lugares. Parece ser que lo han conseguido y los inquilinos y personal están encantados con el edificio. Este consigue excelentes condiciones de *CONFORT* sin prácticamente utilizar calefacción por medios mecánicos ni iluminación artificial.

Situación y disposición del solar

El centro ATAM está situado en Mairena del Aljarafe, un suburbio de Sevilla en la orilla occidental del río Guadalquivir, cercano al lugar donde se celebró la Expo'92. El solar está rodeado por una zona residencial de baja densidad. El acceso al mismo es a través de la carretera principal que lo bordea por su lado sureste. El edificio está dispuesto en diagonal, atravesando el solar, remarcando su eje de simetría norte-sur. El jardín y las zonas de cultivo que lo rodean y el invernadero situado al final del camino en el lado norte son expresiones de la filosofía medioambiental y educacional del centro y son cuidados por sus ocupantes. El área de recreo en el lado este del solar incluye un pequeño campo de fútbol/hockey. Miembros del centro han competido con la selección nacional de hockey en las Olimpiadas para minusválidos de 1992.

Morfología del edificio y distribución interior

Se trata de un edificio de una sola planta con una superficie total de 1.050 m². La entrada principal está en el centro de la fachada sur. El camino de acceso está marcado por una alineación de pilares y vigas de hormigón que sostiene un enrejado metálico que juega con la luz y la sombra. Este camino se continua por el lado norte con un camino sombreado que va al jardín y al invernadero. El proyecto es compacto y funcional, casi cuadrado en planta, con unos laterales de 30 m aproximadamente. Los dos espacios de talleres en la zona sur proporcionan los servicios educativos principales del centro. Estos incluyen electrónica y reparación de

equipos telefónicos. Los ocupantes pueden acceder a los talleres directamente desde el exterior. El área de recepción está justo delante de la entrada y se abre a dos patios muy bien proporcionados. Estos tienen unas dimensiones de 10 por 10 m y están diseñados de acuerdo con la tradición local, con fuente, logias y toldos regulables. Están cubiertos con el mismo enrejado de los caminos, colocados aquí por razones de seguridad así como por razones medioambientales. Los patios son accesibles desde los talleres, proporcionando a los ocupantes espacios semi-abiertos protegidos para los descansos, al mismo tiempo que permiten que llegue luz natural a los talleres desde cada lado. Contiguo al área de recepción se encuentran las oficinas de administración y la sala de reuniones. La zona norte del edificio alberga la cocina y el comedor, con vistas a los jardines y campo de juego.

Construcción y diseño medioambiental

La construcción está compuesta por pilares y losas (aligeradas con bovedillas cerámicas) de hormigón armado. La cubierta y el cerramiento exterior están aislados con planchas de poliestireno expandido de 50 mm de espesor (valores de U de 0,5 W/m²K). Los suelos están terminados con revestimiento de losetas de arcilla con aislamiento por encima de las losas flotantes (U = 0,35 W/m²K). Las ventanas son de acristalamiento sencillo, pero son de pequeñas dimensiones y están protegidas con lamas externas regulables (fig. 1, 2) en todas las orientaciones excepto la norte. La fábrica de ladrillo y las losas de hormigón proporcionan grandes superficies macizas con espesores superiores a 100 mm como elementos de gran capacidad de acumulación de calor dentro de la estructura del edificio. La banda-lucernario de gran altura sobre los talleres fue diseñada para equilibrar y suplementar la iluminación natural y la luz solar invernal que penetra por las ventanas situadas en los laterales. Los lucernarios están equipados con lamas en su pendiente sur para el control solar. La cubierta que está encima del área de recepción se eleva a un nivel más alto y posee una franja de lucernarios que contribuyen a incrementar la entrada iluminación natural y luz solar, pero sobre todo forman parte de la estrategia de ventilación cruzada del edificio. Los arquitectos llegaron a los detalles de diseño anteriores utilizando herramientas de análisis y siguiendo el proceso siguiente:

-las dimensiones de las ventanas y lucernarios se determinaron primeramente en base a criterios de iluminación natural.

-se determinaron las cargas de enfriamiento en verano, y se adoptaron el control solar, la capacidad térmica y las medidas de ventilación para evitar el sobrecalentamiento en el período caluroso.

-se estimaron las temperaturas invernales en el interior bajo condiciones naturales (osea, sin calefacción por medios mecánicos) y se afinaron de manera muy precisa las propiedades aislantes del envoltorio del edificio para así conseguir temperaturas medias de al menos 17° C sin calefacción mecánica.

Sistemas de Ingeniería y controles

Se instaló un sistema de calefacción de aire con una capacidad de 8-10 kW. La distribución del aire es a través de conductos situados a nivel del techo a lo largo de los lucernarios de los talleres. El funcionamiento del sistema de calefacción se requiere sólo entre las 7.00 y las 9.00 a.m. en los meses más fríos. Paneles solares convencionales suministran el agua caliente doméstica.

Comportamiento

El edificio todavía no se ha monitorizado. Sin embargo, las mediciones hechas in situ en una visita en marzo de 1993 y tras reuniones entre el personal del centro, los ocupantes y los arquitectos, sugieren un comportamiento muy satisfactorio. Los niveles de iluminación fueron extremadamente buenos en todo el edificio, con lecturas de entre 650-950 lx en el área de recepción; 1500-2000 lx en los talleres con las lamas de las ventanas abiertas, y 700-1000 lx con las lamas cerradas. En el gráfico se muestran las lecturas de temperatura tomadas en un período de cuatro días. Estas varían en un rango de 17,0-20,5 °C en el área de recepción, 18,5-21,5 °C en los talleres, y 12-27 °C en el patio (abierto). Estos resultados muestran la capacidad del edificio para estabilizar las fluctuaciones, con una oscilación exterior de 15K reducida a sólo 3K en el interior, y confirman la predicción de los proyectistas de alcanzar una temperatura mínima interior aceptable. No ha habido quejas de deslumbramiento o sobrecalentamiento, aunque hubo alguna referente a que el edificio no estuviera suficientemente calentado por las mañanas en invierno.

4.10.2 Escuela primaria, Guillena, España

Arquitectos: P. Alberich Sotomayor, J. López de Asiain, J.M. Cabeza Láinez

Fue uno de los primeros proyectos escolares del Seminario. La escuela primaria de Guillena, en las afueras de Sevilla, comprende diez clases y acomoda unos 400 alumnos de entre 6 y 14 años de edad. El edificio está situado en una ladera orientada al mediodía,

en una zona escasamente poblada. En la zona sur hay dos plantas que albergan las diez clases, mientras que la zona norte tiene una planta y contiene los servicios comunes y la administración de la escuela. La zona intermedia contiene los espacios públicos en sus extremos y las escaleras que suben al nivel superior.

El espacio restante está ajardinado como jardín interior. Determinadas partes de la cubierta sobre esta zona central están elevadas sobre la cubierta principal y poseen una franja continua de lucernarios a todo lo largo de su perímetro que proporciona iluminación natural. La zona de entrada y las escaleras están iluminadas por un gran lucernario central. El espacio del atrio es un elemento clave en la estrategia medioambiental del edificio, tanto para la iluminación natural como para, especialmente, la ventilación. Los lados este y oeste del edificio son casi totalmente opacos. Las clases se iluminan por medio de una franja orientada al sur de ventanas (fig. 1, 2) de acristalamiento sencillo, que suponen un 50 % del cerramiento exterior en ese lado. Una combinación de un pequeño voladizo, de una estructura de hormigón, pintada de blanco (con forma de “partesoles”) y de lamas regulables de plástico, proporcionan protección solar y difusión de la luz directa del SOL. El voladizo evita que el alto sol del verano penetre directamente en el interior: la parte superior del partesol trabaja como bandeja reflectora reflejando la luz directa del sol a la parte inferior del voladizo y del techo y de esta manera se convierte en luz difusa antes de que sea reflejada a las ventanas y dentro de la habitación. Las lamas y las aletas laterales producen efectos similares. Un ancho voladizo en el lado norte del edificio ayuda a sombrear el terreno en esa zona, a la vez que proporciona alguna protección solar en la fachada norte en las mañanas y tardes estivales. La construcción del edificio se ha realizado con hormigón armado que proporciona una gran capacidad térmica interna. Los elementos exteriores del edificio están aislados con valores medios de U de alrededor de 0,6 W/m²K. El equipamiento mecánico se compone de dos bombas de calor; sin embargo, rara vez se usan.

Las medidas tomadas en el edificio durante dos años han mostrado que las temperaturas de las habitaciones rara vez bajan de 16 °C en invierno o suben de 30 °C en verano. Los valores de la humedad relativa están en el intervalo típico del 30-50 %. Parece ser que las temperaturas de las habitaciones se mantienen bastante estables durante el día, con fluctuaciones de no más de 1-2 K.

Sin embargo, se han observado niveles significativos de estratificación tanto horizontal como vertical de temperaturas. Hay diferencias de 2-3 K entre el centro de una habitación y las zonas cercanas a las ventanas. La estratificación vertical es más destacable en el interior del atrio en verano, donde a menudo hay una diferencia de unos 10 K entre la zona superior y la inferior. Esta diferencia proporciona la fuerza ascensional necesaria para inducir la ventilación por el efecto chimenea.

Los gráficos ilustran las temperaturas de una clase y del atrio tomadas en días típicos de septiembre y diciembre. En diciembre, muestran unas temperaturas (fig. 1, 2) de 17-19 °C en la clase y de 15-16 °C en el atrio. En septiembre, la clase situada al sur-este muestra una temperatura estable de unos 27-28 °C, mientras que las clases que dan al sur-oeste tienen un máximo algo superior. El atrio se mantiene bastante fresco a nivel del suelo (23-24 °C), subiendo por encima de los 31 °C en la parte superior. La clase de la planta superior en la zona sur-oeste recoge temperaturas más bajas de las que se podían haber esperado por su orientación y su posición más elevada en el edificio; esto puede deberse al viento dominante del suroeste.

Las mediciones puntuales tomadas en el curso de una visita al edificio tras las horas de clases en un día típico de Marzo, mostraron temperaturas del atrio que van de los 18 °C a nivel del suelo hasta los 26 °C en la parte superior. Las clases estaban a 22 °C con una temperatura exterior de 24 °C. Los niveles de iluminación eran buenos, con hasta 800 lx en el plano de trabajo en el centro de las clases teniendo las lamas abiertas, y con 250-400 lx con las lamas semicerradas. La disposición de los huecos parece que daban un potencial muy bueno de ventilación cruzada con velocidades de aire que iban de los 0,3 m/s con una sola ventana abierta hasta los 1,0 m/s con la ventana y la puerta abiertas.

4.10.3 Escuela Primaria, Almería, España

Arquitectos: P. Alberich Sotomayor, J. López de Asiain, J.M. Cabeza Láinez

El tratamiento del espacio del atrio central refleja el *CLIMA* marítimo más suave del lugar. El atrio está cubierto por una pérgola formada por dos hileras de finas placas horizontales de hormigón sostenidas por una estructura de pilares y vigas. El espaciado de las placas pretende permitir la entrada de luz solar directa en invierno en el atrio y el edificio adyacente, mientras que los protege de la luz directa en verano. La reflexión de la luz solar directa en las placas pretenden maximizar la penetración de luz difusa. El comportamiento de los vientos predominantes que pasan a través de las aberturas laterales del atrio han provocado quejas que han llevado a la colocación de pantallas protectoras.

4.10.4 Colegio Athenea, Mairena del Aljarafe, España

Arquitectos: Jaime Lòpez de Asiain, Pilar Alberich Sotomayor, José María Cabeza

Un alto lucernario, a todo lo largo de la fachada sur, y una gran montera perpendicular al patio situado encima de la entrada introduce iluminaciòn natural y luz solar directa en el espacio del patio central. El lucernario està protegido con lamas exteriores regulables y la montera, tanto en su interior como en el exterior, con un toldo blanco regulable de funcionamiento manual. Las clases están distribuidas en tres plantas en el lado sur, con las ventanas de la fachada sur protegidas de igual manera que en lo descrito en los proyectos anteriores; el atrio proporciona iluminaciòn natural y ventilaciòn cruzada adicional.

5 ILUMINACION NATURAL

5.1 Principios de iluminaciòn natural

La utilizaciòn de luz natural en edificios comerciales (no residenciales) es habitualmente muy limitada en comparaciòn con el papel que podía llegar a jugar si fuera explotada de manera apropiada. Los beneficios que se pueden obtener gracias al uso perfeccionado de la luz natural son dos:

- A) por un lado, se ahorrarían cantidades importantes de la costosa energía eléctrica utilizada para proporcionar iluminaciòn artificial; también, gracias al uso intensivo de luz natural, la carga debida a acondicionamiento del aire se reduciría;
- B) se mejoraría enormemente la calidad del entorno de trabajo al permitirse que la luz natural llegue y afecte a la mayor área posible. Básicamente el problema se puede plantear de la siguiente manera: cómo hacer llegar la luz natural a aquellas zonas de los grandes edificios comerciales situadas muy alejadas del cerramiento exterior, donde se dispone de la luz natural, de la manera más efectiva y econòmica, y sin causar problemas de *CONFORT*.

Esquemáticamente, los elementos de diseño más influyentes que afectan a la interacciòn entre un edificio y su luminoso entorno son los siguientes.

Morfología y orientaciòn del edificio

Los edificios de una sola planta son particularmente adecuados para la iluminaciòn natural, debido a la accesibilidad real de todos los espacios interiores a la luz cenital a través de las oportunas aberturas.

En edificios de múltiples pisos, un cuidado diseño del ventanaje puede proporcionar una zona perimetral de 5 m de ancho con luz cenital de trabajo y otros 5 metros más con luz cenital parcial, suplementada con iluminaciòn artificial. El resto requerirá iluminaciòn artificial al cien por cien. De esta manera, para utilizar la iluminaciòn natural con eficacia en edificios de varias pisos, se deben utilizar plantas estrechas. Si las dos fachadas están expuestas a la luz natural, se recomienda una anchura máxima de 10 metros.

El hecho de que en las fachadas orientadas al sur la luz es más que abundante, y debido a que las ganancias solares directas en verano pueden ser controladas mediante la utilizaciòn de aleros, convierte a esta orientaciòn en la más deseable. En segundo lugar, las fachadas más deseadas son las que dan al norte, debido a que reciben una luz cenital menos abundante pero más uniforme. Las grandes pérdidas de calor en invierno a través del acristalamiento que da al norte son menos críticas en los grandes edificios con altas ganancias internas de calor, en comparaciòn con edificios más pequeños.

Las orientaciones Este y Oeste permiten una exposiciòn a la luz solar de sòlo medio día, y producen altas ganancias de calor en verano y pequeñas en invierno. Por ello, las dimensiones de las fachadas este y oeste deben ser las mínimas.

Materiales

Las características fotométricas de los diversos materiales son de la mayor importancia. Los materiales reflejan y/o transmiten la luz incidente.

Estos son ejemplos de materiales reflectores pertenecientes a distintas categorías:

- a) Especulares: espejo de cristal, aluminio anodizado, acero pulido, etc.;
- b) Difusores: moquetas, terciopelo, paneles de fibra mineral, hormigón poroso;
- c) De alta difusión: la mayoría de los materiales de construcción, particularmente: pinturas y superficies mates, hormigón, tejido de poliéster, etc.;
- d) De baja difusión: pinturas satinadas, superficies brillantes;
- e) Especulares y difusores: superficies reflectoras onduladas e irregulares, superficies prismáticas, etc.

Los nuevos materiales están siendo, o lo han sido recientemente, desarrolladas para controlar la reflexión y la transmisión. He aquí algunos ejemplos:

- Superficies prismáticas: incrementan la sensibilidad del factor de transmisión respecto al ángulo de incidencia, de manera que es factible reflejar la luz solar directa y transmitir y re-dirigir la luz cenital, como función del ángulo del *SOL*;
- Películas holográficas: interceptan la luz solar y la difractan en otra dirección. Por ejemplo, si va pegada a una ventana, puede dirigir la entrada de luz solar.
- Elementos electrocrómicos: el principio de funcionamiento consiste en cambiar las propiedades ópticas de absorción de determinados materiales mediante la aplicación externa de un campo eléctrico. El campo típico de transmisión varía entre un 15% y un 70% del espectro visible. En otras palabras, es posible convertir, eléctricamente, una ventana transparente en un elemento casi opaco, por medio de la utilización de un señal eléctrico.

Componentes y conceptos de diseño

Los componentes son las partes del edificio diseñadas específicamente para modular la **luz natural**, de forma que sea posible controlar y/o maximizar su penetración en el interior.

He aquí ejemplos de componentes para la iluminación natural:

- Lamas reflectoras: son pantallas reflectoras rígidas, horizontales, que se colocan habitualmente en los huecos (de ventanas), justo un poco más arriba del nivel de los ojos, dividiéndolas en dos partes. Protegen la zona próxima a la abertura de la luz solar directa, y la refleja hacia el techo. De esta manera, proporcionan una distribución interna más uniforme de la luz, e incrementan el nivel de iluminación en las zonas más alejadas de las aberturas;
- Un concepto de diseño muy interesante es el del atrio. Puede definirse como un espacio interior, cubierto con materiales transparentes o translúcidos, que permiten el paso de la luz y la **ventilación** de los espacios internos relacionados con él. Con mal tiempo, la temperatura en el atrio es superior a la exterior. La configuración de un atrio puede considerarse como una "opción de diseño de luz natural" en el sentido de que permite un incremento en el tamaño de las ventanas situadas a su alrededor, incrementando de esta manera la penetración de la luz, sin aumentar las pérdidas térmicas en comparación con una configuración abierta; podemos encontrar una idea muy parecida a esta en los espacios situados debajo de las "Pirámides del Louvre" en París proyectada por el arqu. Pei (fig. 1, 2).
- Conductos de luz: son conductos horizontales o verticales, con paredes con un poder de reflexión muy alto, que transmiten la luz de superficies externas al interior de los edificios. Se requieren aberturas apropiadas para capturar el **sol** o la luz cenital.

Las técnicas de iluminación natural sólo permiten ahorros energéticos si se utilizan controles eficientes de la iluminación artificial.

La cantidad de energía ahorrada depende totalmente del tipo de control estratégico y de las técnicas, obteniéndose los máximos ahorros cuando se utiliza un mecanismo de oscurecimiento progresivo.

5.2 Ejemplos de edificios que utilizan la iluminación natural

-Centro de deportes, Barcelona, España

Proyectado por Rafael Serra. Las zonas interiores de este edificio de tres plantas se iluminan mediante luz natural suministrada por

los “sun-ducts” (conductos de sol). Se trata de conductos verticales, con paredes especulares, con una altura de una o dos plantas. La luz del *SOL* penetra en ellos a través de “sun-catchers” (captadores solares) situados en la cubierta, siendo reflejada hacia su interior, hasta que llega a las zonas que han de ser iluminadas.

-Edificio de Administración Zublin, Alemania (arq. Gottfried Bohn)

Esto es un ejemplo muy interesante de proyecto de un “hall”: dos edificios de seis plantas están conectados por una vasta estructura acristalada que es un espacio térmico templado.

-Landeszentralbank, Colonia, Alemania (arq. Schneider-Wesslering)

En la parte de arriba de cada ventana (fig. 1, 2) ha sido situado un aparato prismático móvil que sirve para enviar los rayos del sol hacia el techo, para conseguir un buen efecto luminoso.

-TVA Chattanooga, Tennessee, USA (arq. Scott Mattheus, Peter Calthorpe, William Lem)

El proyecto del hall acristalado está caracterizado por un techo con aberturas, cuya superficie especular sirve para reflejar los rayos del sol hacia espejos sobresalientes puestos en el forjado. Estos espejos reflejan la luz hacia los techos (fig. 1, 2) de las oficinas. En este edificio la utilización de la luz del sol es tres o cuatro veces más importante que en un edificio de oficinas tradicional.

-Biblioteca en Berlín, Alemania (arq. Hans Scharoun)

La iluminación indirecta ha sido obtenida por medio de lucernarios en la cubierta que reflejan la luz natural hacia elementos cóncavos de color blanco situados en el techo.

6 CLIMAS EXTREMOS

6.1 Mesa Verde, Colorado, EE.UU.

El poblado indio de Mesa Verde (CA. 1200) en Colorado, es un ejemplo perfecto de la utilización de los recursos naturales para la supervivencia.

El poblado está localizado en un corte horizontal de la roca y está orientado al Sur, protegido de los rayos del *SOL* en verano, pero no en invierno.

La enorme roca sobre la que el poblado indio se asienta constituye una gran masa de inercia térmica, garantizando así un nivel de *CONFORT* casi constante durante todo el año.

En Mesa Verde, la combinación de cuevas/edificios supone una especie de captador de energía que es un 56 % más eficiente en invierno que en verano. En invierno, los rayos del sol, debido al pequeño ángulo de incidencia, tienen acceso libre a las cavidades de la roca. El calor de las radiaciones solares son absorbidas por la propia roca y por el adobe de los edificios, siendo lentamente liberado al entorno tras el anochecer, proporcionando un microclima cómodo constante (en comparación con los inviernos, extremadamente fríos, y los veranos, cálidos y secos).

La vida diaria de los indios Anasazi tiene lugar en el interior de la “kiva” (fig. 1, 2), un espacio circular cubierto que está calentado por un hogar abierto situado en el centro.

Un sistema de ventilación natural permite la renovación del aire. El aire caliente, calentado por el fuego, sale por una abertura situada en el techo; mientras que una entrada de aire frío situada a nivel del suelo proporciona aire frío, que es desviado por un muro de baja altura situado en frente del hogar, forzando su circulación alrededor de la “kiva”.

6.2 Ghardaia, Argelia

Datos geográficos

El valle de M'Zab el Oued es el lecho de un antiguo río situado en un altiplano rocoso llamado "Hamada", en el Sahara septentrional argelino.

Hay aquí cinco ciudades: El Ateuf, Bou Noura, Beni Isguen, Melika y por último Ghardaia, la más grande e interesante de todas. Ghardaia esta situada a una altura media de 500 m., a 32°30' de latitud Norte y a 3°45' de longitud Este, a una distancia de aprox. 600 km de Argel y de 1.200 km. de Tamanrasset. Las temperaturas medias diarias varían entre los 10°-12°C aprox. en el mes de enero y los 33°-40°C en el mes de julio; con una máxima en verano de 50°C y una mínima en invierno de 1°C. Hay una gran diferencia térmica entre el día y la noche.

La media anual de lluvia es de 50-60 mm. en un año; de todas maneras no llueve jamás más de 10 días al año.

La vivienda y los materiales

El desarrollo moderno de las comunicaciones han llevado a Ghardaia hormigón, vigas de acero, madera para la construcción, etc.; sin embargo, los materiales aquí considerados son sólo aquellos utilizados por la arquitectura tradicional.

Piedra, adobe, arena, yeso, escayola, cal, palmeras, esparto.

La vivienda con respecto al CLIMA

Las variaciones térmicas son muy grandes; no hay humedad; los **vientos**, que suelen ser violentos, transportan arena y polvo. Las escasas lluvias, son de carácter tormentoso y la radiación solar es intensa.

Tratemos de determinar las principales causas que hacen posible la adaptación de la edificación Mozabita a las particularidades de un área definida como "el desierto en el desierto". Las casas están construidas con muros de piedra, generalmente muy gruesos. Las casas en la ciudad están entrelazadas unas con otras, creando espacios habitables relativamente grandes en relación a las superficies expuestas al *SOL*.

La sombra cubre calles y callejones. La capacidad térmica de los materiales decelera el paso de calor durante el día y lo irradia en sentido inverso durante la noche. La cocina es otra fuente de calor. Generalmente existen dos hogares: el primero, en el interior, permite cocer los alimentos en el invierno calentando el ambiente al mismo tiempo. El segundo, en el exterior y protegido del sol, se usa en el verano.

El pórtico interior está orientado al Sur, puesto que el sol estival está alto y sus rayos no pueden penetrar en el interior. En invierno, en cambio, al estar el sol más bajo, entra ampliamente en los espacios interiores y los calienta, ayudado además por la reflexión de los colores claros. La vivienda mozabita, heredera del esquema de la típica casa mediterránea, es producto de la adaptación por un lado a la intensa luminosidad del desierto y por otro, a las costumbres sociales de la población Mozabita.

El "Chebeq", una especie de agujero cuadrado en el techo, sustituye a las ventanas. Está protegido por una rejilla de hierro y, de acuerdo con las horas y las estaciones es cerrado parcial o totalmente con tela. El "Chebeq" funciona tanto como mecanismo de climatización como de iluminación. Recoge la luz como los pozos recogen el agua. En verano el "chebeq" es parcialmente cerrado, de forma que el interior de la casa se mantiene fresco y sombreado, y el aire circula desde los orificios situados en los muros exteriores y las puertas hasta los "chebec".

Si la temperatura nocturna es muy alta, los ocupantes pueden dormir en las terrazas.

No hay muebles en la casa, por lo que todos los espacios pueden ser utilizados indistintamente. Los Mozabitas se sientan en el suelo sobre esterres o alfombras y durante el invierno, frecuentemente, cubren las paredes con alfombras para aislarlas aún más. Las casas ubicadas en los palmerales están más protegidas y en consecuencia ofrecen una mayor superficie al sol. El incremento en radiación es compensado por la sombra de las palmeras, y también por una humedad más alta debida a la continua irrigación.

6.3 Ralph Erskine y su ciudad subártica

Ralph Erskine, aunque nacido en Inglaterra, vive y trabaja en Suecia. Como arquitecto y urbanista para la zona ártica, ha tenido que afrontar nuevos e importantes problemas, como el tener que planificar modernos asentamientos en áreas habitadas hasta el día de hoy por las comunidades laponas, basadas en una economía que gira alrededor de los renos.

El modelo de la ciudad subártica muestra que se han aplicado muy rigurosamente las teorías de la orientación; la ciudad está organizada (fig. 1) en base a una serie de terrazas concéntricas y comunicadas, que forman un gran hemicírculo orientado al sur y protegido por el norte mediante un baluarte multi-nivel continuo, atravesado por caminos peatonales radiales y concéntricos. La circulación se da en dos niveles: uno exterior durante el verano y otro interior durante el invierno.

Erskine profundiza en el tema haciendo propuestas más radicales que prevén la realización de una mega-cobertura por debajo de la cual se puedan recrear las condiciones normales ambientales de confort de una ciudad en *CLIMA* templado.

7 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA: EJEMPLOS HISTÓRICOS

7.1 La arquitectura vernácula “inteligente”

7.1.1 Los “Dammusi” de la isla Pantelleria

El “Dammuso”, como edificación típica de la isla de Pantelleria, representa un ejemplo de arquitectura espontánea de inspiración bioclimática.

El *CLIMA* de la isla presenta altas temperaturas, que van de los 34 °C en agosto a los 10 °C en enero. Los niveles pluviométricos son bajos y los **vientos** fuertes (por ello el principal propósito del Dammuso es proporcionar protección del calor estival y del viento). Existen varios miles de dammusos en la isla de Pantelleria. Este tipo de edificación evolucionó hace muchos siglos como respuesta a la necesidad de refugios temporales de los agricultores de la vid y de almacén para sus útiles y sus productos. El techo del dammuso es una bóveda de cañón, impermeabilizada exteriormente, y cuya forma permite la recogida del agua de lluvia para ser almacenada en una cisterna subterránea.

Hay una única puerta de acceso y ninguna ventana (que se entienda como tal), excepto dos o tres pequeñas aberturas en las paredes cuya único propósito es la **ventilación**. Los muros del Dammuso original tienen un espesor que varía entre los 80 cm y los 2 m. Se componen de un muro exterior y otro interior con grandes piedras y colocación “en seco”, y la cavidad central está rellena con pequeñas piedras. Esta construcción proporciona un aislamiento tan bueno del exterior que, durante los dos siglos pasados (una vez terminada la amenaza de las invasiones), se han convertido en residencia permanente de los isleños. Las mediciones tomadas en el interior de un Dammuso típico en el mes de agosto indican una temperatura casi constante de 26 °C tanto durante el día como por la noche.

7.1.2 El Trullo y su comportamiento TéRMICO

El cálido *CLIMA* de Puglia clama por climatización. La respuesta tradicional ha sido el Trullo. Un refugio de piedras cuya gran masa de muros de mampostería de piedra se comporta como una especie de regulador térmico, absorbiendo el calor producido por la radiación durante el día y dejándolo escapar lentamente por la noche, nivelando de esta manera las variaciones de temperatura, y haciendo que durante el día la temperatura interior sea varios grados inferior a la exterior.

El comportamiento térmico del interior del Trullo ha sido verificado por comparación entre los resultados de un ensayo de simulación, utilizando un código reticular térmico desarrollado por el Laboratorio Progettazione Ambientale (Laboratorio de Diseño Medioambiental), y los resultados de una medición de temperaturas semanal realizada durante el verano. Los datos de la simulación y los recogidos in situ se corresponden, y muestran que hay una variación térmica en el interior de 4 °C en correspondencia con una externa de 10 °C.

7.2 Las ciudades romanas

Los romanos también inventaron el primer sistema de calefacción centralizada conocido.

Este sistema, denominado Hipocausto (calefacción por debajo), consiste en hacer circular aire caliente proveniente de un horno a través de los suelos y de los muros perimetrales. Apareció en el siglo I a.C., y su invención se atribuye a Caius Sergius Orata, que construyó los primeros Balnea Pensiles con habitaciones calentadas, utilizando las mismas técnicas empleadas para la explotación de las fuentes geo-termales en las faldas del Vesubio.

El Hipocausto se utilizaba preferentemente en los enormes Roman Thermae (baños públicos) para calentar con un único horno tanto el agua como las habitaciones. También se utilizó el Hipocausto en algunas casas de los pudientes para calentar los baños y otros lugares de la casa.

Como combustible se utilizaba la madera, elegida según el criterio de limitar al máximo la producción de humo. La combustión tenía lugar en un horno denominado Praefurnium, estaba convenientemente situado en el centro del edificio (que albergaba los baños termales) para reducir el recorrido del aire y el agua calientes.

Vitrubio describe en su tratado “De Architectura” un sofisticado sistema de doble caldera situado sobre el Praefurnium para calentar el agua del Calidarium (baño caliente) y el Tepidarium (baño templado). el aire caliente del horno circulaba bajo los suelos, y los humos producidos por la combustión subían por un conducto para los humos que estaba embebido en los muros. El suelo de las salas termales y de las zonas de estar estaba suspendido sobre pequeñas pilastras de ladrillo denominadas Suspensurae, situadas a intervalos regulares.

Los baños termales Thermae Stabiane en Pompeya poseen un sistema de calentamiento directo del agua del Calidarium. Consistía en un tanque cilíndrico de bronce colocado directamente encima del horno, como un apéndice de la piscina. El agua calentada en el depósito cilíndrico se elevaba por convección a la piscina, a la vez que provocaba un flujo descendente del agua fría. Con este sistema se podía calentar uniformemente una gran masa de agua sin que los bañistas entraran en contacto directo que las superficies calientes del tanque de agua.

El horno de la “Casa del Menandro”, también en Pompeya, se sitúa directamente bajo el Hipocausto. Un complejo sistema de válvulas regulables permitía mantener la temperatura deseada en el Calidarium situado encima. Aún hoy, este sistema está en condiciones de uso.

Los baños termales más grandes poseían varias Praefurnia para facilitar un funcionamiento modular de las diferentes secciones de los baños, y también para minimizar el recorrido de los gases de combustión dentro del Hipocausto a la vez que permitían una distribución uniforme del calor en los espacios situados por encima. El aire caliente encontraba bastante resistencia aerodinámica durante su paso entre los Suspensurae. La losa base de los Suspensurae tenía una pequeña pendiente descendente para facilitar el flujo y para drenar el agua de condensación.

Tradicionalmente, las pilastras se construían con pequeños ladrillos cuadrados. Posteriormente, se desarrollaron distintos tipos de Suspensurae para aumentar el flujo y la superficie útil de intercambio de calor. En la Italia septentrional, hay Suspensurae hecho con ladrillos redondeados, octogonales, e incluso pilastras de piedra achaflanadas en la parte central. El baño romano de Alemania muestra una solución más racional. Las pilastras están realizadas con losetas perforadas de terracota, con varios agujeros que permitían el paso del aire caliente.

Otros tipos de Hipocaustos utilizaban pequeñas bóvedas de ladrillo o un sistema de conducciones. Estos corredores subterráneos permitían calentar directamente áreas determinadas y evitaban el calentamiento excesivo de la zona inmediatamente encima de la entrada de productos de combustión en el Hipocausto. Mucho más tarde, en 1530, la así llamada “Stufetta” (pequeña estufa) de Clemente VII utilizaba el mismo sistema de conducciones.

Se le prestó una especial atención al coeficiente de transmisión *TéRMICO* de los suelos. Por esa razón, algunos baños se pavimentaron con placas metálicas. Inicialmente, los gases de la combustión, después de haber pasado a través del Hipocausto eran expulsados por medio de chimeneas embebidas en los muros de mampostería.

En las Thermae de Pompeya, más refinadas, se perfeccionó un nuevo sistema de tiro, que utilizaba muros dobles (con cámara), que también servían como paredes calefactoras.

El aire caliente ascendía de forma uniforme a través de los muros que, con ladrillos o baldosas perforadas, irradiaban calor hacia las habitaciones. Estos muros con cámara se construían de diversas formas: con Tubuli (ladrillos perforados), Mammatae (baldosas con protuberancias formando huecos), o Hamatae (baldosas similares a las anteriores pero que utilizaban puntillas u otros elementos metálicos de unión para crear los huecos). Estos muros funcionaban como chimeneas y como aislamiento térmico, evitando un excesivo *ENFRIAMIENTO* de los espacios cuando el sistema de calefacción no estaba en funcionamiento.

Vitrubio recomendaba la utilización de los muros con cámara y los techos suspendidos para aumentar el aislamiento térmico de los baños públicos, elementos ampliamente utilizados en aquella época, especialmente en las regiones septentrionales del imperio.

En cuanto a las normas arquitectónicas propiamente dichas, Vitrubio recomendaba una orientación oeste para las estancias calentadas, especialmente para el Calidarium. Esta orientación fue respetada prácticamente en todos los casos para conseguir la máxima exposición al *SOL* de la tarde, siendo ese el momento de mayor uso de los baños.

La iluminación se conseguía a través de aberturas en las bóvedas o en los muros meridionales. Estas aberturas tenían contraventanas regulables según las necesidades. Por otro lado, durante el Alto Imperio, algunas salas termales tenían una gran abertura abovedada (Heliocaminus, osea, estufa solar) para la utilización directa de la radiación solar.

Estas aberturas daban al suroeste, probablemente estaban cerradas por ventanas con algún material translúcido como la mica, el alabastro o el *VIDRIO*, una técnica que acaba de nacer. De esta manera, la energía solar aumentaba el calor proporcionado al Hipocausto. El desarrollo de la técnica del Heliocamino en la arquitectura romana trajo el primer reconocimiento legal de el “derecho a acceder al sol” por Ulpiano, en el siglo II a.C. (cuatro siglos después el Código Justiniano estableció que ante la presencia de un Heliocaminus, el acceso al sol representaba una necesidad absoluta).

7.3 La estratagema renacentista

7.3.1 Las villas de Costozza (Italia)

Nos ocupamos de un complejo de seis villas localizadas en Costozza, un barrio de Longare, en las laderas de las colinas de Berici, diez kilómetros al sur de Vicenza, en la Italia septentrional.

Las seis villas se construyeron en diversos momentos, comenzando en 1550, y fueron objeto de diversas modificaciones y renovaciones en los siglos siguientes. Sin embargo, todas mantuvieron como común denominador un sistema de *ENFRIAMIENTO* natural. Este sistema utiliza aire fresco proveniente de grandes concavidades subterráneas denominadas “covoli”, que son en parte naturales y en parte hechas por el hombre. Están situadas en el interior de las colinas, tras las villas. El nivel de temperatura de estas cavernas es bastante constante a lo largo de todo el año, aproximadamente 11/12 °C.

Las covoli se comunican con el exterior a través de varias aberturas situadas a distintas alturas. Cuando la temperatura exterior es superior que la interior, se establece un flujo natural: el aire templado penetra en las cuevas por las aberturas más altas, y es enfriado antes de salir por las aberturas más bajas. Para beneficiarse de este enfriamiento natural, las villas se conectaron a la parte más baja de las covoli, bien directamente o, cuando esto no era posible, por medio de túneles excavados bajo tierra. Estos túneles, llamados “ventidotti” (literalmente, conductos de **viento**), son, en algunos lugares, de unos cientos metros de largo.

Los ventidotti terminan en los sótanos de las villas; de estos, el aire fresco alcanza las habitaciones situadas por encima, a través de parrillas redondas de piedra o mármol colocadas en los suelos de las habitaciones a nivel del terreno.

El efecto de enfriamiento es importante. Por ejemplo, al final de julio, cuando la temperatura interior medida en una de las villas con la parrilla redonda cerrada, marcaba 20,5/21,5 °C a nivel del terreno, la temperatura en otras habitaciones de la misma villa que tenían la parrilla del suelo abierta marcaba 16 °C, ¡con una temperatura exterior de 33 °C!

El sistema de enfriamiento de las villas Costozza era tan famoso y admirado en su época que el mismo Palladio, atraído por él, trató el tema extensamente en el primer volumen de sus “Quattro Libri dell’Architettura”.

7.4 Rafael, como arquitecto bioclimático

7.4.1 Villa Madama, Roma

Un grupo de arquitectos formados alrededor de Rafael, quizás inspirados por la crisis energética de primeros del siglo XVI, propuso unas soluciones tecnológicas que pueden definirse como “suaves” o, mejor aún, como “solares pasivas y bioclimáticas”.

Los ejemplos mostrados, bajo este punto de vista, pueden contribuir a una clarificación de algunos nuevos aspectos de la arquitectura de ese período.

En una de sus cartas Rafael describe la Villa, encargada recientemente por el Papa Alejandro VII, en términos bioclimáticos. Los términos “scirocco” (siroco, **viento** del sureste proveniente del mar), “libeccio” (lebeche, viento del suroeste) se utilizan no sólo para explicar la orientación de las habitaciones, sino también para mostrar cómo la disposición de las mismas era coherente con las influencias climáticas externas. Esta carta pone en evidencia el sólido conocimiento que Rafael tenía de la cuestión bioclimática, y el cuidado que ponía en el confort medioambiental.

Rafael escribe al Papa Alejandro VII:

“La Villa está ubicada a mitad de camino de la ladera del Monte Mario que está de cara al Greco (noreste). Y ya que el monte gira, el lado que mira a Roma da al sur, y el lado opuesto está de cara al Mistral (noroeste).

A espaldas del monte queda el Libeccio (suroeste) y el oeste, de manera que a esta villa llegan seis vientos: Austral (viento meridional), Sirocco (viento del sureste), Levante (viento del sur), Greco (viento del noreste). De esto, Su Santidad puede hacer una idea de la orientación general del lugar para exponer la villa a los vientos más saludables.

Yo la he orientado longitudinalmente al Sirocco y al Mistral, cuidando de que no haya ninguna ventana de las estancias mirando al Sirocco, salvo aquellas ventanas que tienen necesidad de calor.”

“Desde este vestíbulo, entra a un atrio de estilo griego, similar al llamado por los toscanos “andron” (sala de paso). Este lleva a un patio circular. Dejando a un lado estas descripciones para no confundir temas, volveré a las estancias y otras partes del primer patio. Ya que este se enfrenta tanto al Sirocco como al mediodía, tiene la cocina, la despensa y la sala de los sirvientes. Por último, hay un sótano excavado en el lado de la montaña para el uso de esas zonas públicas. Sus ventanas miran al Tramontana haciendo del lugar un sitio tan fresquísimo, como Su Santidad puede imaginar.

*En la esquina de la gran torre a la derecha de la entrada, hay una bellísima sala de estar llamada “Dyeta” por los antiguos y que es de forma redonda y mide 6 “canne” de diámetro (...) También hay un vestíbulo de entrada para llegar a él, del cual hablaré en su momento. Este vestíbulo protege el jardín del **viento** Greco y tres laterales del edificio también protegen el jardín del Tramontana y el Mistral.*

La Dyeta, como ya le he dicho, es completamente redonda, y tiene ventanas acristaladas alrededor que son alcanzadas por el SOL una tras otra desde el amanecer hasta el atardecer.

*Como Su Alteza sabe, el VIDRIO plano de estas ventanas es totalmente discreto. Su transparencia hace que la habitación sea muy alegre ya que el **sol** brilla dentro continuamente y hay una vista preciosa tanto de la ciudad de Roma como del paisaje abierto. Esto será un agradabilísimo lugar para estar en invierno mientras que entretiene a los gentilhombres, lo cual, después de todo, es el uso apropiado de la dyeta. Y esto es lo que se ha hecho con un extremo del jardín y su rincón. A mano izquierda, entrando en el cryptoporticus hacia el sur, uno puede llegar a los baños, que también son accesibles a través de las escaleras secretas desde las estancias superiores. Estos se organizan así: hay dos habitaciones para vestirse, y una habitación templada y abierta para untarse con aceite después de haberse bañado y calentado con la estufa que proporciona calor seco. El baño caliente posee asientos dispuestos de tal forma que uno se puede sentar en sitios diferentes para lavarse las distintas partes del cuerpo. También, bajo la ventana, hay un lugar donde uno se puede tumbar en el agua de manera que un sirviente pueda bañar a otros sin ser indiscreto. Por último, también hay un baño tibio y uno frío de tales dimensiones que si alguien quisiera nadar...”*

En la exedra de la Villa, Rafael, al tanto del recorrido asimétrico del SOL respecto a las horas del día, modifica la orientación de las ventanas de la logia en 15 ° al este con respecto al eje solar este-oeste. En cierto modo, las ventanas de la logia así diseñadas,

hubieran parecido incompletas (aunque correctas desde un punto de vista solar), desequilibradas con respecto a la conclusión del arco.

Por tanto, Rafael construye dos ventanas ciegas con el propósito de proteger las ventanas que dan al levante del incómodo sol de poniente. El eje de toda la fila encaja de manera asimétrica con respecto al eje de los muros, para tener una mayor exposición al este y una menor al sureste.

Ciertamente, la ganancia directa de calor hubiera contribuido a sobrecalentar las habitaciones que dan a la logia, pero el paso del aire demasiado caliente a través de las conexiones verticales (escaleras) lleva el *CONFORT* del calor a las estancias superiores o, al menos, contribuye a calentar los muros de las habitaciones adyacentes.

Pero el documento muestra otra logia que mira a la entrada del jardín y que, por consiguiente, está dispuesta perpendicularmente a la primera. Osea, hacia el noroeste en vez de al noreste, y se abre hacia la terraza arbolada (con árboles en línea).

Rafael también muestra en otros proyectos una clara preocupación por los temas bioclimáticos y solares.

7.4.2 *Las logias del Vaticano*

Otra solución que presenta ganancia energética directa es la representada por el acristalamiento de las logias del Vaticano.

7.5 *Torres del viento en Irán*

Algunos edificios tradicionales en Irán - al igual que algunos edificios menos importantes en Pakistán - emplean artilugios muy ingeniosos para proteger los habitantes de las adversas condiciones climáticas, especialmente en las zonas desérticas del interior, donde los días son de calor extremo y las noches son frías. Aparte de los distintos sistemas, también comunes a otros países, como son los gruesos muros de adobe, que estabilizan la temperatura interior a un valor intermedio entre la media diurna y la nocturna; el uso de patios interiores con plantas y arbustos que protegen los muros y atrapan el frescor de la noche; la construcción de edificios cercanos unos a otros para reducir la exposición al *SOL* y las pérdidas de calor durante la noche, las soluciones de tipo “pasivo” desarrolladas en Irán son bastante originales. El más ingenioso de estos sistemas aparecido en Irán en el siglo X es llamado “Baud Geers” (torres del **viento**; la palabra persa significa literalmente “atrapa vientos”).

Una torre del viento está construida como una especie de gran chimenea, con una hendidura vertical en su parte superior con ladrillos deflectores. Por la noche, la torre se enfría, el aire que entra en contacto con la torre también se enfría, se hace más pesado y desciende por el interior de la torre, penetrando así en el edificio. En días ventosos este proceso se acelera aún más. El aire penetra por el lado de la torre expuesto al viento, desciende y pasa a través del edificio, saliendo por las puertas que dan a la sala central y al sótano. La presión creada por el aire fresco empuja fuera del edificio el aire caliente a través de las puertas y ventanas.

Durante el día, la torre absorbe calor, que entonces es transferido al aire durante la noche, creando así una corriente ascendente; cuando se necesita un mayor *ENFRIAMIENTO*, esta corriente puede emplearse para succionar al edificio el aire fresco de la noche. Cuando la noche es ventosa, el aire fluye hacia abajo por el lado de la torre que está expuesta al viento y se calienta por el contacto con la fábrica, mientras que se genera una corriente ascendente en la parte de la torre situada a sotavento.

Abriendo o cerrando adecuadamente las distintas partes de la torre y/o del edificio, la torre enfriará las distintas zonas del edificio según las necesidades.

A menudo, las torres del viento se utilizan junto con cubiertas curvas o cúpulas, que constituyen otros elementos de *CONFORT* medioambiental durante el calor estival.

De hecho, el aire caliente tiende a subir a la bóveda situada encima de la zona de estar. Además, mientras que una cubierta curva recibe la misma cantidad de radiación que una cubierta plana de superficie comparable, aquella ofrece una mayor superficie para transferir calor (por radiación y por convección) al exterior durante las horas nocturnas.

Un agujero redondo en la sección superior de la cúpula mejora aún más la circulación de aire. Cuando hace viento, el paso del aire

por encima de la superficie curva exterior provoca un punto de depresión en el ápice interior de la cúpula. Esta depresión succiona al exterior el aire caliente acumulado en el interior de la cúpula. Normalmente, el “ojete” abierto en la cima de la cúpula está cubierto por una tapa perforada por varios pequeños orificios que desvía el viento y aumenta la succión del aire caliente.

Generalmente, la abertura en la bóveda está situada sobre la zona de estar. A veces, las cúpulas se utilizan conjuntamente con las torres del viento, otras, especialmente cuando el viento lleva mucha arena las cúpulas se utilizan sin las torres del viento. A menudo, en las zonas donde los vientos soplan la mayor parte del tiempo en la misma dirección, la cúpula es sustituida por una bóveda de cañón cuyo eje longitudinal es perpendicular al viento.

El sistema más eficiente de enfriamiento natural encontrado en la arquitectura tradicional iraní hace uso del agua. Estos sistemas explotan el efecto enfriador causado por la evaporación del agua. Cuando el aire templado pasa por una superficie con agua, o por un muro humedecido, transfiere parte de su calor al agua provocando una evaporación parcial de la misma.

Los iraníes consiguen este efecto enfriador a través de diversos medios; a veces utilizan la humedad natural de la parte enterrada de la torre del viento o uno de los conductos subterráneos que conectan la torre con la casa. Estos conductos subterráneos se utilizaron tradicionalmente para la conservación de alimentos antes de la llegada de las modernas neveras.

Otra forma de utilizar el enfriamiento por evaporación consiste en un estanque de agua y una fuente situados en el sótano de la torre del viento o en la habitación conectada al conducto que sale de la torre. En otros casos, el aire proveniente de la torre a gran velocidad succiona el aire fresco y húmedo de estas.

Un sistema de enfriamiento por agua particularmente eficiente utiliza una combinación de varias torres del viento (cuatro o más) y un aljibe. El aljibe se excava en el terreno a una profundidad que varía entre los 10 y los 20 metros. Entonces, se le cubre con una cúpula rodeada por varias torres del viento. Este sistema utiliza las variaciones estacionales de temperatura del área desértica, y también la característica aislante del terreno, la cual mantiene una temperatura constante a lo largo de todo el año. El aljibe se llena parcialmente de agua fría en invierno. En verano, la corriente constante de aire creada por las torres del viento se lleva, tras su evaporación, la capa superficial de agua. De esta manera el calor exterior no puede penetrar en los niveles inferiores del depósito, y grandes cantidades de agua permanecen frescas durante todo el verano incluso en medio del desierto.

8 EL FACTOR 'ENERGIA' EN LA ARQUITECTURA MODERNA Y CONTEMPORANEA

8.1 Principios del uso de la energía en relación con la arquitectura

8.1.1 ALEXANDER KLEIN

El arquitecto Alexander Klein considera al factor orientación y la consiguiente posibilidad de corregir la exposición al *SOL* durante las diversas estaciones como elementos prioritarios para la determinación de la tipología de la “Vivienda Unifamiliar orientada al sur”, proyectada en 1932 para un concurso celebrado en Berlín-Dahlem, en el marco de la investigación sobre el “Existenz-minimum”. Concretamente, dicho factor condiciona la distribución interna de las habitaciones. La sala de estar, el estudio, y los pasillos se sitúan en la zona norte, comportándose como un auténtico colchón climático. Las aberturas al norte se reducen al mínimo.

8.1.2 CONGRESO C.I.A.M., ATHENAS, 1933

“Cada edificio debe tener un tiempo mínimo de exposición al *SOL*...”. El sol debe llegar a cada edificio durante unas horas al día, incluso en la estación menos favorable... Debe rechazarse rigurosamente cualquier proyecto para un edificio en el que un sólo apartamento posea una orientación norte, o a la **sombra** de otros elementos.

Se exigirá a cada constructor que presente un diagrama que demuestre que en el solsticio de invierno el sol asolee cada apartamento al menos durante dos horas al día. Se debe negar la licencia para construir cuando no se cumpla esta condición. Esta es la obligación más nueva y obligatoria del arquitecto: dejar pasar el sol.

(De La Charte d'Athènes, París, 1941).

8.2 *Le Corbusier y el Sol como instrumento de arquitectura*

8.2.1 *La Torre de las Sombras, Chandigar, India*

La torre de las **sombras** está situada junto al borde del Capitolio, entre el Palacio de Justicia y el Parlamento. Es una galería abierta, alta y sombreada. Su atmósfera oscura incita a la meditación. El edificio está orientado en dirección norte-sur, rompiendo deliberadamente la simetría de la inmensa explanada. El alzado norte está completamente abierto, mientras que los otros tres laterales están provistos de brise-soleil. En el estudio de Le Corbusier se ha estudiado y anotado cuidadosamente el recorrido del SOL en todas las estaciones para determinar la ubicación y orientación de los diversos brise-soleil. (Le Corbusier, Oeuvre complète, vol. VIII).

De hecho, cuando se estudia el modelo construido expresamente para la observación de los efectos de la luz del sol según la alternancia de las estaciones, se puede observar claramente como el alzado sur siempre está a la sombra en los períodos más calurosos, mientras que, en invierno, es alcanzado por el sol que penetra en las habitaciones.

Las configuraciones del sombreado pueden ser fotografiadas en el modelo, aunque también pueden ser calculadas en base a consideraciones geométricas.

Se trata claramente de un espacio diseñado para dar una sensación de frescor en su interior durante los calurosos días de la India, y para convertirse, gracias al bienestar fisiológico experimentado por el visitante, en un lugar de encuentro, de reflexión, de meditación. Pero el sol, el gran condicionante en el diseño de la fachada, es también un instrumento de luz y de sombra y, en consecuencia, de Arquitectura.

8.2.2 *La tabla climática, instrumento esencial para un correcto enfoque en el diseño*

La tabla es un instrumento visual que permite enumerar, coordinar y analizar todos los datos climáticos de un lugar específico (definido por su latitud), con el propósito de orientar, dirigir y guiar el proceso de diseño hacia soluciones que estén de acuerdo con la biología humana. Se deben regularizar y determinar, para así proporcionar las condiciones necesarias para el *CONFORT*, todas las consecuencias de una "condición climática extrema".

PARA CREAR LA TABLA:

Tiene cuatro divisiones horizontales que proporcionan datos para las condiciones medioambientales. (Las divisiones verticales marcan las secuencias temporales). Se dividen en tres compartimientos subsiguientes:

- A) Condiciones del entorno medioambiental.
- B) Correcciones en función del confort.
- C) Soluciones arquitectónicas.

A) Condiciones del entorno

Se trata también de una representación del entorno considerado. Se debe representar, de manera práctica, cada *CLIMA* mediante cuatro elementos básicos:

- a) Temperatura
- b) Humedad del aire
- c) Movimientos del aire (vientos o corrientes, sequías)
- d) Radiación térmica de los objetos bajo estudio.

Las cuatro secciones horizontales de la tabla muestran las variaciones de los cuatro factores arriba mencionados, durante el espacio de tiempo considerado (día, año, etc.). Este tiempo es expresado por las divisiones verticales de acuerdo con la unidad elegida:

momentos, días, estaciones, años, etc., en los momentos puntuales típicos como solsticios, equinoccios, monzones, etc.

Una línea roja indica la gama anual de la temperatura.

Una línea gruesa azul indica la curvatura higrométrica del aire en el segundo sector. El tercer sector muestra las diversas direcciones e intensidades de los vientos durante todo el año. Finalmente, el cuarto sector enseña la radiación térmica de las paredes y cubiertas del diseño considerado. De esta manera, se representan gráficamente todas las condiciones del entorno. Las Condiciones del Entorno constituyen el primer panel de la Tabla.

B) Correcciones en función del confort

Aparece en el cuadro un listado de las correcciones necesarias y de las modificaciones biológicas que aseguren un confort apropiado. La lectura del primer sector ha revelado las condiciones críticas bajo las cuales aparece el sufrimiento del hombre. El segundo sector de la Tabla va a continuación del primero, y tiene las mismas divisiones horizontales y verticales. Entonces, el médico-biólogo introduce en algunos de esos compartimientos las modificaciones o correcciones oportunas. Por consiguiente, la lectura del segundo panel de la Tabla representará ya, en esencia, el programa en la base del diseño arquitectónico.

C) La solución arquitectónica

El tercer sector de la Tabla sigue al segundo y tiene las mismas divisiones que los dos anteriores. Un sello estampado, en cada compartimiento cuadrado, correspondientes a los del panel 2, donde se muestran los cambios y correcciones de naturaleza biológica, indica la existencia de una lámina especial, de tamaño 21-27 (+6) = 21-33, con la solución arquitectónica apropiada. El sello también tiene una “D” que significa que en ese punto de la Tabla existe un diseño. Dos cuadrados blancos bajo la “D” encierran el punto de referencia que permite relacionar el documento en cuestión con su localización exacta en el tercer sector de la Tabla, y también para fechar el momento de su ejecución.

Estos documentos gráficos representan la solución del arquitecto al problema. Una operación manual bastante fácil puede convertir al sector 3 de la tabla en una herramienta de grandísima utilidad; dentro de los cuadros resumen, en el espacio vacío a la izquierda dejado por el sello “D”, debe dibujarse el plano esquemático del dibujo correspondiente. Gracias a esta visualización gráfica, el uso de la tabla se verá simplificado. (*De Le Corbusier, Oeuvre Complete, De. Artemis, Zurich*).

8.2.3 La casa Sarabhai, Ahmedabad, India

Este proyecto está ubicado en una zona tropical, donde los monzones aparecen dos veces al año. En este caso, Le Corbusier encuentra los medios para conseguir las mejores condiciones de *CONFORT* posibles respecto al *CLIMA* del entorno.

De acuerdo con Le Corbusier; el confort es el frío, las corrientes de aire, la sombra. Por ello, el *SOL* sólo debe penetrar en horas favorables - y en las estaciones adecuadas... Los elementos del problema están dictados inexorablemente por el sol, y por las condiciones que varían de un mes a otro, ya que la temperatura, la humedad y la aridez son todos elementos contradictorios... Una pared de **crystal**, que es muy agradable en París durante diez meses al año, se convierte aquí en enemigo durante las olas de calor.

El diseño de la casa Sarabhai se basa en la dirección de los **vientos** dominantes (de forma que pueda ser atravesada por las corrientes de aire) y sus fachadas están cubiertas por Brise-Soleil (barreras solares)...

Las bóvedas semi-cilíndricas, que una vez fueron impermeables al agua y herméticas al aire, se cubren con tierra de forma que la cubierta de la casa se convierte un precioso jardín...

8.2.4 El Museo en el Centro Cultural de Ahmedabad

“Se toman todas las medidas posibles para protegerse del excesivo calor diurno. Las visitas se concentran en las horas del atardecer y del anochecer, cuando los visitantes salen a la cubierta donde se les ofrece la sorprendente visión de un “campo” de flores realizado con más de 45 estanques de agua de 50 metros cuadrados cada uno. Cada estanque está lleno de plantas y flores”.

8.2.5 Control climático

Tras la invención del hormigón armado, la estructura portante de un edificio se realiza mediante el sistema de pilares y vigas, y los muros dejan de funcionar como elementos de carga. Por ello, la función de los muros exteriores se convierte en la de, exclusivamente, separar los espacios interiores del tiempo, el ruido, etc.

La “envoltura”, al no tener que soportar el peso de los forjados y la cubierta, no necesita ser de materiales pesados y opacos. Le Corbusier hace del muro exterior un “panel de **crystal**” que está abierto al paisaje, y dejando, de esta manera, que entre la luz.

“...Es obvio que habrá nuevos problemas: la calefacción de las habitaciones, su **ventilación** y sobre todo... las condiciones de exposición al *SOL* (la beneficiosa entrada del sol en invierno y la catastrófica entrada del sol en verano...).

La alternancia de las estaciones traerá consigo diversos beneficios y perjuicios. Durante el solsticio de invierno, el sol está bajo sobre el horizonte, y sus rayos son bienvenidos en los edificios, donde los calientan tanto físicamente como psicológicamente. Las estaciones intermedias, primavera y otoño, complacen al ser humano con un suave sol, pero el solsticio de verano y las olas de calor, con sus insostenibles temperaturas, transforman a nuestro amigo, el sol, en enemigo sin piedad.

Durante estas calurosas horas, la necesidad de sombra se convierte en imperativa; hay que bloquear las ventanas y proteger los paneles acristalados.

De qué medios disponemos?

Las cortinas, fabricadas con varias capas de fino tejido, contraventanas interiores y exteriores de diversos tipos, y los nuevos elementos de apantallamiento se pueden colocar en la fachada o en el panel de **crystal**. Nuestros primeros edificios, de 1921 a 1928, han mostrado nuestra conquista del panel acristalado a través de diversas etapas: la ventana horizontal sencilla, la ventana horizontal doble, y la eliminación final del muro de fábrica. Eso era el “panel de cristal”. Pero en el edificio Clarté en Ginebra hemos sido atraídos instintivamente a cometidos que nos acercan al “Brise Soleil”.

Le Corbusier afirmó, “Yo diseño los suelos y ellos mismos se extienden más allá del panel de cristal con un balcón de un metro y medio de ancho, con un parapeto.

Se añadieron contraventanas deslizantes en frente de los parapetos debido al calor estival, arrojando de ese modo una primera sombra y estableciendo una condición de penetración del sol muy satisfactoria en invierno (al estar el sol bajo sobre el horizonte) y una barrera contra el sol en el verano (cuando el sol está alto).

8.2.6 Barreras solares en diversos climas

Barcelona: “la disposición del edificio fue realizada con el objetivo de asegurar el frescor en los diversos apartamentos y... las casas fueron equipadas con aquellos elementos que más adelante se convertirían en elementos de una nueva doctrina:

- a) Una ancha logia (pòrtico)
- b) Placas de hormigón, conformando una especie de persiana veneciana que gira alrededor de un eje horizontal.
- c) La casa se levanta sobre un espacio vacío, sombreado en su mayor parte.

Estos elementos proporcionan una primera barrera contra el *SOL* (a), y una segunda barrera (b) que serán útiles más tarde.

Argelia: “... en los alzados norte y quizás en el este hemos mantenido simplemente una panel acristalado integral, pero en los alzados sur y oeste tuvimos que colocar una barrera solar.

Esta se realizó con una serie de paneles con celdas dispuestas como un panal y que miden 80 cm de profundidad y 70 cm de altura, capaces de garantizar un adecuado sombreado. Este elemento de protección solar se cuelga de una prolongación de las losas a unos centímetros de distancia del acristalamiento. El principal problema lo planteó la exposición al oeste, ya que el atardecer es el momento más delicado del día debido a la proyección casi horizontal de los rayos del sol. Nuestra barrera solar era ineficaz y tuvo que ser sustituida por una serie de placas verticales ya perpendiculares (a), ya oblicuas (b) con respecto a la frontal del edificio. Todo el conjunto estaba controlado por la orientación de la fachada. Las pantallas así creadas constituyen una extensión arquitectónica de gran significación, una especie de balcón o pòrtico...

8.3 Frank Lloyd Wright. La climatización integrada: innovación tecnológica e invención espacial

8.3.1 Larkin Building, Buffalo (E.E.U.U)

Wright afrontó el problema de insertar el edificio en un entorno medioambiental urbano contaminado, empeorado por la proximidad de las chimeneas de las fábricas.

Wright utilizó en el edificio Larkin, a través de la expulsión de las torres de escaleras, el mismo sistema de climatización utilizado parcialmente en la Casa Martin en Búfalo. Eran los años en que Carrier estaba experimentando el primer equipo de aire acondicionado en Chicago.

En el edificio Larkin, el aire limpio era aspirado por el nivel superior de las torres, situado por encima del nivel de contaminación. Entonces era impulsado hasta el sótano, limpiado, calentado e impulsado de nuevo a través de las conducciones de aire realizadas con ladrillos perforados, y distribuido por todas las plantas.

El control medioambiental se conseguía no sólo a través del aire acondicionado sino también mediante una serie de elementos creadores de un microclima interno como alternativa al inadecuado *CLIMA* exterior. El ático de la quinta planta, que albergaba la cafetería y tenía un cerramiento exterior acristalado, era una especie de jardín colgante con la vegetación floreciendo en el espacio central. Un órgano proporcionaba acondicionamiento sonoro apropiado. Por último, un jardín situado en la cubierta, añadía un elemento recreativo por encima del nivel de contaminación.

8.3.2 Robie House, Chicago (E.E.U.U.)

La casa Robie es sin duda uno de los ejemplos con más éxito de las edificaciones climatizadas proyectadas por Wright durante su época "Prairie" (pradera). El edificio se abre al exterior liberando las superficies del contenedor y conformándolas para que asuman funciones bioclimáticas específicas, con una serie de soluciones innovadoras que se suman unas a otras y que transforman la casa en un organismo medioambiental eficiente.

El jardín de entrada está situado al norte, está protegido de los heladores vientos invernales de Chicago, y se mantiene fresco y sombreado en verano. La planta baja está también a la sombra, protegida en su lado sur por la terraza-sala de estar. Juntos, generan una "reserva de aire fresco". Incluso en los tranquilos húmedos días del verano, esta masa de aire refresca toda la casa, incluso las habitaciones bajo la cubierta.

La zona de cuartos de baño y las áreas de servicios, como en otras casas proyectadas por Wright, y en particular las de su época Usoniana, están situadas longitudinalmente en el lado sur de la casa, comportándose como una eficiente barrera contra el frío; este elemento en particular seguirá una segura evolución que culminará en la "Casa Berm".

La sala de estar de la Casa Robie tiene grandes ventanas regulables, con mosquiteras, en tres de sus lados, que posibilitan diversas ventilaciones cruzadas.

Debido a la escasa inclinación de la cubierta, el volumen de aire atrapado bajo los aleros de la misma es limitado. En verano, la ventilación se asegura por medio de la chimenea, gracias a una sección adicional que da al oeste y a los ladrillos perforados especiales que actúan como salideros de aire.

En invierno, el aire circula a través de las parrillas de iluminación, después de haber sido calentado y secado por las bombillas, para eliminar la humedad bajo la cubierta.

- El voladizo de la cubierta en el lado sur se calcula minuciosamente para impedir la entrada del *SOL* estival sin eliminar la luz ni el calor en invierno.

- Existen grandes voladizos en los lados este y oeste. El voladizo situado en el oeste se comporta como protección solar en las tórridas tardes del verano; y deja pasar los rayos del sol en invierno transformando la ventana bay-window (ventana-mirador) en un solarium. El voladizo situado en el este protege la entrada de servicio en el lado del garaje de las lluvias.

8.3.3 Hemiciclo Solar, Middleton, Wisconsin

En la segunda Casa Herbert Jacobs, Hemiciclo Solar, atención particular a los problemas del ahorro de energía. El edificio tiene una fachada redonda a Sur, acristalada, por el calentamiento pasivo.

8.4 Alvar Aalto

8.4.1 Más allá del bienestar psicológico

En toda la obra de Alvar Aalto está continuamente presente una atención particular a las soluciones arquitectónicas que aseguren el *CONFORT* de aquellos que habitarán los espacios.

Esta actitud, si bien puede interpretarse genéricamente como humanística, encierra un sólido pragmatismo. Los espacios que son utilizados en los distintos momentos donde se realizan actividades del hombre, lo protegen del entorno exterior, principalmente regulando la luz, el sonido, los colores, el calor o la **ventilación**.

El tema favorito de Alvar Aalto es la luz, quizás la última magia intacta del medioambiente nórdico. Al mismo tiempo, él permanece equidistante entre el uso “emocional” y el uso “de manual” de la iluminación; ni juega con los efectos ni aplica las tablas. Desde muy al principio, y durante toda su carrera, ha diseñado soluciones de lucernarios tecnológicamente perfectas. La luz cenital difusa trae al uso diario unos elementos de claro origen industrial, representado en varios ejemplos, desde las perforaciones de forma cónica en las losas de cubierta en las salas de lectura en Viipuri, hasta los lucernarios poliédricos, dispuestos casi como “joyas”, en la cubierta de la Biblioteca Académica de Helsinki (1970). Por último, hay una propuesta tremendamente original en los apartamentos de Bremen (1963).

Los apartamentos están colocados formando un abanico: la zona de estar está abierta a la mejor orientación; la zona norte es relativamente compacta y contiene los servicios y las comunicaciones verticales.

8.5 Louis Kahn y la radiación solar

8.5.1 La envoltura que respira

Toda la obra en la madurez de Louis Kahn parece estar inspirado por su dedicación a hacer de la radiación solar el material arquitectónico por excelencia. Tres proyectos de su última etapa para países con un *CLIMA* muy cálido (uno en África y dos en Asia) pueden darnos una idea de la evolución de su búsqueda. Tras serle encargado el proyecto para el nuevo Consulado Americano en Luanda (Congo), se dio cuenta, durante su estancia entre 1959 y 1961, de cuanto calor y cuanta luz cegadora generaba el *SOL* cuando golpeaba la superficie exterior de los edificios sin que fuera filtrada por una protección interpuesta.

Tras estas observaciones surgió la invención de un muro colocado frente a la ventana, una especie de brise-soleil (barrera solar) reinterpretada de manera monumental. Este muro es perforado de forma tal que regule la entrada de luz a los espacios interiores: así es como Kahn resuelve el problema de la incidencia directa del sol sobre el exterior del edificio.

Llegado a este punto el arquitecto afrontó el problema de la generación de calor por parte del nuevo elemento: desdobra la cubierta en dos superficies separadas, situadas a una distancia de 1,80 metros, una para protegerse de la lluvia, la otra para protegerse del sol. En esta peculiar solución, la cubierta superior interrumpe la radiación y permite la entrada de aire circulante por todo el edificio.

Durante los años 1962-1974, en el Assembly Complex de Dacca (Bangladesh) (fig. 1, 2, 3) fuimos testigos de la desaparición de esos elementos que en Luanda se comportaban como “artilugios añadidos” proporcionando protección del calor del sol. Ahora es la estructura misma del edificio la que, gracias a la desintegración del perímetro externo y el diseño muy cuidado de un sistema de filtración del sol, convierte el espacio interior en confortable.

La construcción del Instituto para Ejecutivos en Ahmedabad (India) durante el mismo período, muestra un mismo tipo de preocupación. (fig.1, 2, 3, 4, 5, 6).

La importancia de los factores climáticos en la determinación del conjunto de la estructura la explica el mismo arquitecto: “La orientación de las casas sigue la dirección de los **vientos**; todos los muros son paralelos a esta dirección. Los muros se trazan diagonalmente alrededor de un patio para definirlo, mientras que mantienen la regularidad exigida por el proyecto... es de notar que he insertado un pozo de luz (fig. 1, 2, 3) en el edificio de la escuela. Creo que, en cierto modo, este elemento es mejor que el que inventé en Luanda. Allí tuve que construir un muro para tapan el sol y modificar su reverberación, mientras que aquí la solución se ha convertido en parte integral de la composición...”

Esto podría llamarse una “inside-out bow window”.

8.6 R. Buckminster Fuller

8.6.1 La arquitectura concebida como sistema energético

R.B. Fuller se enfrenta al problema de la vivienda a escala planetaria, utilizando su “4 D System” (“Sistema 4 D”, cuatridimensional), que consiste en la elaboración de un elemento ligerísimo multinivel, transportable por un avión. Este prototipo es capaz de utilizar todas las fuerzas naturales (**viento**, *SOL*, etc.) y está caracterizado por su gran autonomía energética. Es significativo que cuando habla de su ciudad mundial, hace referencia a los modernos medios de transporte tales como los aviones, barcos y automóviles.

El tenía la convicción de que el pensamiento contemporáneo científico y tecnológico nos ha proporcionado los medios para conseguir los niveles de libertad nunca antes alcanzados o siquiera intuidos (quizás sólo por algunos genios, como Leonardo da Vinci). Las ideas de Bucky Fuller han provocado una crisis de nuestra estática visión de la vida.

Durante los años siguientes al desarrollo de su “sistema 4 D”, Fuller estuvo ocupado con la investigación en su “Dimaxion House”. Ayuda en este punto hacer una comparación entre la obra de Buckminster Fuller y la investigación contemporánea llevada a cabo por la corriente racionalista alemana sobre la “Existenz-minimum”.

Ambas investigaciones demuestran una creencia equivalente en el poder liberador del sistema industrial. Sin embargo, la diferencia entre los dos enfoques en cuanto al contenido ético y tecnológico es radical. Mientras que el campo de aplicación de la investigación alemana se centra en la concentración en grandes edificaciones de hormigón del máximo número de unidades de vivienda con la mínima de superficie de suelo, Fuller toma en consideración el entorno medioambiental necesario para la consecución por parte de cada persona de una personalidad bien equilibrada

Fuller, utilizando tecnologías muy avanzadas, propone una serie de unidades residenciales bioclimáticas, móviles e independientes, construidas con materiales reciclados, como por ejemplo, silos de granos. A partir de estos materiales preexistentes, construye una pequeña unidad que puede ser montada fácil y rápidamente. Esta búsqueda de un espacio verdaderamente humanístico, este individualismo, en el sentido más estricto del término, acerca a R. Buckminster Fuller, aunque de un modo bastante diferente y poético, al pensamiento de Frank Lloyd Wright.

8.6.2 La envoltura, como válvula de la energía

Fuller superó radicalmente todos los conceptos anteriores sobre la forma y el edificio como “contenedor”. Sustituyó la idea del edificio, “cualquier edificio”, por un concepto al que hoy en día nos referimos como “eco-sistema” o “cúpula geodésica”. Este proyecto de sistema de edificio actúa como una válvula de energía entre el medioambiente externo y el interno, permitiendo la libre organización de todas las actividades humanas sin restricción alguna.

Las siguientes láminas muestran cúpulas geodésicas realizadas con diversos materiales, cartón, madera, fibra de vidrio, y cada una es diferente de las otras, aunque todas comparten los mismos principios.

Las cúpulas son de todos los tamaños, desde el refugio individual hasta la envoltura de toda una ciudad.

La cúpula geodésica no es simplemente otro invento de gran estructura, ni siquiera un artilugio energético. Es todo eso, y también mucho más: representa una forma de ver la vida alternativa. Con respecto a los arquitectos, muestra los medios para superar la concepción “de pilar y viga” del mundo.

Las cúpulas geodésicas se convirtieron, para aquéllos provenientes de una cultura diferente, de los países en vías de desarrollo, en un instrumento para defenderse de la invasión de productos industriales de desecho y un medio para crear un hábitat a escala humana utilizando recursos locales, como demuestran las cúpulas hechas con bambú trenzado.

El extenso uso de cúpulas geodésicas por comunidades alternativas que rechazaban los estilos de vida actuales, es una confirmación del amplio contenido filosófico del pensamiento de Buckminster Fuller.

8.7 Moldeando el medioambiente: la creación de un microclima

8.7.1 L. Halprin, Sea Ranch, California (E.E.U.U.)

Sea Ranch es una comunidad de casas de veraneo comenzada en 1965 en California, en la costa del Pacífico, a 75 millas al norte de S. Francisco (Condado de Sonoma). El lugar es excepcionalmente bonito, rodeado por hileras de cipreses y cedros, dispuestas perpendicularmente a la línea de costa.

Este es uno de los ejemplos más satisfactorios de manipulación medioambiental y paisajismo hechas en los E.E.U.U. El trabajo ha sido dirigido por Laurence Halprin sobre la base de un estudio extensivo y riguroso como puede verse en los diversos diagramas y dibujos.

Se tienen en consideración otros parámetros que contribuyen a la definición del medioambiente del Condado de Sonoma; los datos higrométricos relativos a la exposición al *SOL*, la velocidad y dirección de los **vientos**, la morfología y geología del lugar, la vegetación local, hasta las referencias medioambientales más refinadas dictadas por la forma de las olas, y por su sonido cuando rompen sobre las olas.

La principal causa del problema afrontado por L. Halprin es el viento fuerte y húmedo del noroeste que va paralelo a la costa. Halprin no resuelve este problema con la tipología habitual de edificios alta o bajamente aislados. Al contrario, él intenta configurar los asentamientos respecto a la línea de costa como los pastores y rancheros protegieron sus rebaños de los vientos unos siglos antes; plantando unas hileras largas y espesas de cipreses y cedros perpendiculares a la línea de costa.

Halprin junta los edificios para formar una barrera contra el viento. De esta manera, los espacios exteriores están definidos y protegidos en su lado norte, y están abiertos al océano y a los lados sur y suroeste. Por tanto, se crea una especie de micro**clima** privilegiado que ofrece todas las ventajas de la suave temperatura de la Bay Region y que se articula en una serie de espacios abiertos protegidos y soleados.

Las intervenciones arquitectónicas posteriores de las dos firmas californianas J. Esherick & Associates y Moore, Lyndon, Turnbull y Whittaker han sido coherentes con el proyecto original. Las cubiertas inclinadas de sus edificios miran al noroeste, y casi parece que hubieran sido diseñadas por el **viento**, como las puntas de los cipreses.

8.8 Equipamiento técnico

8.8.1 Instalaciones ocultas

Durante los años del crecimiento económico tras la II Guerra Mundial, la abundancia del petróleo a precios relativamente bajos provocó la proliferación de edificios construidos con acero y **crystal** en el mundo occidental. Este tipo de edificios se utilizaba en particular para oficinas, debido a que respondía a la necesidad de espacios interiores flexibles que pudieran iluminarse uniformemente.

Con todo, no eran mucho mejores que contenedores, indiferentes a la exposición del *SOL* y al entorno natural y medioambiental. El edificio de acero y cristal, tanto en su desarrollo vertical (el rascacielos) como su homólogo horizontal, ha sido criticado en el pasado por su anonimia; aunque hay casos donde el tratamiento magistral de los detalles ha superado esta crítica básica. La verdadera crisis de este tipo de edificación está estallando hoy en día, y esto no por lo que es visible desde el interior, sino por lo

que no se ve, o sea, por las espantosas dimensiones del equipamiento técnico necesario para hacer que estos edificios sean funcionales y vivibles.

El rascacielos Pirelli de Milán, diseñado por Gio Ponti (quizás el ejemplo italiano más famoso de este tipo de arquitectura) tiene, como todos los edificios de la misma clase, un espacio enorme dedicado al equipamiento técnico y a los conductos necesarios para llevar la energía a las distintas plantas para compensar las tremendas pérdidas de calor causadas por la misma naturaleza del edificio).

La Iglesia de la Comunidad de Garden Grove, de Johnson & Burgee, en California (E.E.U.U.), posee una envoltura exterior hecha totalmente de cristal, consiguiendo visualmente una simetría formal a la vez que ignora toda consideración bioclimática. Las negativas consecuencias de este enfoque proyectual, desde un punto de vista energético, se pueden entender fácilmente, especialmente si tenemos en cuenta las implicaciones de este único y enorme espacio de encuentro, destinado para varios miles de personas.

8.8.2 Instalaciones al descubierto

Antes de que la crisis energética causara una revisión radical de los enfoques de diseño actuales, muchos arquitectos ya habían empezado a sentir el peso del continuo crecimiento de los espacios dedicados a alojar las instalaciones, que nunca sería visto desde el exterior; es decir, que nunca se convertirían en arquitectura. Este enfoque de diseño hace que la lectura que se haga de todos los aspectos de un edificio sea falsa.

Louis Kahn lucha a brazo partido con este problema en el Richards Medical Research Building en Philadelphia (E.E.U.U.). Kahn concentra todas las instalaciones en las torres, ahora famosas, dándole a todo el complejo un cierto movimiento que recuerda a la imagen de San Gimignano. Recientemente, Marco Zanuso, en sus nuevas instalaciones para IBM cerca de Roma (Italia), trata las plantas de energía como entidades separadas del edificio principal, presentándolas como potentes torres azules en contraste con el blanco fondo de los almacenes.

Walter y Bea Betz, en Munich, cuelgan los cuerpos superiores de la nueva “Hypo-House” (“hipo-casa”) de brillantes y gigantescos tubos de metal.

El arquitecto Franco Albini, en el edificio Rinascente en Roma, enseña los conductos verticales del edificio, creando un abultamiento importante de la fachada.

Por último, en los setenta, emerge una actitud que bordea el expresionismo, la diversión y lo grotesco. Esto provoca que las instalaciones salten de su contenedor, generando toda una exhibición de laberintos y nudos de tuberías y cables.

El Centro Beaubourg en París (Francia), de los arquitectos Piano y Rogers, es, hasta ahora, un ejemplo muy famoso de esta tendencia.

Baubourg es un típico contenedor de acero y **cristal**, expresivo por exponer su poderosa estructura, las rampas cerradas por su exterior con plexiglás y por su bosque de tubos de múltiples dimensiones y colores, que dan vida a la plaza situada en frente del edificio.

Decididamente espantosa es la Zentralsparkasse de Viena, proyectada por Guenter Dominig, donde el inocente visitante tiene la impresión de ser chupado por las horribles espirales de los tubos desenfrenados de la estructura.

8.9 La expresividad de la Arquitectura Bioclimática

Los primeros edificios italianos que utilizaron energía solar dan la impresión de ser una especie de arquitectura fortificada contra los agentes atmosféricos. Esto ocurrió porque el proyectista utilizaba el parámetro bio-energético como una restricción añadida a su modo normal de actuar (ya de por sí fuertemente condicionado). Por otro lado, si tal parámetro es asumido como un elemento fundamental, como una oportunidad para un replanteamiento global de la relación entre el hombre y su entorno medioambiental y como una alternativa a una “arquitectura del petróleo”, el proyectista descubrirá que, muy lejos de limitar su creatividad, el parámetro bioenergético puede convertirse en un poderoso instrumento para la consecución de un espacio más rico y una mejor calidad de vida.

La biblioteca del Departamento de Historia de la Universidad de Cambridge (Inglaterra), de James Stirling, tiene como elemento más poderoso su gran invernadero central.

Lo mismo puede decirse de la Fundación Ford, en Nueva York, de Kevin Roche que, gracias al monumental espacio acristalado, sobre el que se asoman las oficinas, consigue una verdadera dimensión urbana.

Algunos de los edificios más recientes nos dan una idea de las fronteras abiertas a la arquitectura gracias a este nuevo enfoque del diseño: la nueva Court House en Vancouver (Canadá) destaca por su dialéctica entre el poderoso manto climático que la cubre y la rica articulación geométrica del edificio (con ciertas reminiscencias a Wright). La cobertura libre del Museo de las Ciencias y la Industria en Tampa, Florida, utiliza aparatos de regulación de flujos de **viento** y de iluminación, mientras que el cuidado diseño paisajístico mantiene fuera el ruido del tráfico. La ampliación anexa al Legal Research Building de la Universidad de Michigan proporciona luz y energía solar a las clases y laboratorios que están bajo el nivel del suelo.

Unos elementos móviles muy originales controlan la iluminación y la ventilación en el proyecto del nuevo Museo de Houston, en Texas. Algunas habitaciones son calentadas por medio del “efecto invernadero”. La escuela solar en Ascoli Piceno (Italia) recibe la radiación a través del invernadero y de sofisticados lucernarios. La vivienda unifamiliar de madera cerca de Munich (Alemania) tamiza los vientos y utiliza la nieve como aislante y como reserva de agua por medio de una sofisticada solución de cubierta.

La cubierta de la Facultad de Filosofía en Joannina (Grecia) está totalmente acristalada y tiene paneles regulables aislados que controlan la luz y la energía solar.

Casa en Santa Fè

Situada entre los montes de Nuevo Mexico, esta casa en ladrillo surge sobre un acantilado espuesto a Sur. En el interior hay muros en ladrillo, forjado de azulejos y tabiques que conservan el calor del *SOL* para las noches frías de invierno.

8.10 Las casas “introvertidas” de Mario Botta

Mario Botta no es un experto en energía solar; simplemente, es un arquitecto. Pero como todos los buenos arquitectos, tiene que tener en cuenta en los proyectos que diseña el problema del *CONFORT* y, consecuentemente, el de un uso racional de la energía. En sus proyectos de casas privadas existe una característica recurrente relativa a la cuestión de la energía, y es el hecho de que sus viviendas son, por así decirlo, “introvertidas”.

La envoltura exterior es particularmente compacta y cerrada: las formas, cilíndricas y cúbicas, reducen al mínimo la dispersión de la energía, y el número de **ventanas** (fig. 1, 2) también se reduce al mínimo. Estas formas responden tanto a las necesidades de conservación de la energía, reduciendo la dispersión térmica, como a una necesidad absolutamente arquitectónica, la de ofrecer una vista controlada del entorno.

La fuente de luz y calor es un núcleo central al que podríamos denominar como el “corazón energético” de la casa. Generalmente, este núcleo recibe la energía a través de un lucernario situado en la cubierta del edificio.

Una escuela de la así llamada **arquitectura bioclimática** pasiva tiende a poner los edificios “bajo **crystal**”, creando de esa manera un **microclima** moderado alrededor de la misma casa. Sin embargo, este tipo de arquitectura crea problemas: es cara, requiere amplios espacios alrededor de la casa, hace complicado el control climático en verano... Además, este tipo de arquitectura paga un alto precio en cuanto a la energía solar que recoge se refiere.

Las casas de Botta también utilizan un microclima moderado, pero este *CLIMA* se consigue más en el espacio interior que en el exterior.

Las ventajas son evidentes. Hoy en día, la envoltura exterior puede estar muy bien aislada, no existe una orientación obligada, el control del **clima** es sencillo incluso en verano, y los costos son moderados. Las casas de Mario Botta son espacios realmente habitables, y no meros accidentes de la tecnología experimental.

(V. Silvestrini)

8.11 Manfredi Nicoletti y su arquitectura ecoclimática

8.11.1 La Biblioteca Alejandrina, Egipto, 1989

Todos sus diversos espacios funcionales dan a un gran patio interior el cual, protegiéndolos de los agresivos vientos fuertes provenientes del mar y del estruendo del tráfico, está dominado por dos elementos de forma absoluta: el tetraedro de la Sala Prolomeus, área de acceso a todo el complejo, y el volumen troncocónico de la Sala de Lectura.

La nueva Biblioteca está concebida como un instrumento solar. Parecida a una gigantesca *mashrabija*, la envoltura de la Sala de Lectura es un cerramiento formado por dos muros concéntricos perforados por dos tipos diferentes de huecos.

Sólo los internos están protegidas por acristalamiento. Los muros exteriores se abren a las vistas del exterior pero al mismo tiempo ofrecen protección total contra la luz solar directa excepto durante cuatro breves momentos del año. La envoltura interior - en contacto con las zonas climatizadas - está constantemente a la sombra y es refrigerada por la circulación natural del aire.

Además, la envoltura de forma cónica está complementamente a la sombra - debido a su inclinación de 71° - durante la época de calor abrasador del solsticio de verano, cuando el SOL está a 82° sobre el horizonte. La estructura envolvente, que posee una cámara de aire - una estructura en tensión extremadamente ligera, anclada a un anillo de compresión de 110 m de diámetro, que también actúa como soporte de todos los sistemas de instalaciones para evitar toda polución en planta baja - ofrece aislamiento complementario.

La ubicación subterránea (aunque por encima del nivel del mar) de la zona de almacén de libros, que contiene unos 7 millones de volúmenes para los cuales la oscuridad y las bajas temperaturas son vitales, contribuye en gran manera al ahorro energético.

Un resultado final que sobrepasa ampliamente cualquier simple valor funcional convirtiéndose en un símbolo de reinversión de la historia en su alianza orgánica con la naturaleza.

8.11.2 El Nuevo Museo de la Acrópolis en Atenas, 1990 (M. Nicoletti con el Estudio Passarelli)

La morfología del Museo Arquitectónico está concebida como geología artificial (fig. 1, 2) donde, desde una limpia abertura en la losa, un ojo se abre y mira a la Acrópolis. El edificio está concebido como un objeto solar (fig. 1, 2, 3).

El ojo, que mira casi exactamente hacia el norte, permite que entre la imagen de la Acrópolis, pero no así los rayos directos del sol. En sección vertical, el acristalamiento del ojo está inclinado al menos 75 grados, la máxima elevación del SOL sobre el horizonte a mediodía en el solsticio de verano.

Además, la forma cóncava en planta del ojo, junto con la considerable anchura estructural de la losa de cubierta (más de 4 m), impide la penetración de los rayos solares (inclinados 15-25 grados) que golpean el este-noreste y el oeste-noroeste durante las primeras horas después del amanecer y las últimas antes de la puesta del sol en torno al solsticio de verano.

Unas hendiduras continuas de gran profundidad surcan horizontalmente la losa "con ojo" de cubierta. Una luz muy tenue penetra por ellas, subrayando la ondulación del soffito de la cubierta.

Orientadas al norte, concentran la luz natural sobre las exposiciones puntuales. Como ayuda a ello, está prevista la utilización de difusores de hoja prismática de Siemens.

La banda de conexión entre la gran losa "con ojo" y el pódium contiene elementos horizontales continuos que tienen una sección transversal inclinada de gran anchura, los cuales interceptan los rayos del sol antes de que lleguen al acristalamiento. Este puede ser del tipo Koolshade, tintado en gris.

El sistema del Pódium

Los lados este y sur del pódium están protegidos por un doble muro que posee una función doble: comportarse como cámara de

aire ventilada (efecto Trombe) y difundir la luz natural. Ambos muros tienen huecos tan impresionantes como que bloquean los rayos directos del sol. Los dos muros están unidos ocasionalmente mediante ventanas con alféizares muy anchos que permiten fuentes puntuales de luz difusa para exposiciones específicas, como en el sector del Erechtheion.

Estas se utilizan para áreas de exposición donde aparecen grandes espacios que han de ser iluminados por luz difusa, como por ejemplo para el espacio del frontón del antiguo templo de Athena. Abriéndose entre los diferentes niveles de las cubiertas del Pódium, estos lucernarios tienen en medio un septum horizontal que intercepta el rayo solar más bajo (15 grados sobre el horizonte).

8.11.3 Teatro de la Ópera de la Bahía de Cardiff - 1994

Los espacios para administración y los de ensayos tienen ventilación natural hacia el espacio de la Ola. El espacio de la Ola en sí se utiliza para circulación general del público y durante los descansos en los entreactos del impresionante vestíbulo. La viabilidad del proyecto depende de encontrar soluciones de diseño que den las necesarias condiciones de *CONFORT* al espacio de la Ola. La conclusión del proceso de diseño es que cuando la temperatura exterior es de -4°C , la del espacio bajo la Ola será de 18°C .

El público que salga del auditorio durante los entreactos tendrá un buen confort a esa temperatura. En un caluroso día de verano, la temperatura en la mayor parte del espacio inferior bajo la Ola estará muy cercana a la exterior, claramente no demasiado calurosa. En el nivel superior del auditorio los puentes estarán más frescos y confortables que la temperatura recomendada para oficinas en verano.

La Ola se comporta en parte como un atrio más convencional para conseguir temperaturas razonables bajo la misma, siendo las necesidades del valor medio de U de $2,7\text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto se consigue tanto con la utilización de acristalamiento doble de la mitad de la superficie como con un aislamiento elevado del resto.

Las zonas opacas con aislamiento tienen la ventaja adicional de proporcionar un cierto grado de absorción acústica y de aislamiento del calor radiante del verano. La temperatura bajo la Ola en invierno se mantendrá confortable. Las necesidades de calentamiento serán las mismas que si se hubiera suprimido totalmente la Ola.

Esto no ocurrirá bajo la Ola en Cardiff por dos razones. En primer lugar, porque el espacio es tan alto que el aire caliente subirá a la parte más alta del espacio, espacio no ocupado por nadie. En segundo lugar, el cerramiento no está totalmente acristalado, parte es opaco y el acristalamiento está en parte oscurecido mediante un sistema de "fritting". El resultado es que, a un nivel bajo en el vestíbulo, el espacio de esa zona tiene la misma temperatura que la exterior y bastante menos que cualquier edificio normal sin acondicionamiento artificial del aire. A más altura, la temperatura sube, pero aún se mantiene a un nivel considerado confortable para edificios de oficinas en verano.

8.12 Arquitectura Bioclimática según Lucio Passarelli

El ahorro energético no sólo se refiere a la calefacción sino también a la iluminación. A veces, cuando se reducen las **ventanas** en un edificio (para ayudar al aislamiento), el consumo energético para iluminación es superior al ahorro en energía de calefacción.

Esta idea, idea de primer orden (osea, más qué, y menos qué un diseño), se basa en cómo proporcionar luz natural al edificio para conseguir edificios con mayor profundidad en planta, además de más económicos. Osea, cómo conseguir ahorros energéticos indirectos (mediante consideraciones energéticas) mayores que ahorros directos.

En Luxor, Egipto, en las tumbas del valle de los Faraones, (estas tumbas tienen acceso a través de estrechas escaleras excavadas en la ladera), no hay ningún sistema de iluminación eléctrica.

Las pinturas murales y los sarcófagos están iluminados de forma sugerente con la luz natural reflejada por un espejo sostenido por el guía, y que frecuentemente está reflejada por otros espejos.

Enlazando esta arcaica inspiración con las dos imágenes tradicionales de la casa protegida (el abrigo) y la de la casa abierta a la luz directa y reflejada del *SOL* (el bronceado), la imagen resultante es la de un abrigo con agujeros y superficies reflectantes, para permitir el paso de calor y luz.

Por lo tanto, proponemos:

- edificios de baja altura (tres plantas), lineales, orientados según el eje norte-sur, bastante cercanos unos de otros (de 15 a 18 metros).
- edificios de gran profundidad: longitudinales, con escaleras y sin ascensores; máxima utilización de espacios interiores.
- alzado Sur: recibe luz directa; luz reflejada hacia el interior en la parte superior del suelo; refleja luz hacia el alzado Norte del edificio anterior.
- alzado Norte: recibe luz reflejada del alzado Sur del edificio posterior; es un “abrigo” con alto valor aislante.
- parte superior del edificio: un hueco central recibe luz que refleja a las plantas inferiores; paneles solares en la cubierta.
- parte inferior: “el colector de calor”, un depósito de agua o un lecho de piedras.

8.13 Pica Ciamarra associati

8.13.1 Laboratorios de Investigación CNR, Nápoles 1985

Los diseños funcional y arquitectónico fueron coordinados desde el principio, y el desarrollo de cada uno de ellos influyó e intensificó el desarrollo del otro (fig. 1, 2, 3).

Para conseguir un edificio con control climático de baja energía tanto en verano como en invierno, la envoltura exterior fue diseñada para tener una gran resistencia térmica. Además, para la fachada sur, la cual es responsable de la mayor parte de la ganancia térmica en verano, fue elegido un diseño en forma de ábside. El ábside sombrea la radiación vertical diaria en esa cara en un 26% en Junio (cuando el SOL está en su punto más alto en el horizonte), un 21 % en Julio y un 15 % en Agosto. Las partes transparentes (el acristalamiento) fueron reducidas al mínimo necesario para iluminar el interior.

Las ventanas (de doble acristalamiento) son de dos tipos. Unas pueden ser giradas de forma tal que el ángulo que forman con los rayos del sol es superior a 70° en cualquier momento del día. De esta manera, el fenómeno de reflexión total hace que el cristal sea un 10% menos transparente a la radiación solar directa. En Nápoles, la radiación directa media a mediodía en el mes de Junio es de un 75% de la radiación total, de aquí que la ganancia de calor solar a través del cristal puede ser reducido hasta aproximadamente un 32% de la cantidad normal.

El segundo tipo de ventanas está dotado con una persiana veneciana que puede ser girada 360°, por lo que la persiana puede ser puesta en el interior en invierno y en el exterior en verano. Con la persiana en el exterior, casi todo el acristalamiento está protegido; además, el calor es eliminado por convección del aire situado entre la persiana y el acristalamiento.

Los diez grandes tanques verticales de agua del edificio están perfectamente integrados en el diseño arquitectónico. Cuatro están aislados y almacenan energía térmica en forma de agua calentada o refrigerada, otros cuatro contienen reservas de agua, y los últimos cuatro constituyen una reserva para el sistema de refrigeración en verano y bomba de calor en invierno.

Una unidad transformable que trabaja tanto como bomba de calor como de sistema de refrigeración produce agua caliente en invierno y agua fría en verano.

8.14 Thomas Herzog

8.14.1 Vivienda Unifamiliar en Regensburg

Ratisbona es una pequeña ciudad situada al noreste de Munich. En ese lugar, Thomas Herzog ha diseñado y construido una vivienda unifamiliar de 240 m² en un solar no lejos del centro histórico. Se trataba de su primera incursión en el campo de la arquitectura solar pasiva.

La principal tecnología utilizada es la de ganancia aislada, aunque ganancia directa, proveniente de la acumulación de energía efectuado por losa de basamento, que proporciona una pequeña contribución al equilibrio del calor durante el funcionamiento invernal diurno.

Desde el punto de vista de los aspectos de la geometría del solar y de los medioambientales, el solar es bastante inusual: está situado a dos metros bajo el nivel de la calle, posee mucho arbolado y está atravesado por una corriente de agua.

El edificio de Thomas Herzog toma la forma de un volumen simple y compacto: una cuña de madera orientada según el eje Norte-Sur que se caracteriza por su rigor constructivo y la disposición de todos los elementos fabricados según una cuadrícula de dimensiones semejantes de 90x90x45, lo cual es evidente tanto interior como exteriormente.

A pesar de la adopción de formas elementales, la profusa utilización de madera no sólo en el interior de la casa sino también en gran parte del exterior ayuda al edificio a fundirse con su entorno, el cual ha sido desarrollado inteligentemente por Thomas Herzog acentuando la importancia de algunos rasgos significativos preexistentes.

Se han adoptado diversos recursos para el desarrollo de la casa, y las originales soluciones constructivas y técnicas han conseguido resolver la cuestión del equilibrio *TéRMICO* de manera positiva.

Desde el punto de vista del desarrollo funcional, el arquitecto ha previsto:

- una cámara de descompresión al norte, en la entrada;
- unidades de sub-sistemas medioambientales con diversas necesidades microclimáticas compatibles con el uso racional del espacio.

En cuanto a las características técnicas y constructivas, las principales soluciones son las siguientes:

- reducción drástica de puentes térmicos y mejora de la resistencia térmica de los muros ciegos en el norte, este y oeste;
- invernadero en el lado sur que se comporta como gran colector de aire en primavera y otoño, mientras que en invierno funciona como cámara térmica que puede ser conectada a la zona de estar diurna de la casa o mantenerse separada de ella;
- mejora de la capacidad térmica de las losas que se comportan como acumulador de masa calorífica;
- cubierta horizontal microventilada

En 1981, le fue otorgado a Thomas Herzog el Premio Mies Van Der Rohe por esta casa.

8.14.2 Complejo de viviendas en Munich

El complejo se compone de cuatro unidades, tres de las cuales están en línea. Estas se utilizan para viviendas, estando la cuarta a poca distancia de las otras para dejar sitio para un jardín; esta última unidad está utilizada por un profesional liberal para oficinas.

Las cuatro unidades son de diferente tamaño para así conseguir una gama de situaciones medioambientales lo más amplio posible dentro de las dimensiones del proyecto. Con ese abanico de posibilidades será más factible enjuiciar la validez de la aplicación de las tecnologías alternativas más avanzadas, esta vez combinadas de forma conjunta. Hay un sistema de producción de electricidad a base de células fotovoltaicas integrado con los componentes de la cubierta-lucernario, utilizado también para alimentar el sistema de calefacción, integrado con los cerramientos horizontales de la planta baja e intermedias. Posteriormente, esta tecnología fue sumada a un sistema solar pasivo que utiliza ganancia aislada y ganancia directa.

Al contrario que en Ratisbona, el terreno no es especialmente determinante ni desde el punto de vista de la geometría del mismo ni desde el punto de vista de aspectos medioambientales.

Aunque el solar, alargado y estrecho, posee una geometría irregular, la forma de los laterales más alargados favorece la disposición de los edificios para obtener el uso más correcto de las energías alternativas.

Sin embargo, incluso aquí, los edificios proyectados por Thomas Herzog son sencillos y compactos, estando caracterizados por el uso de cerramientos verticales de madera pintada de blanco y cubierta inclinada transparente. El mismo planteamiento de color se mantiene en el interior, con la intención reducir la absorción de energía solar debida a la radiación directa.

La mayoría de las soluciones constructivas que se emplearon con éxito en Ratisbona se repiten aquí, incluyendo el control dimensional de los materiales, de los sub-sistemas y de todos los componentes, conseguido mediante la utilización de módulos dimensionales coordinados.

Hasta cierto punto, la simplicidad de la configuración “en caja” de la envoltura condiciona la ordenación funcional de los edificios, pero está más que compensado por la gran flexibilidad en el uso del espacio, especialmente en planta baja. Por supuesto, de esta forma es imposible identificar claramente los sub-sistemas de las unidades medioambientales con diversas necesidades microclimáticas. De cualquier modo, y mejor que en el caso de Ratisbona, es fácil identificar cuatro zonas lineales que, hacia el sur, terminan en el jardín de invierno, el cual es accesible desde cualquier punto de la planta baja.

La necesidad de mejorar los flujos transversales de convección ha llevado a crear modificaciones en los componentes estructurales, tal como fueron diseñados para la vivienda unifamiliar en Ratisbona. Por lo tanto, las vigas de madera maciza de los muros han sido sustituidas por vigas de celosía que permiten la instalación de una segunda hoja de **crystal** thermoplus, la cual se mantiene siempre abierta en verano. Esto mejora los flujos transversales de convección que se ponen en movimiento por el continuo calentamiento del aire que fluye hacia el interior a través de una abertura, situada cerca del suelo, orientada al sur, y de otra regulable situada en la parte superior en la cara norte del edificio.

En los días más calurosos, se instalan pantallas de color blanco en las distintas plantas para prevenir un sobrecalentamiento de las habitaciones.

8.14.3 Construcción de un Albergue del Instituto Educativo de la Juventud, Baja Bavaria (1987-1991)

Si se desea conservar energía, se ha de tener en cuenta el tiempo que se van a utilizar determinados espacios. Es por ello que las habitaciones que son ocupadas durante varias horas seguidas deben ser separadas de aquellas que lo van a ser sólo durante cortos periodos de tiempo.

Zona sur (dormitorios con 1 a 6 camas)

Estas habitaciones se utilizan sólo durante unas pocas horas por el día, pero de forma continuada por la noche. Los cerramientos funcionan como elementos interiores de retención térmica. El cerramiento sur tiene por su cara exterior una capa de aislante *TÉRMICO* translúcido, de dos pisos de altura y a todo lo largo del edificio. Así, este muro se convierte en un elemento de absorción térmica y en una superficie calefactora que comienza a calentar tan pronto como el *SOL* brilla sobre ella. La temperatura alcanza su máximo nivel a primera hora de la tarde. Cinco o seis horas después - de noche, cuando las habitaciones están ocupadas - la mayor parte del calor es producido por la radiación hacia el interior. Así, el cerramiento exterior funciona como fuente de calor cuando las temperaturas están en su punto más bajo en el exterior. El sistema posee una actividad térmica lenta, pero muy efectiva. En los meses estivales, las habitaciones se protegen del sobrecalentamiento gracias a un ancho voladizo de la cubierta y a persianas con lamas exteriores.

Zona norte (área de servicios, almacenes, circulación y acceso)

La característica principal de estos espacios es que son utilizados durante cortos periodos de tiempo y tan sólo necesitan un cierto grado de calentamiento; o, como en el caso de las duchas, tienen que ser calentados a mayor nivel, pero sólo durante dos o tres horas al día. El flujo de calor a través del cerramiento exterior es pequeño. Las superficies del muro que dan al norte están aisladas con planchas de lana mineral de 14 cm de espesor.

Suministro de agua y calefacción

El agua es calentada por medio de colectores tubulares situados en la cubierta que da al sur. Los colectores calientan agua para los seis grandes depósitos que abastecen a las duchas y otras instalaciones de agua caliente. Para minimizar las pérdidas de calor debidas a la ventilación, se ha instalado un equipo recuperador de calor (sin recirculación de aire) en el espacio situado bajo cubierta.

8.14.4 Edificio para Wilkhahn - Salas de Producción y Planta de Energía Central

La primera fase de la construcción comprende una sección con las nuevas salas de producción con un área aproximada de 100x35 m en toda su extensión. La planta semienterrada en la ladera del solar está edificada con una sólida construcción. La planta superior tiene una moderna estructura de madera, portante, con grandes luces. En el exterior, esta estructura define el efecto arquitectónico global del edificio. Una figura gigantesca, con forma de caballete, de 5,4 m de ancho, aparece cada 30 m. Suspendidas entre ellas, sin pilares, están los tramos con vegetación de la cubierta de la sala.

El principio técnico utilizado consiste en vigas apuntaladas con tirantes (válidas para mayores luces soportando cargas relativamente pequeñas) y con barras de refuerzo en diagonal y que proporcionan sujeción contra el viento en la dirección longitudinal. Estas se integran en un módulo de diseño repetitivo - una estructura de vigas de madera rectilínea sujeta a esfuerzos de compresión y tracción que está estabilizada con el refuerzo integral de los elementos en tensión.

En la fachada norte se han colocado cristales aislantes térmicos de color neutro. En el sur, los paneles capilares translúcidos y las incrustaciones de lana aislante proporcionan una protección solar añadida. Las cubiertas de baja curvatura que van desde las estructuras más altas hasta las salas que se encuentran entre estas estructuras son de planchas de metal corrugado. La mayoría de las superficies de las largas fachadas poseen un revestimiento con paneles dispersores de la luz, aislados térmicamente ($U = 1,7$), y que también sirven como protección contra el deslumbramiento.

Energía y medioambiente

La utilización de materiales translúcidos térmicamente aislantes en las fachadas principales junto con la de bandas continuas de "top-light" (factor de sombreado $b = 8,48$; grado de transmisión de energía total $g = 42\%$) asegura excelentes condiciones de iluminación natural diurna en el área de trabajo. La vegetación en las cubiertas de las salas proporcionan protección contra el sobrecalentamiento estival, reducen las emisiones de ruidos, reducen la velocidad del flujo del agua de lluvia y compensa el terreno quitado en planta por el edificio.

Los elementos opacos del muro exterior son de madera, al igual que los elementos primarios portantes de las tres salas superiores y que las estructuras intermedias. También la totalidad de la cubierta está construida en madera.

La geometría transversal de las salas facilita la ventilación natural cruzada. La maquinaria de ventilación forzada posee sistemas de recuperación de calor para aquellas zonas donde aparezcan sustancias nocivas o humedad excesiva. Para la generación de electricidad, se instalará un sistema fotovoltaico de 4 kW de corriente continua utilizando VIDRIO ASI sobre el dosel de la cubierta, en toda su longitud y orientada al sur. A este respecto, el hecho estar orientada al sur, la pendiente de 45° y la ausencia de cualquier sombra sobre la instalación la hacen extremadamente ventajosa. Fue aquí una de las primeras veces donde se utilizaron células solares, compuestas de silicona amorfa.

El agua de lluvia recogida por las cubiertas de las salas y por los patios alimentan el nuevo sistema de estanque. Esta reserva garantiza un suministro adecuado de agua para el sistema contra incendios, aligerando de esta manera la carga de los servicios públicos locales.

Planta central de energía

De acuerdo con los requerimientos del pliego de condiciones, que exige prever la posible expansión posterior, la planta central de energía también posee un sistema que permitirá su adaptación a las necesidades de crecimiento de la misma. El primero de los dos posibles edificios que forman este complejo fue erigido durante la primera fase de construcción.

La nueva planta central de energía, que está conectada a la recientemente instalada acometida de gas natural, posee dos calderas de 3,5 y 1,15-1,25 MW de capacidad que den una respuesta más flexible a las necesidades de calefacción. Los fustes de las chimeneas son de 30 m de alto. El calor generado por los gases emanados se reutiliza. Los edificios más antiguos y el Prisma también reciben calor a través del sistema de calefacción. La calefacción dentro de las salas se consigue por medio de un sistema radiante instalado en el techo, regulado según las condiciones climáticas y la hora del día.

Un envoltorio de cristal, consistente en un invernadero acristalado estándar con acristalamiento de un sólo vidrio (vidrio hortícola) cierra el bloque de maquinarias. Está sustentado por medio de una estructura ligera, exterior, de tubulares de acero de soldadura continua. El armazón reticular está compuesto de piezas de 14,4x14,4x10,8 m. La cubierta se compone de un entramado de vigas de acero en forma de cuadrícula de 12x12 m, suspendida de un armazón de barras tubulares de acero y que va anclado a los cimientos de las esquinas. Reflejando la disposición diagonal del cubo, la cubierta va forrada por elementos de forma trapezoidal dispuestos diagonalmente. El revestimiento de la cubierta va unida (por medios mecánicos) a un aislante de fibra mineral.

La estructura portante, colocada a 90 cm de la fachada, lleva en las esquinas del edificio un enrejado para el desarrollo de plantas trepadoras. En su momento, estas plantas crearán una segunda piel y servirán de pantalla solar, creando un equilibrio climático, y ayudarán a integrar el edificio en el entorno natural y en los cambios estacionales a los que este está sujeto.

8.14.5 Sistema de paneles Novel para la cubierta transparente del Congreso y de la Sala de Exposiciones en Linz

Como nueva tipología de edificios del siglo XIX, los palacios de cristal fueron inicialmente erigidos para albergar exposiciones y otros acontecimientos sociales importantes (el Crystal Palace en Londres, 1851-1953; Munich, 1854-1931). Actualmente, todavía se utilizan algunos de ellos para las mismas funciones - como, por ejemplo, en Madrid.

Una de sus características más notables era la calidad de “aire libre” de la luz natural -incluso en el interior del edificio - gracias las superficies de acristalamiento ininterrumpido. Las envolturas transparentes a gran escala de estas históricas estructuras mantenían con efectividad el viento y la lluvia en el exterior, pero respecto a la cuestión térmica presentaban debilidades. El alto nivel de transmisión de calor (valor de U) significaba una gran pérdida de energía en forma de calor. Además, a consecuencia de la gran altura de estos edificios, el espacio a calentar era considerable.

En cuanto a lo que nos atañe dentro de nuestro esquema particular, aparecen tres factores involucrados en llevar estos aspectos a estándares técnicos modernos.

- La altura del espacio interior tendría que haberse reducido a la necesaria para las exposiciones y ferias comerciales. Tan sólo sería necesaria una altura máxima de 12 m en puntos determinados. De aquí la elección de formas curvas para las estructuras, creando secciones que varían en altura y que al mismo tiempo reducen el volumen a calentar. El voladizo del techo permite la ventilación natural del edificio.
- Debiera utilizarse acristalamiento moderno, laminado, con *VIDRIO* termoaislado para conseguir una reducción considerable de los valores de transmisión de calor.
- Finalmente, se debe conseguir el máximo rendimiento de la iluminación natural. Se debe obtener una buena calidad de brillo de la luz, un entorno espacial activo que ayude a centrar la atención en el contenido de las exposiciones y en el interior del edificio. Por otro lado, lo que queremos evitar es el deslumbramiento causado por luz solar directa y, sobre todo, evitar cualquier ganancia de calor no deseada, especialmente en los meses estivales, cuando el sobrecalentamiento de los invernaderos es máximo. Deben incluirse en el proyecto medidas eficaces que contrarresten este efecto.

Respecto a la última cuestión, hemos desarrollado - junto con el estudio de urbanismo de Christian Bartenbach y tomando como base sus inventos - un nuevo tipo de sistema de retícula ligera con complejas capacidades que puede ser instalado dentro del vidrio. Se trata de una retícula retro-reflectante de sólo 16 mm de espesor, revestida en una cara con una lámina finísima de aluminio en estado puro. Este sistema permite que entre luz indirecta a través de lo que podría ser descrito como ínfimos huecos de luz, colocados unos al lado de otros en filas muy juntas. Estos elementos no permiten el paso de luz solar directa.

Para conseguir que este sistema de pantalla se pueda aplicar universalmente y de manera eficaz en diversas posiciones, se debe tomar en cuenta los parámetros externos e internos más relevantes - la altura e incidencia del *SOL* en distintos momentos del año, el grado de exposición y la orientación del edificio, y el ángulo de la pendiente la superficie de la cubierta (que cambia constantemente según la curva del arco que va desde la base hasta la cumbre y que, en combinación con el ángulo de incidencia del sol, lleva a diferentes ángulos de reflexión a izquierda o derecha de la cumbre si el eje del edificio se desvía de la dirección nortesur).

Si para la retícula se requieren instrumentos de inyección distintos, los costes serán, lógicamente, mayores.

Los finos canales de luz que forman la retícula han de ser de múltiple curvatura para conseguir el efecto deseado de retro-reflexión de la luz solar directa. En el caso de nuestra envoltura de cristal en Linz, cada tira horizontal del panel acristalado (de 2,70 m de ancho, colocada paralelamente al eje cilíndrico) se fabrica de acuerdo con las diferentes geometrías de la cuadrícula - rápidamente calculadas con los programas disponibles para las computadoras de alto rendimiento. Los valores de U y en particular el comportamiento cuando se someten al fuego se mejoran con la inserción del panel reticulado reflector. El panel acristalado es fijado a las barras de acero térmicamente aisladas del acristalamiento.

Este ejemplo demuestra que las envolturas de los edificios modifican su comportamiento técnico y su construcción - y por lo tanto su estética - si se añaden a las tradicionales funciones protectoras otras que controlen la iluminación natural y las temperaturas.

8.15 HORST SCHMITGES

8.15.1 Residencia para estudiantes, Stuttgart

En cada uno de los edificios de cuatro plantas cada habitación de estudiantes tiene un pequeño balcón de madera, diseñado más para ser una segunda piel de plantas y flores que para ser un balcón propiamente dicho. A estos armazones de madera se les ha añadido una estructura secundaria de cables de acero. El pasado año, el follaje era escaso, pero este año ya se puede empezar observar cómo debe funcionar. Los materiales de los edificios son totalmente naturales: madera, hormigón, terracota, etc.

Casi todo, incluida esta estructura de trepadoras/enredaderas, forma parte de un ambicioso plan para realizar cambios esenciales en los programas tipo de alojamiento de estudiantes, especialmente en lo que se refiere a ahorro energético. Estos elementos son:

- un alzado protegido por el terreno en su cara norte que, junto con el tejado cubierto por el terreno, debe reducir las pérdidas de calor
- los tejados cubiertos por el terreno deben reducir las facturas de reparación y mantenimiento debido a que el tipo de hierba silvestre sembrada regula su propio crecimiento
- los tejados cubiertos por el terreno deben reducir la cantidad de agua de lluvia en las alcantarillas ya que pueden almacenar mucha agua
- las plantas enredaderas y otras trepadoras disminuyen las turbulencias del viento en las ventanas, de forma que se reducen las pérdidas de calor en las fachadas.
- al tener únicamente ventanas de cara al sur, permiten ganancias de energía solar en el verano, cuando las hojas han caído
- las habitaciones se pueden ventilar abriendo unas ventanas situadas a baja cota, de manera que se duerme en una zona con aire fresco con una zona restante de aire más templado que todavía está caliente
- el número de ventanas abiertas es minimizado de forma que la pérdida de calor por ventilación es mínimo.
- el agua en los estanques, gracias a su masa, reduce las diferencias de temperatura diurnas-nocturnas (lo que además reduce las pérdidas de calor)
- todas las superficies peatonales alrededor de los edificios son porosas de manera que toda la superficie del terreno permite que los estanques puedan almacenar agua de lluvia. La menor necesidad de alcantarillado disminuye el dinero que los propietarios del edificio han de pagar a las autoridades competentes del agua
- las puertas de cristal situadas entre los pasillos y las habitaciones de los estudiantes proporcionan luz natural a los pasillos y a las cocinas y salas de estar (de forma que se ahorra en iluminación artificial)
- un lucernario piramidal de cristal situado en lo alto de la caja de escaleras de cuadrícula metálica también da luz a las cocinas y las salas de estar que están parcialmente integradas con las escaleras

Se utilizan dos componentes: “light-pipes” (conductos de iluminación) y Concentradores Planares Fluorescentes (FPC). Los conductos de iluminación son unos huecos triangulares verticales, con paredes de alta reflectancia (0,95), cuyo objetivo es el de incrementar la cantidad de luz natural de los comedores de la primera planta.

Los FPCs recogen la luz en un cono truncado fluorescente amarillo; dirigen la luz por el interior de los 0,6 cm de grosor de un conducto transparente de 30 cm de diámetro, y es reflejado mediante un espejo a la cocina.

8.16 Sir Norman Foster & associates (Daewoo Electronics Headquarters, Seoul, Korea 1995)

La arquitectura solar combina tradición y tecnología.

Tradición es la expresión de la cultura de un tiempo y un lugar.

La tecnología se refiere a la forma de hacer las cosas.

Un alto nivel de tecnología en el contexto de un lugar y en un momento determinado del tiempo puede parecer un bajo nivel de tecnología en el contexto de otro tiempo o lugar.

El desafío consiste en identificar y aplicar el nivel apropiado de tecnología. Es importante recordar que la tecnología es un medio y no un fin en sí mismo.

Los edificios son creados por las personas y sus necesidades. Dadas las actuales crisis de contaminación y energética, la arquitectura solar ofrece el potencial para una verdadera (?) vernacular de hoy en día, que puede ofrecer variedad en su sensible

respuesta a diferentes vocaciones.

La arquitectura solar no es una cuestión de moda - es una cuestión de supervivencia.

Norman Foster - Londres, Julio de 1993

8.16.2 Terminal del Aeropuerto de Stansted, Londres

El edificio recaptura el espíritu de los primeros aeropuertos: un sencillo recinto situado en una verde pradera. El placer y la facilidad de movimiento a través de ese tipo de edificios inspiró la claridad, comodidad y tranquilidad de la nueva terminal.

El hall, casi cuadrado, está totalmente iluminado por medio de una red regular de luces artificiales puestas en el techo.

Stansted está en la tradición de la oficina de Foster de una nueva serie de edificios energéticamente conscientes. En Stansted es de gran importancia el techo. La cubierta vuelve a su función primaria: mantener la lluvia fuera y permitir la entrada de luz.

El agua de lluvia es desviada a través de colectores horizontales hasta ocho bajantes situados en cada extremo del edificio y la luz natural fluye hacia el interior a través de lucernarios triangulares situados cerca de los puntos más altos de las bóvedas de las cubiertas.

8.16.4 Centro de Promoción de Negocios, Puerta de Europa, Centro de Microelectronica Duisburgo

Este edificio señala la entrada al Parque Microelectrónico de Duisburgo, y refleja un nuevo optimismo en el cambio estructural de la industria. Como resultado de una estrecha colaboración con el Kaiser Bautechnik de Duisburg se integraron avanzadas tecnologías constructivas y medioambientales junto con aspectos estéticos. El resultado es un concepto de confort y energía que utiliza tecnología de vanguardia.

El suministro energético se obtiene mediante co-generación. Un generador a gas produce electricidad, los gases emanados se utilizan para calefacción en invierno y para refrigeración (por absorción) en invierno.

El proceso es complementado por energía solar obtenida mediante paneles de células fotovoltaicas y colectores de agua caliente situados en la cubierta.

Este generador solar directo de calefacción, refrigeración y electricidad es el primero de su tipo en el mundo.

Las principales prioridades consisten en invertir el proceso de deterioro urbano y en disminuir los altos niveles de desempleo que a finales de los años ochenta llegaba hasta un 26% de la población local. Se invirtió un gran esfuerzo en crear el entorno adecuado para atraer nuevas industrias, en especial aquellas que tuvieran que ver con el desarrollo y manufactura de la industria de la microelectrónica.

Al contrario que las contaminantes industrias pesadas del pasado, esta nueva generación industrial es limpia, compacta y tiene pocas exigencias en cuanto a infraestructura se refiere. Es absolutamente compatible con zonas residenciales y escolares y sugiere nuevos modelos urbanos de uso mixto para zonas interiores de las ciudades. Hemos estado desarrollando propuestas para dos grandes solares en la ciudad.

El edificio posee una fachada generadora de electricidad, con paneles de células fotovoltaicas integrados en la misma.

La morfología curva actúa como concentrador, que junto con la reflexión que produce el agua, justifica el uso intensivo de los paneles solares.

Para Centro de Microelectronica vease texto en ingles.

8.16.8 Oficinas Centrales del Commerzbank, Frankfurt

La nueva sede central del Commerzbank en Frankfurt es el primer edificio ecológico de gran altura del mundo. Como resultado de un concurso internacional restringido celebrado en 1991, nuestro proyecto transforma la naturaleza fundamental de un gran edificio de oficinas mediante el desarrollo de nuevas ideas para la ecología y los modos de trabajar en un entorno de oficinas. Trabajando en estrecha colaboración con el banco y los urbanistas de la ciudad, cada oficina se diseña de forma que tenga ventilación natural

mediante la apertura de ventanas.

Espléndidos jardines de invierno ascienden por la torre convirtiéndose en el foco visual y social de los grupos de oficinas agrupados en cuatro plantas. Estos jardines están unidos a un atrio central, continuo a todo lo alto del edificio, que se comporta como chimenea de ventilación natural (fig. 1, 2, 3, 4) para las oficinas que miran al interior.

8.17 Richard Rogers y el enfoque ecológico al medioambiente

A escala urbana, el desarrollo de coches baratos y cada vez más rápidos junto con la generación masiva de contaminación, o bien colapsa las antiguas calles históricas o bien significa que el nuevo desarrollo urbano está dictado por un círculo girante de camiones con remolque.

Las ciudades históricas crecen como flores que miran hacia el SOL o el agua, formándose así mismas de manera gradual y natural a lo largo de muchos años, apropiándose de su geografía para maximizar vistas, hacer uso de la luz natural y, cuando fuere necesario, utilizar sencillos pero inteligentes artilugios para atrapar la energía natural. Frecuentemente, los paisajes urbanos árabes se articulan según una composición de torres de ventilación, dirigidas para aprovecharse de los vientos dominantes y así refrigerar los espacios internos: mecanismos que atrapan la energía e ingeniosos artilugios que capturan a su presa.

Hoy en día, el arquitecto, siguiendo un enfoque equilibrado del planeamiento urbano y una actitud holística en el diseño de edificios, puede reducir la cantidad de energía y de contaminación en cantidades muy significativas.

El enfoque desarrollista en el planeamiento ecológico y el diseño de edificios de bajo consumo energético es uno de los campos más importantes. Arquitectos y urbanistas se encuentran con un gigantesco y nuevo campo de actuación, parcialmente explotado y muy olvidado. En la actualidad, hay pocas directrices establecidas e incluso aún menos ejemplos construidos. Tenemos muchísima historia por redescubrir y toda una metodología que aprender.

Se debe emprender una gran investigación y experimentación para así generar los conocimientos sobre los cuales basar unas nuevas actitudes en arquitectura y en urbanismo, que aspiren a la nueva eco comunidad de la próxima década. (Mike Davies - R. Rogers Partnership)

8.17.1 KABUKI-CHO, TOKYO

El edificio de oficinas Kabuki se asoma a una calle en uno de los barrios más característicos de Tokyo. Las normativas de servidumbres de luz obligan al grueso del edificio a situarse en la parte trasera del solar, creando una gran zona abierta adyacente a la calle.

El edificio es concebido como una sencilla estructura recubierta de hormigón de diez plantas de altura y que sustenta una filigrana de elementos metálicos, escalera contraincendios, estructura exterior de toldos y balcones, mostrada claramente en la foto de esta página. Al pie del edificio, un gran invernadero con armazón de angulares de acero inoxidable, el primero de su tipo en Japón, cubre el sótano de 6,5 m de profundidad.

Vista nocturna del invernadero. La construcción mide 12 por 8 metros y tiene un plano inclinado de 45 grados. La estructura inclinada, de 12 metros de alto en su cumbre, fue estudiada en relación con la radiación solar y su soporte en función de una estructura visualmente mínima. El resultado es absolutamente nuevo para Japón y necesitó de la conformidad especial del Ministerio de la Construcción japonés para obtener un permiso de utilización del acero inoxidable como material estructural.

8.17.2 La Torre Turbina

El cliente solicitó un edificio para exposiciones de gran altura que se convertiría en un hito y que fue revolucionario en cuanto al uso del espacio. Estaba muy interesado en que los espacios de exposiciones de gran altura estuvieran abiertos y que fuesen muy visibles desde una carretera circular de denso tráfico que corre a lo largo del límite sur del edificio. Además, buscaba un concepto medioambiental pionero.

Nuestra concepción comenzó con la aportación de una solución de bajo consumo energético. Utilizamos agua al nivel del terreno

para enfriar el aire caliente que entra así como aire fresco nocturno para moderar aún más las temperaturas internas.

Las ganancias solares fueron controladas utilizando una combinación de paneles claros, difusores y macizos en la fachada norte, para asegurar buenas vistas y luz natural al tiempo que se mantenían altos niveles de aislamiento para reducir las pérdidas de calor. En la fachada sur, que exigía transparencia, se utilizó acristalamiento activo para controlar las ganancias solares. El sistema de control detectaría el momento en que los niveles de ganancia solar excedieran los permitidos y reduciría gradualmente la transparencia de la fachada.

8.17.3 El CRYSTAL PALACE en la Orilla Sur, Londres

Proporcionaría un micro-clima templado mediante una serie de escaleras entrelazadas. La transparencia del muro final acristalado actuaría como escaparate de las artes. Al igual que otros edificios existentes, podría incluir sala de congresos, espacio educacional, zonas de exposiciones informales y de espectáculos, tiendas de discos, libros y galerías, videoteca y otras tiendas, bares, cafés y restaurantes.

El arquitecto ha resuelto que sin utilizar energía extra nuestro baldaquino puede establecer una temperatura similar a la de Burdeos.

Richard Rogers dijo: tenemos que enfrentarnos con el desafío del *CLIMA*. No porque estemos en Inglaterra, sino por los vientos que aparecen en la cara norte de la Festival Hall. El baldaquino de cristal permitirá que el aire pase a su través, de forma que no necesite aire acondicionado, pero parará la entrada de la lluvia y de la fuerza bruta del viento. Creará un clima mediterráneo - aunque sin su *SOL*, por supuesto.

(vease texto en ingles)

8.18 Ove Arup & partners - Proyectos de energía pasiva

8.18.1 Pabellón del Reino Unido - Expo '92, Sevilla

El pabellón fue diseñado para soportar 20.000 visitantes al día con temperaturas de hasta 40° C. El edificio mide 70 por 40 metros y tiene una altura de 25 metros. El imponente edificio (fig. 1,2) está hecho de bigas y estructuras metálicas. La pared acristalada del frente principal está suspendida a esta estructura. Los paneles de plástico de los frentes laterales, juntos a una estructura cuadrícula, realizan "velas" para sombrear. El calor debido a la luz solar directa se absorbe por el cerramiento oeste, construido con tanques de agua. Se consigue refrigeración suplementaria gracias al agua que cae por el cerramiento acristalado en el lado este. La electricidad necesaria para el bombeo del agua está generada por paneles solares situados en la cubierta, protegida por viseras parasol. Estas medidas pasivas para el ahorro energético caracterizan el diseño del edificio y consiguen la reducción de la temperatura en el interior hasta los 10° C en los días más calientes (40° C). Estas medidas suponen un ahorro energético de un 31 %.

8.18.2 Edificio GSW - Berlín

El edificio utiliza el efecto de chimenea solar para proporcionar ventilación natural para los espacios de oficinas.

Las persianas situadas en el hueco existente entre las ventanas de las oficinas y la fachada son calentadas por el *SOL* y el calor del edificio. Esto provoca que el aire en dicha cámara se eleve, haciendo circular aire fresco por las oficinas. La circulación de aire se controla automáticamente de acuerdo con las temperaturas exteriores.

Estas medidas suponen un ahorro energético estimado en un 37% respecto a una oficina equipada con un sistema completo de acondicionamiento de aire.

8.18.3 Northumbria - Proyecto Solar

Este proyecto ha demostrado que los paneles solares pueden ser una solución válida para revestir edificios ya existentes. Los paneles generan electricidad a la vez que protegen el edificio de las inclemencias del tiempo. Al inclinar los paneles se maximiza la

generación de electricidad, además de ofrecer protección solar a las habitaciones situadas en un plano inferior.

Se espera de estos paneles que durante su vida útil eviten la emisión de aproximadamente 1000 toneladas de CO₂.

8.19 Proyecto Monitor: algunos edificios bioclimáticos seleccionados por la C.E.E.

“Monitor” es un proyecto del programa R&D Aplicaciones de la Energía Solar a los Edificios, de la Comisión de las Comunidades Europeas, Dirección General XII para Investigación, Ciencia y Desarrollo. Se han seleccionado algunos edificios construidos en Europa.

He aquí algunos de los ejemplos presentados:

8.19.1 Ecole de Tournai

1. Ecole de Tournai es escuela primaria “vanguardista”, proyectada para compatibilizar el deseo de un edificio de bajo consumo energético con los requerimientos de espacios de una nueva filosofía de enseñanza. Los 250 alumnos en total, 10 clases, están en la escuela desde septiembre de 1985.

8.19.2 El Liceo Científico, en Casalpalocco

2. En 1981, la provincia de Roma organizó un concurso para diseñar una escuela que utilizara energía solar. El Liceo Científico, en Casalpalocco, una escuela de secundaria a unos 20 km al suroeste de Roma, es el resultado: la fachada sur está cubierta por un invernadero para ganancia pasiva directa (fig. 1, 2).

8.19.3 Casa Briarcliff

3. La Casa Briarcliff es una promoción de cuatro plantas con 6.500 m² de oficinas situadas encima de tiendas y de un aparcamiento situadas en planta baja. Ha ganado tanto el Office of the Year Award como el Civic Trust Award. El edificio muestra como las soluciones a los problemas de un lugar ruidoso y al sobrecalentamiento solar típicos de los edificios de oficinas pueden utilizarse para conseguir ahorros energéticos. Esto se ha conseguido utilizando un muro con doble acristalamiento (fig. 1, 2), que es tanto un escudo acústico como un elemento que mantiene el edificio fresco en verano y funciona como aislante en invierno.

8.19.4 Maison Quinet

4. Maison Quinet es una casa adosada privada construida en 1978 para ajustarse a las necesidades de una familia. Es un proyecto inusual, con un invernadero en el centro, que muestra tanto el interés del cliente en el cultivo de plantas exóticas como sus ideas sobre la relación existente entre los estilos de vida y el ahorro energético.

8.19.5 La Salut

5. La Salut es un proyecto de seis casas de cuatro plantas con terrazas en Barcelona. Están ubicadas en la ladera sur de una colina y tienen un invernadero de dos plantas adosado al frontal de cada casa para proporcionar ganancias solares directas y *CONFORT* a sus ocupantes.

8.19.6 Le Lievre d’Or

6. Le Lievre d’Or es una urbanización compuesta por 19 bloques de apartamentos de cuatro a ocho plantas de altura, con 593 viviendas en total, construidos entre 1965 y 1967. En 1979, con motivo del gran deterioro producido en las condiciones físicas y sociales del complejo, el alto nivel de desocupación y las altas facturas de calefacción, los propietarios de la urbanización, la Office Public d’Habitation a Loyers Moderes (OPHLM), decidió llevar a cabo un completo programa de restauración. La restauración incluye la introducción de invernaderos y muros colectores así como de **aislamiento**, todo integrado en una mejora arquitectónica

de la urbanización de la mayor importancia.

8.20 Laboratorio de ENEA en Ispra

El edificio está colocado en el Centro Común de Investigaciones de la CEE.

El área tiene un *CLIMA* continental moderado con temperaturas medias diarias de 20 °C en Julio y de 1 °C en Enero. Así, se ha tomado una “temperatura de proyecto” de -5 °C para 2500 grados/día.

La radiación solar media diaria en la estación calurosa es de 8400 KJ/m² (en una superficie horizontal).

Diversas tecnologías activas y pasivas se utilizan para producir calor de origen solar. Parte del alzado sur del edificio se compone de un sistema solar activo con un área colectora bruta de 290 m² colocada a 60° de la horizontal para maximizar la cantidad de energía atrapada en invierno; esto proporciona el 50% de la calefacción necesaria para esta parte del edificio. Otra parte del muro situado al sur está formado por “chimeneas solares” que convierten los rayos del *SOL* en calor.

Gracias a un invernadero, (fig. 1) la radiación solar es aprovechada en la zona central mediante ganancia directa.

Los 150 m² de acristalamiento permiten el paso de los rayos del sol en invierno, mientras que en verano una planta enredadera de hoja caduca proporciona sombra. El calor también se almacena en el edificio mediante una serie de sistemas integrados.

Un lecho de ladrillos de 62 metros cúbicos forma el acumulador primario del sistema solar activo para el edificio que alberga las funciones administrativas, de gestión y de congresos.

Un acumulador secundario lo forman los suelos de hormigón y los muros de fábrica exteriores del edificio.

En la cubierta hay unas naves a 45°. En la cara sur forman un único colector solar que mide unos 300 metros cuadrados y que sirve al sistema acumulador interestacional.

El calor es distribuido mediante tres sistemas integrados.

Hay un radiador de falso techo en planta baja.

El acumulador para la planta primera está formado por bloques térmicos prefabricados que incorporan conductos de láminas de metal para la distribución del aire caliente producido por las chimeneas solares, mientras que para la segunda planta se utilizan conductos radiantes.

Un depósito de hormigón enterrado, situado fuera del edificio funciona como estanque-acumulador interestacional, de forma que el calor acumulado en la estación calurosa pueda ser utilizado en invierno mediante un sistema de bombeo de calor.

El funcionamiento de la instalación está controlado y optimizado mediante un sistema automático que también registra los parámetros de funcionamiento.

Adicionalmente, el edificio también permite el ensayo, la demostración y la comparación de diversas tecnologías de energía solar bajo las mismas condiciones climáticas y de uso. En sí mismo, es un importante experimento desde el punto de vista de las aplicaciones: colectores solares en la pared sur, colectores de agua que constituyen una parte de lo shed de cubierta (fig. 1, 2) , chimenea solar y un invernadero para la ganancia directa.

El proyecto de Ispra representa el primer intento de Italia de utilizar componentes integrados con funciones energéticas y constructivas, es decir, que no sólo aprovechan la radiación solar sino que también forman el cerramiento exterior. La integración de las funciones está facilitada por el uso de la fibra de *VIDRIO* mezclada con el cemento para la fabricación de algunos componentes.

El muro de la chimenea solar es una patente de ENEA.

Echemos un vistazo a algunas etapas del proceso industrial.

La mezcla de cemento y fibra de vidrio es proyectada a un molde.

Preparación de la mezcla. Apertura de válvulas para el aire.

Aquí vemos el panel montado, completo con el absorbente negro y el vidrio templado; tres metros de alto y un metro de ancho, pesa 240 kg o 80 kg/m². Se trata claramente de una estructura ligera.

La utilización de estos componentes con funciones integradas facilita su transporte y su colocación y asegura costes de producción más bajos que componentes similares que proporcionen el mismo comportamiento energético y del edificio. En este caso en concreto, los costes suponen un 30 % menos que los de un muro convencional con un típico colector solar.

8.21 Centro de información ENEA de Casaccia

La morfología y la ubicación del edificio fueron estudiados de forma tal que se minimizaran las pérdidas térmicas.

Desde el hall (casi 400 mc) se puede ir a la sala de exposición permanente o al invernadero, o también en el sótano (800 mc) donde hay: videoteca, pantallas luminosas, juegos electrónicos, proyección de diapositivas y videos.

La forma cilíndrica, la cobertura parcial mediante tierra y la admisión de luz mediante un hueco cónico de iluminación reducen las pérdidas de calor a valores muy bajos, aunque las soluciones constructivas que han sido elegidas no son exageradas en términos de aislamiento *TÉRMICO* (el coeficiente de conducción térmica de los muros exteriores es de 1.5 W/m² °C). Bajo estas condiciones, la pérdida de calor está compensada por las contribuciones debidas a la ventilación.

El nada convencional lucernario (la “campana de Silvestrini”) fue diseñado para optimizar la acumulación de energía solar. Dentro de la cobertura cónica de cristal, hay un segmento rotatorio; su superficie interior es blanca, para así reflejar la radiación solar hacia el interior del edificio (el “jardín invernal”). Esta estructura central, que proporciona iluminación natural a todo el edificio, da como resultado, gracias a su geometría, una pérdida de calor muy baja. En los días soleados del invierno, recibe una cantidad de radiación solar similar a las necesidades energéticas globales del edificio.

En verano, el mismo segmento cónico que refleja la luz al interior durante el invierno, es girado para así dar sombra al jardín invernal. De esta manera, la carga de aire acondicionado se reduce esencialmente a aquella necesaria para eliminar el exceso de humedad del aire renovado introducido gracias a la ventilación. Esta carga se puede ver en el esquema.

(proyecto: arq. C. Gallo; consultor energético: prof. V. Silvestrini)

8.22 Edificio Conphoebus en Catania

El edificio de la sede principal de Conphoebus (una compañía italiana dedicada al desarrollo de energías renovables y ahorros energéticos) está compuesto por cuatro módulos aislados térmicamente aislados y totalmente monitorizados para determinar sus comportamientos térmicos y energéticos así como sus implicaciones térmicas.

La fachada sur posee:

- a) ventanas colectoras de aire;
- b) una envoltura especial de hormigón que permite la colocación retranqueada por el interior de ventanas. Estas están protegidas por voladizos y salientes verticales integrados en el muro;
- c) ventanas pivotantes y protecciones solares con lamas, reguladas eléctrica y simultáneamente por medio de aparatos de apertura y cierre, los cuales están regulados por control remoto en función de las condiciones meteorológico-climáticas externas.
- d) parrilla exterior desmontable, para proteger la fachada en verano.

BIBLIOGRAFIA

A.A. V.V. *Architecture and urban space*. PLEA 91. Kluwer Ac. Pub. Seville, Spain, 1991.

AA.VV., *Architettura ed energia. Sette edifici per l'ENEA*, De Luca Editore, Roma 1981.

AA.VV., *Il clima come elemento di progetto nell'edilizia*, Liguori Editore, Napoli 1977.

AA.VV., *Il sole e l'habitat; 162 progetti per l'impiego di energia solare nell'edilizia residenziale e scolastica*, Atti del Concorso nazionale indetto dal Ministero dell'Industria e dall'Istituto Nazionale di Architettura-In/Arch, Edizioni Kappa, Roma 1981.

AA.VV., *La Progettazione dell'Architettura Bioclimatica*, Atti del Seminario sui sistemi passivi, Bari, 1979 Muzzio Editore, Padova 1980.

AA.VV., *Risparmio energetico nel patrimonio edilizio esistente*, IACP, Milano 1986.

AA.VV., *The state of the art and future research on passive cooling in architecture*, Proceedings of the International Meeting ENEA, Rome 1994

Abdesselam M. en collaboration avec Greaupe F., Traisnel J.-P., Campana D., *Guide de la conception climatique du bâtiment en climat tropical humide; application à la Nouvelle-Calédonie*, Rapport AFME Agence Française de la Maitrise de l'Energie , septembre 1987.

Abrams D., *Low Energy Cooling*, Van Nostrand Reinhold Company, New York 1986.

Achard P., Gicquel R., *European Passive Solar Handbook, Preliminary Edition*. Commission of the European Communities Directorate General XII, Bruxelles, 1986.

Adreadaki E., *The Climate of Earth Sheltered Buildings* Ph.D. Thesis, University of Salonika, 1986.

AFME Agence Française de la Maitrise de l'Energie, *Forme, Orientation, Energie*, Cahiers Pédagogiques Thermique et Architecture, AFME, octobre 1989.

AFME Agence Française de la Maitrise de l'Energie, *Conception bioclimatique en pays tropical*, Rapport de recherche CERER, AFME, 1985.

AIA - American Institute of Architects - Research Corporation, *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes*, Washington 1978.

American Planning Association (The), *Site Planning for Solar Access*, U.S.**?

Alexandroff Georges et Jeanne-Marie, *Architectures et climats; soleil et énergies naturelles dans l'habitat*, Collection Architectures, Berger-Levrault, Paris 1982.

Alvar Aalto, Editions d'Architecture, Zurich 1965.

AFME Agence Française de la Maitrise de l'Energie, *Analyse climatique du Site*, Cahiers Pédagogiques Thermique et Architecture, AFME, octobre 1987.

Anderson B., Blum S., Holtz M., *Design Tool Selection and Use*, International Energy Agency. Design Information Booklet no. 4, 1988.

- Anderson B., *Energia Solare: Manuale di Progettazione*, Muzzio Editore, Padova 1980.
- Anderson B., Riordan M., *Il libro della casa solare. Tutto ciò che occorre sapere per progettare e costruire la casa solare*, Cesco Ciapanna Editore, Roma 1981.
- Aranovitch E., Oliveira E., Steemers T., Ed., *Proceedings of Workshop on Passive Cooling*, Ispra 2-4 April 1990. CEC 1990.
- Ayoob Nassir Ayoob, *Analyse théorique et expérimentale du comportement de systèmes de refroidissement évaporatif couplés à des enveloppes de bâtiments*. Thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, 13 novembre 1990.
- Bacigalupi V., Benedetti C., *Progetto ed energia*, Edizioni Kappa, Roma 1980.
- Bahadori M., *A Passive Cooling Heating System for Hot Arid Regions*, 13 th National Passive Solar Conference, Cambridge, USA, pp 364-367, June 1988.
- Bahadori M., *Il condizionamento dell'aria nell'architettura iraniana*, Le Scienze, 116, 1978.
- Balcomb D., *Passive Solar Design Handbook*. Vol. I and II, U.S. Department of Energy.
- Banham R., *Ambiente e Tecnica nell'Architettura moderna*, Bari 1978.
- Bastlund Knut, *José-Luis Sert*, Edition d'Architecture, Zurich 1967.
- Bauman F., Ernest D., Arens E., *The Effects of Surrounding Buildings on Wind Pressure Distributions and Natural Ventilation in Long Building Rows*, ASHRAE Transactions, Vol 94, Part 2, 1988.
- Bedel J., Ceron J.P., J. Jan, *Le rayonnement solaire à Carpentras*, Météorologie Nationale, division climatologie, octobre 1977.
- Benedetti C., Bacigalupi V., *10 Progetti per l'energia. Esperienze didattiche di tecnologia dell'architettura*, Edizioni Kappa, Roma 1982.
- Benedetti C., *L'energia del sole. Tecnologie ed applicazioni in architettura*, Roma, Edizioni Kappa, 1978.
- Bernatzky, A. *The contribution of trees and green spaces to a town climate*. Energy and buildings, 5, 1-10, 1982.
- Borel Jean-Claude, CSTB, *Le confort d'été dans les constructions scolaires à structure légère*, Cahiers du CSTB, n° 104, Cahier 910, novembre 1969.
- Borel Jean-Claude, Millet Jean-Robert (CSTB) et Murriss Francis (DEF), *La conception thermique des bâtiments en Guadeloupe, Guyane, Martinique*. Trois plaquettes CSTB-EDF, 1982.
- Bottero M., Silvestrini G., Scudo G., Rossi G., *Architettura solare, tecnologia passive ed analisi costi benefici*, Edizioni CLUP, Milano 1984.
- Bouchair A., *Moving Air, Using Stored Solar Energy*, Proceedings of the 13th National Passive Solar Conference, Cambridge, June 1988.
- Bouillot, O. *An "environment-site-urbanspace-architecture" card index*. Plea 91. Seville, Spain, 1991.
- Bourges B. (ed.), *Climatic Data Handbook for Europe*, Kluwer Academic Publishers., London 1992
- Boutet T., *Controlling Air Movement*, Mc Graw Hill, 1987.
- Bowen A., *Heating and Cooling of Building of Sites Through Landscape Planning, Passive Cooling Handbook*. , AS/ISES, Newark, 1980

- Bowen, A. Kasathko. *Heating and Cooling of Buildings Through Landscape Design*. Solar Energy Conversion II, Jansen, A. & Swartman, R. (eds.). Pergamon Press, 1981.
- Burberry P., *La progettazione del risparmio energetico*, Muzzio Editore, Padova 1979.
- Butera F., *Quale energia per Quale Società*, Mazzotta, Milano 1979.
- Butti K., Perlin J., *A Golden Thread: 2.500 Years of Solar Architecture and Technology*, New York 1980.
- Cain Alain, Afshar Farroukh, Norton John, Daraie Mohammed Reza, *Et le fond de l'air sera frais*, Le Sauvage, juillet 1976.
- Calderaro V., *Architettura solare passiva.: manuale di progettazione*, Edizioni Kappa, Roma 1981.
- Calimani R., *Energia e informazione. Analisi completa della realtà energetica*, Muzzio editore, Padova 1987
- Canha De Piedade, *Natural Cooling*, Proceedings of the Summer School on Passive Applications in the Mediterranean, Cephalonia, 1988 , JRC Ispra, CEC 1988.
- Cardarelli U., *Urbanistica ed energia: per una progettazione urbana consapevole dei problemi energetici*, La Nuova Italia, Firenze 1982.
- Carletti R., *Risposte bioclimatiche alla crisi energetica del 1500*, INAIL CTE Sett. V Rapporto 12.3.1983.
- Carmody J.C., Meixel G.D., Labs K.B., Shen L.S., *Earth Contact Buildings: Application Thermal Analysis and Energy Benefits*, in Advances in Solar Energy, Vol 2, 297, 1985.
- CBI, *Graphic Standards of Solar Energy*, Boston 1978.
- Chand I, Bhargava P., Krishak N., *Studies of the Influence of a Pelmet Type Wind Deflector on Indoor Air Motion* in Building Sciences, Vol 10, pp 231-235, 1975.
- Chand I., Bhargava P., *A Quantitative Study of the Air Deflecting Characteristics of Horizontal Sashes* in The Indian Architect, May 1975.
- Chand I., *Effect of Height of Still on Indoor Air Motion*, in The Indian Engineer Journal, Vol 49, pp 136-139, Sep 1968.
- Chand I., *Effect of Multiple Windows on Indoor Air Motion*, The Indian Engineer Journal, Oct 1969.
- Chand I., *Effect of the Distribution of Fenestration Area on the Quantum of National Ventilation in Building*, Architectural Science Review, pp 130-133, Dec 1970.
- Chand I., *Effect of Verandah on Room Air Motion*, Civil Engineering Construction and Public Works Journal, Nov. 1973.
- Chand I., Krishak N., *Studies of Air Motion in a Room Having a Door Opening into a Lounge*, Civil Engineering Construction and Public Works Journal, July 1971.
- Chand I., Sharma V., Krishak N., *Influence of Landscape Elements on Wind Induced Air Motion in Wide Span Buildings*, Indian Journal of Technology, Vol 15, pp 369-374, Sept 1977.
- Chand I., *Studies of Air Motion, Produced by Ceiling Fans*, Research and Industry, Vol 18, n° 3, pp 50-53, June 1973.
- Chandra S., *A Design Procedure to Size Windows for Naturally Ventilated Rooms.*, Florida Solar Energy Center, PF-46-73.
- Chandra S., *A Handbook for designing ventilated buildings*, Florida Solar Energy Center.

- Chandra S., *Fans to Reduce Cooling Costs in the Southeast*, Florida Solar Energy Center, EN-13 -855.
- Chandra S., Houston M., Fairey P., Kerestecioglu A., *Wingwalls to Improve Natural Ventilation: Full-Scale Results and Design Strategies.* , Florida Solar Energy Center, PF-47-83.
- Chandra S., P. Fairey P., Houston M., *Cooling with Ventilation*, Florida Solar Energy Center, SERI Report n° Sp 273-2966, Dec 1986.
- Chemery Laure, Duchene-Marullaz Philippe, *Atlas climatique de la construction*, CSTB-IRBAT, février 1987.
- CIAM VIII. *El corazón de la ciudad*. Editorial Científico-Médica. Barcelona, Spain, 1961.
- Cimmieri S., Lazzarin R., *La progettazione degli impianti solari. Sistemi solari attivi*, Muzzio Editore, Padova 1983.
- Climatisation naturelle, art. "Neuf", n° 70 septembre/octobre 1977.
- Coe G., *Solar Gain*, California Energy Commission , 1980.
- Commission of the European Communities, *1987 European Conference on Architecture*, Palz. W. (Eds.) , Bruxelles, 1987.
- Commission of the European Communities, *European Passive Solar Handbook*, Achard P., Gicquel R. (Eds) , Bruxelles 1986.
- Commission of the European Communities, *Passive Solar Architecture in Europe 2*, The Architectural Press, London 1983.
- Commiission of the European Communities, *Solar Architecture in Europe. Design, Performance and Evaluation*, Prism Press, Bridport 1991.
- Commission of the European Communities, *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Foster N. and Partners (Eds), Bruxelles 1993.
- Commissione delle Comunità Europee, *Atlante europeo della radiazione solare, Vol. I: superfici orizzontali; Vol. II: superfici inclinate*, Tuv Rheinland Verlag, 1985.
- Conception thermique de l'habitat, guide pour la région **?* P.A.C.A., SOL.A.I.R., Edisud, 1988.
- Congdon R. J., *Le tecnologie appropriate. Risparmi energetici nella produzione con l'utilizzo di risorse locali*, Muzzio Editore, Padova 1982.
- Coniglio M., *Solidi energetici. Proposte di design e tecnologia solare soffice*, Pirola Editore, Milano 1985.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *Dati Climatici per la Progettazione Edile ed Impiantistica*, CNR - PFE Roma 1982.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *Guida al controllo energetico della progettazione*, CNR - PFE, Roma 1985.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *L'edilizia bioclimatica in Italia. Situazione attuale e prospettive future*, CNR - PFE, Roma 1987.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *Repertorio delle caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi e trasparenti*, CNR - PFE, Roma 1982.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *Risparmio di energia nel riscaldamento degli edifici.*, Atti dei Seminari informativi del PFE, CNR - PFE, Milano 1978.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Energetica, *Simulazione oraria del comportamento termico-energetico*

degli edifici, CNR - PFE Roma 1982.

Cook, J. *Cooling Design of Urban Spaces: Phoenix Oasis*. ISES Solar World Congress, Kobe, Japan, page 335, 1989.

Cullen, Gordon. *Townscape*. The Arch. Press. London, U.K., 1961.

Croiset Maurice, *L'hygrothermique dans le bâtiment; confort thermique d'hiver d'été condensations*, Ed. Eyrolles, Paris 1970.

Cornoldi A., Los S., *Energia e Habitat*, Muzzio Editore, Padova 1980.

Cunningham W.A., Thompson T.L., *Passive Cooling with Natural Draft Cooling Towers in Combination with Solar Chimneys*, Proc. of Passive Low Energy Architecture (PLEA) Conference 1986.

Dall'O G., Messaggi P.L., Silli F., *Ingegneria solare. Guida alla progettazione dei sistemi solari nell'edilizia*, CLUP, Milano 1982.

Dall'O G., Messaggi P.L., Silli F., *Sole, progetto Habitat, Impieghi dell'energia solare negli impianti tecnici degli edifici*, CLUP, Milano 1980.

Den Ouden C., Steemers T., *Building 2000*. Volumes I and II, Kluwer Academic Publishers, 1992

Depecker Patrick, Brau Jean, Rousseau Sylvie, *L'inertie thermique par le béton; économies d'énergie et confort d'été*, INSA, Lyon 1980.

Dethier Jean, *Architectures de terre*, Ed. du Centre Pompidou, Paris 1986

Didillon Henriette et Jean-Marc, Donnadiou Catherine et Pierre, *Habiter le désert, les maisons mozabites*, Collection: architecte+recherches, Pierre Mardaga, éditeur, Bruxelles

DOE International Expert Group on Passive Cooling of Buildings (An Overview), Miami, 1980

Doutreuve Salvaing Françoise, *Architecture coloniale en Côte d'Ivoire, Inventaire des sites et monuments de Côte d'Ivoire, vol 1*, les publications du Ministère des Affaires Culturelles, Paris, 1985.

Duckworth E., Sandberg J., *The Effect of upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients*, Bulletin of American Meteorological Society, 35, 198, 1954.

Dupagne, A. Leclercq, P. Pivotte, D. *Système Base Sur de la Connaissance Appliquée à la Réglementation Urbaine*. Europa 88, Paris, France, November 1988.

Exemples de solutions pour faciliter l'application du règlement de construction des bâtiments d'habitation, Titre IV, Confort d'été. CSTB 1980. cfr pubblicazione

Fairey P., *Designing and Installing Radiant Barrier Systems*, Design Note, Florida Solar Energy Center, DN - 7-84., 1984

Fairey P., *Radiant Energy Transfer and Radiant Barrier Systems in Building*, Design Note, Florida Solar Energy Center, DN-6-86., 1986

Fanchiotti A., Scudo G., *Large Scale Underground Cooling System in Italian 16th Century Palladian Villa*, Proceedings of Passive Cooling Conference, Miami, Bowen A., Clark E., Labs K. (Edits), 1981.

Fanchiotti A., *Un sistema naturale di raffreddamento delle ville palladiane e "cicoli"*, Spazio & Società, 19, 1982, pp. 112-123.

Fanger F.O., *Thermal Comfort*, Copenhagen 1970.

Farahat, A.N. *Guidelines for Energy Optimization Through Landscape Architecture in Overheated Arid Regions*. PLEA Conferences, Mexico, pages 121-143, volume 1, 1984.

- Fitch J.M., *La progettazione ambientale*, Muzzio Editore, Padova 1980.
- Fleury B., *Ventilation: an Effective Cooling Strategy.*, European Symposium on Soft Energy Sources at the Local Level, Greece, September 1988.
- Fleury G., CSTB, *Les condensations superficielles sur les parois de batiments*, Revue Technique du Batiment et des constructions industrielles", n° 137.
- Franca J.P., Baillon J.P., *5000 Maisons Solaires*, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Paris, 1983.
- Funaro G., D'Errico E., *Edilizia bioclimatica in Italia- 151 edifici soari passivi*, ENEA, Roma, 1997.
- Funaro G., Fanchiotti A., D'Errico E., *116 Edifici solari passivi in Italia*, ENEA, Roma, 1985.
- Gallo C., *Bioclimatic Architecture*, in " Inside- Outside" , 95, 1992, pp. 160-168.
- Gallo C., *Raffrescamento passivo*, HTE: Habitat, Territorio ed Energia, n° 79, 1992, pp. 272-278.
- Gandemer J., Champ de pression moyenne sur les constructions usuelles; application à la conception des installations de ventilation, section Aérodynamique des Constructions, Etablissement de Nantes du CSTB. Cahiers du CSTB, n° 187, Cahier 1492, mars 1978.
- Gerald Allen, *Charles Moore*, Edition du Moniteur, Paris 1982.
- Girgis M., *Landscaping for Energy Conservation*, Florida Solar Energy Center, EN-12-83, 1983
- Givoni, Baruch. *Climatic aspects of urban design in tropical regions. Atmospheric Environment.* Voi. 26 B, No 3. Pergamon, 1992.
- Givoni, B. *Impact of planted areas on urban environmental quality: a review.* Atmospheric Environment. Voi. 25 B, N° 3.. Pergamon, 1991.
- Givoni B., *Models for Passive Cooling.*, Proceedings of Plea Conference pp. 521- 526. Porto 1988., Pergamon Press, 1988
- Givoni B., *Batiments pour climats chaud*, Batiment international n° nov./déc. 1974.
- Givoni B., *Earth Integrated Buildings*, An Overview DOE International Expert Group on Passive Cooling of Buildings, Miami 1980.
- Givoni B., *Integrated passive systems for heating and cooling of buildings by natural energies*, School of Architecture and Urban Planning UCLA.
- Givoni B., *Man Climate and Architecture*, Van Nostrand Reinhold Co. New York, 1981
- Givoni, B. *Urban Design for Hot Humid and Hot Dry Regions.* PLEA 91, Sevilla, 1991, Kluwer Ac. Pub.
- Givoni, B. *Urban Design in Different Climates.* 1989 World Meteorological Org. (WMO/TD. N°346).
- Gold-L., *Influence of Surface Conditions on Ground Temperature*, Canadian Journal of Earth Science, 4, 199, 1967.
- Gotz L. , *Integration of climate in planning and building illustrated in a case of extreme climatic conditions*, The impact of climate on planning and building, Actes du symposium international de Herzliya-on-Sea, Israel 4-7 novembre 1980, rassemblés par Bitan A., Elsevier Sequoia S. A., Lausanne, 1981
- Goulding J., Lewis J. O., Steemers T., *Energy in Architecture The European Passive Solar Handbook.* B.T. Batsford 1992.

- Graf von Hardenberg J., *Considerations of houses adapted to local climate - A case study of Iranian Houses in Yazd and Esfahan*, The impact of climate on planning and building, actes du symposium international de Herzliya-on-Sea, Israel, 4-7 novembre 1980, rassemblés par A. Bitan, Elsevier Sequoia S. A., Lausanne, 1981
- Guerra J., Alvarez S., Rodriguez E. A., Cejudo J.-M., *Full scale experiments in Expo '92: the bioclimatic Rotunda*, communication in PLEA Conference , Architecture and Urban Space, 1991, Kluwer Academic Publishers, 1991
- Guerra J., Alvarez S., Rodriguez E. A., Velazquez R., *Comfort issues in the outdoor spaces at Expo '92*, communication in PLEA Conference, , Architecture and Urban Space, 1991, Kluwer Academic Publishers, 1991
- Guzzi R. *Manuale di climatologia. I modelli e le tecniche per l'analisi del terziario nella progettazione energetica*, Muzzio Editore, Padova 1981
- Guzzi R., *Intervista sul clima. Fenomeni e futuro del clima*, Muzzio Editore, Padova 1984
- Hawke, Dean. Owers, Janet. Rickaby, Peter. Steadman, Philip. *Energy and Urban Built Form*. Butterworths, Cambridge 1987.
- Hansen, D. G. Mandraes, D. R. *Cost Effectiveness of Landscaping for Energy Savings: A Case Study*. ASES Conference, Kansas City, Missouri, U.S.A., pages 476-479, volume 4, 1979.
- Hoyano, A. *Climatological Uses of Plants and the Sun Control Effects*. PLEA 86, Pecz, Hungary, pages H19/H-28, volume 2, 1886.
- Hoyano, A. et al. *Experimental Study on Solar Control Effects of Vine Sunscreen at the Veranda*. Transactions on Environmental Engineering in Architecture (Architectural Institute of Japan), n5, Nov., 1983.
- Holder L. H., *Automatic Roof Cooling*. Ail Showers Company, Washington, DC, 2, 1957.
- Holtz M., *Design Guidelines: An International Summary*, Design Information Booklet no. 3, International Energy Agency, Paris, 1990.
- Instituto Nacional de Meteorologia, *Guia Resumida del Tiempo en Espana*, Madrid, 1965.
- Izard J. L., *Architectures d'été*, Edisud, France, 1993
- Izard J.L., *Archi Bio: Architettura Bioclimatica*, CLUP, Milano, 1982
- Izard J.L., avec Hueber C., *Conception architecturale et confort d'été*, première partie: *analyse de sensibilité des paramètres de conception*; deuxième partie: *cumul des paramètres de conception*. Rapport de recherche AFME/MELTM/DAU, décembre 1989
- Izard J.L., Guyot A., *Archi Bio*, Editions Parenthèses, Marseille, 1979
- Jain S.P., Rao K.R., *Experimental Studies on the Effect of Roof System Cooling on Unconditioned Building*, Building Science, 9, 9, 1974.
- Joachim Ferdinand, Rotthier Philippe, Gevers Valérie, *Ibiza, la palais paysan; essai sur les formes et les techniques dans l'habitat archaïque*, Editeurs Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles 1988.
- Jones R., McFarland R., *Passive Solar Design Handbook III*, U.S. Department of Energy, 1983.
- Jorio A., *Sistema di riscaldamento nelle antiche terme pompeiane*, Napoli 1978-79.
- Karakatsanis C., Bamadori M., Vickery B., *Evaluation of Pressure Coefficients and Estimation of Air Flow Rates in Buildings Employing Wind Towers*. , Solar Energy, Vol 37, n° 5, pp 363 -374, 1986.
- Khattar M., *Air Conditioner Fan Speed Controller for Comfort and Dehumidification*, Florida Solar Energy Center, FS-31-85.,

1985

Kishore V.V.N, *Assessment of Natural Cooling Potential for buildings in Different Climatic Conditions.*, Building and Environment, Vol 23, n°3, pp 215-223,1986.

Knowles, R.L., *Energy and Form: An Ecological Approach to Urban Growth*, MIT Press, Cambridge, 1979; ed. it. *Energia e forma. Un Approccio ecologico allo sviluppo urbano*, Muzzio Editore, Padova 1981

Kohler J., Lewis D., *Glass and Mass*, Solar Age, 1982.

Konya Allan, *Design Primer for Hot Climates* (drawings by Charles Swanepoel), The Architectural Press Ltd, London, 1980

Krafft A., *Architecture contemporaine*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne,1990.

Kultermann U., *Architecture Nouvelle en Afrique*, Editions Albert Morancé, Paris,1963.

Labs K., *Building Underground: A Tempered Climate, Earth as Insulation, and the Surface, Undersurface, Intersurface*, Energy efficient buildings. Mc Graw HW, 1980.

Labs K., *The Underground Advantage: Climate of Soils Passive solar Subdivision, Window and Underground.*, Miniapolis, MN, MASEC: MASEC.

Lambeth J., *Solar Designing*, Miami Dog Press, 1979

Langdon W.K., *Movable Insulation*, Rodale Press Emmaus, 1980.

Lavigne P., Fernandez P., Bréjon P.I, *Architecte climatique; une contribution au développement durable*, tome 1, Bases et approche physique,1992.

Lazzarin R., *Sistemi solari attivi. Manuale di calcolo*, Muzzio Editore, Padova,1981

Le Corbusier et la Méditerranée, ouvrage réalisé à l'occasion de l'exposition "Le Corbusier et la Méditerranée" à Marseille, centre de la Vieille Charité, Editions Parenthèses, Musées de Marseille, 1987

Le Corbusier, oeuvre complète, vol. 2, 1929-1933, publiée par Willy Boesiger, Ed. d'Architecture, Zurich 1964

Le Corbusier, oeuvre complète, vol. 6, 1952-1957, publiée par Willy Boesiger, Ed. d'Architecture, Zurich, 1967

Lebens R. M., *Passive Solar Heating Design*, Applied Sciences Publ., London,1980

Ledermann, A. Trachsel, A. *Playgrounds and Recreation Spaces*. The Arch. Press, London, U.K., 1959.

Lejemble Laurence (EMSMP), Metz prof. (Université Strasbourg) et Dard MM., Bertolo et Millet (CSTB), Le confort d'été, dossier établi à partir des interventions, CSTB Magazine n° 6, juillet-aout 1987

Lippsmeier G., *Tropenbau Building in the Tropic*, Georg D.W. Callwey Verlag, Munchen 1980

Lopez D'asian J., *Comfort in Urban Spaces of Southern Europe*, Proceedings of the 2nd European Conference on Architecture, Paris, 1989.

Lopez De Asiain, J. et al. *Climatic Control for the Open Space of the 1992 World Fair*. National Passive Solar Conference, Cambridge, Massachussets, U.S.A., pages 510-512, 1988.

Lopez De Asiain, J. et al. *Bioclimatic Design and Urban Landscaping*. Plea and Cres. Athens, Greece, 1993.

Lopez De Asiain, J. *Users response to the open spaces of Expo'92*. 3rd. E.C.A. Florence, Italy, 1993.

- Los S., Pulitzer N., *L'Architettura del regionalismo. Guida alla progettazione bioclimatica nel Trentino*, Provincia Autonoma di Trento, Trento, 1985
- Los, S., Pulitzer N., *L'architettura della evoluzione*, Parma Editore, Bologna, 1977
- Loubes J-P., *Architecture de terre et urbanisme souterrain en Chine*, Batiment-Energie, n° 45, juillet-octobre, 1986.
- Lungaard B. A., Lundgaard B., Rotne G., Soerensen P., *Boegehusene*, Project Monitor n° 4, Commission of the European Communities, Juin 1987.
- Markus T.A., Morris E.N., *Buildings, Climate and Energy*, London 1980.
- Marston Fitch J., *La progettazione ambientale. Analisi interdisciplinare del sistemi di controllo dell'ambiente*, Muzzio Editore, Padova 1980
- Matteoli L., *Azione Ambiente*, Torino 1977.
- Matus V., *Design for northern climates. Cold-climate planning and environmental design*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1988
- Mazria E., *The Passive Solar Energy Book*, Rodale Press, Emmaus, 1979, ed.it., *Sistemi Solari Passivi*, Muzzio Editore, Padova, 1980
- McCullagh J. C., *The Solar Greenhouse Book*, Rodale Press, Emmaus, 1978; ed. it. *Il Libro delle Serre Solari*, Muzzio Editore, Padova, 1979
- McPherson, E. G. *Planting Design for Solar Control*. In E. G. McPherson (Ed.). *Energy-Conserving Site Design*. American Society of Landscape Architects. Washington, DC., U.S.A., 1984.
- Metz E., *Superhouse*, Garden Way Publishing , 1984.
- Millet J-R. (CSTB), Hutter E. (CSTB), Ducrotoy H. (GDF), *Amélioration du confort en été dans les locaux tertiaires par des systèmes à évaporation d'eau*, Revue Générale de Thermique Française n°337, 1990
- Minne A., *Energy Design Principles in Buildings*, Design Information Booklet n° 1, International Energy Agency, Paris, 1988
- Moffat A., Schiller M., *Landscape Design Hot Save Energy*, William Norrow and Company, New York, 1981.
- Montgomery D.A., *Landscaping, as a Passive Solar Strategy.*, Passive Solar Journal 4(1), 79, 1987.
- Mulligan H., Ph D Thesis, University of Cambridge, 1986.
- Niles Ph., Haggard K., *Passive Solar Handbook*. California Energy Commission, 1980
- Olgyay A., Olgyay V., *Solar Control and Shading Devices*, Princeton University Press, 1957
- Olgyay V., *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, 1962; ed. it. *Progettare con il clima*, Muzzio Editore Padova, 1981
- Parker, D. S. Parker, J. H. *Energy Conservation Landscaping as a Passive Solar System*. ASES Conference, Kansas City, Missouri, U.S.A., pages 471-474, volume 4, 1979.
- Pittinger A.L., White W.R., Yellot J.C., *The Energy Roof, a New Approach to Solar Heating and Cooling*. , Proceedings of the 2nd National Passive Solar Conf. ASES , 1978.

- Pressmann, Norman. *Quality for Public Urban Space and Pedestrian Movement*. PLEA 91. Seville, Spain, 1991.
- Ratto C., *La pianificazione eco-energetica del territorio. Metodologia applicata a due progetti Val Fontanabuona e Val d'Enza*, Muzzio Editore, Padova 1986
- Ravereau A., *Le M'zab, une leçon d'architecture*, photographies Manuelle Roche, préface Hassan Fathi, Ed. Simbad, 1981
- Reynolds J., *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. John Wiley and Sons, 1987
- Risvi S., Talib K., *Landscape as Energy and Environment Conservation in the Arid Regions*. Proceedings of the Saudi Arabian. International Conference on Passive and Hybrid Cooling, Miami Beach, 1981.
- Robinette G., *Landscape Planning for Energy Conservation, VA*, Environmental Design Press, Reston, 1977.
- Ronner H., Kahn L., *Complete work 1935-1974*, Sharad Jhaveri Ed. Birkhauser, Basel, 1987.
- Roulet C.A., *Energétique du bâtiment; prestations du bilan énergétique global*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1987.
- Sala M., Ceccherini Nelli L., *Tecnologie solari*, Alinea Editrice, Firenze, 1993.
- Santamouris M., *Construction and Operation of a Hybrid Low Energy Green House*, Report To the EEC, DG/XVII, 12186 Demonstration Project, 1989.
- Santamouris M., *Passive and Hybrid Cooling in Greece.*, Proceedings of the B 2000 Meeting, Barcelona, 1988.
- Santamouris M., Yianoulis P., Rigopoulos R., Argiriou A., Kesaridis S., *Use of Heat Surplus from a Greenhouse for Soil Heating*, Proceedings of the Conference. ENERGEX 82, Canada, 1982
- Sattler, S. A., Sharples, S. *The Use of Shading Trees for the Improvement of Thermal Comfort in Buildings in Summer*. Conference of Advances in Solar Energy, Hamburg, pages 3260-3264, volume 4, 1987.
- Scheichenbauer M., Reina C., *Bilancio energetico dell' abitazione*, ITEC, Milano, 1982
- Schiller G., *Earth Tubes for Passive Cooling*, Master Thesis, University of California, Berkeley, USA, June 1982.
- Schiller, Silvia. Evans, John Martin. *Design of the Outdoor Spaces. Socio-Political Tendencies and Bioclimatic Consequences*. PLEA 91. Seville, Spain, 1991.
- Schofield M., *Architectures et nature, 18 exemples internationaux*, collection Architecture et Décoration, Editions du Moniteur, Paris 1980
- Schreck H., Hillman G., Nagel J., *Design Context*, Design Information Booklet no. 2, International Energy Agency, Paris, 1989.
- Schwagenscheidt, Waite. Muller-Wellborn, Veriag H. *Ein Mensch Wandert Durch die Stadt*. Berlin, Germany, 1957.
- Seminario De Arquitectura Bioclimatica. *Estudio Bioclimático de los Espacios Abiertos Expo'92*. Cuaderno n'S. Ed. Sociedad Estatal Expo'92. Seville, Spain, 1989.
- Serra, Rafael et al. *Summer Comfort in Urban Environment*. PLEA 91. Seville, Spain, 1991.
- Shaviv E., *On the Optimum Design of Shading: Devices for Windows*, Plea Conference, Porto 1988. -
- Shurcliff W. A., *Thermal Shutters and Shades*, Brick House, Publish., Andover, Mass., 1980
- Silvestrini V., *Active and Passive Architecture*, Processes of Permanent School on Solar Energy, Sogesta, Urbino, Italy.

- Sodha M.S., Kumar A., Singh A., Tiwari G.N., *Reduction of Heat Flux by a Flowing Water Layer over an Insulated Roof*, Building Environment 15,133,1980.
- Soleu L., Contandriopoulos Y., Simeray C., Project Monitor n' 20, Commission of the European Communities, avril 1988.
- Steadman P., *Energia e ambiente costruito*, Mazzotta Editore, Milano, 1978
- Stein R. G., *Architecture and Energy., Conserving Energy through Rational Design*, Garden City, New York, 1977
- Stirling, R.J. Carmody R.J., Elnicky G., *Earth Sheltered Community Design, Energy Efficient Residential Development.*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- Szokolay S. V., *World Solar Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York 1980
- Szokolay S.V., *Solar energy and Building*, The Architectural Press, London,1975
- Taha H., Akbari H., Rosenfeld A., *Vegetation Canopy Microclimate: a Field Project in Davis. California* , LBL report 24593, 1988.
- Taha H., Akbari H., Rosenfeld A., Huang J., *Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island: the Effect of Albedo*, LBL Report 24008,1988.
- The ECD Partnership. *Solar Architecture in Europe*. Prism Press for CEC DG XVH. '91
- Tombazis A., Argiriou A., Santamouris M., *Performance Evolution of Passive and Hybrid Cooling for a Hotel Complex*, International journal of . Solar Energy, in Press, 1990.
- Van Dresser P., *Case solari locali*, Muzzio Editore, Padova, 1979
- Venezia F., *La torre d'ombre o l'architettura delle apparenze reali*,Arsenale, Napoli 1978
- Warsi Z., Chand I, *Study of Wakees Created by Building Blocks*, Indian journal of Technology, Vol 6, n 1, pp 23-25, 1968.
- Watson D., *Energy Conservation Through Building Design.*, Mc.Graw Hill, 1979.
- Wett J., *Evaporative Cooling. A Nationwide Low Energy Alternance.*, Passive Solar Journal, 1987.
- Wright D., *Abitare con il sole: abc della climatizzazione naturale*, Muzzio Editore, Padova, 1981
- Wright D., *Natural Solar Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York 1978.
- Wright D., *Natural Solar Cooling*, Northern California Solar Energy Association, 1980.