

PLANTEAMIENTO ENERGÉTICO DEL RECINTO DE LA CARTUJA (Sevilla)

Sede de la Exposición Universal Sevilla-92
 Valeriano Ruiz Hernández *Catedrático de Termodinámica*
 Departamento de Ingeniería Energética Universidad de Sevilla

Introducción

La "filosofía" energética que debe imponerse en un próximo futuro, si no queremos que el deterioro del Planeta Tierra sea irreversible, ha de basarse en los siguientes aspectos.

1. Reducción de la demanda energética por medio del uso de técnicas de acondicionamiento natural de espacios.

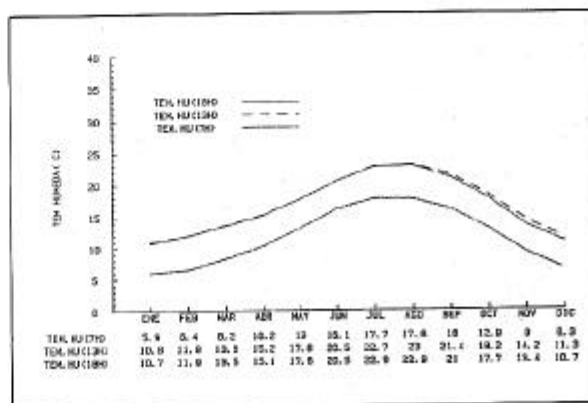
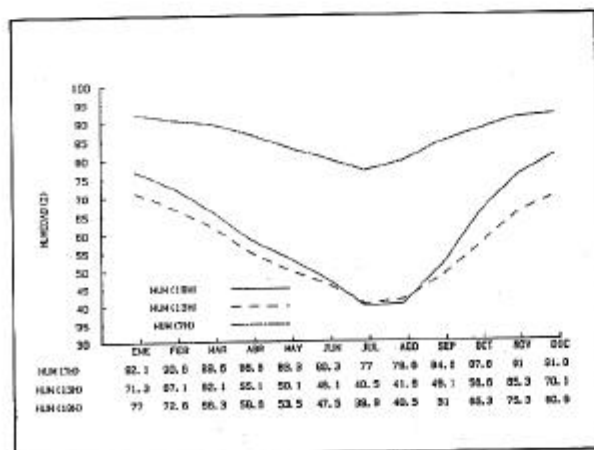
2. Producción y consumos energéticos más eficaces y racionales, lo cual comporta el uso de una importante descentralización y de sistemas de producción escalonada energéticamente así como sistemas de consumo de energía térmica apoyados en la bomba de calor.

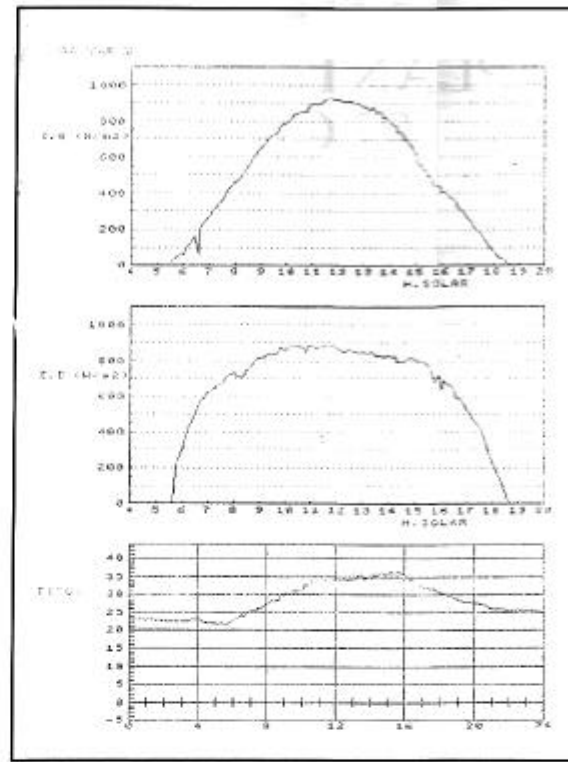
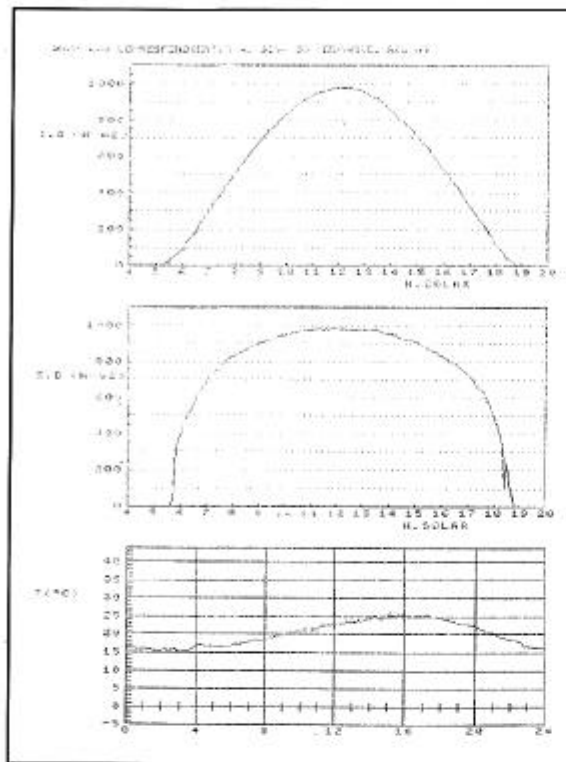
3. Producción de energía útil a partir de fuentes no agotables ni contaminantes, lo que implica el uso de **energías renovables** en su sentido más amplio. En particular, en nuestro país, energía solar, biomasa y energía eólica.

La implantación masiva de estas ideas no es fácil por numerosas razones entre las que el egoísmo economicista de empresas y ciudadanos y la dejadez de los gobiernos no son las menores. Por ello, sólo queda aprovechar todas las ocasiones para hacer "proselitismo" de este credo energético. Y no cabe duda que la Expo '92 es una buena ocasión para éste y

otros asuntos no menos trascendentes para el futuro de la humanidad. Por otra parte las exposiciones universales son buenas ocasiones para apuntar soluciones a problemas de la sociedad y no cabe duda que el problema de la energía asociado al de los desperdicios radiactivos, la lluvia ácida, la tala o quema de los bosques, el agujero de ozono, el efecto invernadero producido por el CO₂ de la atmósfera, los ríos y los océanos convertidos en alcantarillas y un largo etcétera, son graves problemas que inquietan a los habitantes de nuestro planeta.

Hasta ahora, a los actuales responsables de la EXPO 92 no les ha faltado decisión para aceptar y ejecutar algunas de las propuestas realizadas. Hay el riesgo de que la falta de tiempo pueda ponerlos nerviosos y no se culminen algunas de ellas o que otras sencillamente no cuenten con la financiación necesaria. En cualquier caso, es un buen ejercicio el reflexionar sobre los intercambios energéticos en un recinto como el de la Isla de la Cartuja y dar un repaso a las experiencias en curso, encaminadas a conseguir algo tan difícil en Sevilla como hacer razonables las condiciones climáticas de un espacio abierto un día de verano a las cuatro de la tarde. No se espere, sin embargo, que se vayan a conseguir condiciones de confort térmico similares a las alcanzables en espacios cerrados con equipos de aire acondicionado activos.





2. Cuestiones previas

Para el estudio energético de un sistema hay que conocer lo mejor posible tanto el propio sistema como su entorno, definiendo los límites y la evolución en el tiempo de las variables más significativas.

Hagamos, por tanto en este apartado, una breve exposición del sistema, la Isla de la Cartuja, considerando algunas de sus características más importantes desde un punto de vista energético:

Superficie total:	215 Has. (2.150.000 m ²)
Superficie a ocupar por edificios:	40 Has.
Pabellones:	100
Participantes:	80 países, 20 instituciones internacionales, las 17 Comunidades Autónomas de España y 15 compañías privadas.
Período de tiempo:	del 20 de abril al 12 de octubre.
Número de visitas:	36 millones en total, unas 250.000 por día.
Forestación:	350.000 árboles y 500.000 m ² de parques y jardines.

Un aspecto significativo es su situación entre dos brazos del río Guadalquivir: la dársena y el brazo vivo con un caudal importante de agua.

Sobre este recinto se producen interacciones energéticas de su entorno que tratamos de caracterizar también de manera simplificada en la fig. 1.

Sevilla está situada en una longitud de 6° W y una latitud de 37° 25'N, con una altitud de 7m.

Los datos climáticos globales más sobresalientes son los siguientes:

Veranos muy calurosos con temperaturas máximas muy elevadas. Por la noche también hay temperaturas altas, en muchos casos por encima de 20°.

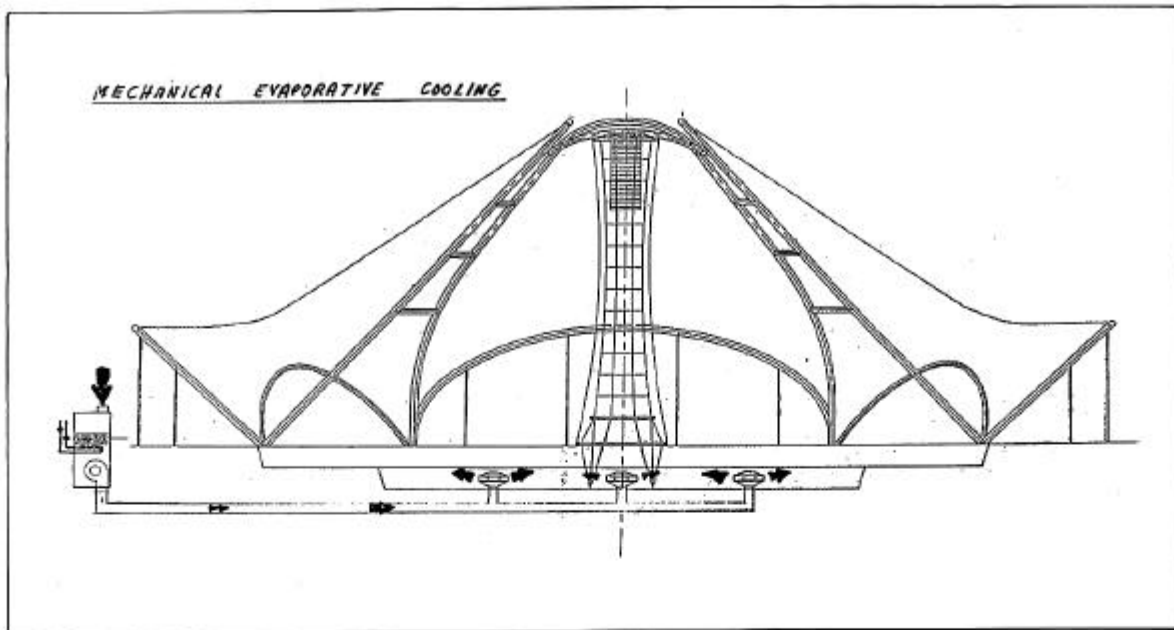
Los inviernos son templados y hay pocas heladas (el 32% de los años no las hay).

La lluvia no es muy abundante (587 l/m² de media anual) produciéndose casi toda entre octubre y abril. Hay un promedio anual de 60 días de niebla al año.

Los vientos predominantes vienen del SW y el valor medio de las rachas es de 8,6 km/h.

La presión media anual es de 761 mm. de Hg = 1013,2 mbar.

Por lo que respecta a la radiación solar, se



tienen 2.900 horas reales de sol al año (medidas con heliógrafo Campbell-Stokes), de las cuales 360 en el mes de julio como valor medio máximo y 155 al de diciembre como valor medio mínimo. El número de días sin nubes es de 131. En cuanto a la energía media recibida al año en una superficie horizontal (irradiación media anual) es de $18\text{MJ/m}^2 \text{ día} = 5 \text{ Kw h/m}^2 \text{ día}$, que en el período considerado de abril a octubre pasa a ser de:

$$21 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \text{ día}} = 5,8 \frac{\text{Kw h}}{\text{m}^2 \text{ día}} = 5.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

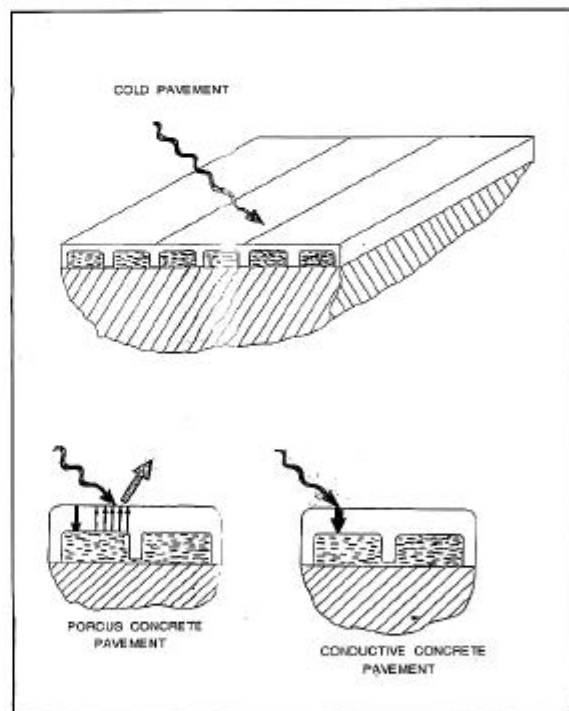
3. Planteamiento energético general

Una vez conocido, aunque someramente, el recinto y su entorno, veamos cuales son los intercambios energéticos más significativos y cómo se relacionan funcionalmente, es decir, qué leyes los gobiernan.

En la fig. 8 se han destacado los más significativos:

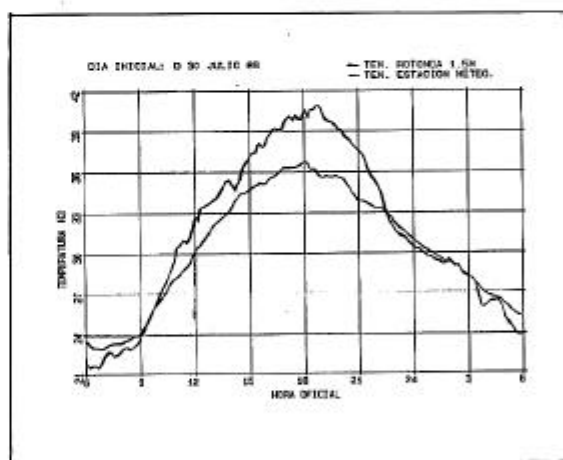
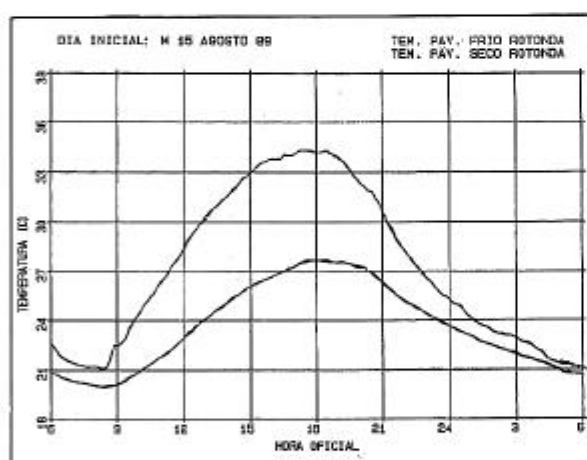
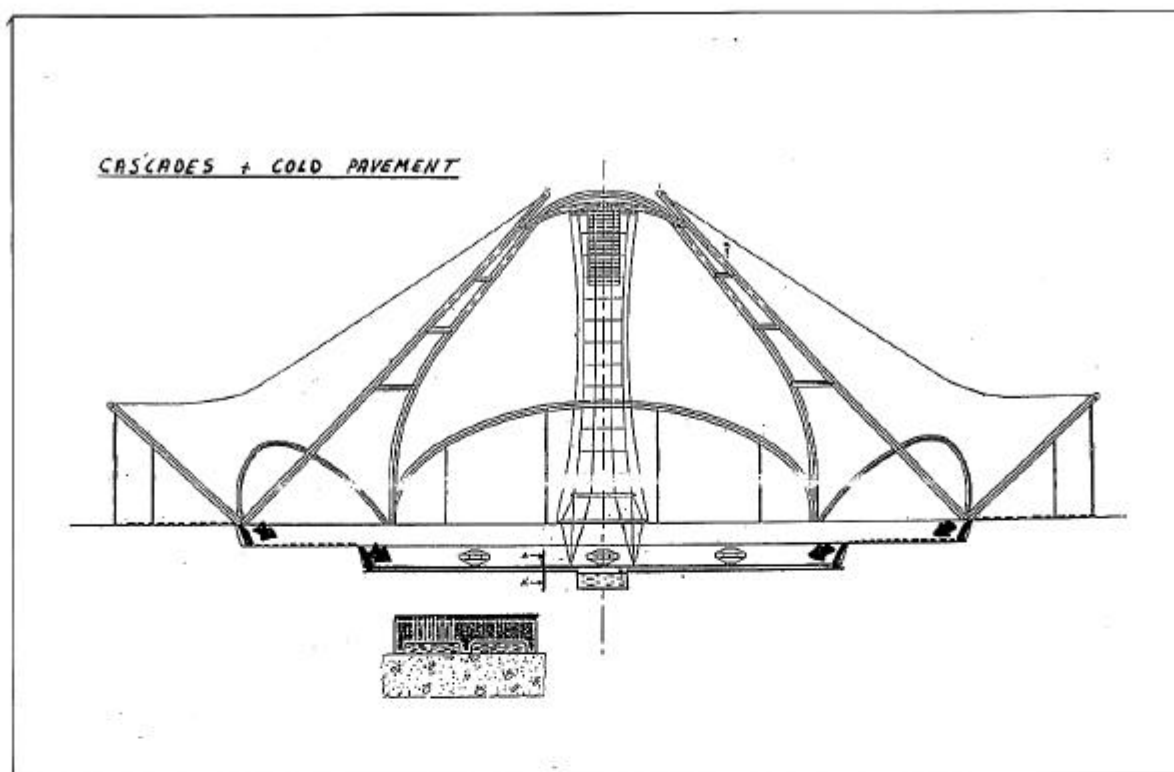
a) **Radiación solar incidente.** Conviene destacar que está constituida por dos componentes: directa (procedente del disco solar) y difusa (procedente de la bóveda celeste).

Es el término más significativo y más difícilmente gobernable. En un instante dado



puede alcanzar valores de 2000Mw en el total del recinto.

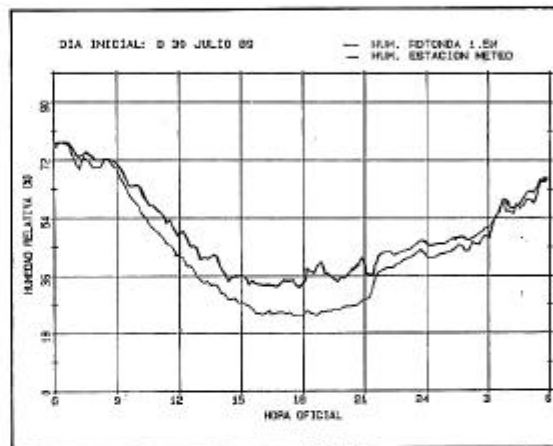
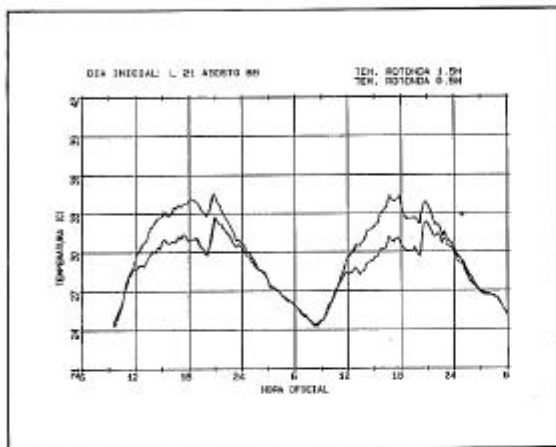
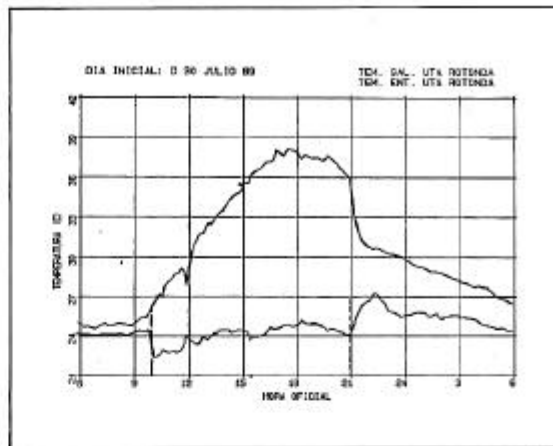
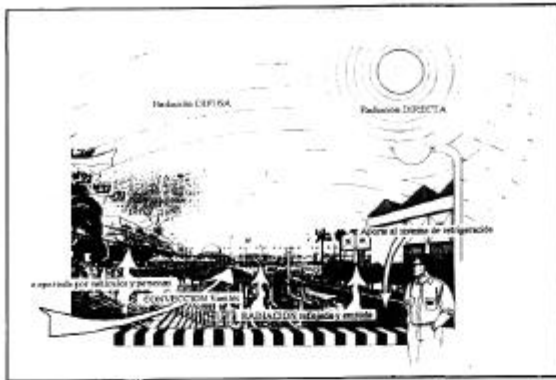
Se trata de una radiación de onda corta ($0,2 - 3 \mu\text{m}$) producida por una fuente radiante (el sol) a una temperatura equivalente de 5777 K .



b) Radiación solar reflejada. Término también muy significativo cuyo valor depende del color y la naturaleza (coeficiente de reflectividad) del "suelo". Como es natural es de las mismas características que la radiación incidente.

La diferencia entre **a)** y **b)** es la radiación absorbida por el recinto y que, dado que una y otra son variables en el tiempo (de noche no hay), también es variable.

c) Radiación emitida. Todos los cuerpos a temperaturas superiores a 0 K emiten radiación (ley de Prevost) con longitudes de onda e intensidad dadas por las leyes de la radiación (Plank, Wien y Stefan-Boltzmann). Este término, en cantidad ($\epsilon \sigma T$) y longitud de onda (λ , $T \cdot T = K$) depende de la temperatura y naturaleza del "suelo". Es un término muy importante y existe todo el tiempo (día y noche). Es el responsable del enfriamiento nocturno que tanta importancia tiene en climatización, sobre todo



si se sabe aprovechar bien, cosa por cierto poco frecuente.

d) Convección y evaporación producida por el viento. Teniendo en cuenta que los vientos predominantes en la zona son del Suroeste y que su humedad relativas y temperaturas son muy variables, el efecto de intercambio de energía producido por el viento puede ser muy importante.

e) Conducción. Fundamentalmente por el suelo del recinto. Es un término relativamente poco importante dada la naturaleza poco conductora del suelo del recinto.

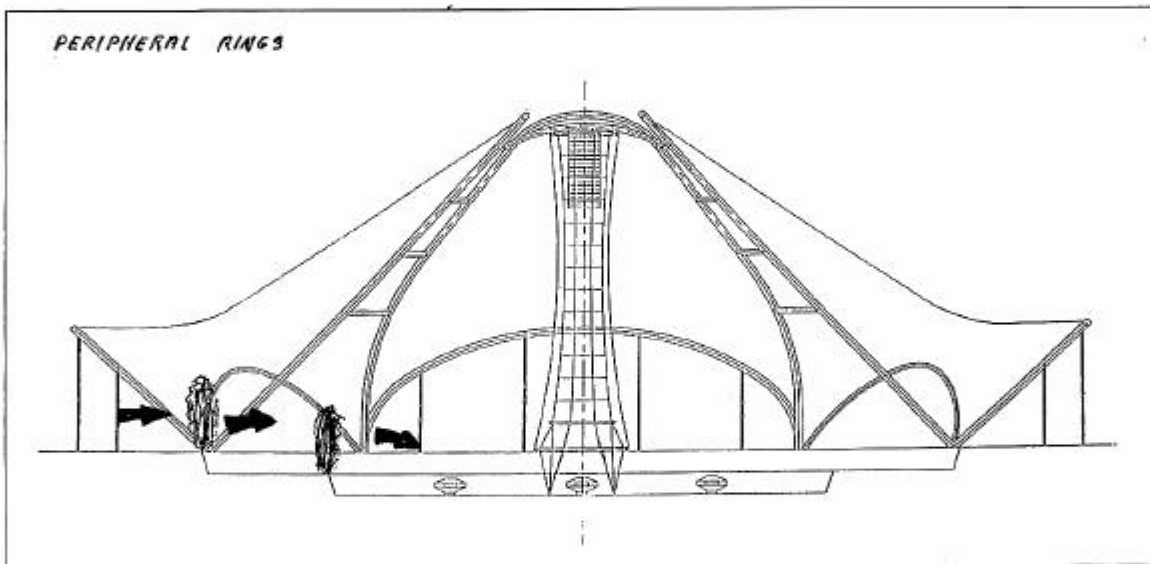
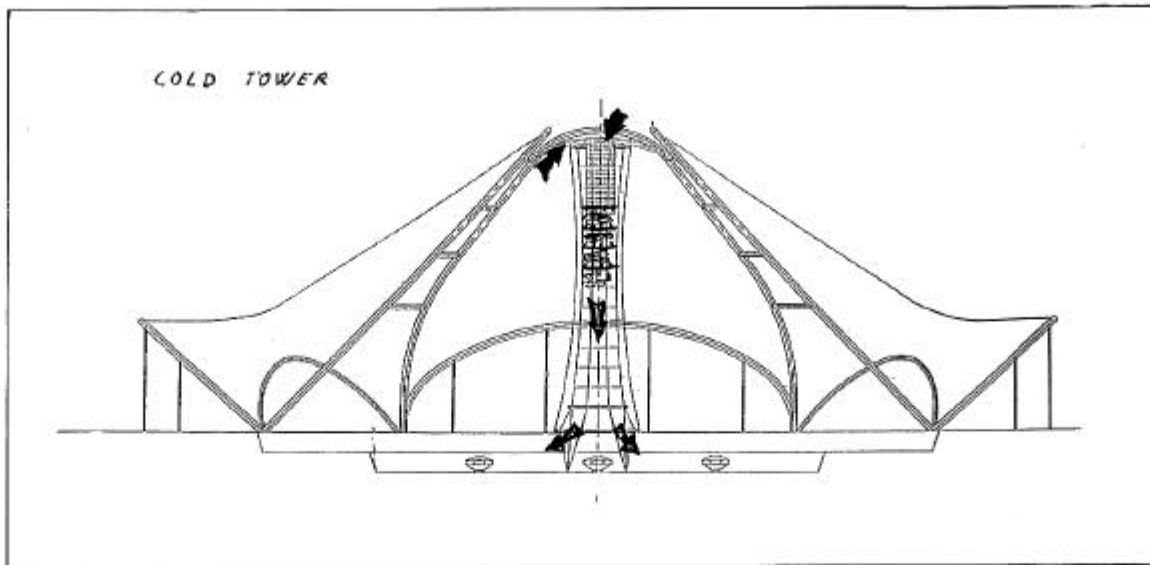
f) Energía producida por las personas y los vehículos en el recinto. Este término puede no ser despreciable y, desde luego, es bastante variable.

g) Energía de refrigeración del agua bruta prevista para el enfriamiento de los equipos de aire acondicionado y que va de la dársena al brazo vivo del río. Este término tiene gran trascendencia y el incluir este medio de extraer energía del recinto ha sido, en mi opinión, una

de las decisiones más importantes que se han tomado de cara a un "control" energético de la Expo.

h) Energía útil (eléctrica y gas principalmente) de aporte a los distintos consumos en el recinto. En el caso de la energía eléctrica será del orden de 60 Mw y será suministrada por Sevillana de Electricidad (*).

(*): Aquí se podría haber hecho una apuesta más valiente y más de acuerdo con los tiempos pero hay que aceptar que los responsables tengan otros criterios además de los de "pureza energética" a la hora de tomar decisiones. Me refiero en concreto a que se podía haber pensado en sistemas de cogeneración, si no en todo, al menos en parte y aunque no está descartada del todo la posibilidad de que haya algo de cogeneración en el recinto, la verdad es que soy algo pesimista en cuanto a su realización, sobre todo por el tiempo, porque hay que decir que los responsables están abiertos a cualquier tipo de innovación y desde luego a ésta que no lo es tanto pero que significa principalmente un elemento de racionalidad energética. Si falla este asunto no es achacable a la falta de voluntad de la Expo ni de intentos del que les habla.



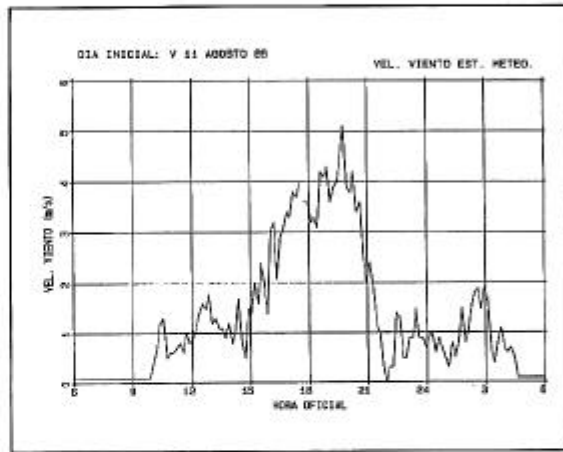
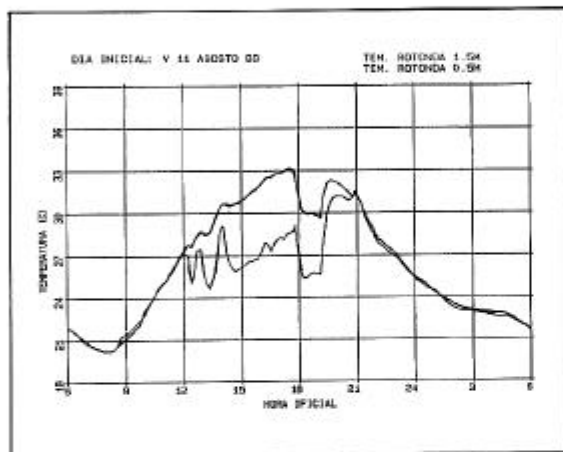
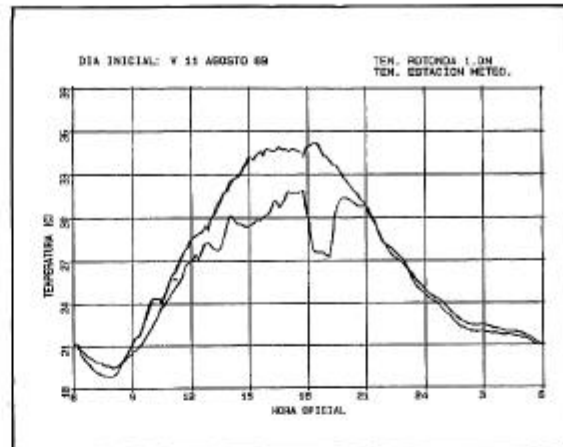
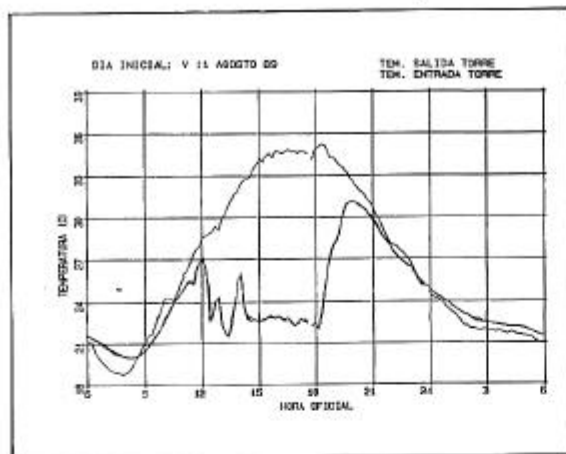
Las leyes aplicables a estos intercambios energéticos, por supuesto son las de la Termodinámica, la primera de las cuales podríamos esquematizar como sigue:

$$\frac{du}{dt} = W + Q + \sum mh_s - \sum mh_e$$

donde e significa entrante y s saliente, mh significan las energías de los flujos de materia, w los flujos de energía eléctrica y Q los de

energía radiante y calor. du/dt representa la variación con el tiempo de la energía del recinto considerado, que básicamente depende de su temperatura.

El estudio analítico preciso de los intercambios energéticos del recinto como un todo, no se le escapa a nadie que no resulta fácil dada la variabilidad e imprevisibilidad en el tiempo y en el espacio de algunos de los intercambios. Esto no quiere decir que no se pueda decir nada y que no se puedan sugerir actuaciones concretas tendentes a conseguir el objetivo fundamental, en el período de tiempo y lugar que nos ocupan:



Hacer lo más pequeño posible el término dU/dt .

En efecto, de la propia expresión surge la propuesta global más evidente: disminuir los términos entrantes y aumentar los salientes.

La dificultad estriba en cómo conseguirlo. Intentémoslo, con diferente grado de concreción, en tres casos:

- A. El recinto como un todo.
- B. Los edificios.
- C. Los espacios abiertos. En particular avenidas y paseos.

3.A. El recinto como un todo

a) **Radiación solar incidente.** Imposible actuar sobre el total del recinto.

b) **Radiación solar reflejada.** Sólo se puede procurar conseguir un "color" lo más blanco posible en el máximo espacio. Viene bien

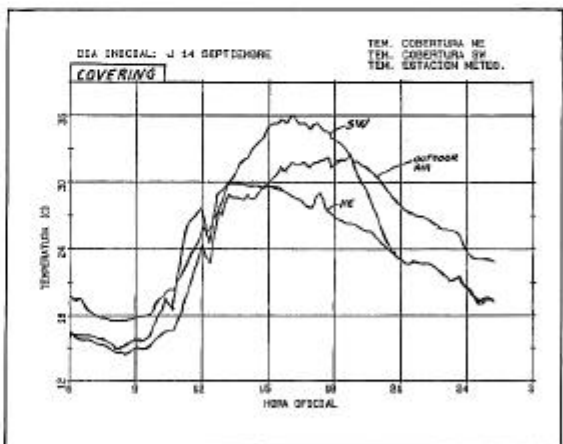
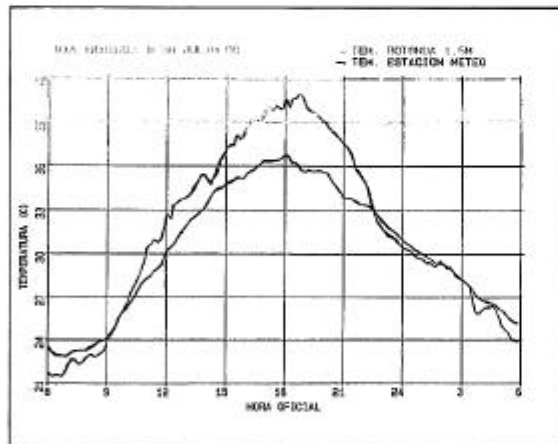
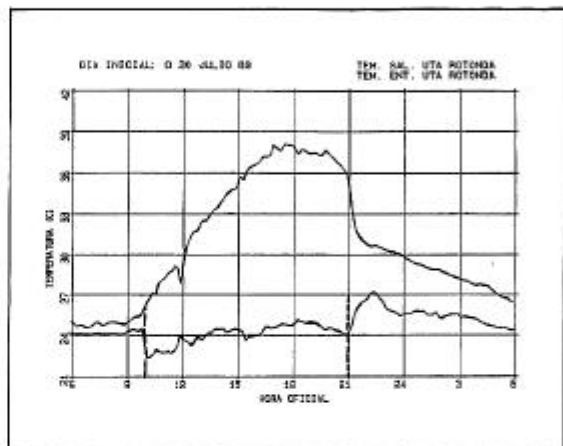
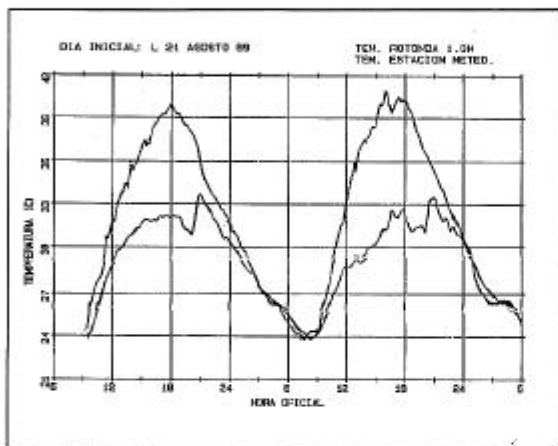
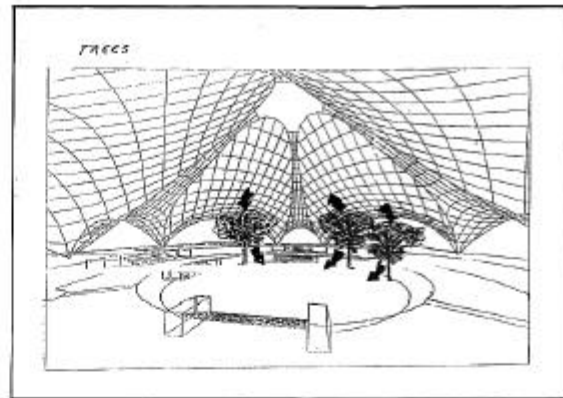
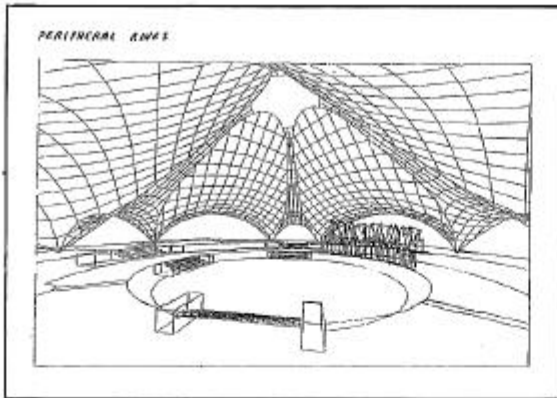
a este propósito la extensión del lago y el canal así como las masas de árboles y de jardines y parques en los que además la energía absorbida se emplea no solo en "calentar" el espacio sino en el metabolismo de las plantas que reciben la radiación.

c) **Radiación emitida.** Este término interesa aumentarlo, para lo cual conviene "suelos" muy emisores lo cual, en principio, es contradictorio con lo anterior aunque al ser en longitudes de onda diferentes se podría intentar produciendo superficies selectivas a este efecto:

- Muy reflectantes (poco absorbentes) en las longitudes de onda del espectro solar (0.2 - 3 μm) y

- Muy emisivas (muy absorbentes también, Ley de Kirchoff) pero en las longitudes de onda del infrarrojo ($\approx 10 \mu\text{m}$) correspondientes a la emisión radiante del suelo.

d) **Convención y evaporación provocadas por el viento.** Este término se puede potenciar, permitiendo y facilitando el

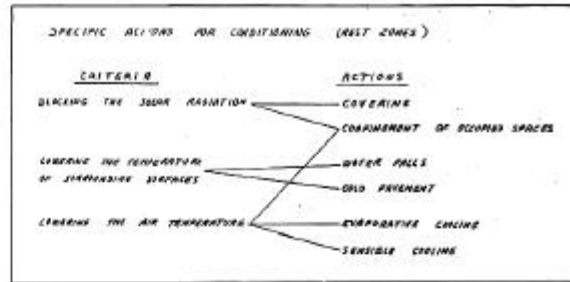
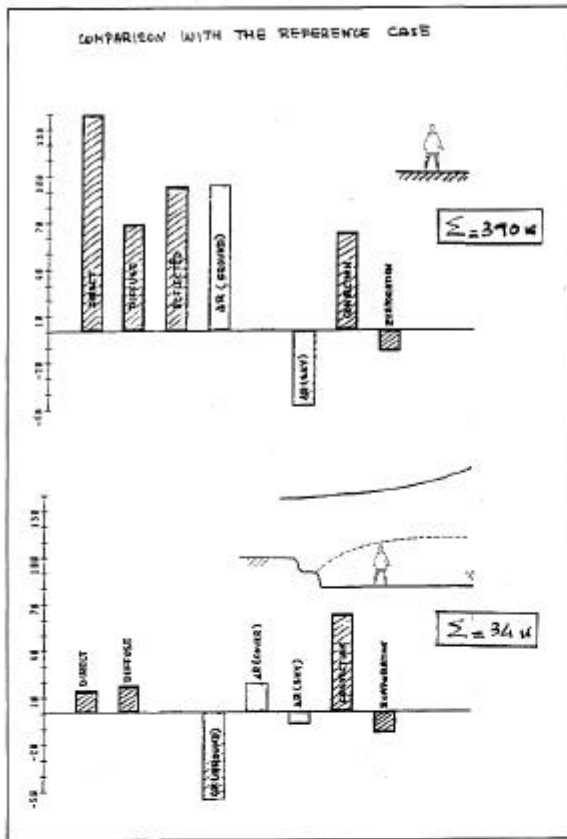


paso del viento a través del recinto teniendo en cuenta que la dirección predominante de los vientos es conocida aunque su distribución temporal sea aleatoria.

e) **Energía de los visitantes y vehículos.** Indudablemente no se puede actuar sobre el número y energía de los visitantes,

pero sí sobre los vehículos: Mientras menos vehículos con motores de combustión funcionen en el recinto, mejor.

f) **Agua bruta de refrigeración.** Evidentemente aquí sólo se puede actuar haciendo máximo el caudal y esto influye por supuesto en el coste de la instalación por lo cual aquí se está



cida fuera del recinto, autoproducción a partir de gas natural y uso múltiple (electricidad, calor y frío) y producción a partir de energía solar.

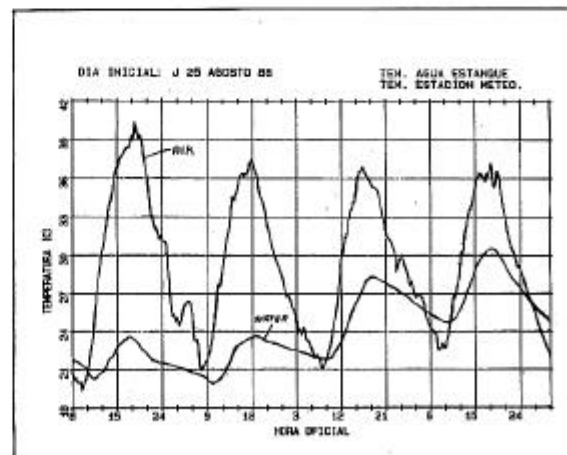
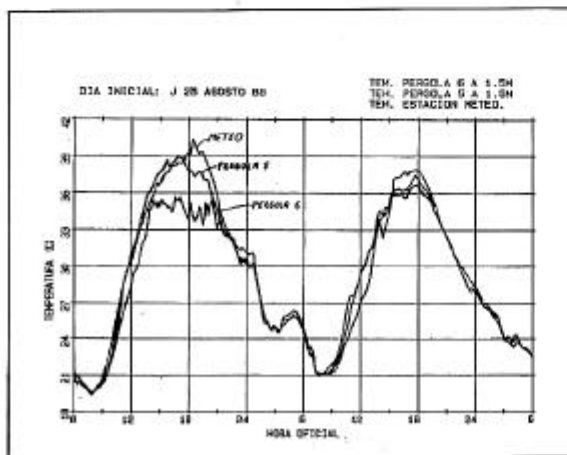
El uso de combustibles fósiles que en este caso parece adecuado limitarlo al gas natural, presupone la optimización de los sistemas de producción y consumo.

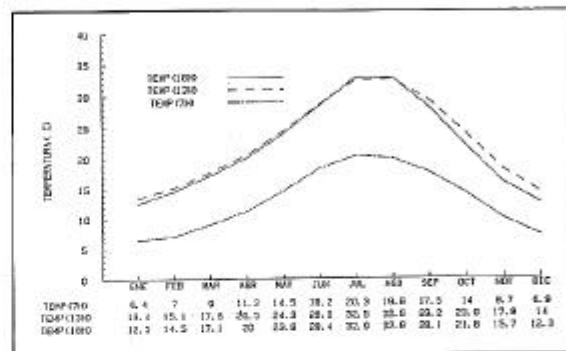
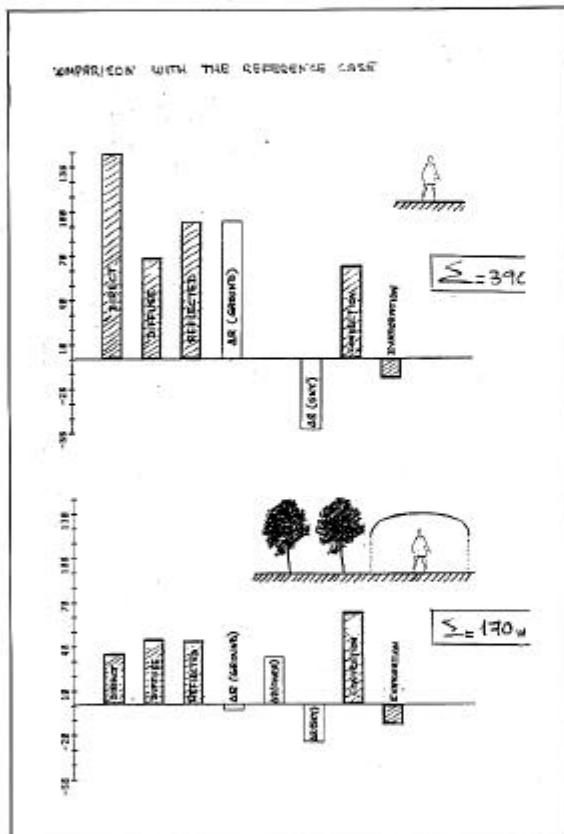
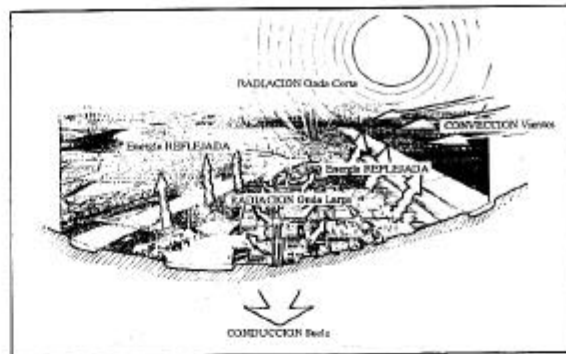
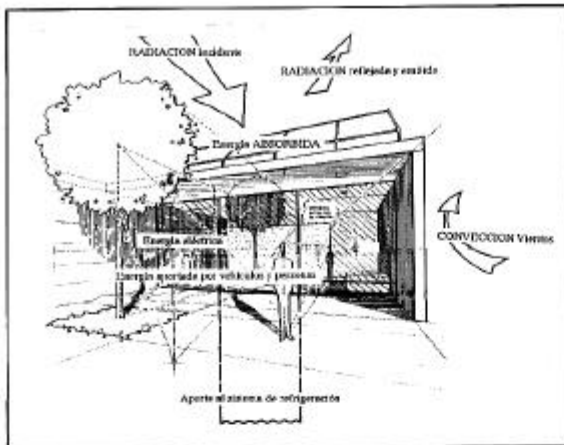
3.B. Pabellones y edificios en general

En el planteamiento general en que nos encontramos, fig. 9 parece evidente que la primera circunstancia a considerar es el utilizar la energía solar incidente para convertirla en energía útil a emplear en el propio edificio con lo cual se puede disminuir sensiblemente el término de aporte exterior (electricidad combustibles fósiles). Desde luego, los criterios de diseño arquitectónico conocidos como arquitectura solar pasiva, bioclimática o natural, pueden y deben ser empleados de manera lo más exhaustiva posibles. Consisten estos métodos, básicamente en el empleo de la radiación solar y el viento (sobre todo) para conseguir, a través de su absorción y/o rechazo, los efectos energéticos que se pretenden, en este caso, fundamentalmente, dismi-

en una situación de lograr un equilibrio entre necesidades y posibilidades.

g) Por lo que respecta a la **electricidad** estamos ante una situación de extremos: el todo eléctrico con aportación exterior y la autosuficiencia empleando los sistemas de producción a partir de energía solar (posible pero costoso) y lo lógico, hoy por hoy sería llegar a situaciones intermedias empleando energía eléctrica produ-





importante aspecto de la climatización de los edificios:

En primer lugar quiero destacar la importancia que tiene el intercambio radiante y, por tanto, el cuidado en el diseño de la "piel" del edificio desde este punto de vista. Está claro cual sería el ideal en nuestra climatología: una piel que minimizara la energía radiante que entra en el edificio y maximizara la que sale en el verano y al revés en las épocas frías. Si no se puede conseguir al 100%, al menos se puede intentar haciéndolo compatible con el diseño arquitectónico.

En segundo lugar hay que considerar el efecto que tiene el situar el aislamiento (tanto a la radiación como a la conducción y la convección) en el exterior o en el interior de la envoltura del edificio. En el primer caso tenemos el máximo con lo cual el diseño y la dimensión de los elementos de climatización varían considerablemente.

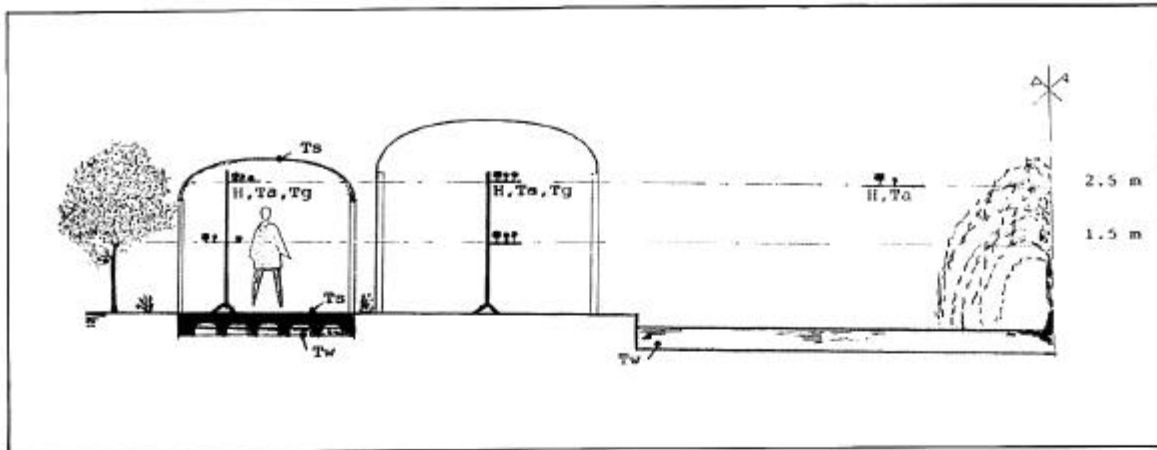
C. Espacios abiertos

De todas formas, donde hay mayor expectación y donde vamos a prestar algo más de atención es en los espacios abiertos donde desde luego el reto es mayor y hay más novedades aunque yo creo sinceramente que en los edificios tampoco se están haciendo las cosas

nir la cantidad de energía adicional necesaria para la climatización del edificio.

La sugerencia más evidente en este punto es pensar (ya lo ha hecho algún país) en un edificio autosuficiente energéticamente y si no del todo, al menos en un porcentaje alto.

Parece conveniente, dada la composición del auditorio (industriales del sector del aislamiento térmico), hacer alguna referencia a este



	Zonas de paso	Zonas de estancia	Zonas adyacente
Dimensión Característica	$3m < L < 8 m$	$20m < L < 40m$	—
Tiempo de Residencia	$t < 15'$	$15' < t < 90'$	—
Grado de Actividad	Ligera	Sedentaria	—
Intensidad Acondicionamiento	Alta	Muy Alta	Media

Tabla 1

todo lo bien que sería de desear dadas las circunstancias; claro que soy comprensivo para el predominio de otros criterios sobre los exclusivamente energéticos en el momento del diseño, aunque estoy convencido que deberían tenerse más en cuenta.

Aquí vamos a ceñirnos a las experiencias que se han realizado en una zona del recinto de la Cartuja como consecuencia de una decisión tomada por los responsables de la Sociedad Estatal. Estas experiencias se han realizado en el contexto de una serie de propuestas, discusiones y tomas de decisiones en las que han participado varias personas y organismos y que han culminado en el diseño y construcción de una zona de experiencias en las caracolas y en el modelizalo, elaboración de programas de simulación, diseño de experiencias y realización de las mismas por grupos sobre todo de la Universidad de Sevilla (Departamento de Ingeniería Energética y Seminario de Arquitectura Bioclimática) con intercambio de opiniones de muchos expertos de dentro y fuera de España. En particular quiero hacer referencia al buen quehacer del grupo del Prof. Velázquez de mi mismo Departamento, que amablemente me

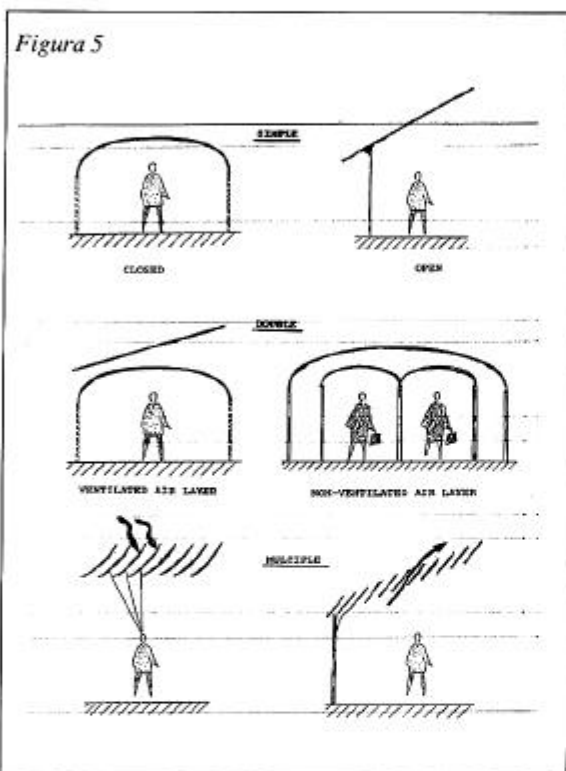
han cedido los resultados obtenidos y que les voy a exponer, con la natural limitación de tiempo de una charla de este tipo.

Para el estudio de los espacios abiertos desde el punto de vista del acondicionamiento se ha hecho un estudio preliminar de los intercambios energéticos de un ser humano tipo y su entorno. Se ha tomado como caso de referencia un espacio no cubierto un día caluroso del verano de Sevilla a las 14 horas. Se han estudiado los intercambios energéticos entre este ser humano y su entorno (figuras 9 y 10).

De acuerdo con las expresiones ya indicadas con anterioridad en el caso general y con la idea básica de disminuir el término dU/dt , se trata por tanto de actuar en:

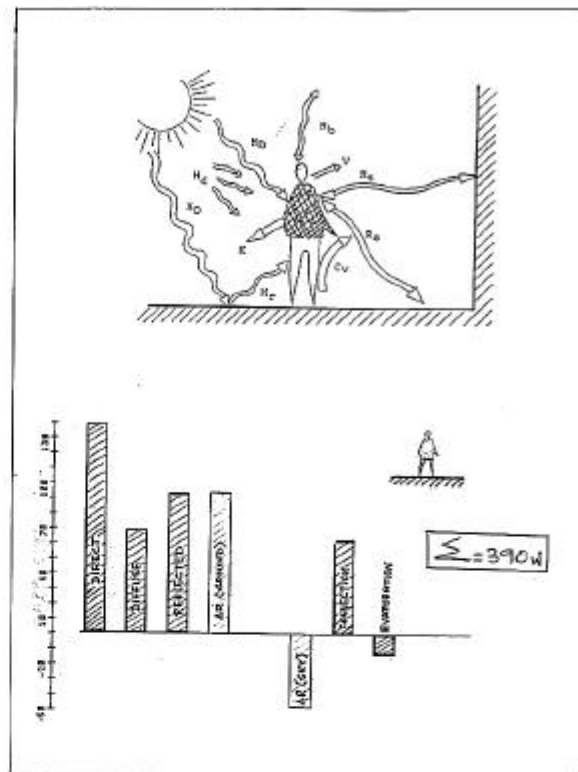
- Reducir la radiación solar incidente (directa y difusa).
- Reducir la radiación reflejada y emitida (IR) de los espacios adyacentes.
- Reducir las ganancias por convección del aire circulante (se supone a mayor temperatura).
- Aumentar las pérdidas por evaporación, reduciendo la humedad del aire circulante y aumentando el movimiento del aire.

Temperatura de pavimento		
Pavimento	Sol	Sombra
Convencional	50° C	35° C
Frío Poroso	32° C	25° C
Frío No Poroso	40° C	28° C



Los valores relativos se pueden observar en la figura 10. No cabe duda que el factor más importante (como era de esperar) es el de la radiación solar incidente por lo que la solución más sencilla y evidente sería cubrir todos los espacios abiertos con un toldo o similar. Es obvio que no se puede hacer por lo que hay que recurrir a soluciones de otro tipo. Se ha pensado metodológicamente en una distribución que puede ser la que se muestra en la fig. 11 con tres zonas diferentes: zonas abiertas, zonas de paso y zonas de estancia, establecidas, como es lógico, en función del grado de utilización del espacio (Tabla 1).

Analicemos brevemente las posibilidades de actuación en cada una de estas zonas:



3.C.1. Zonas abiertas.

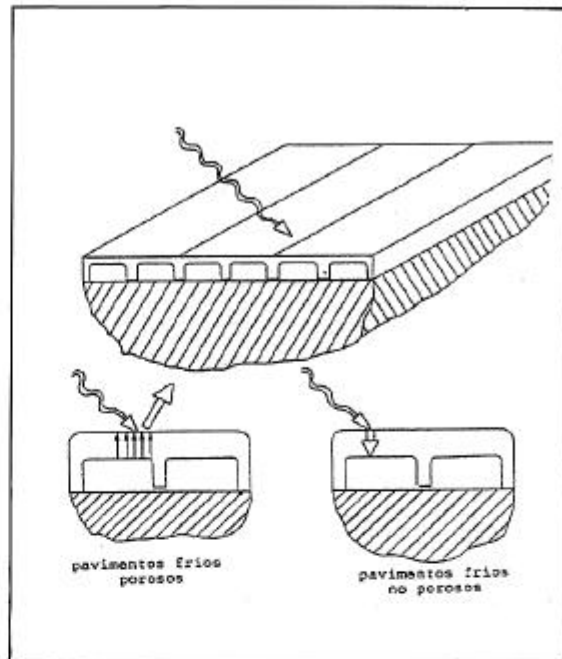
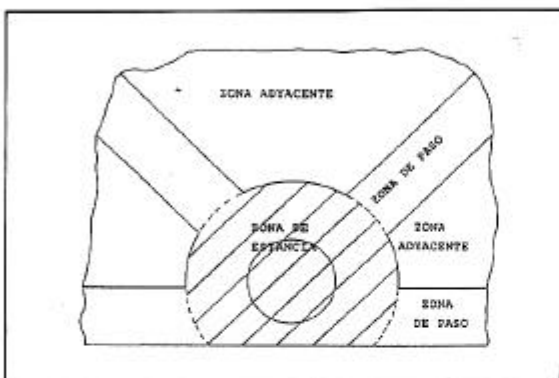
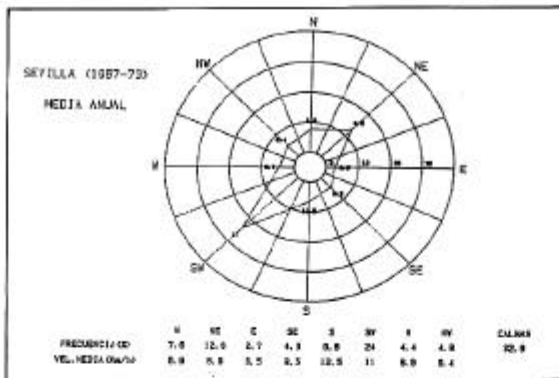
Pensando que en estas zonas no se puede prever una obstrucción completa de la radiación solar (fig. 12), las actuaciones más efectivas, siempre con el mismo objetivo, son:

1. Reducción de la radiación reflejada y si es posible de la directa y difusa.
2. Disminución de la temperatura del suelo para disminuir la radiación infrarroja hacia el individuo.
3. Aumento de la evaporación superficial. Potenciar la convección. Viento.

Como se puede comprobar casi la única actuación posible es sobre el suelo, sobre todo en su configuración material, en base al uso de:

a) Pavimentos convencionales. Se trata de disminuir la radiación absorbida sin aumentar mucho la reflejada. Lo ideal sería un pavimento selectivo. Como no lo hay (o yo no lo conozco) lo que se hace es poner un pavimento de color claro que reduce la temperatura superficial (50° C). (Tabla 2 y Fig. 14).

b) Pavimentos fríos. En estos pavimentos existe una circulación de agua en su interior, a pocos centímetros de la superficie. El comportamiento de los pavimentos fríos depende de la composición del material empleado y del proceso



de fabricación. Se pueden emplear dos tipos diferentes:

– Pavimentos fríos porosos, en los que el agua asciende de forma continua hasta la superficie por capilaridad. La temperatura superficial se controla fundamentalmente por la evaporación del agua en la superficie. Por este motivo, no es crítica la temperatura del agua en estos pavimentos. Se utilizarán en superficies expuestas al sol debido a la gran capacidad de regulación que posee el mecanismo de evaporación.

– Pavimento fríos no porosos, en los que el agua no lleva a la superficie. La temperatura superficial disminuye al aumentar la conducción de calor hacia el interior. Necesitan una temperatura de agua baja durante todo el recorrido, por lo que sólo se utilizarán en combinación con técnicas de sobreamiento.

b) Césped. Aunque el césped puede absorber hasta el 70-80 % de la radiación solar incidente, casi un 70 % de la energía absorbida se utiliza en fenómenos de transpiración, no aumentando por tanto la temperatura superficial. La radiación solar reflejada es el orden del 15%.

El césped por otra parte, retiene el agua procedente del riego durante un cierto período de

tiempo, por lo que la cesión de calor por evaporación incrementa la disminución de la temperatura superficial.

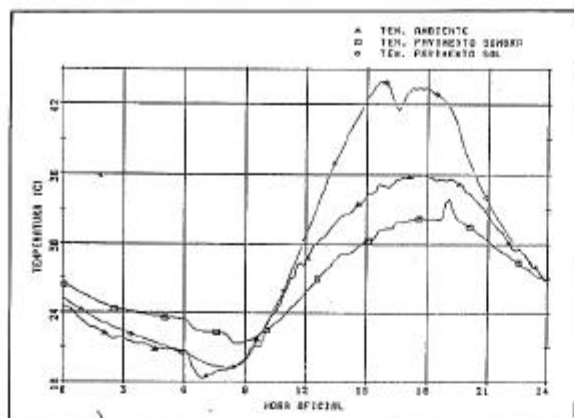
Para el día de referencia, la temperatura del césped puede oscilar entre 33 y 38°C, en función de grado de humedad del mismo y del régimen de vientos.

d) Láminas de agua. Las láminas de agua tienen una reflectividad baja, del orden del 3% en las horas de máxima radiación solar, por lo que la radiación refleja hacia las zonas ocupadas es pequeña.

La radiación solar absorbida es sin embargo importante, pudiendo alcanzar valores del 80% en función del espesor de la lámina de agua y de la reflectividad del fondo. La fuerte absorción solar se compensa con la evaporación en su superficie libre, alcanzando temperaturas inferiores a la del ambiente. El efecto de acumulación de calor en la masa de agua, produce además un desplazamiento de 1 a 2 horas en el máximo de la temperatura ambiente exterior.

La incorporación en la lámina de agua de fuentes, surtidores o cascadas, aumenta las pérdidas por evaporación, produciéndose una reducción adicional de su temperaturas. (Fig. 18).

La lámina de agua alcanza temperaturas de 29°C en las condiciones exteriores correspondientes al día de referencia y de 23°C cuando existen surtidores. En la fig. 18 se representa la evolución de la temperatura ambiente exte-



rior y de la temperatura de la lámina de agua del estanque existente en el recinto de Las Caracolas de la Expo '92, durante cuatro días del mes de agosto de 1988. Sólo durante los dos primeros días estaban en funcionamiento los surtidores del estanque.

La utilización de láminas de agua en las zonas adyacentes presenta ventajas adicionales desde el punto de vista térmico.

3. C. 2. Zonas de paso.

No se plantea el tratamiento directo del aire, por lo que se proponen los siguientes objetivos en el diseño:

1. Disminuir la radiación solar (directa, difusa y reflejada de las zonas adyacentes) sobre el individuo.

2. Disminuir la radiación infrarroja. (IR)

3. Potenciar la evaporación por convección.

Estos objetivos se pueden conseguir, en parte, en base al uso de los siguientes elementos:

a) Cubiertas del espacio. Es el elemento fundamental de una zona de paso, eligiéndose la forma y el tipo de cubierta en función de criterios de diversa naturaleza que el diseñador debe valorar. En la fig. 15 se muestran algunos ejemplos.

En general, se puede decir que las cubiertas vegetales son las que presentan un mejor comportamiento desde el punto de vista térmico, sobre todo porque la alta absorción no se traduce en un aumento de temperatura.

b) Enfriamiento más bien en el sentido de no calentamiento de las superficies circundantes (cubierta, suelo y márgenes). Naturalmente a mayor temperatura de estos elementos mayor flujo de calor (radiante y por convección sobre todo) hacia las personas ubicadas en el lugar. Por tanto interesa emplear materiales que no se calienten para la cubierta, pavimentos fríos para el suelo y césped o pavimentos convencionales para los márgenes.

c) Corrientes de aire lo más seco y frío posible. Se trata de potenciar que circule el aire por las zonas de paso con el menor número de obstáculos posibles. Teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos, resulta obvio el criterio de diseño desde este punto de vista.

En las zona de oficinas del recinto, se hicieron una serie de experiencias y medidas en pérgolas con cubiertas y suelos de distintos tipos (fig. 16) y se obtuvieron resultados del tipo de los que se indican en las figuras 17 y 18.

El resumen a nivel de cálculo para una zona de paso en el caso de referencia desde un punto de vista energético es el representado en la fig. 19.

3. C. 3. Zonas de estancia.

Aquí se puede pensar en algunas actuaciones de carácter híbrido "activo-pasivo" que presentan un interés especial y que han sido implementadas y ensayadas este verano de 1989 en la "rotonda bioclimática" instalada en la zona de caracolas del recinto de la Expo.

La tabla y las figuras que siguen están extraídas del trabajo "Workshop Interaction between Physics and Architecture in Environment Conscious Design" del Prof. Servando Alvarez Domínguez, del Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos de la E. T. S. I. de Sevilla; y a él remito a las personas interesadas en profundizar en los detalles de las experiencias en la rotonda bioclimática.

En cuanto al diseño arquitectónico de la rotonda bioclimática se debe al Prof. Jaime López de Asiaín del Seminario de Arquitectura Bioclimática de la Universidad de Sevilla.

El resumen de los intercambios energéticos en una zona de estancia se presenta en la fig. 19.