NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL

Distr.
LIMITADA
E/CEPAL/MEX/1982/L.2
29 de enero de 1982

ORIGINAL: ESPAÑOL

ECODISEÑO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS EN ZONAS CALIDAS

Trabajo preparado por el señor Fernando Tudela, experto del CNUAH, destacado en la subsede de la CEPAL en México. Las opiniones expresadas en este documento son de la exclusiva responsabilidad del autor.

82-2-59

INDICE

/IV. VENTILACION

Página

/PRESENTACION

PRESENTACION

Este trabajo está estrechamente vinculado con el documento titulado "Bioclima y confort térmico" (E/CEPAL/MEX/1982/L.3) del cual constituye, en cierta forma, una continuación.

El presente documento ha sido preparado también por el señor Fernando Tudela, quién fue contratado por el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (CNUAH) con el fin de elaborar, en cooperación con la CEPAL, un estudio sobre tecnologías apropiadas para los asentamientos precarios y rurales. El señor Tudela contó con el apoyo de la Unidad Xochimilco de la Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F., que se concretó en la colaboración aportada por el señor Pablo Quintero para la elaboración del capítulo dedicado a los procesos de ventilación/aireación, y en el trabajo gráfico realizado por los señores David Duhne y Luis Patiño, alumnos de la mencionada universidad.

/INTRODUCCION

INTRODUCCION

En su acepción más general, el "ecodiseño" se refiere al proceso de diseño que se desarrolla con la naturaleza y no contra o al margen de ella. En este trabajo el concepto adquiere un sentido más restringido al aludir específicamente al diseño de asentamientos en función de las variables climáticas. El ecodiseño se interpreta pues aquí básicamente como "diseño bioclimático", "climatización natural de la arquitectura".

Como señalaba S. Los 1/, nada hay más artificial que la climatización natural, surgida históricamente de la crisis de las formas anteriormente vigentes de relacionarse con el medio ambiente. La crisis general, determinada por la disfuncionalidad del entorno construido, y por el carácter predatorio y despilfarrador de los procesos de construcción, se vio considerablemente agravada por la crisis específica del suministro energético.

Las prácticas profesionales dominantes en el ámbito del diseño incorporaban unas formaciones ideológicas particularmente disfuncionales desde el punto de vista bioclimático. Sus características negativas se acentuaban cuando dichas prácticas, generadas en países industrializados de clima templado, se implantaban indiscriminadamente en contextos regionales en desarrollo, y en condiciones climáticas cálidas.

Las corrientes dominantes en el diseño asumen todavía hoy tendencias que el bioclimatismo pretende contrarrestrar, como son las de aislar el entorno construido de su contexto ambiental inmediato, ignorar las condiciones locales, confiar la habitabilidad al buen funcionamiento de complejos sistemas mecánicos y exluir toda posibilidad de intervención del usuario en el proceso de control de las condiciones ambientales locales.

El bioclimatismo entronca con una tradición de diseño vernáculo que a través de larguísimos procesos adaptativos había logrado mejores ajustes entre el entorno construido y el medio ambiente. Sin embargo, entre la arquitectura folklórica, tradicional, desprofesionalizada y el bioclimatismo, se presenta una marcada solución de continuidad. El ecodiseño no puede hoy confiar en la eficacia de los lentos procesos empíricos y necesita basarse en un sólido acervo de conocimientos científicos.

En los países industrializados, la "arquitectura bioclimática" ha sido víctima a veces de una notoria desviación, constituyéndose en una poderosa "moda" cultural, en la que los valores estéticos asumidos se han sobrepuesto a los planteamientos que confirieron inicialmente

1/ S. Los, "Le climatizzazione naturale nell'architectura", Edilizia e risparmio energetico, Casabella No. 461, septiembre de 1980.

/racionalidad

racionalidad al movimiento. El bioclimatismo pasa así a ser un "estilo" que viene a suceder al "estilo internacional" derivado del movimiento moderno y que en el plano estrictamente ideológico implica una respuesta al desgaste cultural de las imágenes del racionalismo. En este trabajo se asume que la racionalidad bioclimática y la racionalidad ideológica, simbólica, cultural de los procesos de prefiguración, son diferentes y no tienen por qué confundirse a priori.

Parece hoy más sano descender del carro de la moda, renunciar a la "arquitectura bioclimatica" y concebir las consideraciones bioclimáticas como un conjunto más de apoyos técnicos cuya relevancia será necesario discutir en cada caso concreto.

El presente trabajo pretende concentrarse en la difusión de los principios básicos generales, renunciando a suministrar recetas operativas o a inundar el texto de imágenes-modelo que cualquier diseñador pueda imitar. El tema de la articulación de la determinación bioclimática respecto del conjunto de las demás determinaciones posibles del diseño corresponde a una teoría general del diseño de asentamientos y desborda los objetivos específicos de este trabajo. Se puede precisar, sin embargo, que las consideraciones que aquí se plantean sobre los aspectos bioclimáticos del diseño no tienen por qué resultar en detrimento del estudio de las determinaciones más "ideológicas" o menos técnicas de esta actividad. Construir es un proceso que involucra una gran parte de las componentes de una cultura. No tendría sentido pretender minimizar ni mucho menos desplazar a priori otras dimensiones culturales del diseño. Ninguna conceptualización global del diseño puede por ejemplo prescindir de la dimensión significativa, ideológica, que, al margen de los contenidos de conciencia del diseñador, intervienen para definir la forma, es decir la estructuración concreta, de todo objeto de una cultura material. Las consideraciones estrictamente técnicas tan sólo limitan su campo de variación, que resultará mayor o menor, pero nunca determinan mecánicamente la forma del producto final.

El interés por los aspectos bioclimáticos tampoco implica forzosamente un compromiso con alguna forma concreta de conducir el proceso de diseño con alguna metodología. Sobre esta base se puede deslindar este trabajo respecto de aquellos producidos sobre todo en el decenio de 1960, que pretendían basar una "metodología formal" de diseño en el desarrollo de las ciencias ambientales, en la mejor tradición de la "Nueva Objetividad" racionalista.

Los alcances del trabajo quedan mejor delimitados precisando que sus objetivos se han centrado en los enfoques pasivos, cuyos beneficios derivan sobre todo del software que implica la actividad misma del diseño. Existe ya en el mercado un enorme surtido de textos que presentan los conocimientos relacionados con los sistemas mecánicos de ventilación, aire acondicionado y otros, incluyendo toda la gama de tecnologías activas basadas en el aprovechamiento de la energía solar.

/El texto

El texto se articula en cuatro capítulos. El primero aborda el tema general del diseño de los asentamientos en función de las determinaciones bioclimáticas. El segundo se centra en el análisis de los procesos térmicos generales que se desarrollan como resultado de la interacción entre el medio ambiente y el entorno construido. El tercero presenta algunas consideraciones técnicas relativas al control de la radiación térmica, y el último desarrolla algunos conocimientos acerca de los procesos de aireación y ventilación, que pueden resultar de utilidad durante el proceso de diseño.

Para aludir a las magnitudes de índole física se ha adoptado en el texto el Sistema Internacional (métrico), con el fin de evitar las jergas particulares, tratar de vincular el lenguaje técnico con el de la ciencia en general, y utilizar las enormes ventajas que presenta la universalidad que ha adquirido el sistema citado.

/I. DISEÑO

I. DISEÑO BIOCLIMATICO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

1. Bioclimatismo, diseño y sociedad

La consideración bioclimática no constituye hoy un simple aspecto técnico que sirva de apoyo a una práctica de diseño estable e incuestionada. Precisamente, la estabilidad institucional y la operatividad de las prácticas de los diseños son las que se encuentran en crisis en la actualidad. Carecería pues por completo de sentido equiparar la consideración bioclimática a un surtido de recetas operativas que pretendieran traducir en términos de diseño unos requerimientos universales de confort. Toda operatividad inmediata, no sometida a un control crítico, resultaría ilusoria si se pierde de vista la urgente necesidad de comprender los procesos históricos globales y sus profundas transformaciones contemporáneas, porque son precisamente esos procesos los que confieren sentido a las distintas prácticas de diseño y a sus posibles apoyos instrumentales. El bioclimatismo, como apoyo técnico, tendrá un sentido bastante distinto en un contexto de aplicación que se centre en el diseño habitacional propio de países industrializados, en zona templada, con problemas de ahorro energético que el que presente, por ejemplo, en el ámbito de los países en desarrollo tropicales y petroleros. Desde luego, existirán siempre principios científicos generales, cuya validez presentará rasgos de universalidad. Sobre estos principios se centrarán, sobre todo, los contenidos de los capítulos siguientes. Pero en todo caso, se necesitará matizar con un fuerte relativismo histórico el concepto mismo de "diseño", como proceso en cuyo desarrollo se pueden aplicar los conocimientos instrumentales derivados de aquellos principios. El "diseño" no podrá ya considerarse como una actividad total y universal que, supuestamente, se desarrollaría en forma estructuralmente estable en una amplísima gama de contextos y escalas de intervención. Se necesitará acotar en forma más precisa el contenido del concepto de "diseño", entendido como proceso que determina la configuración global y específica de un conjunto objetal. Resulta imprescindible entonces comprender el carácter heterogéneo, jerarquizado, histórico, de los diferentes niveles que se ocultan tras la apariencia unitaria de la abstracción conceptual. En este sentido presentará especial utilidad la diferenciación entre dos sistemas de "diseño" que operan en la misma formación social y a la misma escala socio-territorial (la de los asentamientos humanos): la determinación formal de los asentamientos "espontáneos" y la de los asentamientos "controlados". Es fácil comprender que, si bien todo asentamiento urbano o rural se estructura según un conjunto genérico de determinaciones socio-ambientales, la configuración concreta de un asentamiento precario no se rige hoy por las mismas reglas, ni obedece a los mismos factores, ni se puede evaluar según los mismos parámetros que la de un fraccionamiento especulativo. No se trata tan sólo de que ambos casos difieran en su forma física o en su funcionamiento social; lo fundamental es comprender que se insertan en sistemas distintos, que coexisten e incluso se explican mutuamente, sin perder por ello una relativa especificidad propia. El análisis conjunto de ambos sistemas--caracterizados generalmente en términos de la dualidad "sector informal/sector formal"--y de las

/prácticas

prácticas que cada uno de ellos determina, permite cuestionar la genericidad de expresiones tales como "la comunidad", "la ciudad", "el diseño de los asentamientos humanos", etc., que de hecho encubren la heterogeneidad de la realidad concreta. En los procesos de asentamiento del sector formal se detectan prácticas altamente institucionalizadas que responden a una marcada división del trabajo y sustentan formaciones ideológicas con función dominante, perfectamente estructuradas, conservadas, transmitidas y difundidas por medio de instituciones y aparatos de Estado. Este es el medio en el que se suelen desenvolver las prácticas profesionales. En el sector informal se localizan prácticas sociales asumidas de facto, poco o nada institucionalizadas en el nivel cultural, pero de ninguna manera aleatorias. El sector formal determina directamente una parte cuantitativamente minoritaria del conjunto de los asentamientos humanos,1/ pero su importancia cualitativa es enorme en función de la dominación que ejerce sobre los demás sectores. Las ideologías dominantes en el ámbito del diseño de los asentamientos humanos desbordan el marco del sector formal y se manifiestan, en forma a veces desfasada y distorsionada, aun en las prácticas menos institucionalizadas y normadas.

La ya subrayada heterogeneidad de las prácticas sociales es detectable no sólo sincrónicamente, es decir, en la situación social tal como se manifiesta en un momento dado, sino también en su devenir histórico. Con frecuencia la noción de estabilidad y permanencia de una práctica concreta se revela como un mero efecto ideológico que encubre una profunda transformación real, relacionada con la constante reestructuración de la división social del trabajo.

En función de cuanto se ha expuesto, los parámetros para referirse al diseño de los asentamientos humanos no podrán ser estables ni universales; tendrán que adecuarse a la realidad social concreta, a la vez estructurada y cambiante.

2. Las determinaciones de los diseños

Una vez establecida la necesidad de situar en su complejidad real la múltiple problemática de los diseños de los asentamientos humanos es posible reubicar la consideración bioclimática en el marco de las dimensiones de análisis de los asentamientos. Es evidente que los asentamientos no surgen mecánicamente como simples factores de mediación climática, especialmente en las zonas templadas y cálidas. Sobran ejemplos, extraídos de los más variados contextos históricos y antropológicos, de asentamientos cuya configuración parece contradecir abiertamente las condiciones bioclimáticas naturales. Incluso en el ámbito de la llamada "arquitectura popular" o folklórica, evolucionada por lenta interacción con un entorno físico estable, es posible, como lo hace Rapoport (1969), detectar casos de flagrante disfuncionalidad climática. La estructuración de los asentamientos parece obedecer a un conjunto variable de determinaciones múltiples, entre las cuales figuran desde luego las de índole bioclimática. A riesgo de escindir

1/ En América Latina se estima que el sector formal no produce hoy más del 40% del conjunto de las viviendas que se construyen.

/analíticamente

analíticamente dimensiones que en la realidad se encuentran íntimamente vinculadas, es factible distinguir los siguientes aspectos funcionales, presentes en todo entorno artificial humano.

a) Delimitación de espacios

En su concreción física, todo entorno artificial delimita, cualifica, jerarquiza un sistema espacial al que se adaptan las actividades humanas. La delimitación de espacios no es de índole exclusivamente físico-geométrica: el factor simbólico que se menciona más adelante opera también en casi todos los casos. Las condicionantes culturales tanto como las estrictamente perceptuales determinan en cada caso el modo de la delimitación espacial.

b) Valor del entorno como producto económico

El proceso de construcción, transformación y mantenimiento de los asentamientos incorpora gran cantidad de trabajo por parte de los individuos socialmente organizados que en él intervienen. Surge así un valor económico inherente a los asentamientos, que se puede manifestar bajo la forma, más o menos distorsionada, del sistema de precios.

c) Dimensión simbólica del entorno físico

Los elementos de todo asentamiento se distinguen y adquieren significación por hallarse inmersos en un proceso ideológico-cultural que determina la conciencia individual de cada uno de los usuarios. El valor simbólico de cada elemento es un hecho social que sólo puede explicarse en función de la organización cultural global, en continuo proceso de desarrollo y cambio.

d) Mediación bioclimática del entorno construido

El entorno construido implica, en su concreción física, una transformación de las condiciones bioclimáticas originarias; actúa como un "filtro" ambiental cuya acción determina un complejo sistema de meso y microclimas.

Frente a los distintos sistemas y niveles de diseño a los que se aludía anteriormente, cada una de estas dimensiones de análisis puede adquirir diferente pertinencia y ponderación. En las prácticas sociales de diseño con función dominante, la dimensión simbólica del entorno ha ejercido un papel preponderante en la determinación de la forma de los asentamientos. Esto no constituye en forma alguna un hecho nuevo: ya en las primeras civilizaciones aparecidas cobraba una importancia de primer orden el factor mítico-simbólico, sin el cual no pueden explicarse los procesos de prefiguración vinculados a las clases dominantes.

/El interés

El interés consciente por la dimensión bioclimática es, en cambio, un hecho emergente incipiente vinculado a una situación de crisis y de transformación del mundo contemporáneo.

Este nuevo interés no tiene por qué resultar excluyente, ni redundar en perjuicio de las demás dimensiones funcionales. Surge precisamente de una toma de conciencia del carácter total del entorno humano, y de la necesidad de ejercer un mejor control colectivo sobre todas sus variables.

En la primera fase de su desarrollo, lo que se pudiera caracterizar como "diseño bioclimáticamente consciente" parece toparse con una serie de trabas históricas, muchas de ellas de índole ideológica.

3. Hacia una transformación de la práctica del diseño

La transformación de la práctica dominante del diseño no depende de un gesto voluntarista de los diseñadores mismos. Su posibilidad está vinculada a una serie de cambios objetivos, internos y externos. La práctica del diseño se transformará en la medida en que lo haga su marco social de referencia.

La superación de la marginación que padecen grandes sectores de la población, la correlativa participación popular en la toma de las decisiones que afectan las condiciones de vida, la rotura de la estratificación social que determina sistemas que hoy funcionan casi como compartimentos estancos, aunque absolutamente interdependientes, determinarán sin duda un replanteamiento de los objetivos del diseño profesional. Los diseñadores, inmersos hoy en una práctica globalmente alienada, con frecuencia acostumbrados a resolver problemas ficticios o limitados, propios de un reducidísimo sector social, tendrán que hacer frente a un reto de proporciones inusitadas. El reciclaje de los recursos humanos adquirirá entonces la prioridad histórica que le corresponde.

La explicitación y crítica racional de las prácticas ideológicas establecidas constituirá un primer paso necesario para la puesta en marcha del proceso de reinserción de los diseños en los objetivos del desarrollo. Se podrán entonces comprender las implicaciones tanto sociales como ambientales de las tendencias establecidas de diseño, probablemente inviables en el nuevo contexto. Se estará entonces en condiciones de ampliar la escala de intervención, superando la atomización del marco de acción tradicional para abordar en su totalidad la dimensión ambiental y específicamente urbana, hoy inmanejable a partir de intervenciones puntuales e independientes. Se superará todo fetichismo al no considerar el entorno como un simple inventario de objetos físicos mercantilizables, como una mera colección de soportes materiales, sino como parte integrante de las relaciones sociales, sometida en igual medida que las instituciones al proceso de cambio histórico. El entorno construido

/asumirá

asumirá plenamente su papel en la organización cultural de la formación social. La ampliación de la conciencia bioclimática en el diseño sólo adquiere su pleno sentido en el contexto de esta transformación total, tan necesaria como inevitable.

4. La crisis y las salidas

Comienza a difundirse en la actualidad la conciencia de que los modelos de desarrollo vigentes, concretamente en la vertiente que corresponde a los asentamientos humanos, presentan rasgos de fuerte irracionalidad y resultan a largo plazo inviables. La crisis energética mundial constituye un factor que parece acelerar el deterioro de estos modelos. La realidad de la crisis provoca la necesidad de un profundo reajuste sectorial, de orden más bien tecnológico, pero que pudiera servir de catalizador para el replanteamiento de las bases sobre las que se pueda establecer el mundo contemporáneo.

La crisis energética, crónica e insoluble a partir de las premisas actuales, constituye la ocasión ideal para replantear las relaciones internacionales, 2/ las intranacionales las interpersonales y las relaciones de los hombres con su medio ambiente. Lejos de constituir una tragedia, dicha crisis podrá ser bienvenida en la medida en que haga que unas sociedades humanas cada vez más acostumbradas a la ficción retomen contacto con la realidad.

En el marco de esta crisis, la conciencia bioclimática del diseño juega un papel parcial, pero nada despreciable. Se intuye hoy que, con excepciones que confirman la regla, las obras que los profesionistas admiraban en los textos clásicos de historia de la arquitectura contemporánea representan una especie en vías de extinción, condenada a desaparecer por incapacidad para adaptarse, especialmente en el terreno bioclimático, al nuevo contexto. Dejarán a corto plazo de funcionar como modelos indiscutibles para la práctica del diseño profesional y comenzarán a operar como brillantes piezas de un museo al aire libre.

No se trata de que el patrón arquitectónico establecido de relación con el medio ambiente, derivado del Movimiento Moderno, cada vez más ajeno a las condiciones locales y más dependiente de complejos y costosos sistemas de instalaciones consumidoras de energía, resulte deseable pero inasequible por costoso: se va abriendo camino la idea de que en el fondo ni siquiera es deseable, en tanto que irracional. El diseño de los asentamientos no posee desde luego la exclusiva de la crisis: se puede citar el ejemplo, paralelo, del sector salud, donde sin renunciar al progreso científico, se comienza a cuestionar la validez social de las gigantescas máquinas hospitalarias de curar, cada vez más dependientes de un equipo sofisticado e inalcanzable, cada vez más yatrogénicas.

2/ En ese sentido se postula en los foros internacionales un Nuevo Orden Económico Internacional, que salde la etapa histórica neocolonial, y que probablemente deba correlacionarse con un Nuevo Orden Ideológico Internacional.

/El diseño

El diseño bioclimáticamente consciente no se limitará, pues, a un surtido de trucos para ahorrar en la cuenta de la energía; probablemente ni siquiera resulta compatible con los modelos urbanos existentes. Implica una nueva actitud que se abre camino lentamente, y que no se debe confundir con las asunciones implícitas en algunas tendencias en boga, surgidas también en época reciente como las de la "casa autónoma","la tecnología intermedia", la vuelta romántica a la arquitectura folklórica, entre otros planteamientos de dudosos alcances.

La "casa autónoma" parece constituir el sueño de la clásica pequeña burguesía anarquizante: el individuo aislado en su "hogar" que rompe todo lazo de dependencia con cualquier instancia social, genera en forma privada su energía, recicla sus desechos, produce su sustento. Robinson Crusoe redivivo. Encanto de un Edén que se rompería con cualquier sistema racional de solución colectiva de las necesidades básicas.

El movimiento de "la tecnología intermedia", en sus aspectos más negativos, recoge la tradición reaccionaria de la lucha contra toda industrialización, supuesta fuente de todos los males. Renuncia así a todos los progresos que los procesos industriales, debidamente controlados por la participación colectiva, puedan aportar.

La vuelta romántica al folklorismo representa la variante estética de la misma actitud criticada, que pretende hacer frente a la crisis tratando vanamente de hacer dar marcha atrás a la historia. Incluso lo que se viene denominando "arquitectura pasiva" no deja de presentar una connotación regresiva, en la medida en que parece propiciar una actitud de adaptación, en el peor de los casos, con ribetes místicos a la naturaleza "virgen", excluyendo la abierta y consciente transformación de la misma por mano del hombre.

El diseño bioclimático no va a renunciar a nada a priori, ni a las formas más elaboradas de cooperación y participación social, ni a las modalidades más industrializadas e incluso sofisticadas de producción, ni a las posibilidades de intervención a gran escala en los factores geográficos. Las únicas limitaciones serán las que imponga la realidad natural y social y el ejercicio olvidado de la imaginación humana. No quiere decir ello que cualquier tecnología, cualquier diseño, sea en principio válido. Al respecto cabe señalar que una de las guías más prometedoras para el ejercicio de esta nueva libertad que se está por conquistar, pudiera encontrarse en el concepto, cada vez más difundido en los foros internacionales, de "tecnología apropiada", entendido como el conjunto de técnicas que en cada momento histórico y para cada formación social presente un balance más favorable en el proceso de evaluación de sus implicaciones sociales y ambientales. La consideración bioclimática se inserta plenamente en esta preocupación por la selección de tecnologías apropiadas.

/5. Estrategias

5. Estrategias globales de diseño bioclimático

Los datos macroclimáticos disponibles al inicio de una acción de diseño de cierta envergadura constituyen un simple punto de partida para entablar con la naturaleza negociaciones regidas por una relación de fuerzas que depende, por una parte, del tipo de clima local y por otra, de la cualidad y cantidad de los medios de intervención. Las posibilidades, efectivas y económicas, de intervención en el orden mesoclimático suelen ser numerosas cuando la ubicación del asentamiento constituye una variable a manejar dentro de un margen señalado por los objetivos de planificación. Una vez fijada la ubicación, es posible todavía plantear una intervención ecotérmica a gran escala, especialmente mediante el manejo del factor vegetación. La última posibilidad de modificación global mesoclimática radica, en el caso de los asentamientos urbanos, en la selección de una tipología edilicia adecuada.

a) Modelos tipológicos/morfológicos urbanos

El impresionante crecimiento del proceso de urbanización contemporáneo, especialmente notorio en América Latina, obliga a dedicar una atención preponderante a los asentamientos urbanos. La mencionada necesidad de ampliar la escala de intervención del diseño hace cobrar nueva importancia al análisis de la forma urbana y de sus repercusiones mesoclimáticas, como paso previo a toda consideración de intervención puntual. El renovado interés por la forma urbana no se limita al campo de la apariencia visual, externa, de los elementos urbanos; abarca el ámbito global de su estructuración y se centra, muy concretamente, en la compleja y variable relación entre la tipología edilicia y la correlativa morfología urbana. Un primer análisis de la configuración estructural de los tejidos urbanos existentes conduce a la identificación de algunos tipos urbanos históricos fundamentales, en los cuales puede concretarse el comportamiento mesoclimático descrito anteriormente en su generalidad. Con frecuencia, especialmente en las grandes metrópolis, el tejido urbano es heterogéneo, está compuesto por sectores que obedecen a diferentes tipologías y que se han ido agregando en las distintas etapas del proceso histórico de desarrollo de la urbe.

Entre los tipos más difundidos y más sólidamente establecidos en el ámbito cultural, cabe mencionar los siguientes:

i) La ciudad colonial típica latinoamericana. La forma preponderante, aunque no exclusiva, de los asentamientos coloniales españoles en América se basa en el clásico damero generado a partir de una plaza central. Este principio urbanístico, heredado de la planificación militar y aplicado en forma habitual e indiscriminada a lo largo y a lo ancho de los múltiples territorios que estuvieron sometidos a la corona española, ha determinado la homogeneidad estructural y el innegable parentesco que se puede apreciar al comparar la mayoría de los sectores centrales de las

/ciudades

ciudades latinoamericanas de origen colonial. El principio en cuestión aparece sancionado y explicitado en forma sistemática en las ordenanzas de 1573 ("Provisión en que se declara la orden que se ha de tener en las Indias, en nuevos descubrimientos y poblaciones que en ella se hicieren"), inspiradas directamente del texto clásico de Vitrubio que Felipe II conocía de primera mano por la traducción manuscrita que le presentó en 1565 F. Villalpando.

Tanto el texto antiguo de Vitrubio como las ordenanzas de 1573, así como otras disposiciones similares, manifestaban una profunda, aunque ingenua, preocupación bioclimática que se revela en el cuidado con que instruyen acerca de la ubicación y diseño de los asentamientos. La normativa colonial, no siempre respetada por otra parte, prescribía, por ejemplo, soportales en la plaza central y sugería que fueran las calles amplias, en los lugares fríos y, al contrario, estrechas, en las zonas cálidas. (Véase la figura I-1.) Las variables consecuencias mesoclimáticas del trazado típico colonial latinoamericano no han recibido hasta hoy mucha atención por parte de los investigadores.

ii) La ciudad "clásica" europea. Se alude con esta designación a la trama urbana generada principalmente durante el período de ascenso y consolidación de la burguesía industrial europea. Este tipo, caracterizado sobre todo por su compacidad habitacional, y del cual existen también abundantes ejemplos en América, suele asociarse con un mesoclima seco en función de su escasa capacidad de filtración y posterior evapotranspiración de la precipitación incidente. Sus espacios públicos presentan generalmente microclimas que se distinguen por la reducida magnitud tanto de la insolación recibida como del movimiento del aire, en comparación con los espacios del entorno natural circundante. No son despreciables, sin embargo, las microbrisas nocturnas, características de la ciudad clásica europea. La gran inercia térmica de la ciudad clásica reduce en gran medida la oscilación diurna de temperaturas, lo cual puede redundar favorablemente en el bienestar de sus habitantes. En su conjunto, este tipo funciona, sin embargo, como una especie de "anti-oasis", en el que apenas influyen, desde el punto de vista ecotérmico global, los pequeños parques que suelen insertarse en su tejido urbano.

iii) La ciudad-jardín. Gestada teóricamente en el medio intelectual de los reformistas sociales ingleses de finales del siglo pasado, la ciudad-jardín, frente a la ciudad clásica europea, se presentó como una alternativa que trataba de conjugar las ventajas del campo y de la ciudad. En su aspecto físico, la ciudad-jardín consiste en una trama habitacional dispersa, de baja densidad de población y que trata de incorporar en forma homogénea la vegetación a su tejido.

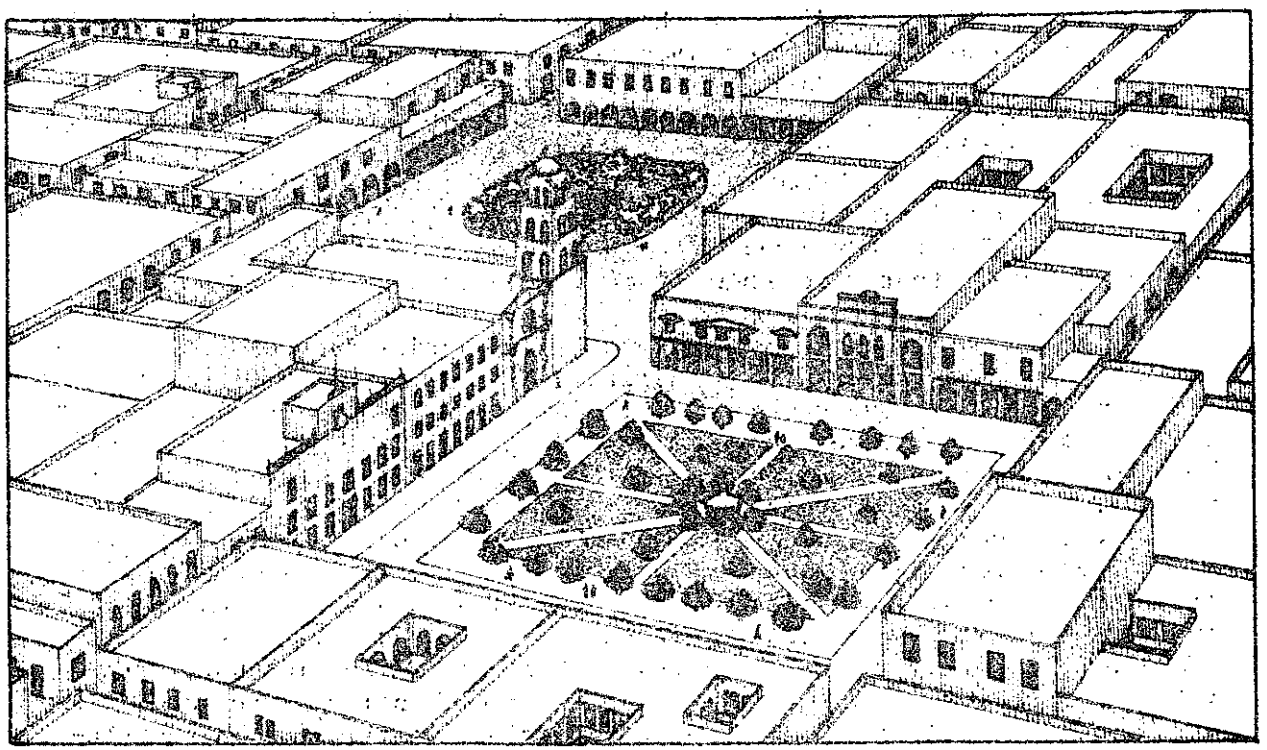
El modelo de la ciudad-jardín sirvió de pauta para la ampliación suburbial moderna de un gran número de ciudades en todos los continentes.

/Figura I-1

Figura I-1

LA CIUDAD COLONIAL LATINOAMERICANA

(León, Guanajuato, México; finales siglo XIX)



/De hecho

De hecho, los asentamientos espontáneos irregulares que hoy dan albergue al campesinado expulsado del campo representan una versión "pobre" de la morfología de la ciudad-jardín. Desde el punto de vista ecotérmico, el mesoclima de la ciudad-jardín se aparta menos del de la ciudad clásica de lo que sus propugnadores se imaginaban. El hecho de que las edificaciones de la ciudad-jardín estén más distanciadas y más rodeadas en principio de verdor presenta,en el orden biotérmico,ventajas (mejor dispersión infrarroja, mejor convección húmeda, mejor ventilación) y desventajas (mayor insolación, mayor humedad ambiente, posibles inversiones térmicas nocturnas), pero no implica una transformación radical del mesoclima urbano. La disposición dispersa propia de este tipo urbano determina un costo más elevado de los servicios y un mayor consumo energético.

iv) La "ciudad radiante". El modelo de la "ciudad radiante", propuesto por Le Corbusier y propiciado por documentos de amplia difusión internacional, como la "Carta de Atenas", representó el intento más acabado de replanteamiento del hecho urbano por parte de las sociedades capitalistas avanzadas, lo cual no impidió que fuera acogido favorablemente por las sociedades que pretenden la construcción de un socialismo. En el plano habitacional, la ciudad radiante propugna la disposición de núcleos de edificios de gran altura y densidad, salpicados en forma dispersa de un entorno que se intenta preservar al máximo en su estado "natural".

Dejando aparte sus consecuencias en otro orden de hechos (como, por ejemplo, el cambio en el patrón cultural que implica la destrucción de la vida urbana tal como se venía concibiendo), la ciudad radiante tiene notorias implicaciones ecotérmicas. Si bien no excluye la preocupación por la adaptación bioclimática de cada edificio aislado, la ciudad radiante renuncia de hecho a controlar los aspectos más desfavorables del mesoclima de la zona en la cual se ubica. Los espacios exteriores, tan cuidadosamente preservados, quedan expuestos a todas las inclemencias del clima local, agravadas a menudo por la turbulencia del aire generada por la propia disposición de los edificios. "Salir a la calle", en la ciudad radiante, es una experiencia que casi carece de sentido por partida doble: en primer lugar porque "la calle" tradicional en este modelo urbano dejó de existir, y también porque los espacios abiertos que la sustituyen pueden resultar particularmente inhóspitos.

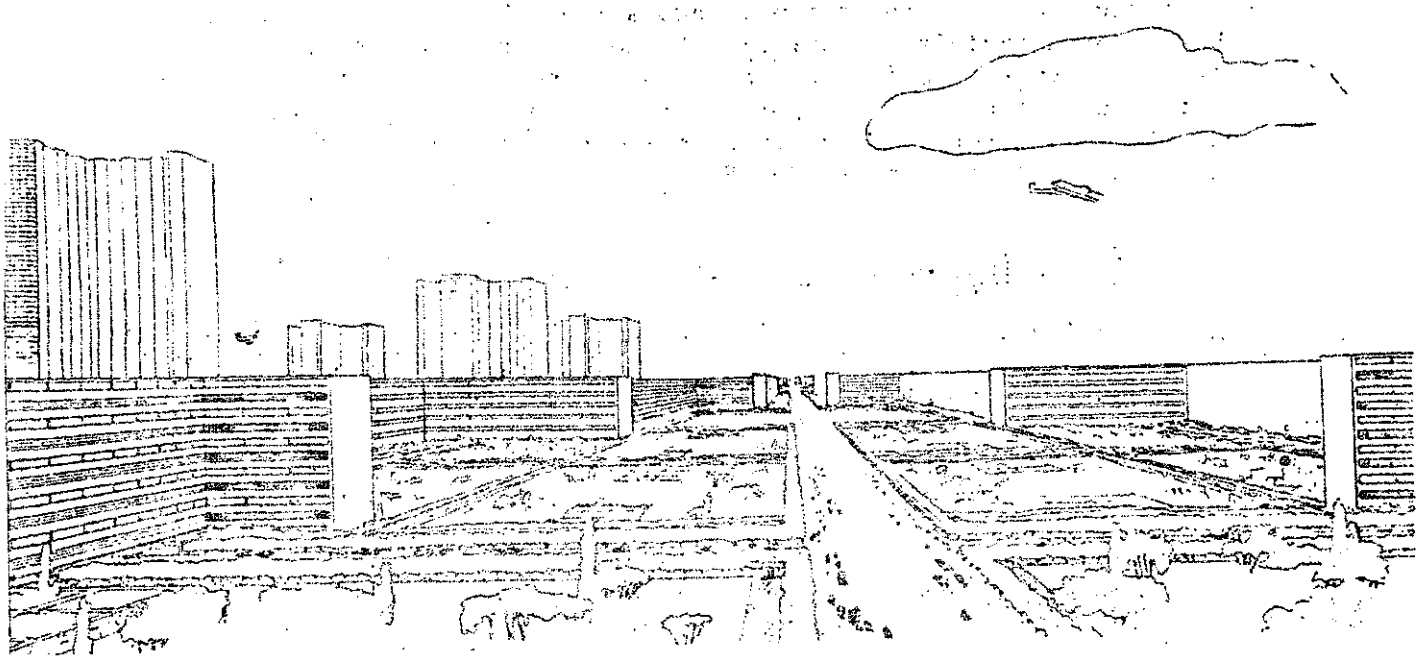
La sucinta relación tipológica anterior se refiere más bien a aquellos tipos urbanos históricos que se relacionaron con elaboraciones teóricas explícitas. Pero existen otras tipologías que se institucionalizaron de facto a través de una lenta evolución, como simples expresiones de la cultura material de las sociedades que la generaron. En muchos casos estas últimas tipologías, resultado de lentos y repetidos procesos de prueba y error, presentan un mejor funcionamiento bioclimático que las ya reseñadas, por lo que su estudio ha despertado recientemente un fuerte interés.

/Figura I-2

Figura I-2

LA CIUDAD RADIANTE

(Dibujo de Le Corbusier)



/El conjunto

El conjunto de las tipologías existentes, institucionalizadas por vía ideológica o por vía de facto, ofrece un amplio espectro de opciones al diseñador de los asentamientos, quien deberá constantemente someter este conjunto a su filtro crítico, ampliarlo y renovarlo mediante la investigación sistemática.

En algunos casos, se puede intentar el trasplante de un tipo generado históricamente en otro contexto cultural y geográfico. Es ésta una operación delicada, no exenta de riesgos y que exigirá normalmente una serie de medidas de transformación y adaptación. No hay ninguna razón, sin embargo, para excluirla a priori. No cabe duda, por ejemplo, de que los diseñadores en el trópico seco americano tendrán muchísimo que aprender del tipo urbano constituido por las tradicionales medinas árabes o de aquel que se concreta en los hipogeos que constituyen el habitat de algunas poblaciones en el norte del Sahara.

b) Estrategias en función del tipo climático global

Agotadas las posibilidades de intervención en el orden mesoclimático, los diseñadores se encuentran frente a un mesoclima previsible que constituye una variante más o menos estable de un tipo climático general. Con todas las salvedades ya mencionadas, relativas a la amplitud del margen de variación que implica el paso de un mesoclima a un conjunto concreto de microclimas, es posible, sin embargo, señalar algunas estrategias bioclimáticas globales para las acciones de diseño a pequeña escala. Estas estrategias, planteadas en función de los tipos climáticos generales, no deben considerarse recetas infalibles, sino simples y cuestionables guías para el ejercicio de la imaginación proyectual.

i) Climas cálidos y húmedos. La ventilación constituye en este caso el recurso más importante para lograr el confort biotérmico. Se hace imprescindible un profundo conocimiento de las brisas locales y de sus posibles variantes microclimáticas. En este contexto, el aprovechamiento de la brisa natural tiende a ser más efectivo que el de cualquier tiraje térmico que pudiera producirse.

La edificación será pues muy permeable al movimiento del aire, el cual se encauzará en los espacios interiores. Si se dedica la debida atención a las condiciones de entrada y salida del aire en cada recinto, es posible lograr que el recorrido interno afecte a las zonas bajas, directamente utilizadas por los usuarios. Las exigencias de ventilación cruzada pueden requerir una disposición en crujía simple. Para obtener los efectos deseados, es necesario cuidar el espaciamiento entre las edificaciones de tal modo que ninguna de ellas proyecte "sombra de viento" sobre las demás. Esta exigencias puede determinar una reducción en la densidad del asentamiento. En general, las viviendas en las zonas cálidas y húmedas han sido monofamiliares y se han dispuesto en forma espaciada sobre el terreno. Sin embargo, es perfectamente factible acondicionar un edificio

/multifamiliar

multifamiliar para conseguir una aireación interna satisfactoria, aunque este tipo de solución ha sido hasta ahora muy poco estudiado y experimentado. Los espacios exteriores se diseñarán de manera que la corriente de aire que por ellos transcurra, a barlovento de cada edificación, no sufra un innecesario sobrecalentamiento que anularía su posible efecto benéfico.

Tradicionalmente, los espacios internos propios de este tipo climático son bastante altos; con frecuencia su altura supera los 3 metros. La investigación reciente ha permitido comprobar que esta característica perjudica a la economía sin que contribuya sensiblemente a mejorar las condiciones bioclimáticas. Sin embargo, el ventilador de techo, en caso de que se adopte, puede requerir un considerable incremento en la altura libre para garantizar como mínimo 2.20 m entre las aspas y el pavimento.

Habitualmente se ha venido considerando, en climas cálidos y húmedos, que la construcción muy ligera es la única apropiada, en función de que la normalmente reducida oscilación diurna de temperatura no exige una gran inercia térmica como factor de corrección. Se está hoy cuestionando la validez indiscriminada de este principio; en algunos casos se ha conseguido que el enfriamiento radiante nocturno de un elemento de gran inercia térmica correctamente ubicado, baste para reducir la TRM interna diurna, lográndose así algún alivio. Este recurso será tanto más válido cuanto mayor sea el número promedio de noches despejadas.

En todos los casos se debe procurar la máxima protección de los elementos constructivos respecto a la fuerte radiación solar directa que se puede presentar en los momentos de escasa nubosidad. Esta misma protección se hará extensiva a los espacios exteriores inmediatos a la construcción. Los recursos clásicos de las verandas, los grandes aleros, los pórticos cubiertos, pueden cubrir este objetivo sin perjudicar la penetración de la brisa; sirven además de elemento de protección frente a los frecuentes aguaceros, cuya intensidad se tomará en cuenta a la hora de decidir pendientes y desagües.

Es de desear que los acabados de las superficies expuestas directamente a la intemperie sean muy reflejantes. Este requerimiento es particularmente importante en el caso de las cubiertas, sobre las que incide la radiación solar directa o difusa. Presentan ventajas las cubiertas de doble hoja siempre que se ventile efectivamente la cámara de aire intermedia. La hoja más externa sirve para reducir drásticamente la radiación que recibe la segunda hoja; se consigue así limitar la temperatura del intradós del techo. En los espacios exteriores, la vegetación juega un papel muy favorable por la sombra que proporciona, pero deberá controlarse su frondosidad para que no impida el paso de la brisa.

Los lugares de la edificación donde se genera mayor cantidad de calor y humedad (cocinas, por ejemplo) deben quedar correctamente ubicados y recibir mayor ventilación y un aislamiento especial. El diseñador tendrá en cuenta el alto IEC que normalmente padecerán en estas regiones los

/usuarios

usuarios y que se traduce en la absoluta necesidad de controlar la producción de calor metabólico (es decir, la actividad física a desarrollar), procurando evitar disposiciones que requieran esfuerzos innecesarios.

Es delicado en estos climas el diseño de los huecos y tendrá sentido disponer una separación de funciones, para garantizar que cada una de ellas se cumpla a plena satisfacción. En lo que se refiere a la visión exterior, es útil recordar que el cielo, en estas zonas climáticas, suele presentar un brillo deslumbrante incluso cuando está cubierto. Los aspectos tocantes a la ventilación/aireación se abordarán en el capítulo correspondiente.

ii) Climas cálidos y áridos. El aislamiento térmico constituye el elemento fundamental de diseño en las zonas cálidas y secas. La fuerte oscilación diurna de temperaturas, usual en estas zonas, se ve atemperada en el microclima interior por la gran inercia térmica de la construcción. Los elementos constructivos, de gran capacidad térmica, deben estar en condiciones de emitir un máximo de radiación infrarroja en horas nocturnas, cuando la temperatura ambiente es baja y el cielo, como de costumbre, está despejado. De día, es fundamental la protección contra la radiación solar directa. La disposición usual de las edificaciones es compacta, apretada. Se combina con espacios exteriores, públicos o privados, estrechos y resguardados, que adoptan la forma de callejuela, patio, etc., con posibilidades de cubrirse a bajo costo con lonas, por ejemplo. La baja humedad relativa del aire determina una alta capacidad evaporativa, que puede ser ampliamente aprovechada en el diseño para transformar el calor sensible en calor latente.

Las necesidades de ventilación son escasas y las posibilidades de introducir al interior aire fresco son también bastante limitadas. Normalmente bastará con un tiraje térmico bien diseñado para garantizar la aireación. Debe excluirse el viento, que normalmente será caliente y cargado de polvo. En estos climas, la vegetación será siempre bienvenida; además de suministrar sombra, retendrá el suelo limitando la erosión eólica. Habrá, sin embargo, que seleccionar especies compatibles con las posibilidades existentes de riesgo.

Las cubiertas, pesadas y aislantes, se dispondrán preferiblemente en dos hojas, con ventilación del espacio intermedio. Suelen ser frecuentes los techos planos, que permiten su utilización como espacio habitable. En estos casos deberá recordarse que las precipitaciones, aunque anualmente escasas, pueden concentrarse bajo la forma de rápidos aguaceros.

Los huecos, debidamente protegidos contra la radiación directa, serán pequeños y abrirán preferiblemente a espacios resguardados (tales como patios), de donde puedan succionar aire más fresco que el correspondiente a las áreas despejadas. Será útil poder abrir al máximo los huecos por la noche, para acelerar el proceso de enfriamiento nocturno.

/En las zonas

En las zonas cálidas secas costeras aumenta la humedad relativa del aire. Es conveniente captar mediante algún dispositivo la posible brisa marina.

iii) Climas compuestos y de altura. Los tipos climáticos compuestos y de altura presentan rasgos propios de los dos tipos anteriores, por lo que resulta imposible sugerir normas de validez universal. La estrategia de diseño a seguir en estos casos deberá tener en cuenta el carácter estacional de la variación climática. El diseño tendrá que adoptar una actitud ad-hoc, en función de las características concretas de cada caso. Históricamente se han presentado a veces soluciones dispendiosas pero eficaces: la construcción se divide en dos sectores, cada uno de los cuales se adapta climáticamente a una de las dos estaciones que se definen con mayor o menor claridad en el ciclo anual. Las actividades de los usuarios se desarrollan en un sector o en otro de la edificación, en función de la estación del año.

Otras soluciones más económicas se basan en una disposición propia del tipo climático cálido-seco, modificada para permitir una gran permeabilidad al aire en los períodos húmedos.

En los climas de altura deben tomarse precauciones adicionales para controlar la insolación, que puede alcanzar una magnitud considerable.

II. COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA EDIFICACION

1. Aislamiento y almacenamiento térmicos de los elementos constructivos

Las sustancias, los materiales y los elementos constructivos transmiten y acumulan en distinta medida la energía térmica. La capacidad aislante se evalúa en función de la velocidad con la que se propaga la energía térmica a través del cuerpo o de la sustancia de que se trate. El tránsito energético se genera a partir de una diferencia de potencial térmico, es decir, de temperaturas, entre dos partes del mismo cuerpo o entre dos cuerpos en contacto. La capacidad de acumulación térmica de un cuerpo depende de la cantidad de energía térmica que se requiere para modificar su temperatura en una medida fija. Se comenzará por abordar este último aspecto.

a) Almacenamiento término: calor específico y capacidad térmica

Toda sustancia cuya temperatura supere los cero grados Kelvin (cero absoluto, temperatura mínima posible: -273.16°C) posee una cierta cantidad de energía térmica, proporcional a la energía cinética media correspondiente al movimiento de vaivén molecular. La temperatura mide el potencial térmico, el estado cualitativo de la energía térmica de un cuerpo, no su cantidad total de energía. Para calentar un cuerpo hay que suministrarle calor, e inversamente, todo cuerpo que se enfría, es decir, cuya temperatura disminuye, cede calor. Si se suministra la misma cantidad de calor o energía térmica a masas iguales de sustancias diferentes se observará que en todas ellas aumenta el potencial térmico, la temperatura, pero que ello sucede en muy distinta medida según la sustancia en cuestión.

i) Calor específico. Se denomina "calor específico" de una sustancia a la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de esa sustancia para conseguir elevar su temperatura en una unidad. 1/ El calor específico (c) constituye un índice apropiado para medir la capacidad de acumulación térmica de una sustancia y se mide en J/kg grado C.

La expresión de la cantidad de calor Q a suministrar a un cuerpo de masa m para que su temperatura se eleve de t_1 a t_2 será: $Q=m.c.(t_2 - t_1)$.

También se ha propuesto el "calor específico volumétrico" (cv), definido como la cantidad de calor a suministrar a la unidad de volumen de una sustancia para conseguir aumentar su temperatura en una unidad. Se mide en J/m^3 grado C. La expresión anterior adoptaría la forma: $Q = V.cv.(t_2 - t_1)$.

1/ Se entiende: sin que se produzca un cambio de estado o un cambio químico. Estrictamente hablando, el calor específico de una sustancia dependerá de su temperatura inicial, pero como el margen de variación del calor específico en función de la temperatura inicial es bastante pequeño, en el rango de temperaturas comunes en la vida cotidiana, suele aceptarse a efectos técnicos que el calor específico constituye una constante característica de cada sustancia.

/La mayoría

La mayoría de las sustancias que componen los materiales de construcción de índole mineral (piedra, tabique, concreto, yeso, etc.) tienen un calor específico bastante semejante, próximo a los 800 J/kg grado C. Algunas sustancias orgánicas como la madera pueden alcanzar valores de "c" que se acercan a los 2 000 J/kg grado C.

El calor específico de los metales es bajo; oscila generalmente entre 400 y 800 JYkg. grado C. Entre todas las sustancias comunes, el agua posee un calor específico excepcionalmente alto: 4 187 J/kg grado C. El agua común funciona pues como un magnífico almacén térmico, incluso considerando su relativamente baja densidad. A título de ejemplo, considérese que el descenso en 10 grados C de la temperatura media de un m^3 de concreto estructural (densidad:2 400 kg/m^3) suministrará una cantidad de calor de unos 19.5 kJ, mientras el mismo enfriamiento de un m^3 de agua proporcionaría 41.8 kJ, es decir, algo más del doble de la cifra anterior, con menos de la mitad de peso. Sin embargo, al helarse o vaporizarse el agua su calor específico se reduce a la mitad.

El calor específico volumétrico del aire depende mucho de su presión y de otros factores, tales como la cantidad de humedad que contenga, pero puede estimarse en unos 1 000-1 300 J/m^3 grado C.

ii) Capacidad térmica. La capacidad térmica de un cuerpo concreto se define como la cantidad global de calor que debe suministrarse a ese cuerpo para que su temperatura ascienda un grado C. La capacidad térmica de un cuerpo compuesto se calculará sumando los productos de las masas de las distintas sustancias que lo componen por sus respectivos calores específicos.

$$C = \sum_{1}^{n} m_i \cdot c_i$$ Se mide, pues, en J/grado C.

iii) Aplicación en el diseño. Los conceptos físicos que se acaban de recordar tienen marcada utilidad en el diseño. Como ya se señaló, la principal estrategia para tratar de obtener una situación permanente de confort en un clima con fuertes oscilaciones térmicas diarias consiste en concebir la construcción como un "volante regulador" o "esponja térmica"que absorba calor en los períodos de fuerte insolación y lo restituya cuando descienda la temperatura exterior.

La absorción del calor exterior puede controlarse mediante el diseño de los elementos constructivos externos. La capacidad aislante y la emisividad radiante de cada elemento constituyen datos técnicos que facilitan la evaluación de las distintas opciones. La restitución nocturna del calor almacenado puede igualmente controlarse por los mismos procedimientos. Cabe incluso diseñar mecanismos simples (cortinas, persianas, paneles aislantes abatibles o plegables, etc....) que permiten la intervención del usuario para modificar las características

/térmicas

térmicas de un conjunto de elementos arquitectónicos. El calor que penetra a través del involucro de la edificación eleva, en distinta medida, la temperatura del aire y de los distintos elementos constructivos internos.

El conocimiento de las capacidades de acumulación térmica de los elementos constructivos permite su correcto dimensionamiento. Debe distinguirse sin embargo entre la capacidad teórica de acumulación, que puede cuantificarse con precisión conociendo las masas y los calores específicos, y la capacidad real, función de las condiciones concretas de intercambio térmico.2/ Las condiciones de absorción por radiación o por conducción/convección de las superficies fijan límites para la tasa máxima de incorporación de energía térmica a un elemento constructivo. Lo mismo sucede con la restitución del calor. Se trata pues de conseguir un equilibrio entre las condiciones de absorción y restitución térmicas de los elementos y sus capacidades de acumulación. De nada serviría dimensionar muy generosamente un elemento con vistas a la acumulación térmica si no se garantizan las condiciones para que esa gran "esponja térmica" pueda llenarse y vaciarse de calor.

La arquitectura tradicional de las zonas cálidas áridas utiliza intuitivamente el recurso de la acumulación térmica al disponer construcciones de gruesas particiones de piedra o adobe con escasas aberturas, pero lo hace a través de procesos empíricos, que no permiten cuantificar y por ende controlar los efectos físicos obtenidos y que no generan alternativas para las condiciones de absorción/restitución.

iv) Ejemplo. Se expone a continuación un ejemplo que no pretende ser fiel reflejo de una situación real, sino tan sólo mostrar una utilización parcial pero concreta de los conceptos introducidos.

La planta y el corte de la figura 1 representan, en forma esquemática, una construcción habitacional ubicada en una zona árida de fuerte insolación pero que puede registrar en invierno un acusado enfriamiento nocturno. Se han diseñado cuatro principales mecanismos de regulación del confort de invierno: a) una amplia superficie acristalada orientada hacia el S. para absorber la radiación solar invernal; b) una envolvente muy aislante; c) un delgado piso cerámico que descansa sobre 40 cm de suelo fuertemente apisonado, aislado del resto del terreno, y d) 20 bidones industriales llenos de agua con anticorrosivo, con una capacidad de 200 litros cada uno.

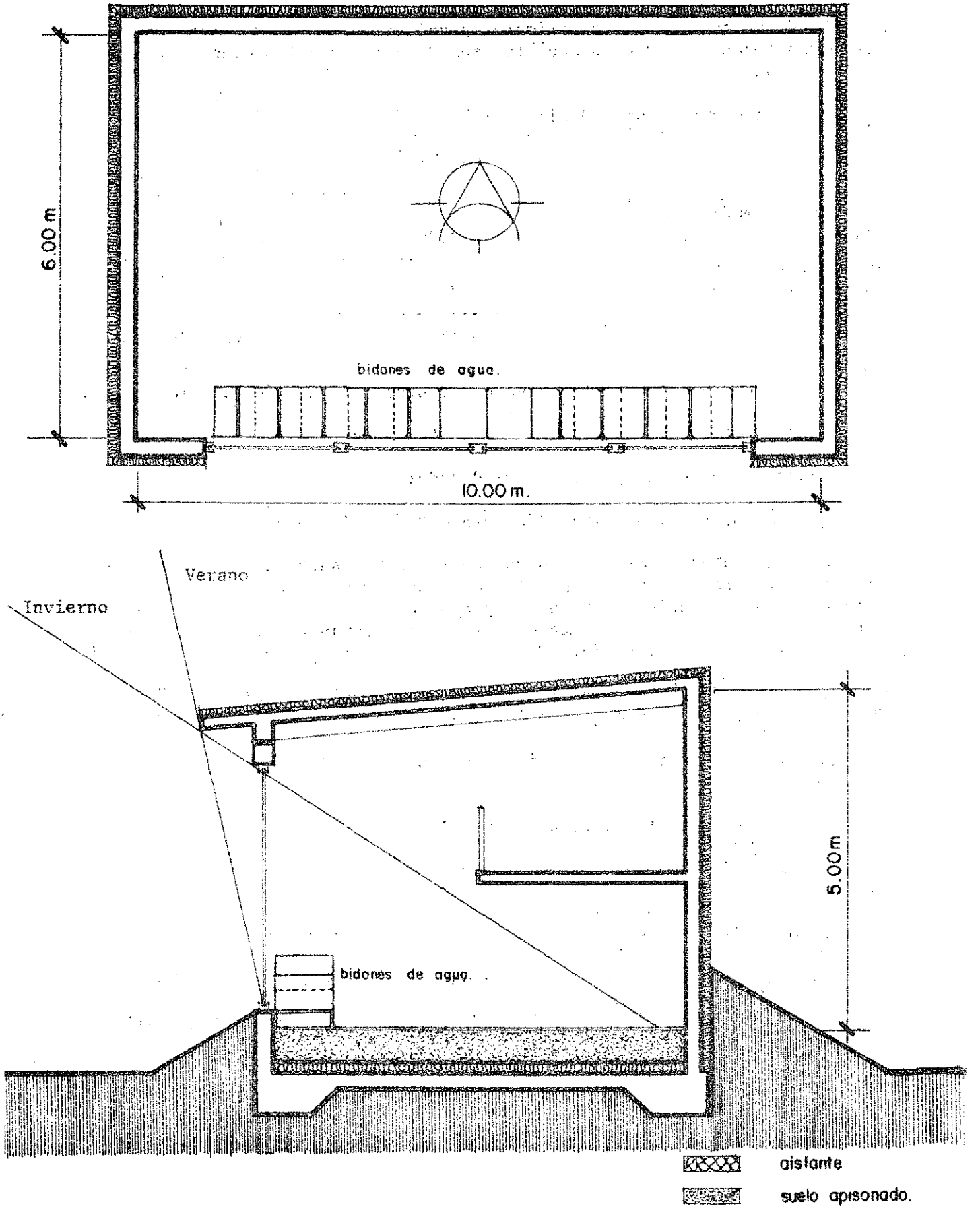
Se pretende conjeturar el funcionamiento térmico del conjunto en las 10 horas más frías de una noche de invierno en la que la temperatura media del aire exterior baje hasta unos 0° C.

2/ El problema es teóricamente complejo, pues involucra procesos de radiación y conducción/convección. Además, generalmente, los materiales no presentan una temperatura interna homogénea; se detectan en ellos gradientes de temperatura tanto más acusados cuanto mayor sea su capacidad aislante.

/Figura II-1

Figura II-1

DISEÑO ARQUITECTONICO PARA LA ACUMULACION TERMICA, EJEMPLO



/La aireación

La aireación natural existente garantiza cuatro renovaciones totales por hora.

Puede suponerse, en una primera aproximación, que los únicos elementos a considerar como acumuladores de calor son los bidones y el suelo aislado.

Se plantea la siguiente hipótesis:

	Agua bidones	Masa de suelo apisonado aislado
Temperatura media inicial	33°C	25°C
Temperatura final (10 horas más tarde)	21°C	21°C
	Δt_1= 12°C	Δt_2= 4°C

Calor cedido por el enfriamiento nocturno del agua de los bidones:

Masa total de agua: m_1 = 20 x 200 = 4 000 kg

Calor cedido en el período considerado:

$q_1 = c_1\ m_1\ (\Delta t_1)$ = 4.187 kJ/kg grado C x 4 000 kg x 12°C = 201 000 kJ

De este calor, podría suponerse que el 65% resulta aprovechable para calentar el aire y se pierde por la contínua aireación, el resto se disipa por otros medios: radiación y conducción al exterior, directamente o a través de la interacción térmica del conjunto de los elementos constructivos con el exterior.

La cantidad total de calor disponible para calentar el aire frío que penetra del exterior será: Q_1 = 0.65 x q_1 = 131 000 kJ

Calor cedido por el enfriamiento nocturno de la masa de suelo aislado:

Volumen total del suelo: 0.4 x 6 x 10 = 24 m^3

Densidad del suelo apisonado:2 .000 kg/m^3. Masa total del suelo: 48 000 kg.

Calor cedido por el suelo en el período considerado:

$q_2 = c_2\ m_2\ (\Delta t_2)$ = 0.93 kJ/kg grado C x 48 000 kg x 4°C = 178 600 kJ

/Por el aislamiento

Por el aislamiento y la disposición física de este elemento, se reducirán las pérdidas directas por radiación/conducción y puede suponerse que el porcentaje del total del calor disipado utilizable para el calentamiento del aire será superior al correspondiente a los bidones: 75%. La cantidad total de calor aprovechable podría pues ser:

$Q_2 = 0.75 \times q_2 = 134\ 000$ kJ

Total del calor aprovechable disipado por suelo y bidones:

$Q_1 + Q_2 = 265\ 000$ kJ

Cubicaje del aire a calentar:

cubicaje interior de la construcción x renovaciones/hora x número de horas:

$V = (6 \times 10 \times 5) \times 4 \times 10 - 12\ 000\ m^3$

Tendremos pues: $Q_1 + Q_2 = V \times cv \cdot \Delta t$

Aceptamos $cv = 1.3$ kJ/m^3 grado C, de donde:

$$\Delta t = \frac{265\ 000 \text{ kJ}}{12\ 000 \text{ m}^3 \times 1.3 \text{ kJ/m}^3 \text{ grado C}} = 17°C$$

Mientras la temperatura exterior sea del orden de los 0°C, los dispositivos diseñados podrían garantizar, si se cumplen las hipótesis expuestas, una temperatura interior media de unos 17°C.

Se lograría un aceptable nivel de confort, teniendo en cuenta que la TRM podría ser superior a la temperatura prevista del aire si en el período nocturno se cubriera la parte acristalada, por ejemplo con cortinas. El estudio anterior se refiere a la situación promedio en el lapso considerado, pero es interesante notar que los dispositivos diseñados, bidones y suelo, no operan con intensidad constante: mientras el suelo cede su calor en forma lenta y uniforme, los bidones disipan el suyo más rápidamente, mejorando la situación en la primera parte de la noche, cuando los ocupantes pueden todavía estar desarrollando alguna actividad. El diseñador puede pues intervenir también en la determinación del ritmo de la restitución térmica.

b) Aislamiento térmico: conductividad y conductancia

i) Conductividad y resistividad: propiedades de las sustancias. Toda diferencia de temperaturas genera un tránsito o flujo de energía térmica, mayor o menor según el medio del que se trate. Se llama "intensidad de flujo" al calor que fluye en tiempo unidad a través de una superficie unitaria, y se mide en J/m^2 . s, o $\frac{W}{m^2}$.

/El flujo

El flujo total a través de un conjunto de superficies se obtiene multiplicando las superficies parciales por las respectivas intensidades de flujo y se mide en Watts.

Imagínese un medio homogéneo, de forma indeterminada, en el que podamos distinguir dos planos internos paralelos, I y II, situados a una distancia "e" el uno del otro, que se hallen a distinta temperatura. La energía térmica se desplazará, por conducción, del plano más caliente hacia el más frío, presentándose un flujo que será proporcional a la diferencia de temperaturas, a un coeficiente propio de la sustancia de que se componga el medio en cuestión, denominado coeficiente de conductividad térmica (k) e inversamente proporcional a la separación "e" entre los planos. La expresión de la cantidad de energía térmica en tránsito entre los planos I y II será:

$$Q = \frac{k\,(t_2 - t_1)}{e}$$

El coeficiente de conductividad térmica, se mide pues en:

$$\frac{W.m}{m^2.\ \text{grado C}} = \frac{W}{m.\ \text{grado C}}$$

Las sustancias que integran los materiales de construcción presentan un amplio margen de variación del coeficiente de conductividad térmica o "conductividad" a secas, que puede oscilar desde los 0.03 $\frac{W}{m.\ \text{grado C}}$ en materiales aislantes, hasta más de 200 W/m.grado C en el caso de metales.

Se denomina "resistividad" al valor recíproco de la conductividad.

$r = \frac{1}{k}$ y se mide pues en $\frac{m.\ \text{grado C}}{W}$

El cuadro II-1 proporciona valores medios de conductividad/resistividad de algunas de las sustancias más comunes en la construcción. Como se observará en el referido cuadro, el aire posee una de las más bajas conductividades, es decir, es una sustancia muy aislante. Por ello los materiales porosos ligeros, con gran contenido de aire ocluido, serán más aislantes que aquellos, más densos, constituidos por la misma sustancia pero prensada. No existe sin embargo una correlación entre densidad y conductividad, pudiéndose citar numerosos ejemplos de sustancias que son a la vez más densas y más aislantes que otras.3/

También puede observarse en el cuadro mencionado que el agua es entre 22 y 23 veces más conductora que el aire. Los materiales de construcción empapados poseen una capacidad aislante muy inferior a la que presentarían esos mismos materiales una vez desecados.

3/ Por ejemplo: el acero es más denso que el aluminio (7 800 kg/m^3 contra 2 700 kg/m^3) pero resulta ser peor conductor (58 W/m grado C contra 220 W/m grado C).

/Cuadro II-1

Cuadro II-1

CARACTERISTICAS TERMICAS DE DIVERSOS MATERIALES EN LA EDIFICACION

	Densidad (kg/m^3)	Calor específico (J/kg grado C)	Calor específico volumétrico (kJ/m^3 grado C)	Conductividad (10^{-3} W/m grado C)	Resistividad (10^{-3} m grado C/W)	Admisividad ($kJ^2/s\ m^4 grado^2 C$)	Difusividad ($10^{-6}\ m^2/s$)
Aire	1.20	1 180	1.4	26	38 460	0.036	18 570
Agua	1 000	4 190	4 190	580	1 720	2 430	140
Hielo	930	2 060	1 920	26	38 460	50	13
Roca							
granito	2 700	1 030	2 780	1 920	520	5 340	690
caliza	2 500	910	2 270	1 530	650	3 480	670
arenisca	2 000	730	1 460	1 290	770	1 880	880
Arena (seca)	1 520	810	1 230	500	2 000	610	410
Arcilla (seca)	1 600	800	1 280	450	2 220	580	350
Adobe	1 500	1 480	2 220	580	1 720	1 290	260
Yeso	700	840	590	280	3 570	160	470
Mortero cemento-arena	2 130	890	1 890	1 400	710	2 650	740
Mampostería de tabique							
ligera	1 600	900	1 440	560	1 780	810	390
mediana	1 800	920	1 660	730	1 370	1 210	440
densa	2 000	1 070	2 140	950	1 050	2 030	440
Vermiculita	700	880	620	190	5 260	120	310
Vidrio	2 600	900	2 340	720	1 390	1 680	310
Asfalto	1 700	1 140	1 940	580	1 720	1 120	300
Acero	7 760	450	3 490	50 000	20	174 500	14 300
Aluminio	2 700	910	2 460	200 000	5	492 000	81 300
Cinc	7 130	380	2 690	110 000	9	295 900	40 900
Plomo	11 340	130	1 470	340 000	3	499 800	231 300
Concreto en general	2 100	840	1 760	1 000	1 000	1 760	570
Agregado							
ligero	1 800	1 000	1 800	720	1 390	1 300	400
medio	2 200	1 000	2 200	1 200	830	2 640	540
denso	2 400	1 000	2 400	1 500	670	3 600	620

/(Continúa)

Cuadro II-1 (Conclusión)

	Densidad (kg/m^3)	Calor específico (J/kg grado C)	Calor específico volumétrico (kJ/m^3 grado C)	Conductividad (10^{-3}W/m grado C)	Resistividad (10^{-3}m grado C/W)	Admisividad ($kJ^2/s\ m^4 grado^2 C$)	Difusividad ($10^{-6} m^2/s$)
Madera	600	1 210	730	140	7 140	100	190
Fibra de madera	250	1 080	280	50	20 000	14	180
Triplay	560	1 400	780	140	7 140	110	180
Tablero aglomerado	800	1 400	1 120	150	6 670	170	130
Placa de corcho	140	1 800	250	50	20 500	12	200
Lámina de asbesto-cemento	1 500	900	1 350	360	2 780	490	270
Lana mineral (fieltro)	140	750	100	37	27 030	4	370
Fibra de vidrio (manta)	100	650	65	42	23 810	2.7	650
Poliestireno expandido	30	1 700	50	33	30 300	1.7	660

/Cuanto

Cuanto más poroso y absorbente sea un material, mayor será la pérdida relativa de su capacidad aislante al mojarse o empaparse. El vacío constituye el no-conductor perfecto.

ii) Conductancia y resistencia: propiedades de los elementos constructivos concretos. La conductividad y su valor recíproco, la resistividad, constituyen características intrínsecas de cada sustancia. La capacidad aislante de un elemento constructivo laminar concreto se expresa físicamente como la magnitud del flujo calorífico que atravesaría la unidad de superficie de ese elemento cuando la diferencia de temperatura entre sus dos caras sea de 1 grado C. Esta magnitud se denomina conductancia (K) y dependerá de las conductividades de las sustancias que componen el elemento y de sus respectivos espesores.

La conductancia de un elemento constructivo plano compuesto por una sola sustancia se hallará dividiendo la conductividad de esa sustancia por el espesor real del elemento en cuestión.

La unidad de medida de la conductancia será: $\frac{W}{m^2 \text{ grado } C}$

Su valor recíproco se denomina resistencia (R) y se mide en $\frac{m^2 \text{ grado } C}{W}$.

La resistencia de un elemento constructivo plano compuesto por una sola sustancia será igual al producto de la resistividad de la sustancia por su espesor.

Si el elemento constructivo consta de varias capas de sustancias diferentes, podrá determinarse su resistencia sin más que sumar las resistencias de cada una de las capas de que consta. Es decir, las resistencias poseen la propiedad aditiva, pero no así las conductancias.

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n = e_1 r_1 + \ldots + e_n r_n =$$

$$= \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \ldots + \frac{e_n}{k_n}$$

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\Sigma \frac{e}{k}}$$

iii) Resistencias superficiales. Los conceptos introducidos bastarían para dar cuenta de los procesos de conducción térmica en el interior de un elemento constructivo laminar, pero lo que realmente interesa es el comportamiento global de ese elemento y para conocerlo es necesario considerar también los procesos térmicos que se desarrollan en las dos caras superficiales en contacto con el aire interior o exterior. Estos procesos son complejos, de índole no sólo conductiva sino, sobre

/todo, convectiva

todo, convectiva y radiante; para su abordamiento se suelen introducir los conceptos de "resistencia y conductancia superficiales", que se definen como la resistencia y la correspondiente conductancia de una capa ficticia que se adheriría a cada una de las dos caras del elemento y que determinaría un comportamiento térmico global por conducción semejante al que se verifica, efectivamente, por conducción, convección y radiación, en el elemento constructivo en cuestión.

La resistencia superficial es una magnitud variable que dependerá, sobre todo, de los siguientes factores:

1) Velocidad del aire. Cuanto mayor sea la velocidad del aire en contacto con la superficie, mayores serán las pérdidas por convección y menor resultará la resistencia superficial.

2) Posición del elemento respecto al flujo térmico y sentido de éste último. Toda superficie horizontal interna presentará una mayor resistencia frente a un flujo descendente, porque la convección natural tendería a oponerse al sentido del flujo.

3) Calidad emisiva de los acabados superficiales. Los acabados de alta absorción/emisividad facilitarán por radiación el flujo térmico, disminuyéndose en consecuencia la resistencia superficial. Es útil recordar que, con la excepción de las superficies metálicas pulidas, casi todos los materiales y acabados de construcción presentan una emisividad semejante en lo que respecta a la radiación larga, infrarroja, que, para esas longitudes de onda los hace comportarse casi como cuerpos negros.

4) La rugosidad del acabado. En principio un acabado rugoso dificulta el deslizamiento de las capas de aire sobre la superficie, disminuyendo la convección y, por ende, presenta una resistencia superficial, mayor que la de un acabado liso. Sin embargo, este efecto puede quedar compensado por el incremento en la emisividad debido a la misma rugosidad de la superficie.

En la práctica, se cuantifican empíricamente las resistencias superficiales a partir de una tipificación bastante simple de casos posibles.

El cuadro II-2 presenta algunos valores comúnmente aceptados como estimaciones de la resistencia superficial de los distintos tipos de superficie.

Se considerarán de "baja emisividad" aquellas superficies muy reflejantes semejantes a las que presentan las láminas de aluminio o de hierro galvanizado, sin pintar. Los demás acabados superficiales corresponderán a una emisividad normal. Se entenderá que un edificio o parte del mismo se encuentra en situación "protegida" respecto al viento

/Cuadro II-2

Cuadro II-2

RESISTENCIAS SUPERFICIALES[a/]

Tipos de superficies		Resistencias superficiales en $\frac{m^2 \text{ grado } C}{W}$
I. Superficies interiores (emisividad normal)		
a) elementos verticales		0.12
b) elementos horizontales o en pendiente	b1) flujo de calor descendente	0.15
	b2) flujo de calor ascendente	0.11

II. Superficies exteriores

	Emisividad de la superficie	Situación respecto a la exposición al viento		
		protegida	normal	expuesta
a) elementos verticales	normal	0.080	0.053	0.027
	baja	0.106	0.062	0.027
b) elementos horizontales o en pendiente	normal	0.070	0.044	0.018
	baja	0.088	0.053	0.018

a/ Los datos que se presentan en esta tabla proceden del Overseas Building Notes No. 157 de la B.R.S., actual B.R.E., Watford (G.B.). Difieren muy poco de los datos que propone el IHVE Guide (1975). Algunos textos anticuados presentan distintas estimaciones de la resistencia superficial externa de elementos verticales en función de la orientación de la cara que se considere. La correlación orientación/resistencia superficial externa puede ser, de hecho, bastante débil y, en todo caso, no es universalmente tipificable. Por ello se desecha hoy el factor de la orientación como variable pertinente para la determinación de la resistencia superficial externa. Se observará que cuando una superficie se encuentra muy batida por el viento el intercambio térmico se efectúa predominantemente por convección; pierde entonces importancia la cualidad emisiva de la superficie.

/cuando

cuando la velocidad previsible del aire en contacto con el mismo no pase de 1 m/s; esta situación se suele dar en el primer o segundo nivel de alturas en una zona urbana de edificación densa. Se considerarán como "expuestas" al viento aquellas construcciones cuyas superficies puedan padecer frecuentemente vientos superiores a los 6 m/s; esto ocurre en aquellas partes de edificios que se elevan por encima de un quinto o sexto nivel en una zona urbana, o en construcciones de cualquier altura que se ubiquen en alguna cresta orográfica, valle angosto, acantilado, zona costera, etc. En los demás casos, se apreciará como "normal" la exposición al viento.

iv) Cámaras de aire. Frecuentemente se diseñan elementos constructivos discontínuos, que incluyen cámaras de aire. La capacidad aislante de las mismas es muy variable en función de su espesor sobre todo, pero también de su posición respecto al flujo térmico y de su comportamiento radiante interno. A efectos del cálculo de su resistencia térmica, la cámara de aire se suele considerar como un elemento unitario global, no como la suma de dos superficies internas y una capa de aire interpuesta entre ellas.

En las cámaras verticales, la resistencia aumenta con su espesor hasta alcanzar éste una magnitud de unos 20 mm, se estabiliza entre los 20 y los 50 mm y disminuye si se sigue aumentando el espesor por facilitarse así el movimiento convectivo del aire.

La ventilación de las cámaras de aire plantea problemas complejos. Por una parte puede hacer disminuir la resistencia térmica de las mismas por la convección que genera; por otra, puede mejorar el comportamiento global sustituyendo por ejemplo el aire recalentado por otro más fresco. En todo caso, es indispensable ventilar las cámaras en aquellas circunstancias en las que se puede prever acumulación de humedad por filtración o condensación. La ventilación puede eliminar esta humedad, y prevenir así deterioros en los materiales y pérdidas en la capacidad aislante por saturación del elemento constructivo correspondiente.

En las cámaras no ventiladas el mecanismo de radiación da cuenta de por lo menos dos tercios del flujo calorífico que atraviesa la cámara. La resistencia puede aumentarse considerablemente introduciendo en la cámara una hoja metálica muy reflectante que disminuya el intercambio por radiación. Esta solución presenta especial interés en el caso de cámaras horizontales con flujo descendente. Tratándose de radiaciones largas, cualquier otra medida, como la de pintar de blanco una de las superficies internas de la cámara resultaría inútil y sólo contribuiría a aumentar los costos.

En el cuadro II-3 se proporcionan valores para las resistencias de algunos de los tipos más comunes de cámaras de aire.

/Cuadro II-3

Cuadro II-3

RESISTENCIA TERMICA DE CAMARAS[a/]

(En $\frac{m^2 \text{ grado C}}{W}$)

Cámaras sin ventilación	ESPESOR	
	5 mm	20 mm
Cámaras verticales y horizontales con flujo ascendente	0.11	0.18
Cámaras horizontales con flujo descendente	0.11	0.21 Pero puede alcanzar 1.06 si se intercala una hoja metálica de baja emisividad
Espacios ventilados	Espesor: mayor de 20 mm	
Espacio entre plafón o techo plano y cubierta inclinada de lámina de asbesto o metálica no reflectante	0.14	
Mismo espacio pero con lámina de metal reflectante o con hoja metálica reflectante en la cara superior del plafón	0.25	
Espacio entre techo plano y cubierta inclinada de tejas sueltas	0.11	

a/ Datos seleccionados de la ya mencionada publicación BRS, O.B.N., N° 157. Los datos experimentales referidos a la resistencia térmica de cámaras discrepan bastante en función de las fuentes documentales consultadas, por lo que no cabe hacerse excesivas ilusiones respecto a la precisión con la que se puede predecir el comportamiento térmico real de dichas cámaras.

/v) Conductividad

v) Conductividad aire-aire o transmitancia. La resistencia térmica total de un elemento constructivo laminar está compuesta por la suma de la resistencia superficial externa, las resistencias de las distintas capas internas, incluyendo la de la cámara de aire si la hubiera, y la resistencia superficial interna. La suma de estas magnitudes es lo que se denomina "Resistencia aire-aire": Ra.

$$Ra = Rse + \Sigma Ri + Rsi$$

La "conductancia aire-aire", Ka, conocida también como "transmitancia" o, en la literatura técnica anglosajona, como "valor U", será la inversa del valor de la resistencia aire-aire. $Ka = \frac{1}{Ra}$. La dimensión física de la transmitancia es la misma que la de toda conductancia:

W/m^2. grado C.

Esta magnitud es la que normalmente se maneja en el cálculo del aislamiento térmico de las edificaciones; permite formular predicciones de flujo en función de las temperaturas del aire interior y exterior, fáciles de determinar mediante un termómetro corriente. Si se utilizara la conductancia a secas, en vez de la conductancia aire-aire, tendrían que determinarse las temperaturas de las superficies --interna y externa-- del elemento constructivo y establecer hipótesis respecto de su comportamiento radiante y convectivo, con lo que la evaluación global del flujo térmico se volvería un proceso bastante engorroso e impráctico. La transmitancia de un elemento constructivo dado no constituye, en términos absolutos, una magnitud constante. Varía en función del contenido de humedad del elemento y, también, en función de aquellos factores que puedan modificar las resistencias superficiales (velocidad del viento, especialmente). En la figura II-2 se presenta una estimación aproximada de la variación de las conductividades de mamposterías de distinta densidad en función de su contenido de humedad. El contenido de humedad del material puede cambiar incluso por una modificación de la humedad relativa del aire, al margen de procesos más drásticos, tales como escurrimientos del agua de lluvia o condensaciones. (Véase la figura II-3.)

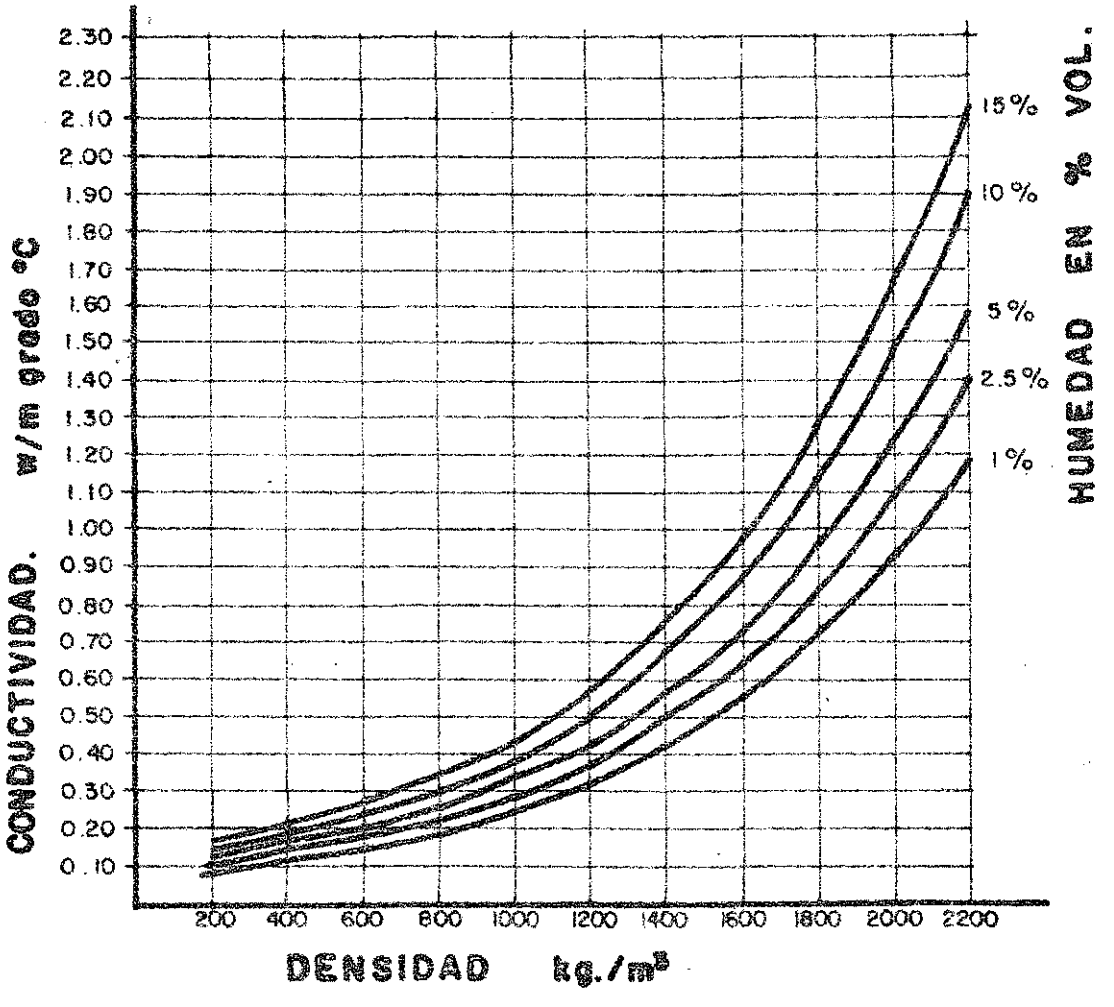
Tanto para poder efectuar comparaciones entre distintos elementos constructivos alternativos como para incluir en forma operativa el concepto de transmitancia en algún instrumento normativo, se hace necesario determinar valores estándares de transmitancia, calculados a partir de valores unificados de las conductividades de los materiales, fijados experimentalmente en función de situaciones ambientales que se presenten frecuentemente en la realidad. Conocida la transmitancia de cada uno de los elementos constructivos que configuran el involucro de un espacio cerrado, resulta sencillo estimar el flujo térmico global instantáneo, es decir, la cantidad de energía térmica que penetra en o que sale del espacio en cuestión: basta calcular la suma de los productos de las transmitancias por las áreas de los correspondientes elementos constructivos y multiplicarla por la diferencia de las temperaturas interna y externa:

$$Q = \sum_{1}^{n} Kai.Si.(t_1 - t_2)$$

/Figura II-2

Figura II-2

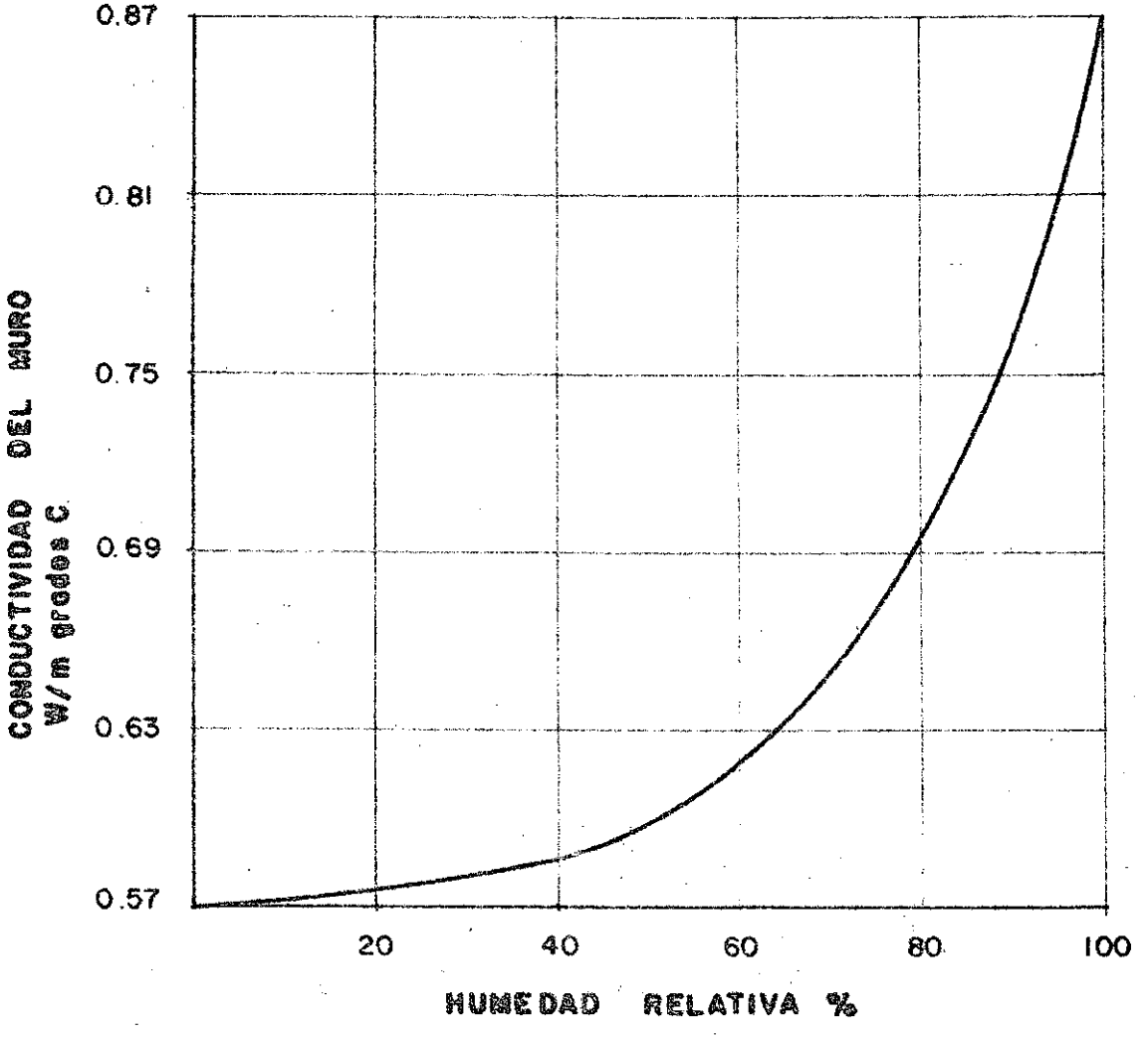
VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LAS MAMPOSTERIAS EN FUNCION DE SU DENSIDAD Y DE SU CONTENIDO DE HUMEDAD



/Figura II-3

Figura II-3

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD DE UN MURO DE MAMPOSTERIA EN FUNCION DE LOS CAMBIOS EN LA HUMEDAD RELATIVA DEL MEDIO AMBIENTE



Fuente: Casabella, N° 461.

vi) Métodos gráficos de cálculo del aislamiento. Se puede también determinar gráficamente la cualidad aislante de un elemento constructivo a través del cual pasa un flujo de calor constante, conociendo su composición y las conductividades de los materiales de que consta. Como podrá apreciarse en el ejemplo de la figura II-4, la determinación gráfica no es sino una manera de adicionar las resistencias parciales para obtener la resistencia total. Las conductividades se toman como pendientes de la línea quebrada que representa la resistencia acumulada. Es igualmente factible y simple determinar gráficamente el gradiente térmico correspondiente a un elemento constructivo, una vez fijadas las temperaturas del aire interior y exterior, es decir, siempre en el supuesto de un flujo térmico constante. Se conocerá entonces la temperatura de cualquier punto interno del elemento constructivo, pudiéndose así prever posibles condensaciones, intersticiales o superficiales. El procedimiento gráfico puede analizarse en la figura II-5: en el diagrama de la izquierda las ordenadas representan una escala lineal de temperaturas y las abscisas no expresan los espesores reales, sino las resistencias de los elementos, incluyendo resistencias superficiales y resistencias de las cámaras de aire. La proyección horizontal de los puntos del diagrama de la izquierda, sobre la representación a escala del corte del elemento constructivo, proporciona un modelo suficientemente aproximado del gradiente térmico.

Los modelos gráficos del comportamiento aislante de un elemento constructivo permiten una rápida visualización que facilita la toma de decisiones de diseño.

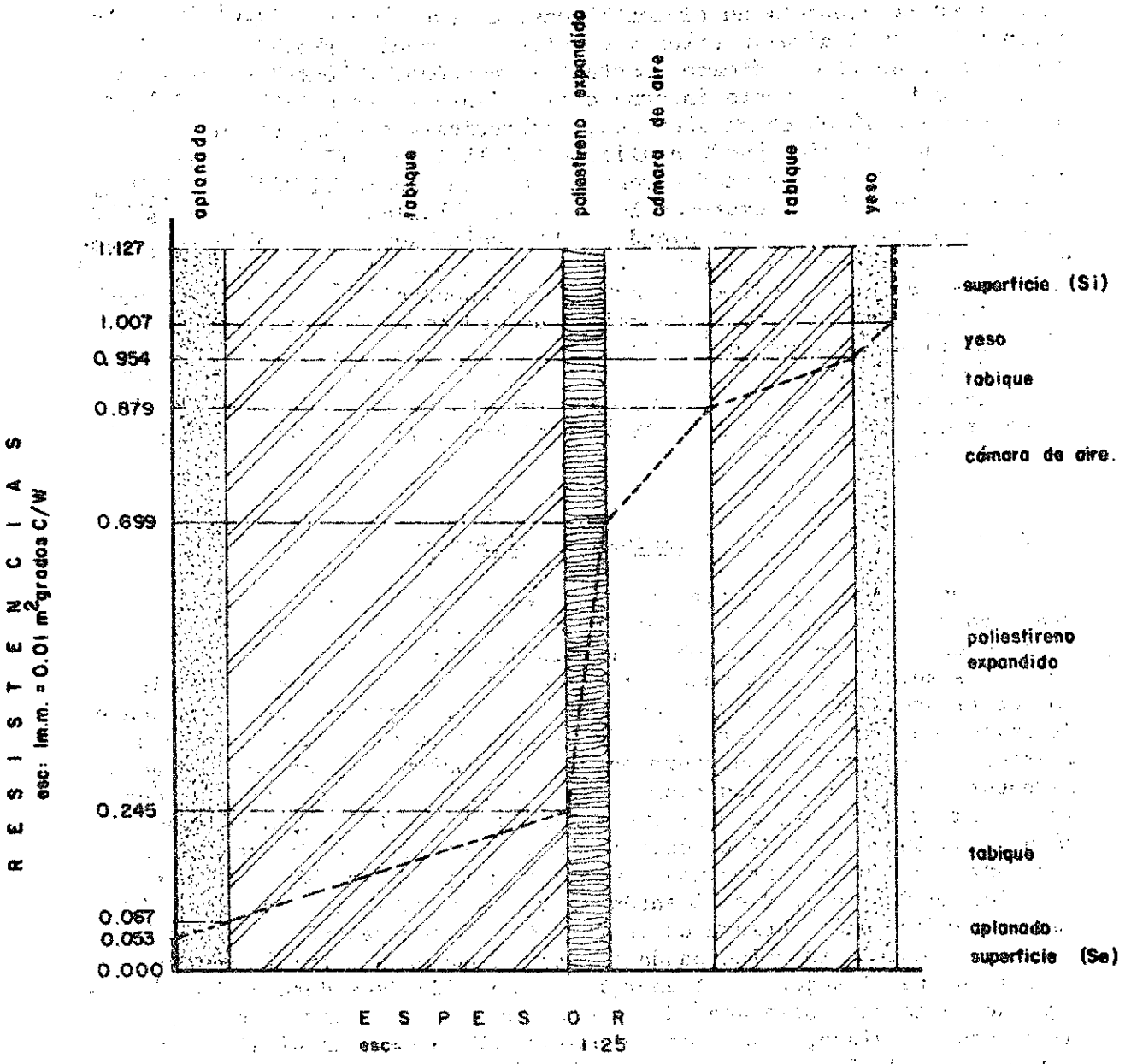
2. Admisividad y difusividad

Los procesos térmicos de transmisión y acumulación que se han venido tratando por separado para su mejor entendimiento se presentan, sin embargo, en forma combinada en la realidad, de tal modo que algunos fenómenos sólo se pueden entender si se estudian como procesos conjuntos de transmisión y acumulación de calor. Por ejemplo, este enfoque es el único que permite comprender lo que sucede en el momento en que dos cuerpos a diferente temperatura entran circunstancialmente en contacto. Se puede referir esta situación a una vivencia concreta: caminar descalzo por la casa, por ejemplo, o tomar asiento. El pie, a una temperatura, supóngase, de 34°C, entrará en contacto con la superficie del pavimento que estará aproximadamente a la temperatura ambiente, por ejemplo, 24°C. Se producirá entonces una transferencia térmica: el cuerpo perderá una cantidad de energía (misma que ganará el suelo) cuya magnitud estará relacionada con la sensación de "frialdad" que experimentará el sujeto. La energía transferida dependerá de la conductividad de la sustancia con la que esté fabricado el pavimento: a mayor conductividad, mayor será el calor cedido en cada pisada y mayor la sensación de frescura. Pero también dependerá del calor específico de esa misma sustancia: si resulta ser muy bajo, la capa superficial del pavimento nivelará su temperatura con la del pie muy rápidamente,

/Figura II-4

Figura II-4

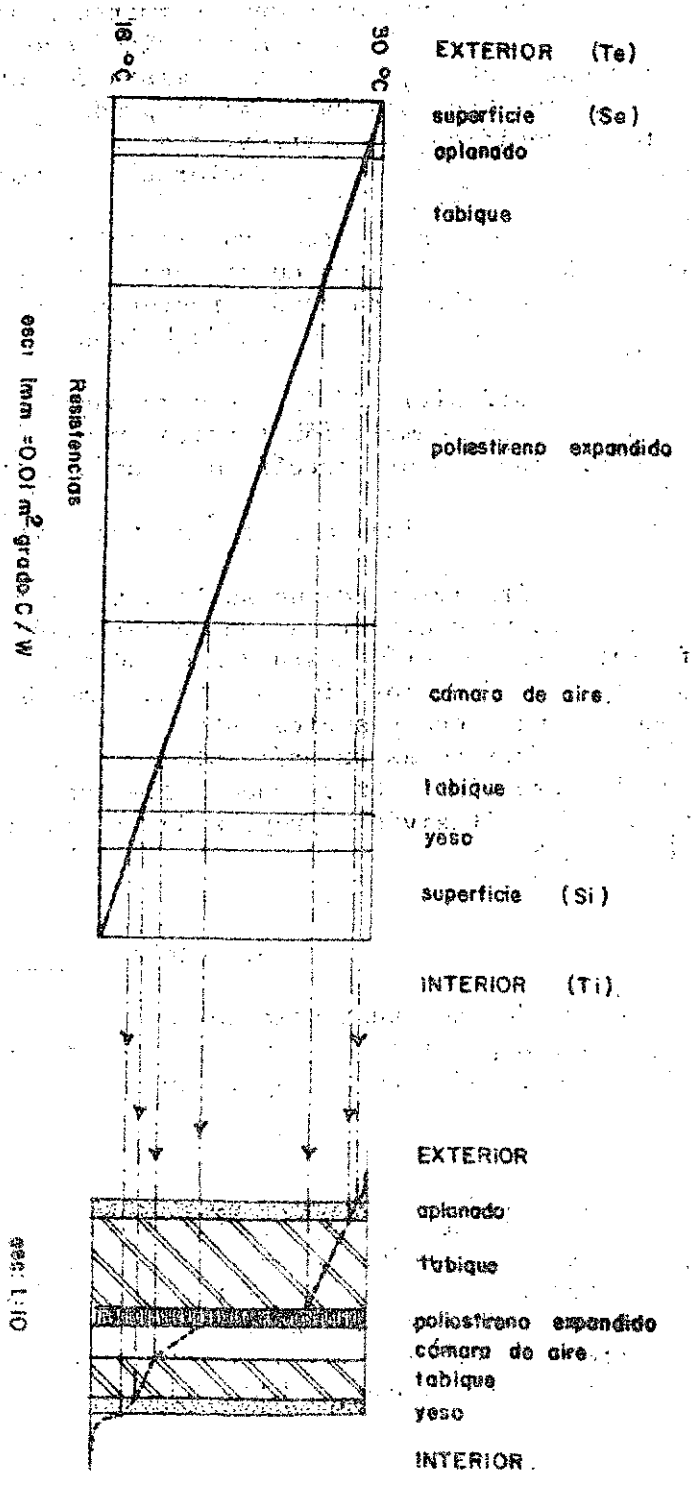
DETERMINACION GRAFICA DE LA RESISTENCIA TERMICA TOTAL DE UN MURO COMPUESTO



/Figura II-5

Figura II-5

MODELO DEL REGIMEN ESTACIONARIO. DETERMINACION GRÁFICA DEL GRADIENTE TERMICO INTERNO DE UN MURO COMPUESTO



TEMPERATURA EXTERNA = 30 °C

TEMPERATURA INTERNA = 18 °C

escala en temperatura: 3mm = 1 grado C

/es decir,

es decir, con una muy escasa transferencia de cantidad de calor. Por el contrario, si el calor específico de la sustancia del pavimento es muy alto, éste necesitará una gran transferencia térmica para que la temperatura de su superficie se eleve hasta los 34°C, nivel en el que cesaría el tránsito de calor (suponiendo constante la temperatura de la piel). Estas consideraciones permiten comprender cómo algunas superficies pueden parecer mucho más "frías" que otras, siendo así que todas ellas estén objetivamente a la misma temperatura, la del aire ambiente. Se denomina "admisividad" (α) al producto de la conductividad por el calor específico volumétrico. $\alpha = k.cv = k.c.d$. Su medida se expresará pues en $\frac{J^2}{s.m^4 \text{ grado}^2 \text{ C}}$. Conforme al razonamiento antes expuesto, un cuerpo que esté a una temperatura inferior a la de la piel parecerá tanto más frío al tacto cuanto mayor sea su admisividad. A título de ejemplo, una alfombra puede presentar una admisividad unas cien veces menor que la de un pavimento de baldosín.

La "difusividad" (β) es otra magnitud que combina los efectos de transmisión y acumulación térmicas y está constituida por el cociente conductividad/calor específico volumétrico: $\beta = \frac{k}{Cv}$. Se mide en $\frac{m^2}{s}$ e indica la velocidad a la que se transmite un estado térmico.4/

La difusividad de un suelo natural constituirá un índice apropiado para predecir el margen de variación de las temperaturas superficiales que experimentará dicho suelo y la profundidad de penetración de las olas de calor diurno. Cuanto más baja sea la difusividad de un suelo --cuanto más seco y suelto esté--, mayor será el margen de variación de sus temperaturas superficiales, con las consiguientes repercusiones en el microclima. En el cuadro II-1 se hallarán valores de la admisividad y la difusividad propios de algunos materiales comunes en la edificación.

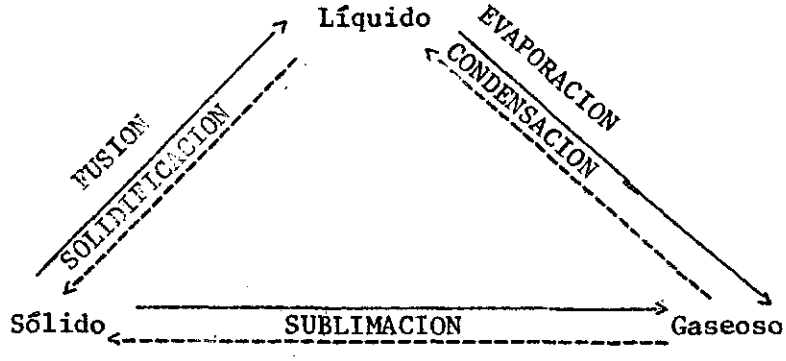
3. Cambios de estado

El estado de cada sustancia depende de sus condiciones de temperatura y presión. A presión constante, para hacer que una sustancia concreta cambie de estado, es necesario añadirle o quitarle calor. En el

4/ Si en un medio homogéneo indefinido a temperatura t_1 tomamos un punto y le suministramos el calor necesario para mantener su temperatura a un nivel $t_2 > t_1$, por conducción los puntos vecinos irán también adquiriendo la temperatura t_2. La difusividad medirá el ritmo de crecimiento de la superficie de la esfera que contenga a a todos los puntos a temperatura t_2.

/siguiente

siguiente diagrama se representan todas las combinaciones posibles; los procesos representados por flechas llenas consumen calor, los expresados mediante flechas de trazos ceden calor.



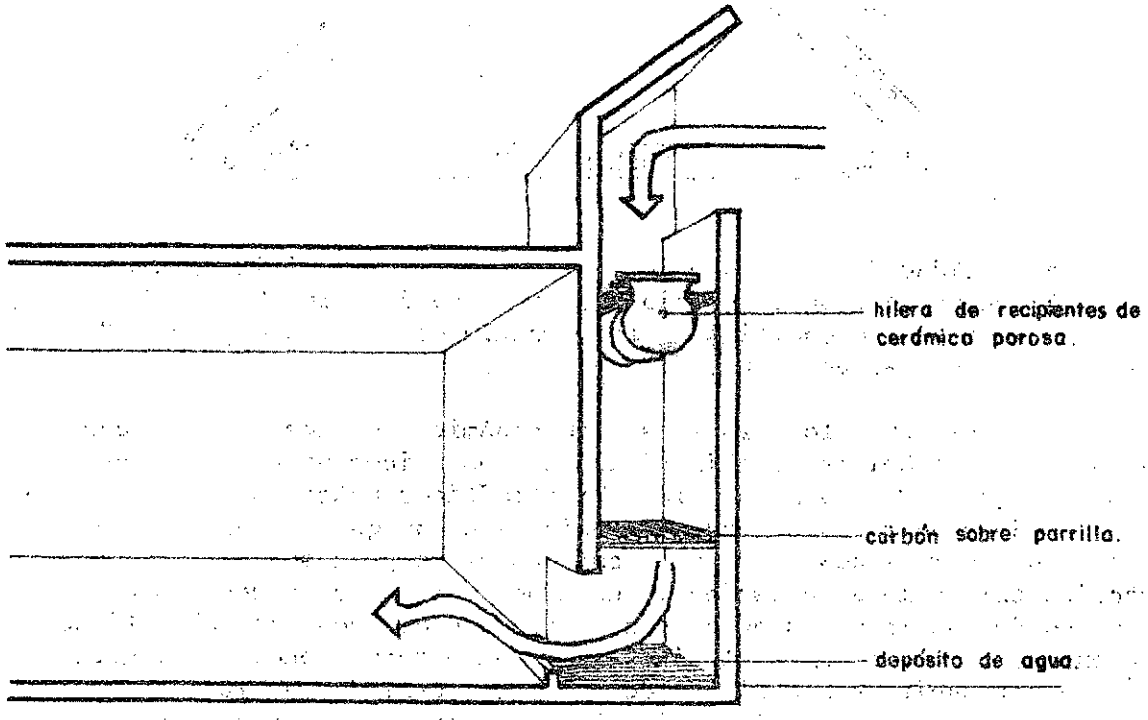
La cantidad de calor que se consume o se cede utilizándose exclusivamente en un proceso de cambio de estado se denomina "calor latente", en función de que no modifica la temperatura del cuerpo cuyo estado cambia. Se expresa en kJ/kg.

Si se excluyen los procesos termodinámicos en los que se basan los sistemas mecánicos de climatización, los únicos procesos de cambio de estado que para todos los fines bioclimáticos prácticos pueden interesar al diseñador urbano-arquitectónico son los que protagoniza el agua. En las regiones climáticas cálidas estos procesos se reducen prácticamente a la evaporación y, en menor medida, a la condensación. El hecho de que la evaporación sea un proceso que consume calor tiene una enorme importancia bioclimática. En un entorno seco, sin vegetación que transpire y sin planos de agua, la totalidad de la energía térmica suministrada por la radiación solar incidente se emplearía en aumentar la temperatura del aire y de las superficies de ese entorno. La introducción de superficies húmedas haría que una parte de esa energía se disipase en el proceso de evaporación, registrándose así menores aumentos de temperatura. Potencialmente, pues, la evaporación constituye un recurso para mejorar las condiciones de confort. Sin embargo, en los climas húmedos, el incremento en la humedad relativa del aire provocado por la evaporación podría resultar perjudicial para los efectos del confort térmico. Por ello, el recurso de la evaporación será tanto más valioso cuanto más seco y cálido sea el ambiente. En las regiones de clima cálido-seco se localizan frecuentes ejemplos de diseños que explotan el recurso de la humidificación y enfriamiento del aire exterior, seco y caliente, mediante el contacto con superficies constantemente húmedas. El agua, en forma de canales, estanques, fuentes, o en dispositivos como el que ilustra la figura II-6, constituye un tema inagotable de diseño. Conviene recordar al respecto que la

/Figura II-6

Figura II-6

DISPOSITIVO REFRIGERANTE UTILIZADO EN CLIMAS CALIDOS-SECOS



/evaporación,

evaporación, mientras la temperatura no alcance el punto de ebullición, es un fenómeno superficial. La cantidad de calor absorbida en un proceso evaporativo dependerá de la extensión de la superficie húmeda en contacto con el aire. La cuantificación energética de los procesos evaporativos resulta sencilla cuando se conoce la tasa de evaporación: basta multiplicar dicha tasa, en $kg/m^2.s$, por el calor latente de evaporación, que en el caso del agua ronda los 2 400 kJ/kg.5/

La dificultad radica, precisamente, en predecir la tasa de evaporación, que dependerá de la temperatura del agua y del movimiento, temperatura y humedad relativa del aire en contacto con el agua. El problema tiene solución teórica, pero la multiplicidad de las variables y sobre todo su impredecibilidad hacen que el cálculo preciso no resulte práctico para el diseñador.

4. Modelos de comportamiento térmico global de la edificación

El comportamiento térmico real de cualquier edificación concreta es sumamente complejo y muy variable en función, tanto de las aportaciones energéticas internas y externas, como de las condiciones microclimáticas externas. Los técnicos han propuesto modelos que, al costo de una drástica simplificación de la realidad, vuelven manejable y abordable el problema.

a) El modelo del régimen estacionario

El primero y el más simple de los modelos de comportamiento térmico, el único además que se utiliza en las normativas edilicias existentes, es el denominado "modelo del régimen estacionario". Consiste en suponer una diferencia de temperaturas constante entre el aire interior y el exterior. Esta situación provocaría un flujo término también constante, que atravesaría el involucro murario siempre en el mismo sentido. Los conceptos analíticos que se introdujeron para evaluar la capacidad aislante de un involucro se basan en la hipótesis del régimen estacionario, la cual permite reducir la complejidad del comportamiento real a un problema bastante simple de transmisión térmica por conducción. En el modelo del régimen estacionario el efecto de almacenamiento térmico resulta totalmente irrelevante. La mayor o menor capacidad térmica de los elementos constructivos no influye para nada en el flujo térmico final, sólo interviene en la determinación del tiempo requerido para que el régimen de flujo se estabilice. El gran problema del modelo que se comenta es su potencial distancia respecto a la realidad comprobable. El modelo del régimen estacionario se

5/ Estrictamente hablando, el calor latente de evaporación de un líquido no es constante: a igualdad de presión dependerá de la temperatura de ese líquido. Cuanto mayor sea la temperatura, menor será el calor latente de evaporación, el cual se llegará a anular cuando se alcance la temperatura crítica: 374°C en el caso del agua, temperatura a la cual se confunde el estado líquido con el gaseoso. En el margen normal de variación de temperaturas detectable en la vida cotidiana, el calor latente del agua no sufre grandes cambios: a 20°C es de 2 400 kJ/kg, mientras a 50°C es de 2 382 kJ/kg.

/aproximará

aproximará a la realidad en el caso de entornos cerrados, cuyo ambiente interior se mantenga artificialmente distante del ambiente exterior por medio de sistemas mecánicos de acondicionamiento de aire que funcionen continuamente. Este modelo no presentará pues problemas cuando se aplique a edificaciones en regiones sumamente frías, que requieran el uso permanente de sistemas de calefacción, o bien a construcciones en regiones muy calientes, en las que, a pesar de su elevado costo de instalación y mantenimiento, se opte por instalar climatizadores mecánicos de uso continuo. En ambos casos podrá suponerse un flujo térmico de régimen estable, hacia el exterior o hacia el interior. El factor de aislamiento cobrará entonces una gran importancia económica de cara a la factura energética.

En todos los demás casos, la simplificación que impone el modelo del régimen estacionario resultará generalmente inaceptable. La difundida utilización de este modelo está ligada a la práctica de los ingenieros climatizadores y sufrirá un profundo redimensionamiento a medida que se extienda la conciencia bioclimática entre los diseñadores y se agudice la crisis energética mundial. Desde esta perspectiva, es importante subrayar la inadecuación de las normativas edilicias de países en regiones templadas que, basándose en el modelo del régimen estacionario, exigen la obtención indiscriminada de unos valores mínimos de transmitancia para los involucros de las edificaciones, especialmente habitacionales. Con estas medidas legales se cierra el camino hacia toda racionalidad bioclimática: si bien se evita la posibilidad de un fuerte dispendio energético, se impide también, de hecho, el aprovechamiento de las condiciones externas favorables. La actitud de aislarse a toda costa respecto al ambiente exterior nos condenaría a una mediocridad tecnológica tanto más irracional cuanto menos "adverso" resulte ese ambiente exterior.

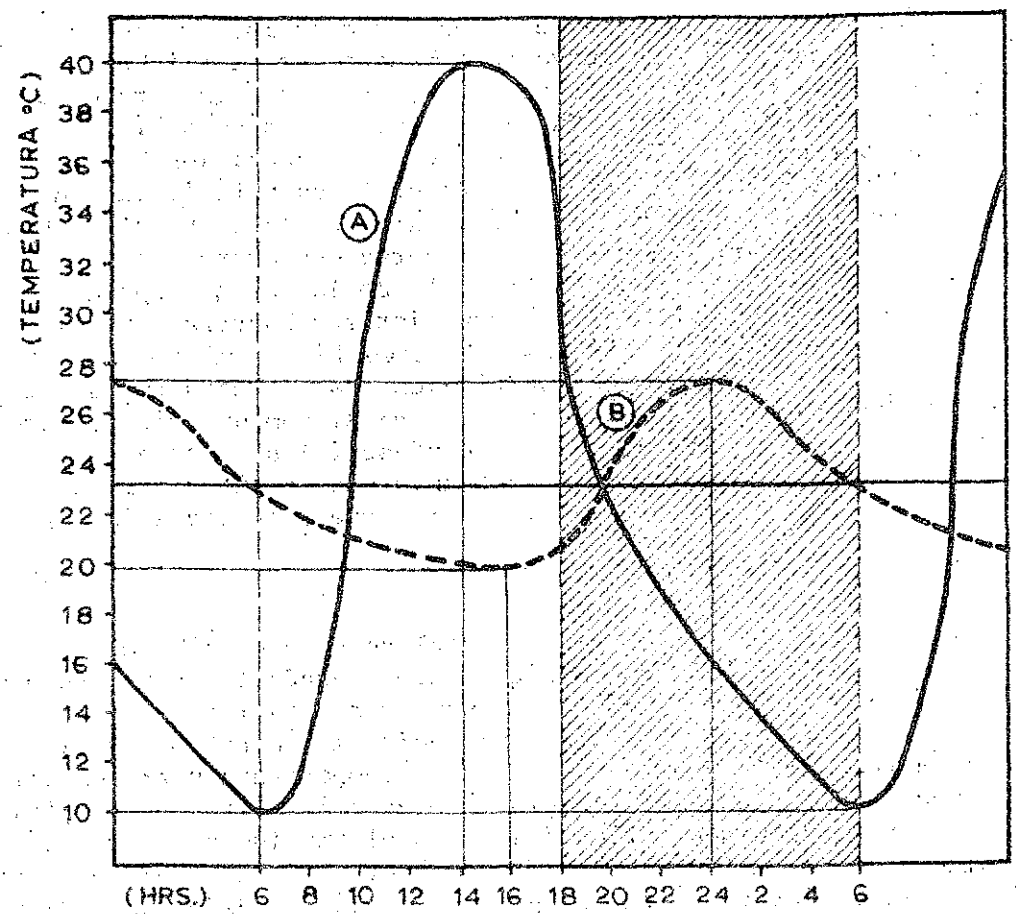
b) <u>El modelo del régimen periódico</u>

El modelo del régimen periódico está íntimamente ligado al planteamiento biotérmico del diseño arquitectónico, y se plantea como alternativa frente al modelo del régimen estacionario, tratando de conseguir un mejor ajuste respecto a la realidad. El objeto de modelizar es el comportamiento térmico de los elementos constructivos planos que conforman el involucro de una edificación, cuando se prescinde de los sistemas mecánicos de acondicionamiento. En vez de suponer una diferencia constante de temperaturas entre el interior y el exterior, el modelo del régimen periódico parte de la hipótesis de que la situación térmica exterior, caracterizada por la TS, experimenta una variación periódica estable, cuyo período coincide con las 24 horas del ciclo diario. En primera aproximación se puede aceptar que la curva de temperaturas secas presenta una forma perfectamente sinusoidal. Si se desea mayor exactitud puede recurrirse a la curva obtenida mediante el nomograma de la figura II-7. Mayor precisión todavía podrá obtenerse a partir de la curva de variación de la temperatura sol-aire, (véase el capítulo III)

/Figura II-7

Figura II-7

MODELO DEL REGIMEN PERIODICO



———— : Variación de la temperatura exterior

- - - - - - - - : Variación de la temperatura superficial interna correspondiente a un muro de adobe de 25 cms. de espesor

Desfase: 10 horas

Amortiguamiento: 0.23

/pues

pues de esta forma se tomarían en consideración los efectos de la radiación. La selección de la curva de temperaturas exteriores es arbitraria; la forma de esta curva constituye tan solo un dato de partida externo respecto al modelo. Una vez seleccionada esta hipótesis inicial, y siempre en ausencia de sistemas mecánicos de acondicionamiento, el modelo predice la variación de la temperatura de la superficie interna del elemento constructivo plano cuya otra cara se encuentra en contacto con el ambiente exterior. La forma de la curva que expresa esta variación de la temperatura interna será afín a la de la curva adoptada como hipótesis exterior: para obtener la curva interna bastará amortiguar y desfasar la curva externa. (Véase de nuevo la figura II-7.) El grado de amortiguamiento y el desfase constituyen las dos magnitudes que, en el modelo del régimen periódico, caracterizan el comportamiento térmico de un elemento constructivo plano. El desfase (ω) se mide generalmente en horas y el amortiguamiento (η) constituye una magnitud adimensional obtenida como cociente de la amplitud interna respecto a la amplitud externa $\eta = \frac{Ti}{Te}$ (Np.p.).[6/]

Se puede describir el proceso, tal como lo concibe el modelo del régimen periódico, en la forma siguiente: cuando la temperatura exterior vaya en aumento y rebase la temperatura interior, el involucro murario acumulará calor, y en cierta medida lo dejará pasar al interior. Cada capa acumulará calor, aumentará su temperatura y transmitirá por conducción parte de su energía térmica a las capas siguientes. Cuando la temperatura exterior descienda el involucro cederá el calor acumulado y lo hará tanto hacia el exterior como hacia el interior. El medio ambiente interno recibirá parte del calor cedido por el involucro y podrá, así, seguir aumentando su temperatura aunque la temperatura exterior se encuentre ya en descenso. Puede incluso darse el caso de que el interior esté recibiendo calor del involucro aun cuando la temperatura externa resulte inferior a la interna. Cuando el involucro haya cedido suficiente calor se invertirá el sentido global del flujo, transmitiéndose el calor desde el interior hacia el exterior, hasta que la temperatura externa vuelva a subir iniciándose un nuevo ciclo.

El involucro actúa pues, de acuerdo con el modelo, como un "volante de inercia térmica", provocando el desfase entre las curvas de variación de las temperaturas exterior e interior, así como el amortiguamiento de la amplitud de oscilación de la temperatura. (Véase la figura II-8.)

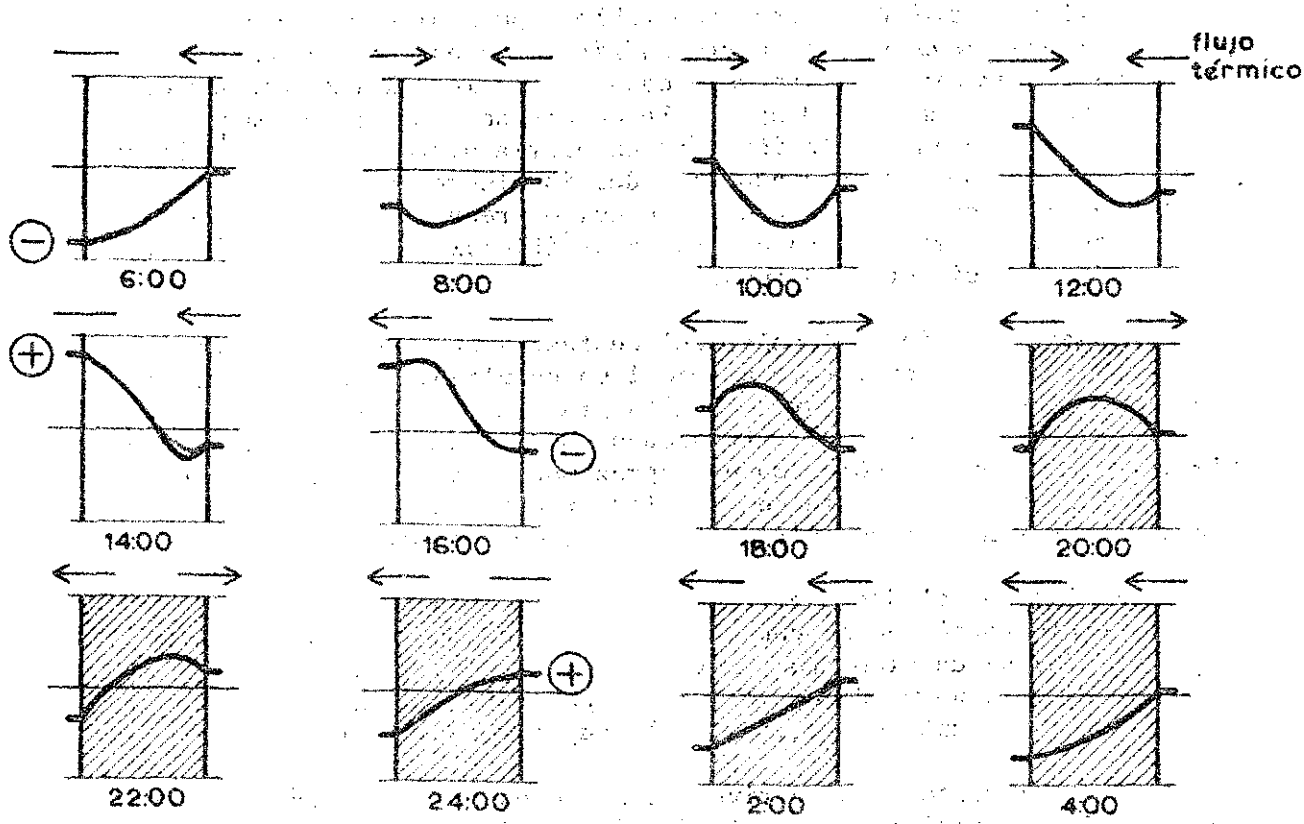
Es importante observar que las oscilaciones de las temperaturas exterior e interior se verifican respecto a un mismo nivel medio, que corresponde a la temperatura media diaria propia del período estacional considerado. Así, pues, los mecanismos térmicos de conducción/acumulación a que se refiere el modelo del régimen periódico sólo permiten reducir y desplazar en el ambiente interior los "picos" de la temperatura

6/ A veces se usan otras expresiones para hacer referencia a las mismas magnitudes, tales como "intervalo de transferencia", "tiempo de retardo", "retraso térmico" y "factor de reducción", "factor decremental" o amortiguación".

/Figura II-8

Figura II-8

SECUENCIA TEMPORAL DE GRADIENTES TERMICOS EN UN MURO DE ADOBE DE 25 CMS. DE ESPESOR. MODELO DE REGIMEN PERIODICO



/ambiente

ambiente exterior, pero siempre manteniendo la oscilación en torno al mismo nivel medio. Sólo un sistema consumidor de energía permitiría temperaturas medias interiores diferentes de las exteriores. En los climas templados, cuando la temperatura media es demasiado baja, un buen diseño solar pasivo puede bastar para elevar la temperatura media interior. En las regiones cálidas-áridas, la temperatura media diaria suele oscilar dentro de límites aceptables, pues si bien las máximas pueden ser muy elevadas, el fuerte enfriamiento nocturno reduce considerablemente las mínimas. En este caso el modelo del régimen periódico se torna un instrumento indispensable de diseño. En los climas cálidos-húmedos con muy baja oscilación térmica diaria pierde sentido utilizar el proceso de acumulación/conducción del involucro para mejorar las condiciones de confort, quedando como únicos recursos efectivos aquéllos que garanticen el movimiento natural o artificial del aire y el control de la radiación directa o difusa.

La determinación del valor del desfase y del amortiguamiento para cada caso concreto constituye un problema complejo. A efectos técnicos tendría poco sentido aspirar a un alto grado de precisión en el cálculo, puesto que los factores que intervienen en el mismo varían considerablemente y se conocen sólo con una aproximación a veces bastente burda. Es pues sensato contentarse con simples órdenes de magnitud, que de todas maneras bastarán para deducir lineamientos de diseño.

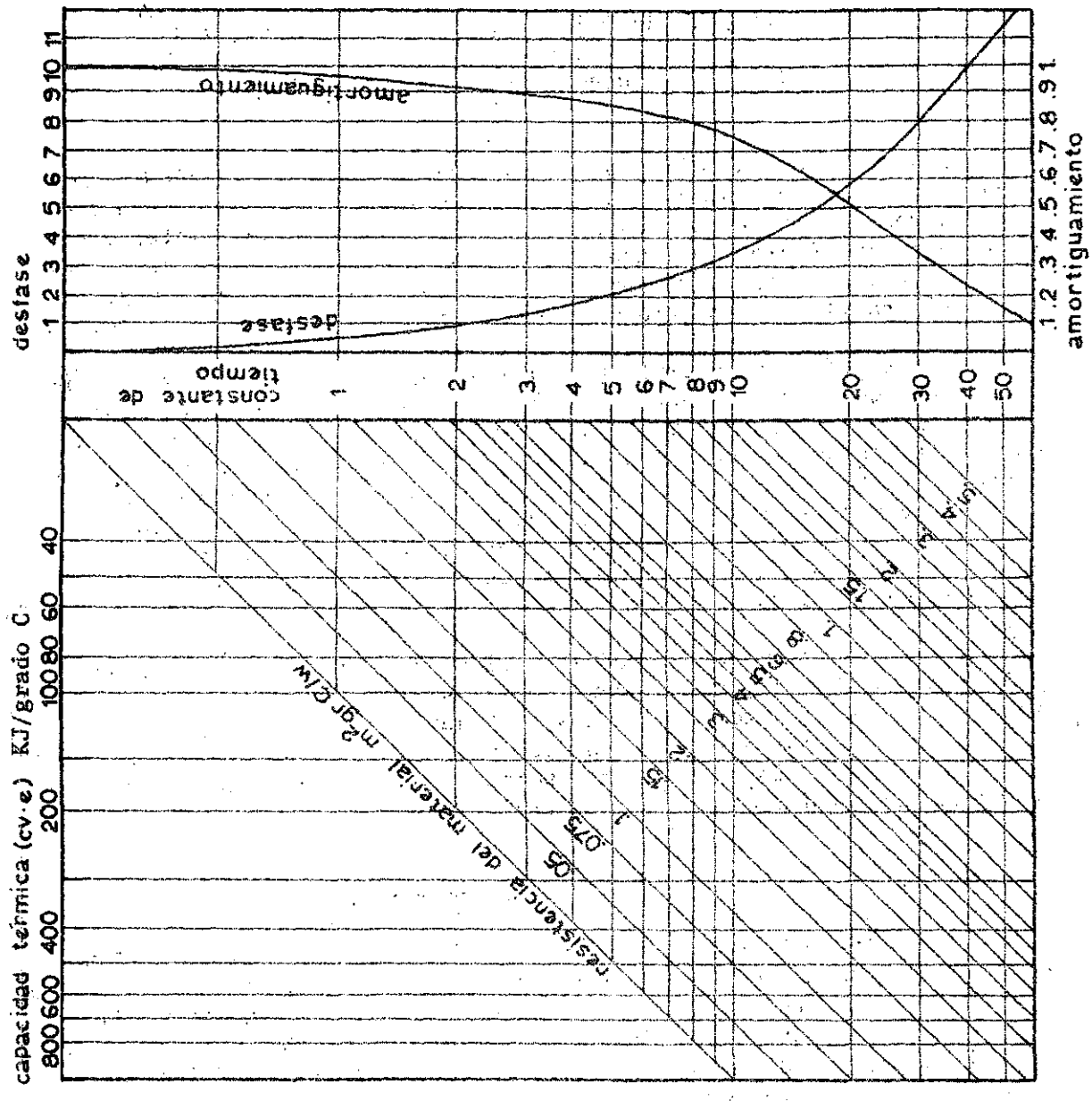
El cálculo del desfase y del amortiguamiento comienza en general por la determinación de la constante de tiempo. Se denomina <u>constante de tiempo</u> (θ) de un elemento constructivo al producto de la capacidad térmica total de un m^2 de ese elemento, por la resistencia térmica que ofrece desde su punto central hasta la superficie exterior.

Si un elemento constructivo plano, de espesor e, está constituido por un solo material su constante de tiempo (θ) podrá expresarse en la forma siguiente: $\theta = Cv.\ e.(Rse + \frac{1}{2}\ e.\ r_1)$, siendo e el espesor en metros, Cv el calor específico volumétrico en J/m^3 grado C, Re la resistencia superficial externa, medida en $\frac{m^2 \text{grado C}}{W}$, y r_1 la resistividad del material que conforma el elemento, en $\frac{m.\ \text{grado C.}}{W}$ Podrá comprobarse que θ, al ser producto de una capacidad por una resistencia, tiene una dimensión de <u>tiempo</u> (segundos), Como suele manejarse medido en horas, será necesario dividir la magnitud calculada por 3 600 (seg/hora). Conociendo la constante de tiempo que corresponde a un caso concreto, se podrá utilizar un nomograma que suministre directamente los valores del desfase y el amortiguamiento. La figura II-9 es copia de uno de estos nomogramas, adaptado de Wakely (1978). Si el elemento constructivo está compuesto por varias capas, bastará recordar que las constantes de tiempo <u>tienen propiedad aditiva</u>. Se sumarán pues las constantes de tiempo propias de cada capa para obtener la constante de tiempo total del elemento.

/Figura II-9

Figura II-9

MODELO DEL REGIMEN PERIODICO. NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL DESFASE Y DEL AMORTIGUAMIENTO



$$/\theta = \frac{1}{3\ 600}$$

$$\theta = \frac{1}{3\,600} \sum_{1}^{n} Cv_2 . e_1 \left(Rse + \frac{1}{2} e_1 r_1\right) + Cv_2 . e_2 \left(Rse + e_1 . r_1 + \frac{1}{2} e_2 r_2\right) + \ldots + Cv_n \; e_n \left(Rse + e_1 . r_1 + \ldots + \frac{1}{2} e_n r_n\right)$$

Obsérvese que el cálculo de las resistencias se efectúa siempre desde el centro de cada capa hasta la superficie exterior, incluyendo pues la resistencia total propia de cada una de las capas interpuestas entre esa superficie y la capa considerada. Conocida la constante de tiempo total se leerá directamente en la parte derecha del nomograma de la figura II-10, los valores del desfase y del amortiguamiento.

Con la técnica descrita pueden estimarse los desfases y amortiguamientos que corresponden a diferentes soluciones constructivas. Resulta bastante instructivo, por ejemplo, apreciar la gran diferencia de resultados que puede obtenerse según que se ubique una capa fuertemente aislante en la cara externa o en la interna de un muro macizo. Como puede apreciarse en la figura II-11, tanto el desfase como el amortiguamiento son mucho mayores cuando la capa más aislante se coloca hacia el exterior, al entorpecer considerablemente el llenado/vaciado térmicos del muro macizo.

La relación entre el desfase y el amortiguamiento no es lineal, pero como podrá apreciarse, cuanto mayor sea el desfase mayor será el amortiguamiento, o viceversa. Los desfases entre 8 y 16 horas corresponderán a un tipo de edificación pesada, con gran inercia térmica. Los desfases inferiores a 3 horas serán propios de construcciones ligeras, de rápida respuesta al cambio exterior.

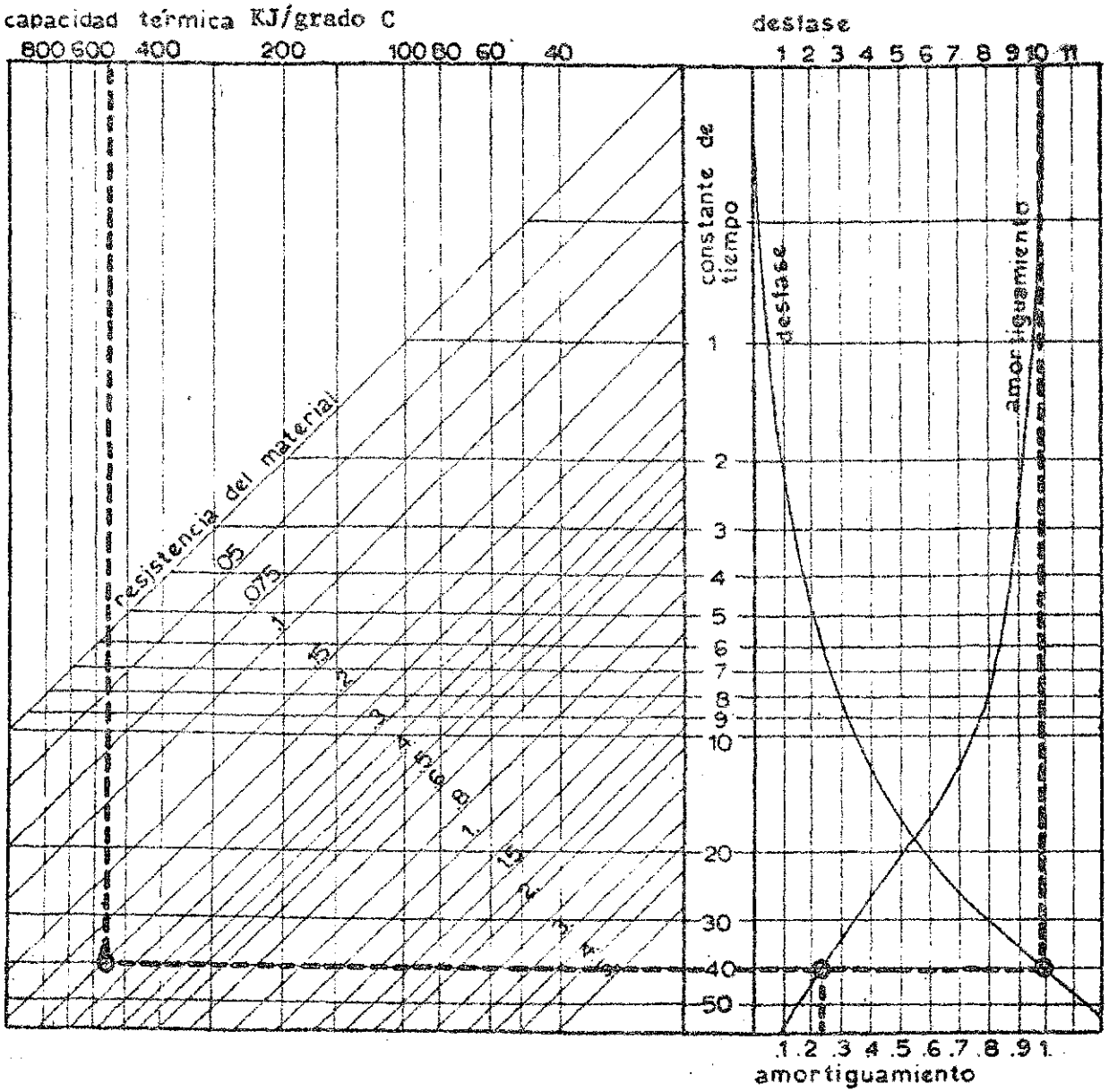
5. Cálculo y diseño térmicos

Los desarrollo de índole técnica que anteceden constituyen tan sólo instrumentos para ejercer algún control sobre la base de una estrategia predeterminada. Lo que importa sobre todo es que la estrategia de diseño adoptada sea la adecuada. Es necesario recordar que el fracaso bioclimático de una edificación nunca se debe a un error de cálculo, sino a planteamientos de base equivocados, a formas erróneas de enfocar el problema. A lo más que aspira el cálculo es a tratar de cuantificar algún hecho; la opción global de diseño señala qué hechos valdría la pena cuantificar y por qué. Será absurdo pues extralimitar en forma fetichista el valor de las técnicas de cálculo. Por otra parte, el cálculo parece concentrarse en los fenómenos de conducción, más manejables desde el punto de vista técnico. Los demás tipos de transferencia térmica se tienden a reducir a procesos de conducción, mediante los constructos conocidos "resistencias superficiales", "temperaturas sol-aire", y esta reducción conlleva a veces a una notoria falta de adecuación del modelo a la realidad. Los cálculos demasiado meticulosos, como los que se sugieren en algunos textos, pierden de vista este hecho.

/Figura II-10

Figura II-10

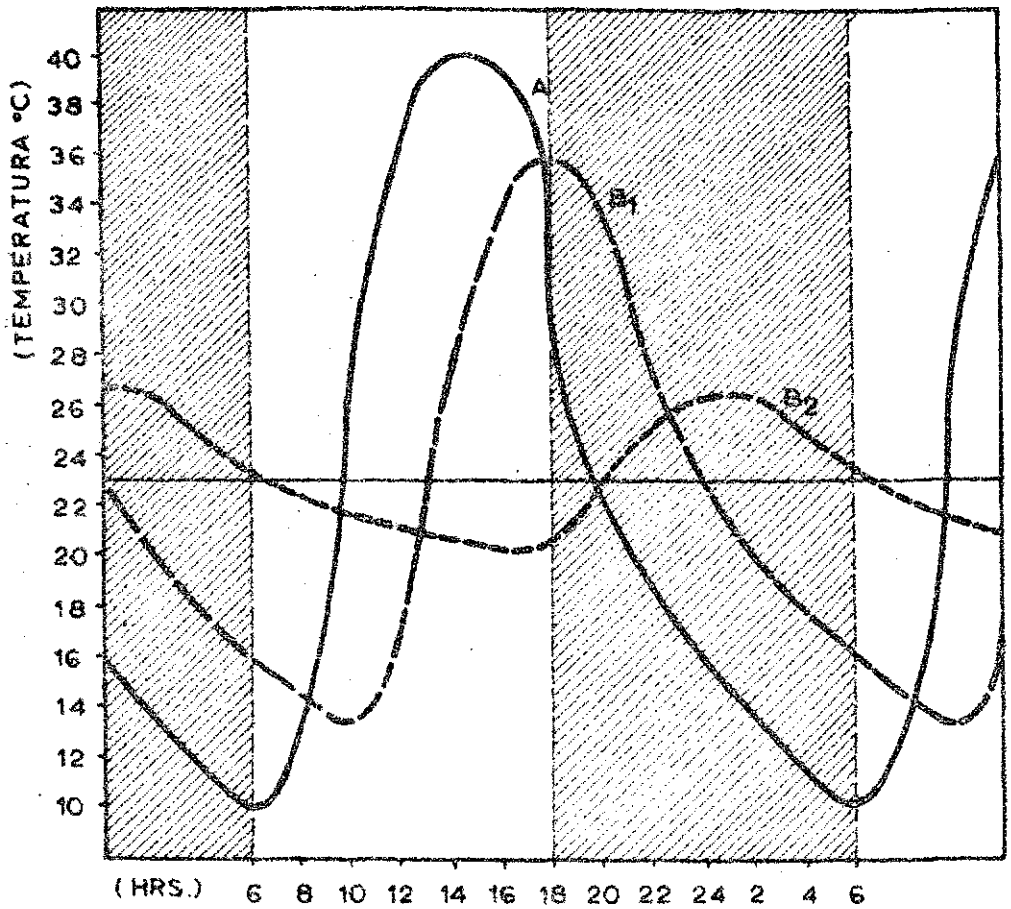
UTILIZACION DEL NOMOGRAMA DE LA FIGURA 8. DEDUCCION DEL DESFASE Y DEL AMORTIGUAMIENTO CORRESPONDIENTES AL MURO DE ADOBE DE 25 CMS



/Figura II-11

Figura II-11

MODELO DEL REGIMEN PERIODICO: IMPORTANCIA DE LA UBICACION DE UNA CAPA AISLANTE



_____: Variación de la temperatura exterior

— — —: Variación de la temperatura superficial interna de un muro de tabique de 12 cms. recubierto <u>interiormente</u> con una plancha de 2 cms. de poliestireno expandido

--------: Variación de la temperatura superficial interna del mismo muro interior pero con la capa aislante hacia el <u>exterior</u>

/Por ejemplo,

Por ejemplo, en vez de manipular exasperadamente la composición de los elementos constructivos externos para lograr un desfase y un amortiguamiento "ideales", podría explorarse la posibilidad de utilizar el frescor nocturno exterior por el simple procedimiento de abrir ventanas y permitir una fuerte circulación de aire fresco que reduzca por convección la temperatura de todos los elementos constructivos. La mejor técnica de cálculo no puede ni debe desplazar la intervención deliberada de los usuarios, posibilitada por un inteligente diseño.

La construcción tradicional, incluso aquella relacionada con una práctica profesional, hacía frecuentemente bioclimatismo sin saberlo. Mientras la estabilidad estructural, la "firmitas" vitrubiana, se conseguía disponiendo grandes masas de materiales, el funcionamiento de la construcción como volante de inercia térmico quedaba asegurado, con los consiguientes beneficios en las zonas climáticas que manifestaran marcadas oscilaciones diarias de temperatura. La seguridad estructural garantizaba, como subproductos, altos valores de aislamiento y de capacidad de acumulación térmica. Sin que los diseñadores tuvieran plena conciencia de ello, los elementos constructivos del involucro operaban siempre multifuncionalmente: estos elementos masivos, además de resistir mecánicamente, aislaban térmica y acústicamente.

Las grandes innovaciones tecnológicas constructivas contemporáneas, tardías herederas de la Revolución Industrial, determinaron la aparición de materiales monofuncionales. Los esqueletos metálicos o de concreto armado cumplen magníficamente con su función resistente, pero son lamentables desde el punto de vista del aislamiento térmico o acústico, especialmente si se forran con planchas de vidrio plano. Los materiales sintéticos que funcionan como magníficos aislantes térmicos poseen una resistencia mecánica despreciable. Esta división del trabajo o "especialización" de los materiales de construcción industrializados vuelve indispensable la difusión de unos conocimientos técnicos que garanticen su uso correcto. El dominio de los principios técnicos no puede sustituirse por la adopción de recetas. Por ejemplo, a pesar de que, como se señaló, la eficacia de una capa aislante aumenta cuando se sitúa ésta en la parte externa de un muro, sería aventurado adoptar en cualquier caso esta ubicación. Concretamente, si el diseñador se enfrenta al problema de acondicionar un espacio para un uso colectivo intermitente para el que se justifique una instalación de climatización mecánica, tendrá mucho interés en diseñar una capa aislante que forre la pared <u>interior</u> del involucro, obteniendo así una ventajosa rapidez de respuesta térmica y un considerable ahorro energético. La solidez del conocimiento técnico es la que posibilita el ejercicio más fructífero de la imaginación.

III. RADIACION SOLAR Y EDIFICACION

1. Acción de la radiación sobre un elemento constructivo

a) Procesos globales

Cuando la radiación solar incide sobre un elemento constructivo, una parte de la misma es reflejada, otra es absorbida, produciéndose un calentamiento del elemento y, en el caso de las sustancias relativamente transparentes a la radiación, una última parte se transmite directamente. (Véase la figura III-1.)

La parte de radiación absorbida es a su vez re-radiada, tanto hacia el interior como hacia el exterior: d = di + de. La radiación total que atraviesa el elemento será: c + di. La radiación incidente será igual a la suma de la radiación reflejada, más la absorbida, más la transmitida

$$I = b + c + d$$

El comportamiento radiante de un elemento constructivo dado no es fijo, sino que depende en gran medida de la longitud de onda de la radiación incidente, así como del ángulo de incidencia.

b) Magnitudes

La absortividad (σ) es la proporción de la radiación incidente que se absorbe y/o se transmite a través de la superficie sobre la que incide:

$$\sigma = \frac{c + d}{I} \quad \text{(adimensional)}$$

La reflexividad (τ) es la proporción de la radiación incidente que se refleja sobre la superficie de incidencia:

$$\tau = \frac{b}{I} \quad \text{(adimensional)}$$

La reflexividad es una magnitud fuertemente direccional, muy variable según el ángulo de incidencia.

La radiación reflejada presenta la misma longitud de onda que la radiación incidente; sólo varía su intensidad y su dirección.

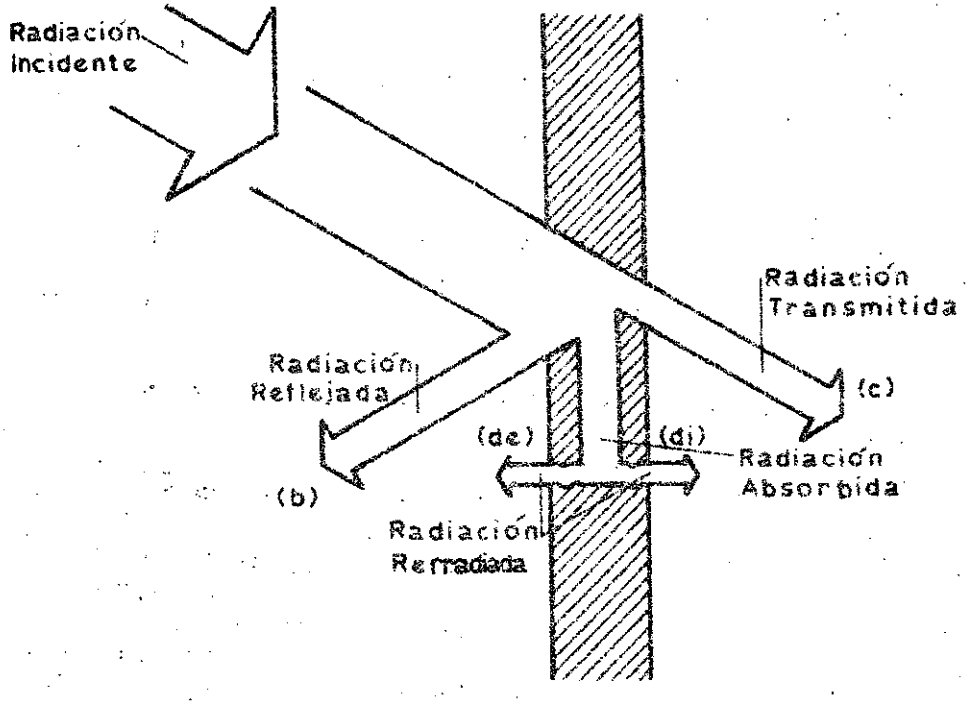
La suma de la absortividad y la reflexividad siempre será igual a la unidad:

$$\sigma + \tau = 1.$$

/Figura III-1

Figura III-1

ACCION DE LA RADIACION SOBRE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO.
CASO GENERAL



/La emisividad

La emisividad de un cuerpo mide su capacidad para emitir radiación térmica. Para cualquier cuerpo opaco (c = o) su emisividad es igual a su absortividad, para radiaciones de una misma longitud de onda.

Sobre los elementos constructivos inciden radiaciones "cortas" (solares) y "largas" (terrestres); presentarán pues dos órdenes generales de absortividad. Pero cualquiera que sea la radiación incidente, el margen de las temperaturas que presentan normalmente los elementos constructivos determina que su emisión radiante corresponda siempre al tipo de radiación larga, infrarroja.

El "cuerpo negro" perfecto se caracteriza por: $\sigma = 1, \tau = 0$. Toda la radiación incidente, de cualquier longitud de onda, es absorbida y re-radiada.

El "cuerpo reflejante" perfecto se caracteriza por: $\sigma = 0, \tau = 1$. Toda la radiación incidente es reflejada; el intercambio térmico por radiación es nulo, al serlo la absortividad y la emisividad. Un cuerpo con alta reflexividad tiene dificultad en perder por radiación su energía térmica.

Con la excepción de las superficies metálicas bruñidas, todas las superficies correspondientes a elementos constructivos se comportan frente a las radiaciones largas casi como cuerpos negros, independientemente de su color y de su acabado. Frente a las radiaciones infrarrojas, una pared recién encalada opera prácticamente como un cuerpo negro. Por ello, si se desea proteger una pared como la representada en la figura III-2, protegida de la radiación solar directa, pero expuesta a la radiación proveniente del cerro y del camino recalentados por una larga acción del sol, no tendrá ningún sentido encalarla: la única solución técnica, bastante costosa, consistiría en revestirla con láminas metálicas, manteniéndolas lo más brillantes que sea posible. Sería más lógico desviar el camino y sustituirlo por una masa de vegetación que absorbiera la radiación infrarroja y la disipara por convección y evapotranspiración.

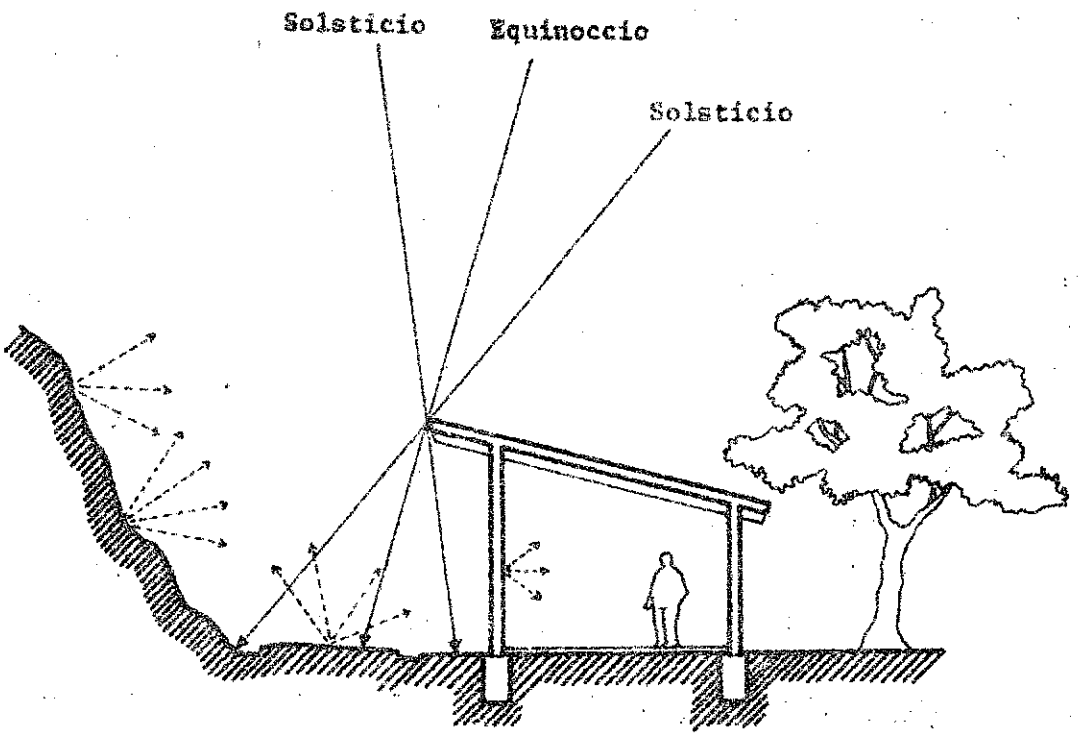
En lo que respecta a la radiación corta, solar, el comportamiento radiante de las superficies de los elementos constructivos dependerá en gran medida del color y del acabado superficial. En el cuadro siguiente se pueden apreciar las características radiantes de las superficies más comunes en la edificación.

Se denomina "factor de ganancia solar" o "factor solar" (f) a secas, al cociente $\frac{c + d1}{I}$, es decir, a la proporción de la radiación solar incidente que logra atravesar el elemento constructivo. El flujo térmico no depende solamente de las características superficiales radiantes, sino también de las condiciones aislantes globales del elemento constructivo.

/Figura III-2

Figura III-2

RADIACION LARGA INCIDENTE SOBRE UNA FACHADA



/CARACTERISTICAS

CARACTERISTICAS RADIANTES DE SUPERFICIES COMUNES
EN LA EDIFICACION

Superficie	Absortividad (radiación corta, solar)	Emisividad (radiación larga, terrestre)
Hoja de aluminio brillante	0.05 - 0.1	0.05 - 0.1
Lámina de aluminio, con pátina de oxidación	0.3 - 0.5	0.2 - 0.5
Pintura de aluminio	0.4 - 0.55	0.4 - 0.55
Hierro galvanizado, con pátina normal	0.3 - 0.5	0.2 - 0.4
Encalado reciente	0.12	0.90
Madera, lámina de asbesto, nueva	0.40	0.90
Lámina de asbesto, con pátina negra	0.70	0.90
Ladrillo, teja, piedra	0.70	0.90
Concreto aparente	0.45 - 0.65	0.90
Pintura de aceite, blanca	0.20	0.90
Pintura verde o gris, clara	0.40	0.90
Pintura verde o gris, obscura	0.70	0.90
Pintura negra o asfalto	0.85	0.90

Fuente: M. Evans (1980) y B. Givoni (1976).

/En forma

En forma aproximada, el factor solar puede evaluarse mediante la fórmula: $f = U. \sigma . Rse.$, siendo U la transmitancia, σ la absortividad y Rse la resistencia superficial externa. El factor solar, "f", es adimensional, y frecuentemente se expresa como porcentaje. Si se asume, en primera aproximación, un valor constante de 0.05 $\frac{m^2 \text{ grado C}}{W}$ para Rse, entonces $f (\%) = 5 U. \sigma$. Un factor solar inferior a 4% garantizará en techos una temperatura de no más de 5°C por encima de la del aire, lo cual resultará en general satisfactorio para climas cálidos.

El "incremento sol-aire" es la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el interior que generaría un flujo térmico por conducción igual al que provoca la radiación incidente. La "temperatura sol-aire" (Tsa) es la suma de la TS real del aire exterior más el incremento sol-aire. Su cálculo se puede deducir por una parte de la expresión del factor solar: $U. \sigma . Rse = \frac{d}{I}$ (se supone un cuerpo opaco (c = 0), y una re-radiación hacia el exterior despreciable (d = di)) y, por otra, de la fórmula de la transmisión térmica por conducción: d = U (AT), de donde: $AT = \sigma . Rse. I$:

$$Tsa = TS + AT = TS + \sigma . Rse. I.$$

TS se expresa en °C, Rse en $\frac{m^2 \text{ grado C}}{W}$, I en $\frac{W}{m^2}$. Como en el caso del factor solar, se puede asumir para Rse un valor constante de 0.05 $\frac{m^2 \text{ grado C}}{W}$, muy común en climas cálidos, con bajas velocidades del aire.

c) Radiación incidente sobre vidrio plano

i) Comportamiento del vidrio ordinario. De especial importancia para la edificación resulta el estudio de la incidencia de la radiación solar sobre el vidrio plano, por la frecuencia con que se presenta el caso y por sus peculiares características. La cantidad de radiación que se transmite directamente a través de un vidrio plano depende mucho del ángulo de incidencia: hasta los 45°, esa magnitud casi no varía, pero a partir de los 60° la energía transmitida decrece bruscamente hasta anularse. En cambio, la capacidad de absorción interna de la radiación es prácticamente independiente del ángulo de incidencia.

La característica más notoria del comportamiento del vidrio plano respecto a la radiación consiste en su selectividad respecto a la longitud de onda. Este material es relativamente transparente frente a la radiación solar (corta), pero se comporta prácticamente como un cuerpo opaco frente a la radiación larga. 1/ En esto consiste el llamado "efecto de invernadero": la energía solar penetra con facilidad a través del vidrio, pero al transformarse en radiación larga, infrarroja, se encuentra con una mayor resistencia para atravesar de salida ese mismo material. Como

1/ El vidrio plano comparte esta característica con muchas láminas plásticas transparentes.

/consecuencia,

consecuencia, la temperatura del ambiente interno se eleva considerablemente respecto a la del exterior. Aunque el vidrio dificulta la transmisión radiante de energía en la banda infrarroja, recuérdese que dicho material es poco aislante y se usa además en láminas muy delgadas, por lo que se producirá de todas formas una fuerte transmisión energética por conducción.

ii) Vidrios especiales. El vidrio plano ordinario deja pasar la casi totalidad de la radiación solar en la banda visible que incida con bajo ángulo de incidencia, absorbiendo internamente una muy pequeña cantidad de energía. La tecnología industrial ha introducido variaciones en la composición de este material que conllevan cambios en su comportamiento radiante (véase la figura III-3). Los vidrios "reflectantes" incorporan una capa que aumenta la proporción de la radiación reflejada. Frecuentemente, estas capas reducen más la luz visible que el calor incidente. Los vidrios "absorbentes" absorben una mayor cantidad de radiación infrarroja, re-radiándola tanto hacia el exterior como hacia el interior. Estos vidrios, al exponerse a la radiación solar, alcanzan temperaturas que cuadruplican normalmente la de los vidrios ordinarios, por lo que se pueden producir peligrosas dilataciones.

En los países tropicales el vidrio plano ordinario es ya de por sí un material caro, difícil de manipular, de alto componente energético (20 MJ/kg), y frecuentemente importado. Los vidrios especiales, tanto los de tipo "reflectante" como los de tipo "absorbente", son varias veces más caros que el vidrio ordinario y además se tienen casi siempre que importar, por lo que se desaconseja formalmente su uso en países en desarrollo. En este caso resulta más eficaz y económico utilizar el vidrio ordinario y protegerlo contra la radiación incidente. Incluso, en ocasiones, se podrá prescindir del uso del vidrio en ventanas.

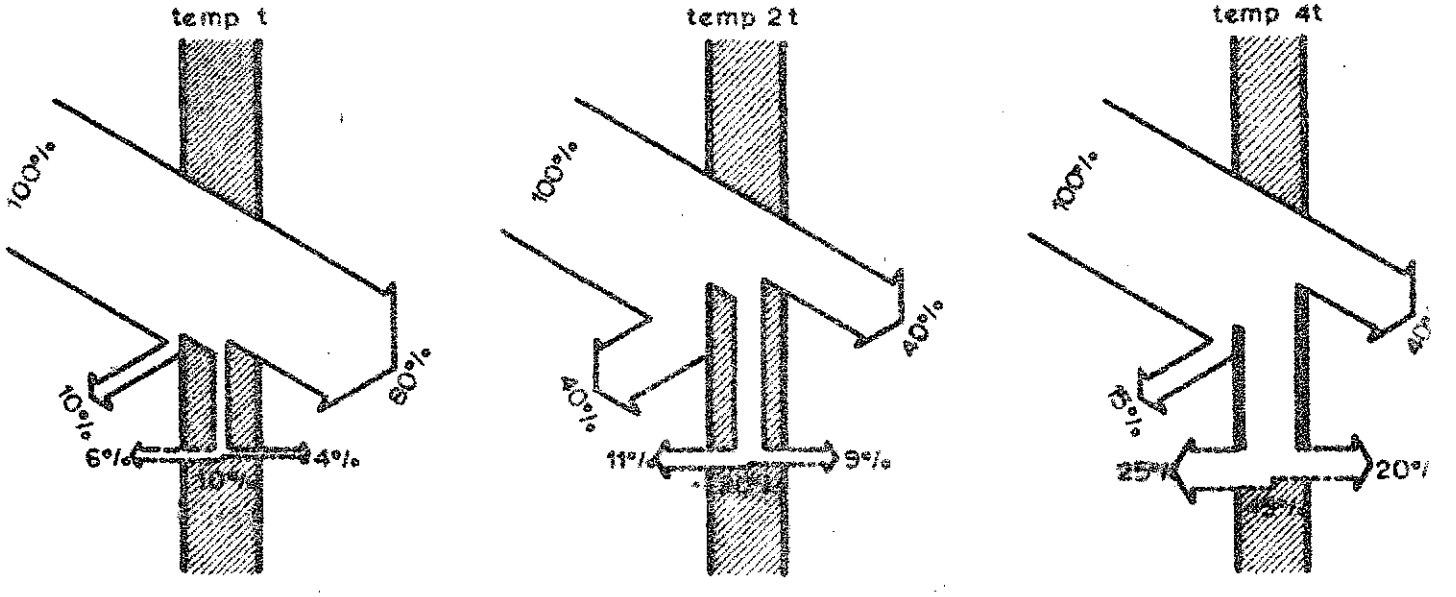
iii) Dispositivos de protección. Cualquier modo de protección de un vidrio contra la radiación solar será mucho más eficaz si se coloca en el exterior que si se dispone en el interior. Una vez que la energía radiante ha atravesado el vidrio resulta mucho más difícil desembarazarse de ella. En la figura III-4 puede apreciarse la razón de la importancia de la ubicación, exterior o interior, de la protección. Son pues desaconsejables las llamadas "persianas venecianas" interiores. Si por alguna razón la protección se tuviera que colocar en el interior, conviene que sea lo más clara y reflectante que se pueda, para que la interacción vidrio-protección se realice lo más posible en la banda de las radiaciones cortas y se limite así el "efecto de invernadero".

La protección externa de los vidrios contra la radiación solar puede obtenerse principalmente mediante tres factores: la orientación, la interposición de elementos naturales (en general, vegetación) y la utilización de elementos constructivos. Se denomina "partesol" a todo elemento constructivo que se diseña y construye específicamente para obtener protección contra la radiación solar. Existen muchos tipos de partesoles: horizontales, verticales, combinados; pueden ser además fijos o móviles, macizos o compuestos por elementos laminares más pequeños.

/Figura III-3

Figura III-3

COMPORTAMIENTO RADIANTE DEL VIDRIO ORDINARIO Y DE LOS VIDRIOS ESPECIALES



VIDRIO ORDINARIO

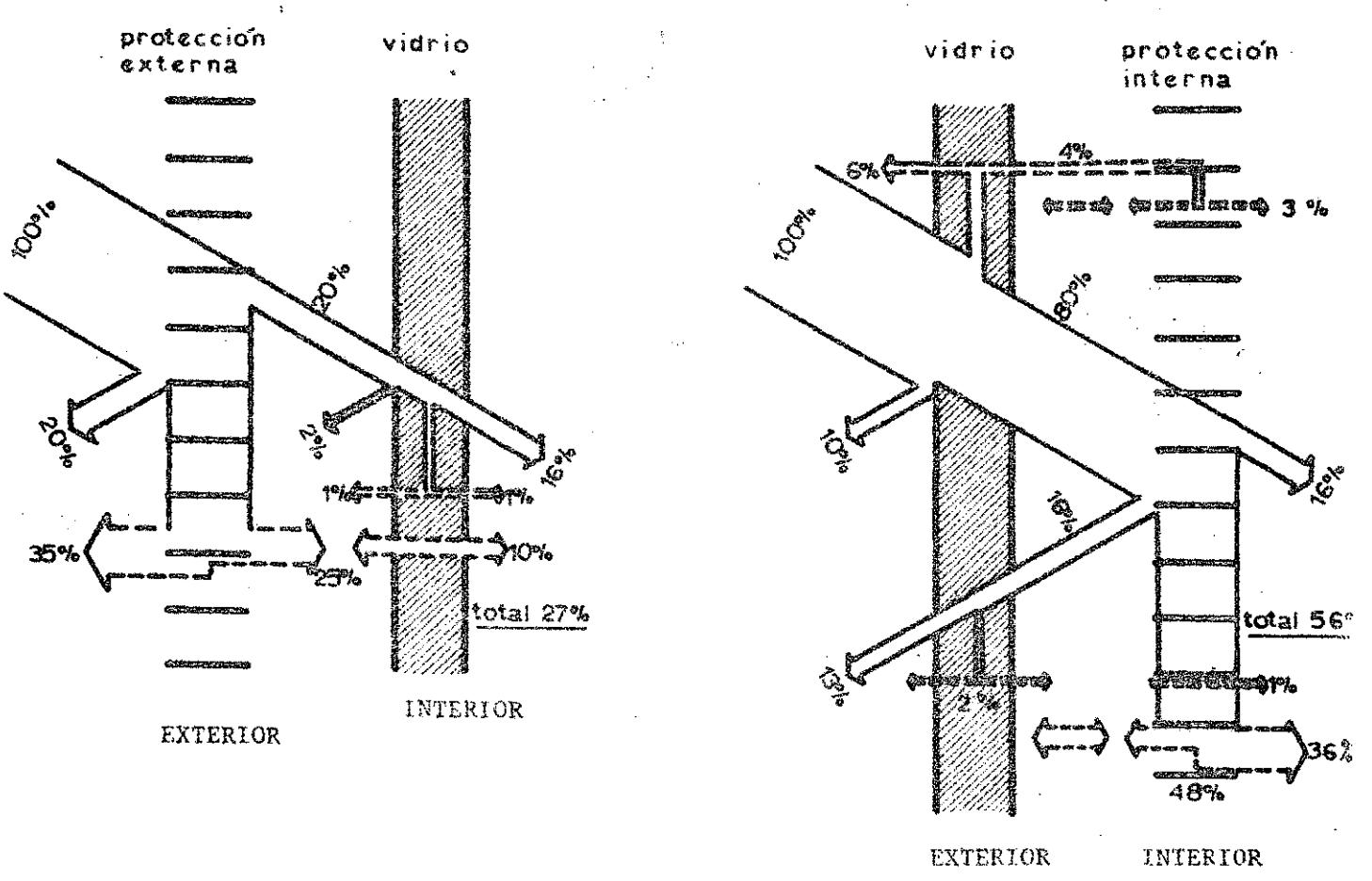
VIDRIO "REFLECTANTE"

VIDRIO "ABSORBENTE"

/Figura III-4

Figura III-4

IMPORTANCIA DE LA UBICACION, INTERNA Y EXTERNA, DE UNA PROTECCION FRENTE A LA RADIACION SOLAR



/No tendría

No tendría mucho sentido tratar de suministrar recetas universales para el diseño de partesoles. Este texto sólo pretende facilitar la información técnica básica para que los diseñadores puedan ejercer su creatividad y tomar en forma autónoma sus propias decisiones. Se propone pues solamente una metodología muy general que se articula según los siguientes pasos:

i) Caracterización de los requerimientos de protección contra la radiación;

ii) Predicción del movimiento aparente del sol en la localidad;

iii) Selección y predimensionamiento del tipo de protección eficaz, y

iv) Comprobación del funcionamiento del dispositivo elegido y modificación eventual del diseño.

Para la etapa i) será de utilidad el análisis de las condiciones climatológicas locales y su confrontación con índices confiables de confort térmico. Se determinarán así los períodos anuales y las horas del día en que habitualmente se necesitará la protección contra la radiación solar directa. En el documento Bioclima y confort térmico (E/CEPAL/MEX/SEM.6/L.5), se desarrollaron ya los conocimientos necesarios para llevar a efecto los objetivos tanto de esta etapa como de la siguiente. La etapa iii) se inserta en el proceso integral de diseño, por lo que las decisiones que en ella se tomen obedecerán a una lógica cultural y económica y no sólo a la lógica técnica en que se centra este texto. En principio, para operar en la etapa iii) bastarán los modelos gráficos de anteproyecto. Un procedimiento práctico y preciso consiste en imaginar que el modelo de la semiesfera celeste se ha centrado en el punto inferior central del hueco que se desea proteger. El dispositivo que se proyecte determinará una reducción de la parte de bóveda celeste visible, obstruyendo así el recorrido aparente del sol. La obstrucción dependerá de la configuración concreta del dispositivo. Se podrá así obtener una definición funcional del dispositivo, previa a su definición formal. (Véase la figura III-5.) La etapa iv) y última se puede desarrollar mediante el minucioso análisis del comportamiento de una maqueta de trabajo emplazada en un heliodon, o manejada en combinación con un indicador gnomónico como el que se propuso en Bioclima y confort térmico (IV, 2.e). Muchos técnicos preferirán proyectar y comprobar directamente sobre una maqueta de cartón muy sobria y transformable.

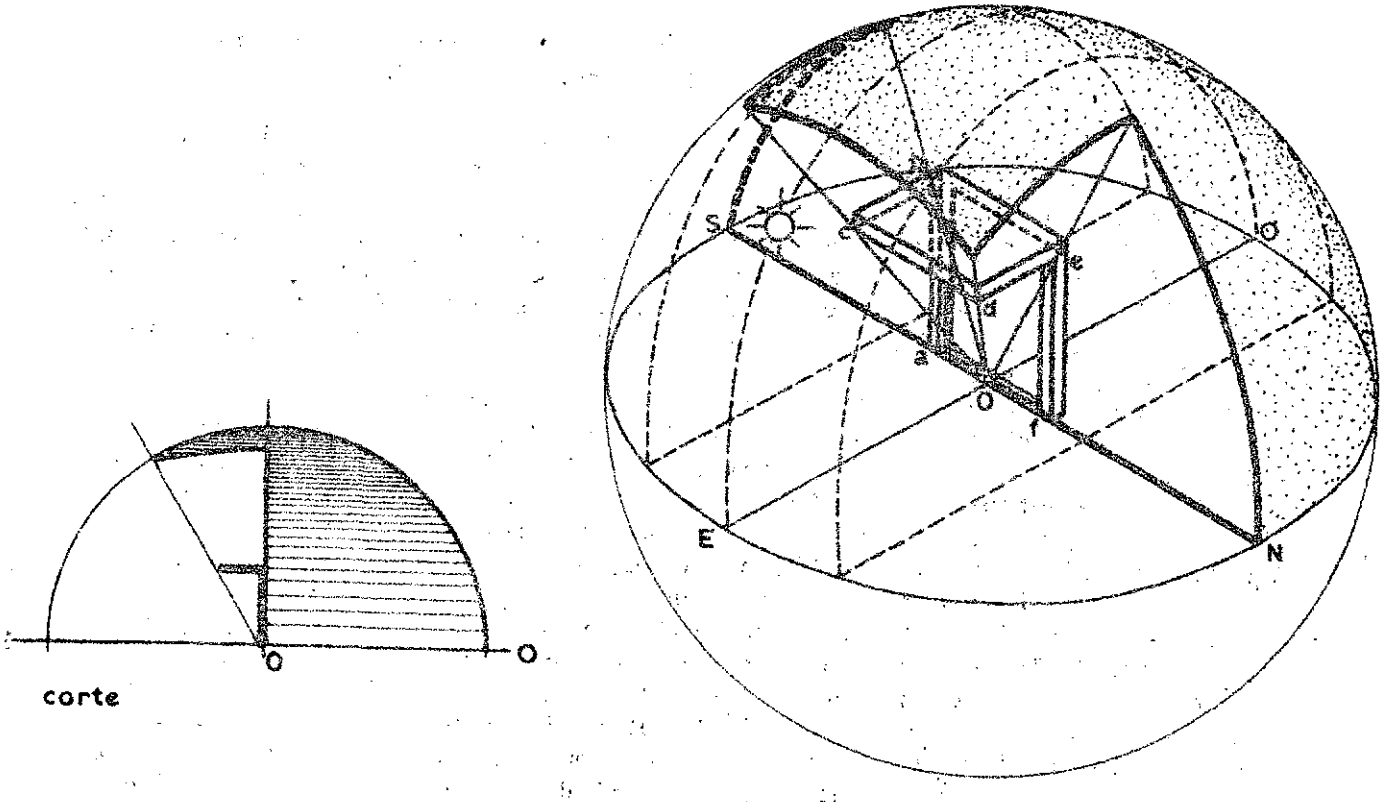
iv) Efectos de invernadero. En ocasiones se podrá utilizar el "efecto de invernadero" en beneficio del confort térmico. Esto sucede en los climas áridos, con fuertes oscilaciones de temperatura y frío nocturno en los que interesa contar con una fuerte inercia térmica. En estos casos se puede incluso recurrir al llamado "muro Trombe", consistente en una combinación de vidrio plano ordinario, cámara de aire y muro macizo pesado, que actúa como "volante regulador". El muro "Trombe" permite obtener en

/Figura III-5

Figura III-5

DISEÑO DE PROTECCION SOLAR. OBSTRUCCION DEL RECORRIDO SOLAR POR UN PARTESOL EN UNA LOCALIDAD ECUATORIAL

(Recorrido aparente interceptado a partir de las 10 a. m.)



/la cara

la cara externa del elemento macizo, temperaturas bastante altas sin molestias para los usuarios y un fuerte desfase entre el exterior y el interior. En el muro "Trombe" el elemento transparente (vidrio, plástico) es monofuncional; sólo interesa su comportamiento térmico, no sus propiedades ópticas. Si la cámara de aire se amplía suficientemente, el dispositivo "Trombe" se transformará en invernadero propiamente dicho. (Véase la figura III-6.) De hecho, el muro "Trombe" opera exactamente como un colector solar convencional en el que el fondo del colector actuará a la vez como acumulador y como elemento de restitución térmica; su funcionamiento puede modificarse incorporando dispositivos internos de aireación.

2. Soleamiento y diseño

La consideración del soleamiento ha constituido, durante siglos, una de las determinaciones del diseño de las edificaciones. Las razones de este hecho han sido tanto bioclimáticas como simbólico-culturales.

En los "X Libros de la Arquitectura" de Vitrubio, único tratado arquitectónico de la Antigüedad Clásica cuyo contenido nos haya sido transmitido, se otorga gran importancia al problema del soleamiento, refiriéndolo exclusivamente a las condiciones de orientación de las construcciones. Vitrubio propone que los templos deberían tener la entrada hacia el oeste. (Al aproximarse, "las estatuas mismas parecerían surgir del sol levante", Libro IV, Capítulo V). Vitrubio sugiere además que en una casa habitación las recámaras y la biblioteca deberían orientarse al este; los baños y las salas de invierno hacia el suroeste, los talleres, las galerías de pinturas o cualquier otro espacio que requiera unas condiciones estables de iluminación, convendría se orientasen hacia el norte. Esta misma orientación es la que recomienda para el "comedor de verano" (Libro VI, Capítulo IV).

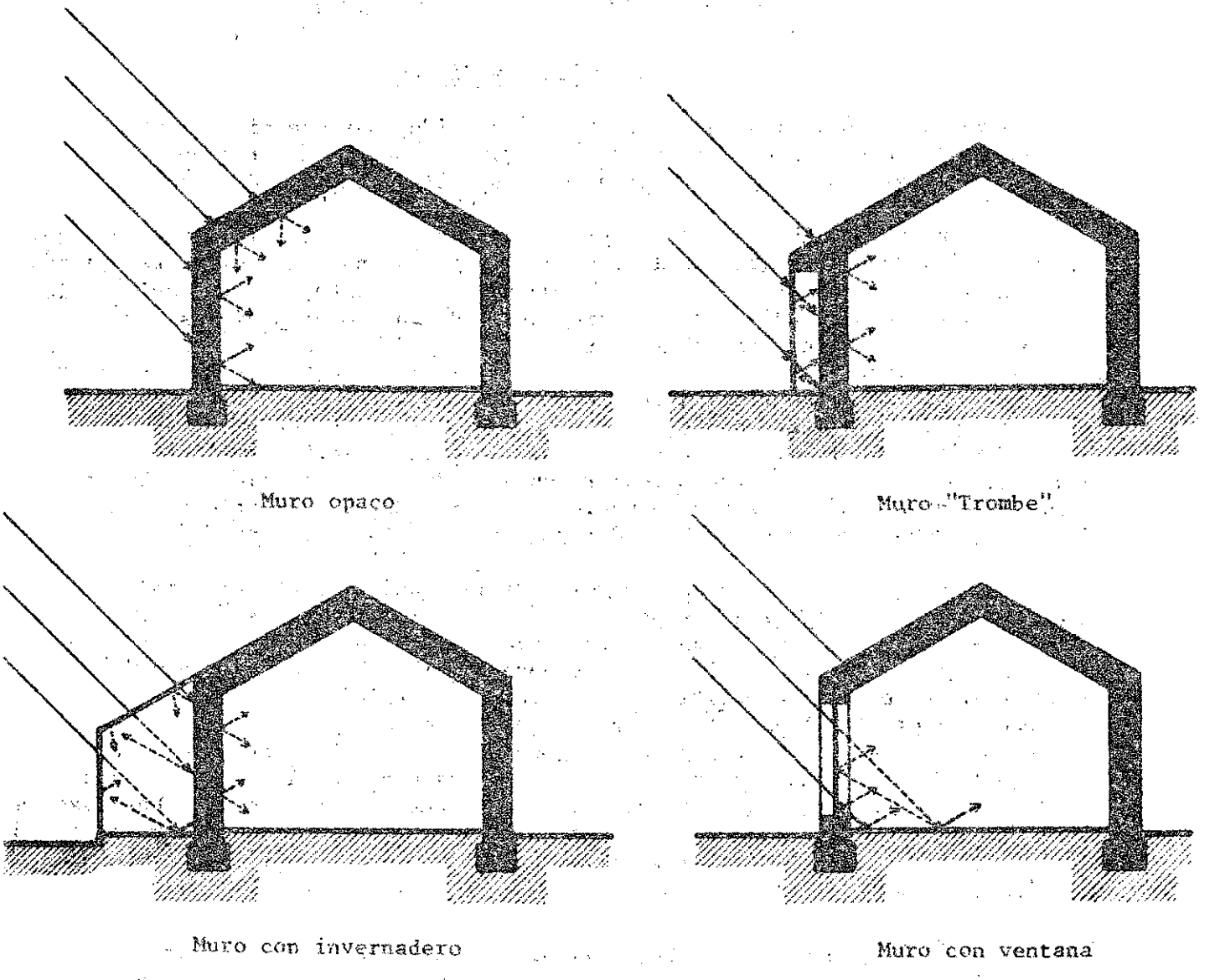
En el transcurso del desarrollo de la arquitectura occidental, el interés por las condiciones de orientación se limita a la edificación religiosa y posteriormente decae hasta llegar a la etapa del racionalismo contemporáneo. El racionalismo "redescubre" la importancia de soleamiento, fomenta su estudio científico y establece directrices para el diseño. El interés por el soleamiento se enmarca en el movimiento de vuelta a las determinaciones "naturales", propio de un período en que las condicionantes "culturales" habían entrado en crisis. Se asocia con el afán por lograr un diseño "exacto", preciso, basado en una "nueva objetividad". Las razones de higiene se vieron frecuentemente invocadas. El racionalismo arquitectónico retoma la preocupación higienista desarrollada en el último tercio del siglo pasado. 2/ El dato de los escasos quince minutos que tarda en

2/ Véase la utopía "Hygeia", publicada en 1876, en la que su autor, el doctor inglés Benjamín Ward Richardson, invocaba ya la necesidad de practicar la helioterapia en azoteas planas.

/Figura III-6

Figura III-6

RADIACION SOLAR INCIDENTE SOBRE DIVERSOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS



/morir al

morir al ser expuesto al sol un bacilo de Koch (responsable de la tuberculosis) causó fuerte impacto entre los arquitectos. La preocupación central por "meter al sol en cada hogar" está relacionada con el origen fundamentalmente centroeuropeo del racionalismo, con sus implicaciones respecto a latitud, clima y tipologías edilicias urbanas. Los nuevos siedlungen (asentamientos) alemanes adoptaron preferentemente la tipología de los bloques lineales, orientados casi exclusivamente en función del soleamiento. El uso urbanístico de los llamados "ejes heliotérmicos" adquirió entonces una gran difusión. La preocupación por el soleamiento se institucionaliza en el 4º Congreso CIAM (Atenas), cuyas conclusiones, redactadas bajo la supervisión directa de Le Corbusier, se difundieron mediante un documento fundamental, conocido como "La Carta de Atenas", que representa el acta de nacimiento del urbanismo racionalista.

El Congreso de Atenas había planteado, como postulado, que "el sol, el verdor, el espacio, son las tres materias primas del urbanismo". La Carta de Atenas, tras identificar líricamente al sol como "el señor de la vida", propone lo siguiente: "La medicina ha demostrado que la tuberculosis se instala allí donde el sol no penetra: pide que el individuo sea en lo posible vuelto a colocar en "condiciones de naturaleza". El sol debe penetrar en cada vivienda varias horas diarias, aun durante la estación menos favorecida. La sociedad no tolerará más que familias enteras sean privadas del sol, y por ende, destinadas al debilitamiento. Todo plano de casas en el que una sola vivienda estuviera toda mal orientada, o privada de sol por causa de sombras proyectadas, será rigurosamente condenado. Debe exigirse a los constructores el plano demostrativo de la penetración del sol en cada vivienda durante dos horas como mínimo en el solsticio de invierno, sin lo cual se negará la autorización para construir. Introducir el sol es el nuevo y más imperioso deber del arquitecto. (La Carta de Atenas, punto 26.) Los principios expuestos en este documento fueron amplísimamente difundidos y acatados por las prácticas profesionales en América Latina, aunque, obviamente, esos principios obedecían mucho más a las condiciones culturales y climáticas europeas que a aquellas imperantes en la región. Entre los grandes maestros del Movimiento Moderno, Le Corbusier fue quizás el único en interesarse no sólo por la exigencia de penetración solar en los espacios arquitectónicos, sino también por los mecanismos de defensa contra la excesiva radiación directa. Su punto de vista, sin duda influenciado por su actuación profesional en países de bajas latitudes (Argelia, Brasil, India), se refleja en el siguiente texto: "Construir para el hombre... es, inmediatamente, restituirle el principio y la llave, que es el Sol". "Precisa, pues, (el arquitecto) comenzar los planos inscribiendo el curso del sol en el solsticio de invierno y en el solsticio de verano. Es el sol, y sólo el sol, el que decide la orientación de la casa. Poco importa, por el momento al menos, el trazado existente de las calles;...". "Ahora bien, ¿qué exige el sol?. Ante todo, exige que se rechace la exposición norte. 3/ Además, que se le deje penetrar todo lo posible en la vivienda. Pero su presencia excesiva ¿no sería un peligro?. Sin duda, si

3/ Le Corbusier está pensando, obviamente, sólo en el hemisferio norte.

/no fuera

no fuera tan fácil tamizarlo o filtrar sus rayos... ¿No existen mil clases de pantallas capaces de interceptar el calor y la luz, desde las cortinas, los toldos y las contraventanas hasta esas estructuras alveolares de paredes verticales movibles que dibuja Le Corbusier para las latitudes bajas y que actúan como "partesoles" ante las fachadas acristaladas, en las estaciones en que, decididamente, el astro sube demasiado alto en el firmamento?" (Le Corbusier, 1941.) Se puede hoy abrigar la sospecha de que el diseño de los partesoles de Le Corbusier no quedaba determinado exclusivamente por criterios funcionales basados en un estudio científico del soleamiento. F. Ramón (1976) se toma la molestia de demostrar la relativa inutilidad de algunos elementos de los partesoles de la "Unidad de habitación", construida en Marsella en cuyo diseño parecen haber influido considerablemente las motivaciones estético-estilísticas.

La problemática del soleamiento ocupó un lugar preponderante en la tratadística del racionalismo, especialmente en aquella que ambicionaba una racionalización del diseño de la vivienda masiva. Cabe señalar a este respecto los trabajos de A. Klein, E. Griffini y otros. En el período de difusión del racionalismo se generaron también manuales de datos básicos para el proyectista, que incluyen aspectos de soleamiento (E. Neufert, Arte de proyectar en arquitectura; A.V., Manuale dell'architetto).

A partir de la crisis del Movimiento Moderno se ha venido redimensionando el problema del soleamiento. Hoy ya no se piensa que pueda ser "el sol, y sólo el sol, el que decida la orientación de la casa". Se cuestiona abiertamente la validez de las simplificaciones racionalistas. El soleamiento pasa a ser un factor más, cuya jerarquía habrá que establecer en cada caso respecto al conjunto de las determinaciones de la forma urbano-arquitectónica. En muchos casos, resultará apropiado dar prioridad en el diseño a otros factores. Lo que no es ya admisible en ningún caso es desconocer absolutamente la problemática del soleamiento, sobre todo cuando las técnicas elementales de predicción resultan ser bastante sencillas. La crítica postracionalista al método cartesiano de resolver los problemas abordándolos por separado, no puede implicar el puro y simple "olvido" de algunos problemas, cuya relevancia se encarga la experiencia cotidiana de subrayar.

En América Latina cobra especial importancia el tema de la protección contra la radiación solar directa, la cual puede resultar sumamente molesta a determinadas horas, cualquiera que sea el lugar concreto para el que se diseñe. El estudio del soleamiento demostrará la irracionalidad de aquellas construcciones, paradójicamente de herencia "racionalista", que aspiran a presentarse como "cajas integrales de vidrio", y que con tanta frecuencia surgen en las grandes avenidas comerciales de las áreas metropolitanas de la región. En el contexto centroeuropeo de la primera guerra mundial y de la inmediata posguerra es perfectamente comprensible la emoción que producía la propuesta ideológica de la "Arquitectura de cristal".4/

4/ Véase P. Scheerbart, Glasarchitektur, publicado en Berlin, 1914 (año en el que Bruno Taut construye su "Pabellón de cristal" en la Exposición del Werkbund en Colonia; véase también el diseño de Mies van der Rohe del "rascacielos de cristal", 1921, precursor de su posterior obra americana).

/Se trataba

Se trataba entonces de "conquistar la luz", de "inmaterializar la arquitectura". El traslado acrítico de aquella actitud ideológica al contexto actual de Latinoamérica sólo puede ser explicable por la dependencia cultural imperante en el sector formal de la edificación. La imagen ideológica del edificio "de prestigio" se impone aunque conlleve profundas disfuncionalidades bioclimáticas y/o económicas.

Se necesita en la región un diseño consciente de la necesidad de protección solar, en el que la ubicación y la forma de los volúmenes y los huecos no queden, sin embargo, determinados por la consideración aislada de las condiciones de soleamiento. En un proceso global de diseño cabe el análisis independiente de diversos aspectos aislables, pero en ningún caso la propuesta formal podría deducirse mecánicamente de estos análisis. En general, la prefiguración constituye un prerrequisito para la actividad analítica. La prefiguración necesita basarse en un conjunto de predicciones aproximadas, que el análisis se encarga posteriormente de confirmar, precisar o rechazar. La actividad analítica es multidireccional; predice comportamientos respecto a varias funciones que, a veces, son antagónicas entre sí. Por ello, no se podrá hablar propiamente de un "diseño solar"; la consideración del soleamiento intervendrá como un momento analítico de importancia relativa, que se inserta en un proceso de diseño de naturaleza integral.

IV. VENTILACION Y AIREACION

1. Ventilación

El uso común tiende a confundir los términos de "ventilación" y "aireación". En el presente texto ventilación se referirá a la renovación del aire, es decir, servirá para regular la composición del aire que se respira. La aireación aludirá al movimiento del aire, determinado por diferencias de presión. La aireación produce un efecto mecánico y otro térmico en cualquier superficie sobre la cual incida el aire en movimiento. El efecto mecánico se traduce en incrementos o decrementos locales de la presión que la atmósfera ejerce sobre cada punto de la superficie. El efecto térmico es consecuencia de los procesos de convección y evaporación que tienen lugar sobre esa misma superficie. La importancia bioclimática de la ventilación y la aireación se trató ampliamente en otro documento.1/ En este capítulo se intentará, sobre todo, sintetizar las principales consideraciones técnicas que tengan implicaciones en el ecodiseño. En una habitación ocupada y sin ventilación se produce un progresivo deterioro de las propiedades fisicoquímicas de la atmósfera local. La alteración de las propiedades físicas (elevación de la temperatura y de la humedad) es el primer factor que determina una carencia de confort. El segundo factor de deterioro lo constituye el aumento de la concentración de CO_2 (anhídrido carbónico o dióxido de carbono), gas que resulta tanto de los procesos normales de oxidación celular, como de las combustiones domésticas. Otros factores intervienen también en el proceso, entre los que cabe destacar la concentración de olores, especialmente corporales. La ausencia de ventilación produce rápidamente una desagradable sensación de opresión.

La concentración de CO_2 constituye, por su relativa facilidad de medición, un índice eficaz para valorar la contaminación neutral, derivada del uso normal de los espacios habitables. El aire puro contiene aproximadamente una proporción de 0.03% de CO_2. En zonas urbanas, esta concentración se eleva frecuentemente hasta un 0.07-0.1%. Los efectos nocivos se presentan cuando se rebasa esta última concentración. Por encima de 0.5% se intensifica marcadamente el ritmo de la respiración; pero estudios recientes han descubierto alteraciones respiratorias, cardiovasculares y de la actividad eléctrica cerebral a concentraciones tan bajas como 0.1%, por lo cual se tiende a bajar el umbral de concentración admisible, fijándolo en esta última cifra.2/ En una situación de régimen estacionario de producción de un gas contaminante y con una tasa fija de ventilación, se puede utilizar la siguiente ecuación para calcular, en

1/ Véase, Bioclima y confort térmico (E/CEPAL/MEX/SEM.6/L.5).
2/ Para mayores referencias, consúltese M.S. Goromosov, 1969., págs. 42-49.

/forma bastante

forma bastante aproximada, la intensidad de la ventilación requerida: $V = \frac{g}{Ci-Ce}$, en la que V es la tasa de ventilación (m^3/h), g la tasa de emisión de gas contaminante (m^3/h), Ci y Ce las concentraciones del gas, en porcentaje, en la mezcla interior y en la mezcla exterior que se introduce para ventilar. A efectos de cálculo puede adoptarse, para cada adulto en reposo, $g = 0.015\ m^3/h$.

Si se desea que la concentración de CO_2 no sobrepase el umbral del 0.1% y la ventilación se realiza introduciendo aire bastante puro (Ce = 0.03%), la tasa de ventilación sería:

$$V = \frac{0.015}{0.001-0.0003} = 21.4\ m^3/h \text{ por persona}$$

Si se introduce aire normal con 0.05% de CO_2, se requeriría una tasa de ventilación de 30 m^3/h por persona; esta es la cifra que se suele manejar en los textos de higiene. Pero si el aire con que se ventila fuera "urbano", con 0.07% de concentración de CO_2, la tasa de ventilación requerida ascendería a 50 m^3 por persona y hora. Sobre la base de estas cifras se puede estimar el número de renovaciones completas por hora que se requiere para un espacio dado. Por ejemplo, una recámara para dos personas de 3 x 4 x 2.5m, requerirá para su ventilación con aire normal (0.05% de CO_2) unas dos renovaciones/hora; con aire "urbano" las renovaciones/hora necesarias ascenderían a 3 1/3.

Con mucha frecuencia, el factor de eliminación de olores presenta exigencias de ventilación más estrictas, especialmente en ámbitos en los que se permita fumar. El sentido olfativo es extraordinariamente sensible respecto a determinadas sustancias, aunque la persistencia del olor produce rápidamente saturación: el olor que una persona percibía como muy fuerte al entrar en un espacio cerrado puede casi pasar desapercibido si permanece en el mismo sitio por algún tiempo. La intensidad percibida del olor crece cuando la temperatura ambiente se eleva. La persistencia de los olores es variable; los olores corporales desaparecen más rápidamente que aquéllos derivados del tabaco o de sustancias químicas artificiales. Como es lógico, los requerimientos de ventilación son mayores en los espacios destinados a cocinas o baños. Las normas vigentes especifican a veces tasas concretas mínimas de ventilación en función del uso de los espacios, pero no indican las formas constructivas para garantizar las ventilaciones especificadas. En la práctica, las mangueterías de que se proveen los huecos exteriores de las casas habitación presentan suficientes rendijas como para garantizar niveles adecuados de ventilación. Se ha estimado que un metro lineal de rendija proporciona como mínimo una tasa de ventilación de 1.7 m^3/h, aun en ausencia de viento.3/ El problema se presenta cuando los espacios confinados carecen de una superficie suficiente de huecos, cuando estos huecos están equipados con mangueterías metálicas de alta hermeticidad, o cuando se desarrollan actividades que generan una fuerte demanda de renovación del aire. Las tasas efectivas de ventilación se pueden medir utilizando un gas delator que se mezcla en el aire y cuya concentración

3/ Véase B. Givoni, 1981, pág. 267.

/se va midiendo

se va midiendo a intervalos regulares de tiempo. Se suele utilizar a este efecto el anhídrido nítrico (N_2O), fácilmente ponderable, no tóxico ni explosivo.

2. Aireación

a) En asentamientos humanos

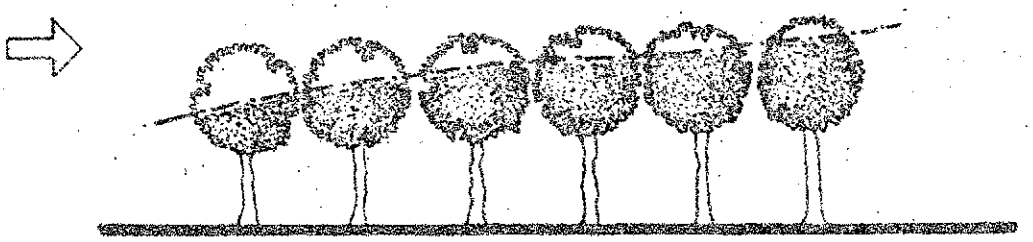
El efecto del movimiento del aire sobre el confort térmico se ha tratado con algún detalle en el documento Bioclima y confort térmico. En ese texto se aludió a las principales características macro y mesoclimáticas del viento. A escala del microclima, el movimiento del aire es muy difícil de predecir. En contacto con la rugosidad de la superficie terrestre, el viento pierde su posible régimen laminar para adquirir el turbulento. Existen sin embargo indicadores específicos que, debidamente interpretados, pueden señalar algunos rasgos de los vientos locales. Entre los indicadores instantáneos se puede mencionar el humo de las chimeneas de fábrica y las zonas de acumulación de polvo, hojas, etc. La dominancia de un viento local se puede detectar a través de algunos indicadores permanentes, tales como la adaptación anemomórfica de la vegetación (véase la figura IV-1), o la configuración de la arquitectura vernácula. A falta de una información microclimática precisa, se puede recurrir a los informes de la estación meteorológica más próxima. La información relativa a los vientos locales podrá ser muy confiable cuando refleje un mesoclima muy típico y estable (por ejemplo, brisas costeras), pero en general convendrá extremar las precauciones: la intervención constructora puede alterar radicalmente la situación microclimática existente.

Como instrumento de predicción puede presentar utilidad el estudio en túneles de viento, en los que se introducen maquetas y se observan las alteraciones que se producen en el régimen de vientos, materializado mediante humo, partículas, cintas, etc. Sin embargo, la observación de túneles de viento se basa en la incidencia de flujos laminares, prácticamente inexistentes en la realidad. Tanto el dispositivo experimental como las maquetas que en él se introducen suelen ser demasiado costosos, por lo que esta experimentación sólo se justifica en el caso de grandes obras urbanas. La aspereza de la superficie urbana tiende a reducir la velocidad promedio del viento que entra en contacto con ella, pero, por otra parte, se pueden presentar fenómenos locales de encauzamiento del viento que determinan velocidades fuertes, potencialmente molestas. En su conjunto, los vientos de intensidades moderadas determinan efectos benéficos en las ciudades, especialmente en zonas climáticas cálidas, al dispersar la contaminación que en ellas se genera y mejorar las condiciones de confort. En ocasiones, el movimiento del aire ha podido controlarse e incorporarse como variable de diseño en los proyectos de planificación física urbana. Como ejemplo puede citarse el caso de la ciudad alemana de Stuttgart, en la que una acción planificadora ha facilitado deliberadamente el descenso por gravedad de las masas de aire fresco de los bosques circundantes, encauzándolas hacia el centro recalentado de la ciudad.

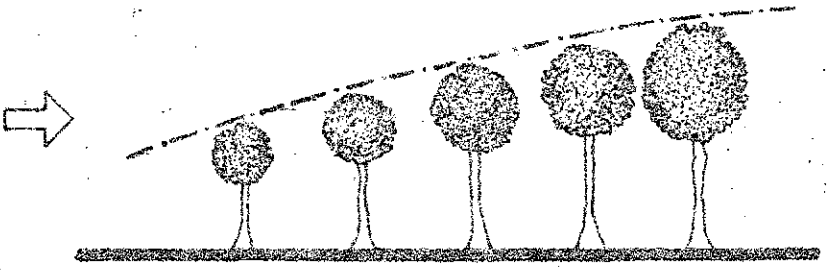
/Figura IV-1

Figura IV-1

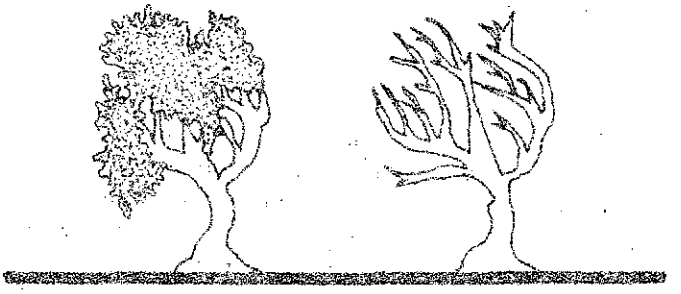
ADAPTACION ANEMOMORFICA .



Amortiguamiento vegetal.- los árboles a barlovento están más deshojados que los situados a sotavento.



Escalonamiento.- la altura alcanzada por los árboles crece de barlovento a sotavento por efecto de protección.



Crecimiento decentrado por la acción del viento

(Gráficos tomados del libro: "Arquitectura bioclimatica", Jean-Louis Izard, Alan Guyot.)

/b) En los espacios

b) En los espacios entre construcciones[4/]

Desde las primeras etapas del diseño es necesario prever los efectos que toda nueva edificación puede producir en las condiciones de aireación de los espacios que la rodean. A veces estos efectos pueden perjudicar seriamente las condiciones de habitabilidad del área objeto de estudio. El análisis será tanto más exacto cuanto más regular sea el flujo dominante. Se reseñan a continuación algunos efectos que por su frecuencia y predecibilidad se presentan a una tipificación.

i) Efecto de "sombra de viento". A sotavento de una construcción se produce un área de relativa calma que se conoce como "sombra de viento" y cuya extensión puede conocerse en forma aproximada. Una nueva construcción que se edifique en esa zona de "sombra" tendrá unas condiciones de aireación bastante disminuidas. En la figura IV-2 se puede apreciar la variación de la longitud promedio de la zona de "sombra de viento", en función de la forma de la edificación que intercepta al flujo. En ocasiones convendrá diseñar una barrera para proteger un cierto espacio exterior contra un viento dominante molesto. Podrá entonces presentar interés el diseño de una barrera perforada, que admite cierta aireación a sotavento, pero que a la vez prolonga en gran medida la longitud de la zona de relativa "sombra" (véase la figura IV-3). Si la barrera es vegetal, convendrá utilizar especies frondosas desde su base, o combinar arbustos con árboles, cuando se desee evitar efectos como el que se representa en el inciso c de la citada figura. Por supuesto, este mismo efecto puede ser beneficioso en caso de que la brisa sea suave y las condiciones climáticas cálidas y húmedas. Los movimientos de aire cuyas velocidades superen los 8 m/s pueden considerarse siempre molestos.

ii) Efectos de "barra" (véase la figura IV-4). Se produce cuando el flujo se dirige hacia una edificación lineal con un ángulo de incidencia cercano a los 45°, y consiste en una desviación en rizo de las corrientes, que determina una acción potencialmente molesta a sotavento. El efecto de "barra" no se produce o no afecta a la superficie cuando se cumple alguna de las condiciones siguientes: altura de la edificación (h) mayor de 25 m; longitud del edificio (L) inferior a 8 h; edificación múltiple con espaciamiento inferior o igual a (h); agregaciones construidas a sotavento de longitud por lo menos igual a 2 h;protección por edificación a barlovento (si esta edificación es baja, el efecto simplemente se reducirá en intensidad).

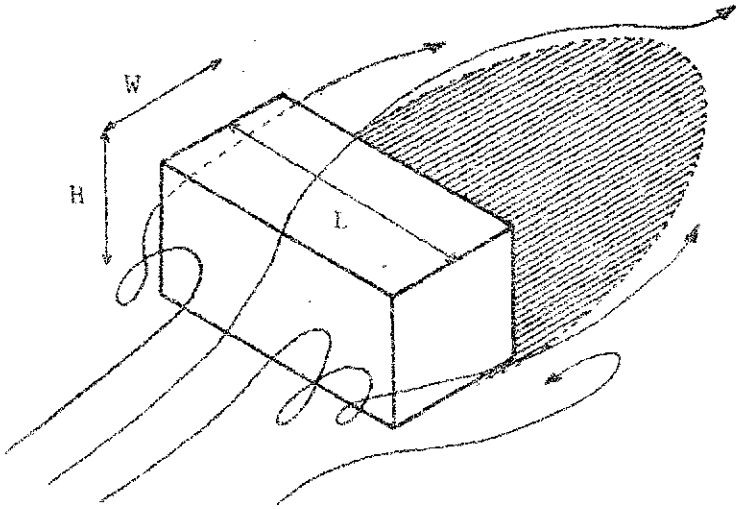
iii) Efecto de "esquina" (véase la figura IV-5). Se produce cuando, a consecuencia de la sobrepresión a barlovento, las líneas de corriente se desvían hacia las esquinas en cuya zona puede alcanzar el aire fuertes velocidades. El efecto se incrementa cuando aumenta la altura de la edificación. El efecto se puede mitigar disponiendo masas de vegetación en las zonas de las esquinas, desplantando los edificios sobre una planta baja que actúe como plataforma general, o diseñando una gradación de alturas.

4/ El tratamiento a la vez más preciso y conciso del tema se puede hallar en: J. Gandemer, "Les effets aérodynamiques du vent dans les ensembles bâtis", Techniques et Architectures N° 325, junio-julio de 1979. La mayoría de las ilustraciones de este epígrafe son adaptaciones de las publicadas por Gandemer.

/Figura IV-2

Figura IV-2

LONGITUD DE SOMBRA DE VIENTO[a/]



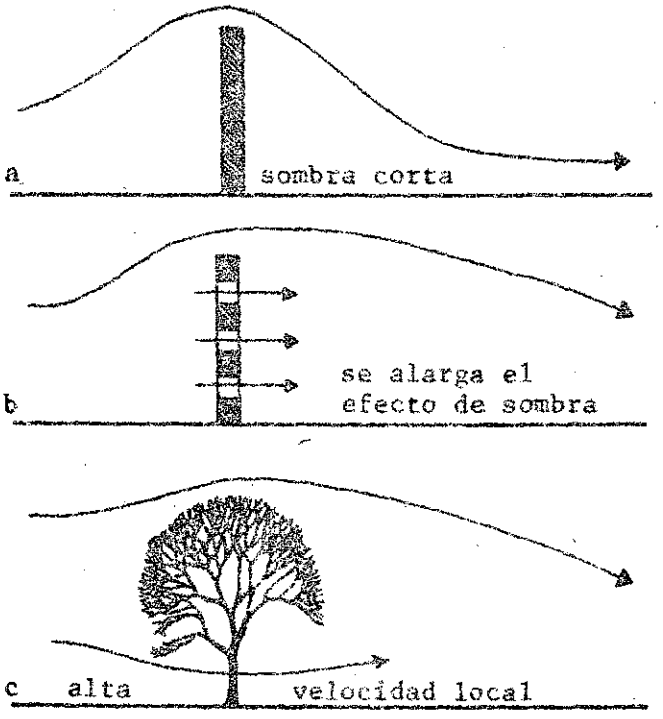
Sección. Dirección del viento →	Longitud de la construcción L				
	2A	4A	8A	16A	24A
A x A	2 1/2	3 3/4	5 1/4	8	8 3/4
W=2A	2	2 3/4	3 3/4	6	7
W=3A	2 1/4	3 1/4	4 1/4	5 3/4	5 1/2
H=2A	5 1/4	8 1/4	11 3/4	16 1/4	18
H=3A	6 3/4	11 1/2	16 1/2	18 3/4	20 3/4
techo=45°	2 3/4	5 1/4	9 1/4	13 1/4	15
techo=30°	3	4	6 3/4	10	13
techo=15°	3	5 1/4	8 1/4	11 1/2	14 1/2
techo=15°	2 1/2	4 1/4	6 1/2	11	13 3/4

a/ Referencia: B.H. Evans, Research Report 59. Texas Engineering Station, 1957. Los datos se refieren a espacios más o menos planos y despejados en los que se construye la edificación de referencia.

/Figura IV-3

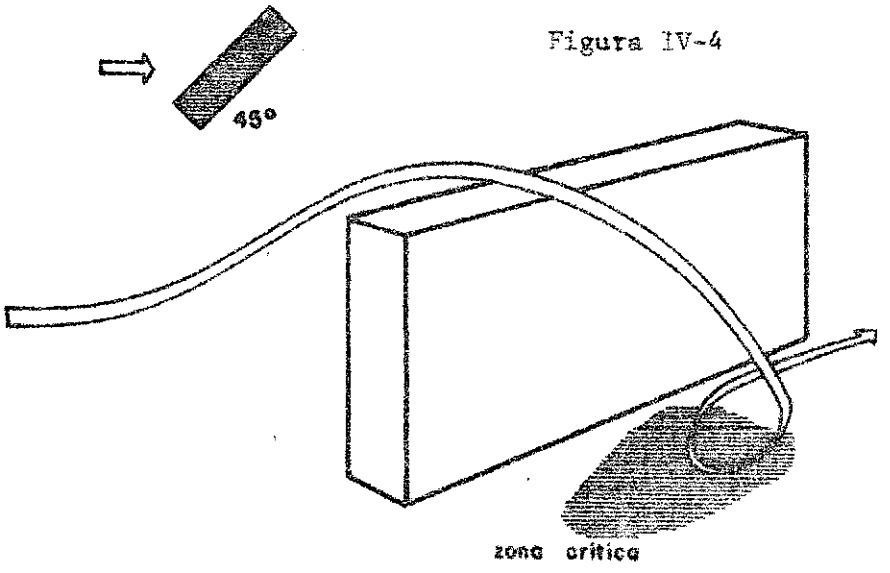
Figura IV-3

BARRERAS CONTRA EL VIENTO

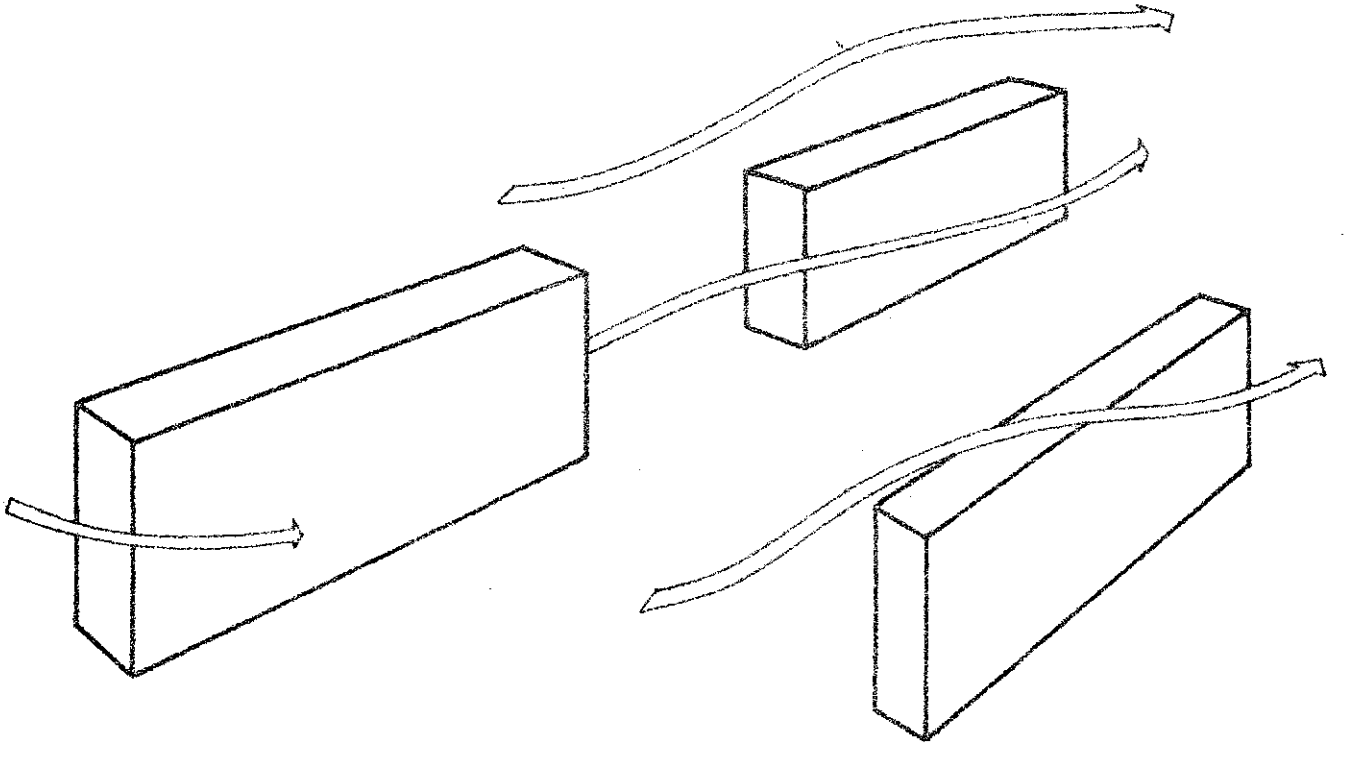


/Figura IV-4

Figura IV-4

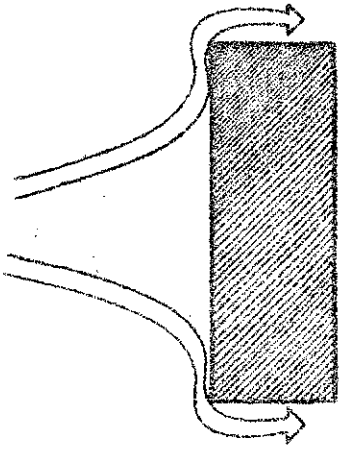


EFECTO DE BARRA

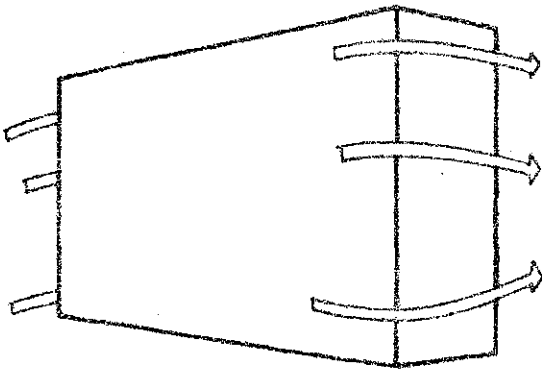


/Figura IV-5

Figura IV-5



EFECTO DE ESQUINA.



/iv) Efecto

iv) Efecto de "pilotes" (véase la figura IV-6). Cuando existan perforaciones o espacios abiertos de la planta baja de una edificación, el flujo se encauzará por ellos alcanzando fuertes velocidades. Los referidos espacios sirven de puente entre las sobrepresiones de barlovento y las depresiones de sotavento. El efecto adquirirá una magnitud molesta cuando la altura del edificio supere los 15 metros. Cuando un edificio se eleve sobre pilotes laminares, el flujo se encauzará a través de ellos aun cuando la incidencia se produzca en forma sesgada. Las perforaciones en planta baja resultan mucho más sensibles al ángulo de incidencia. Cuando este efecto resulta molesto lo es mucho más en la zona de salida del aire que en la zona de entrada. En el trópico húmedo, y con brisas muy leves, este efecto puede aprovecharse para mejorar las condiciones de confort.

v) Efecto de "turbulencia a barlovento" (véase la figura IV-7). Este efecto está condicionado por la existencia de un sensible gradiente vertical de velocidades que se produce sobre todo cuando la altura de la edificación rebasa los 15 metros. El efecto se refuerza considerablemente cuando se presenta a barlovento una construcción baja y algo distanciada (efecto Wise).

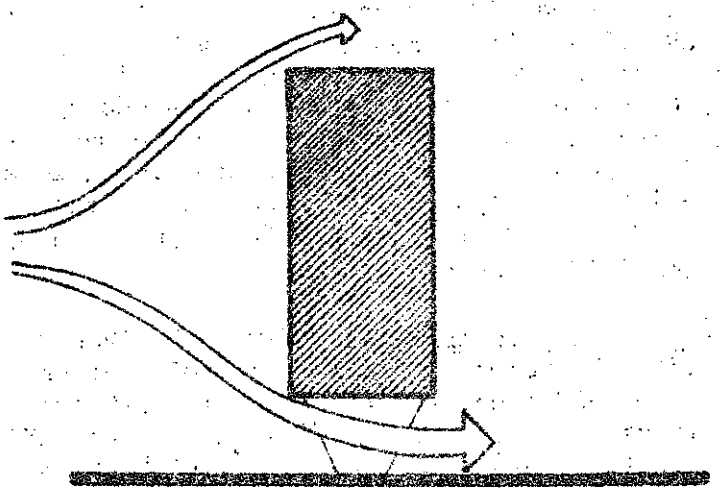
vi) Efecto de "Venturi" (véase la figura IV-8). El efecto de "Venturi" se presenta cuando la disposición en embudo de las masas edificadas determina un encauzamiento de los flujos y un aumento local de la velocidad. La zona crítica coincide, lógicamente, con un angostamiento. El efecto se acentúa, como siempre, cuando las alturas edificadas superan los 15 metros, pero también cuando los frentes que configuran el ángulo de colección suman más de 100 metros, cuando el ancho del estrangulamiento es del orden del doble o del triple de la altura media, cuando las formas del angostamiento son redondeadas, y cuando la dirección del flujo coincide aproximadamente con la bisectriz del ángulo de colección. El efecto es, en todo caso, muy sensible a la dirección del viento.

vii) Efecto de "pasillo por desfase" (véase la figura IV-9). Se presenta cuando dos edificios de altura suficiente (h>15 m) interceptan en forma desfasada un flujo normal a sus superficies mayores. Para que el efecto sea sensible, se necesita que la separación entre ambas construcciones sea igual o inferior a la altura media y que el segundo edificio presente un frente a barlovento suficiente como para generar la sobrepresión.

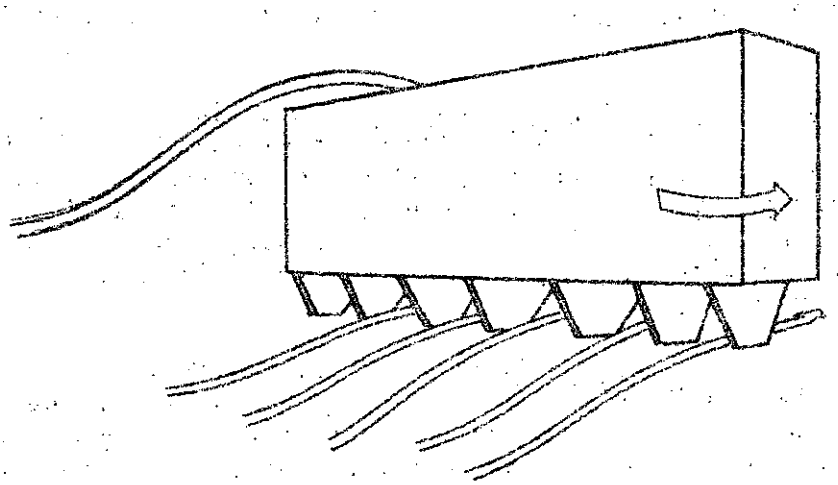
viii) Efecto de canalización (véase la figura IV-10). El más obvio de todos los efectos: la "calle" tradicional determina generalmente un encauzamiento del flujo, que sólo resultará en general molesto si se combina con un efecto Venturi, o con un fuerte flujo dominante.

/Figura IV-6

Figura IV-6



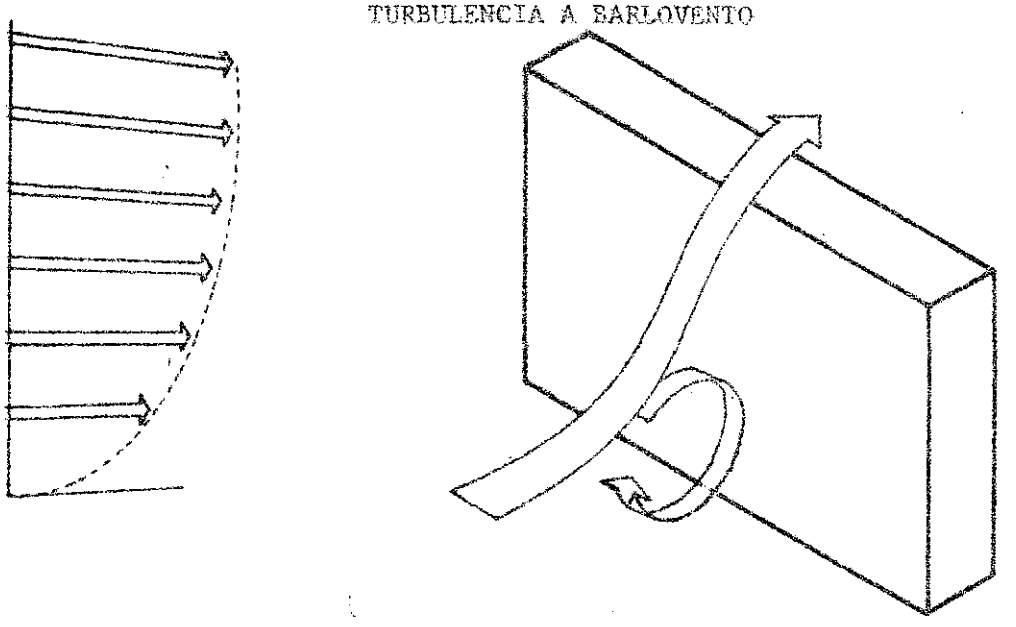
EFECTO DE PILOTES

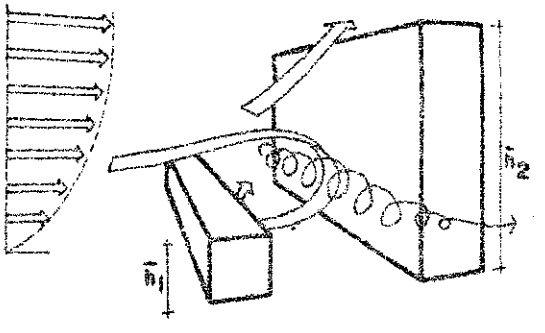


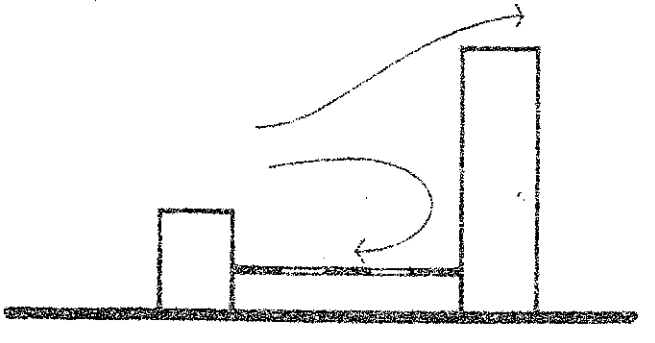
/Figura IV-7

Figura IV-7

TURBULENCIA A SARLOVENTO



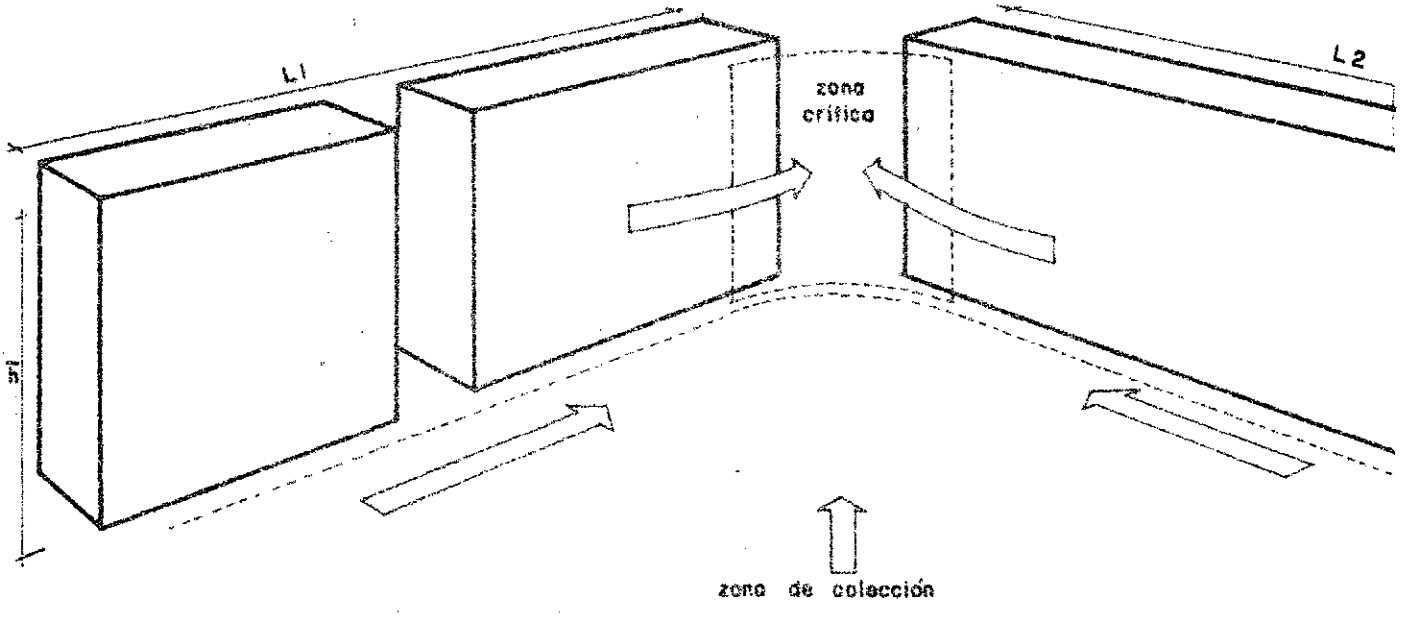




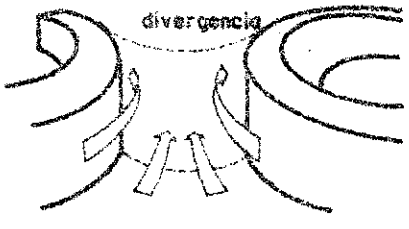
/Figura IV-8

Figura IV-8

L1 + L2 > 100 mts.



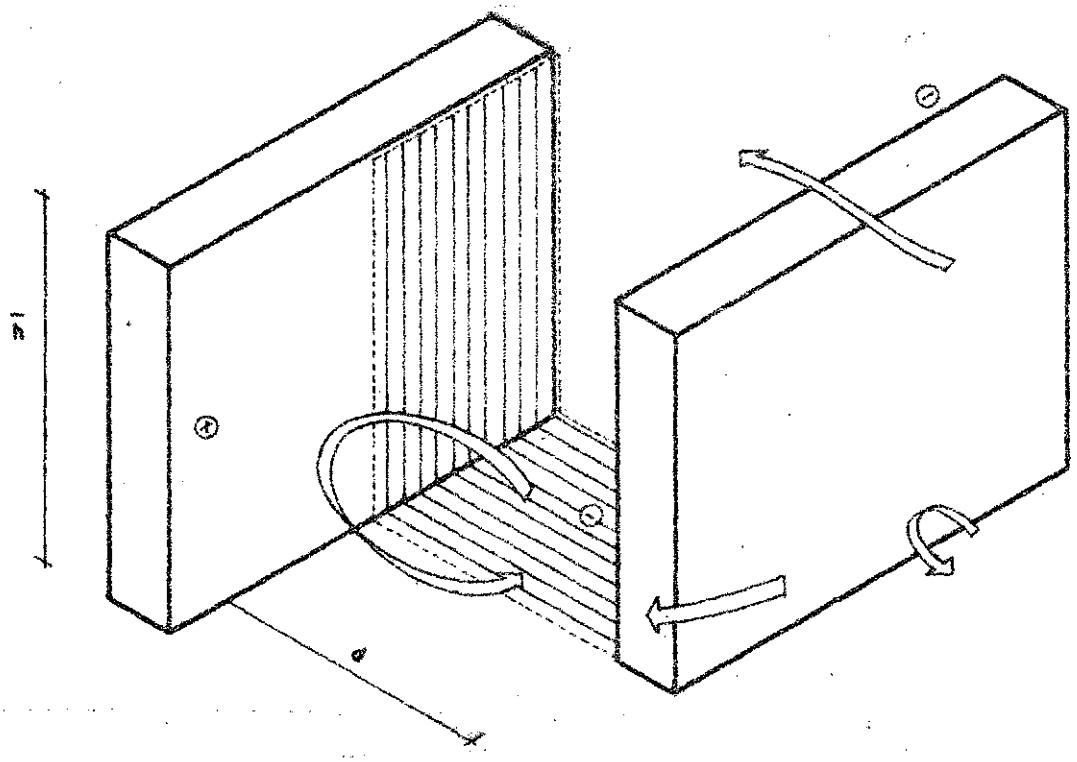
EFECTO DE VENTURI



/Figura IV-9

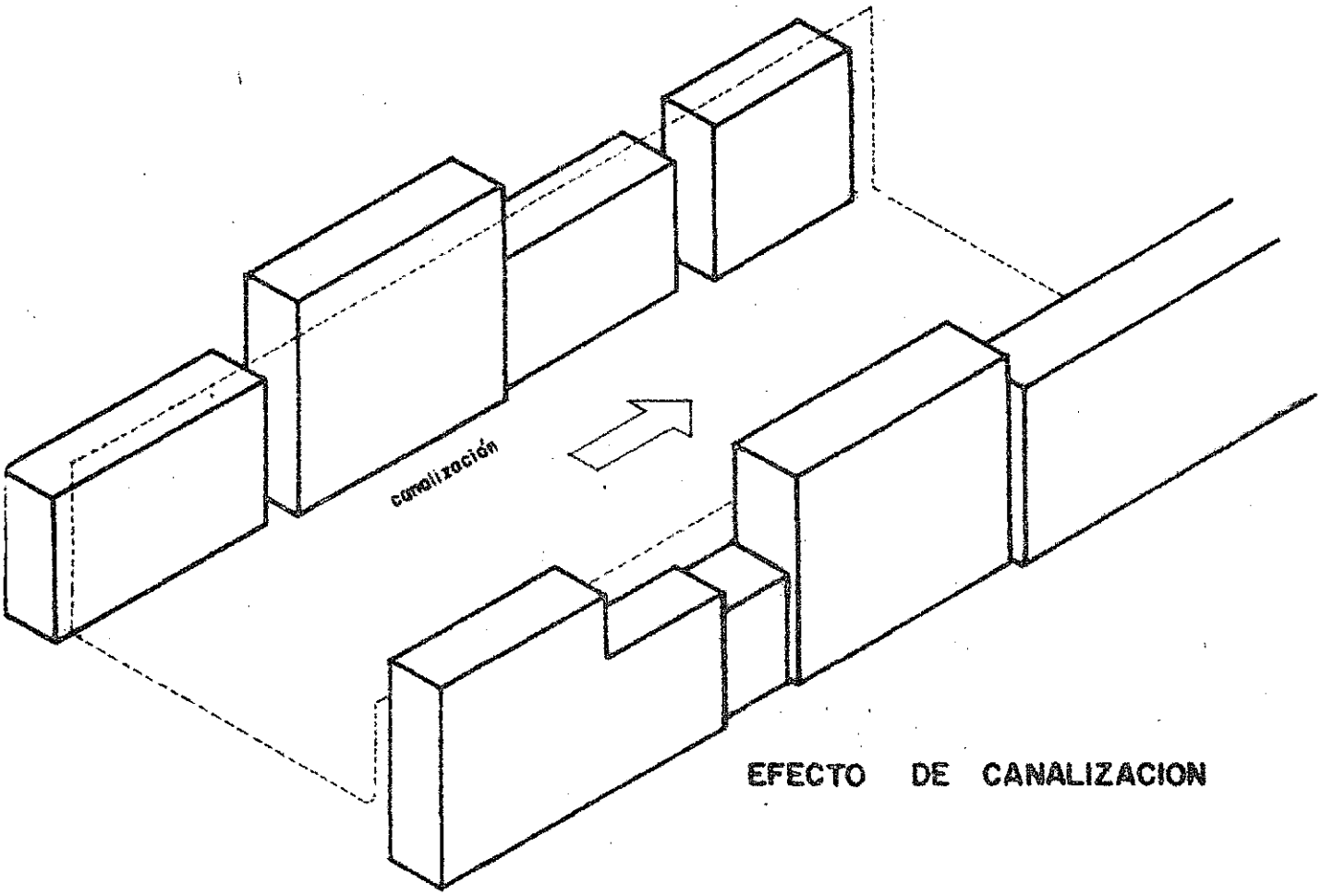
Figura IV-9

EFECTO DE "PASILLO POR DESFASE"



/Figura IV-10

Figura IV-10



/ix) Efectos

ix) Efectos de remolino. Los acusados quiebres de la superficie de incidencia de un flujo determinan unos deferenciales de presión muy intensos y localizados que desvían las corrientes e inducen un típico movimiento en espiral. Los efectos de remolino son muy frecuentes y se suelen producir en el contexto de otros efectos como el de esquina, en los bordes de una zona de "sombra", etc.

c) En los espacios interiores

El aire confinado en un ámbito arquitectónico se desplazará cuando se conecte una zona de sobrepresión con otra en depresión. Cuando una edificación intercepta un flujo de aire se produce en el espacio externo inmediato un determinado campo de presiones. Globalmente, se localizarán sobrepresiones a barlovento y depresiones a sotavento, aunque localmente se pueda a veces producir la situación contraria. Si el involucro murario no es hermético, el campo externo de presiones determinará un proceso de aireación en los espacios interiores. Por otra parte, es sabido que el aire al calentarse se expande, disminuye su densidad, y tiende por tanto a subir. Esto es lo que determina el "tiraje térmico", que se produce cuando existe una sensible diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. El efecto de tiraje térmico se conjuga con los efectos del viento exterior para fijar las características de los procesos de aireación de los espacios interiores. Cabe destacar que la aireación producida por la acción del viento exterior obedece no sólo a los efectos del campo de presiones, sino también a la incercia que posee la masa de aire en movimiento.

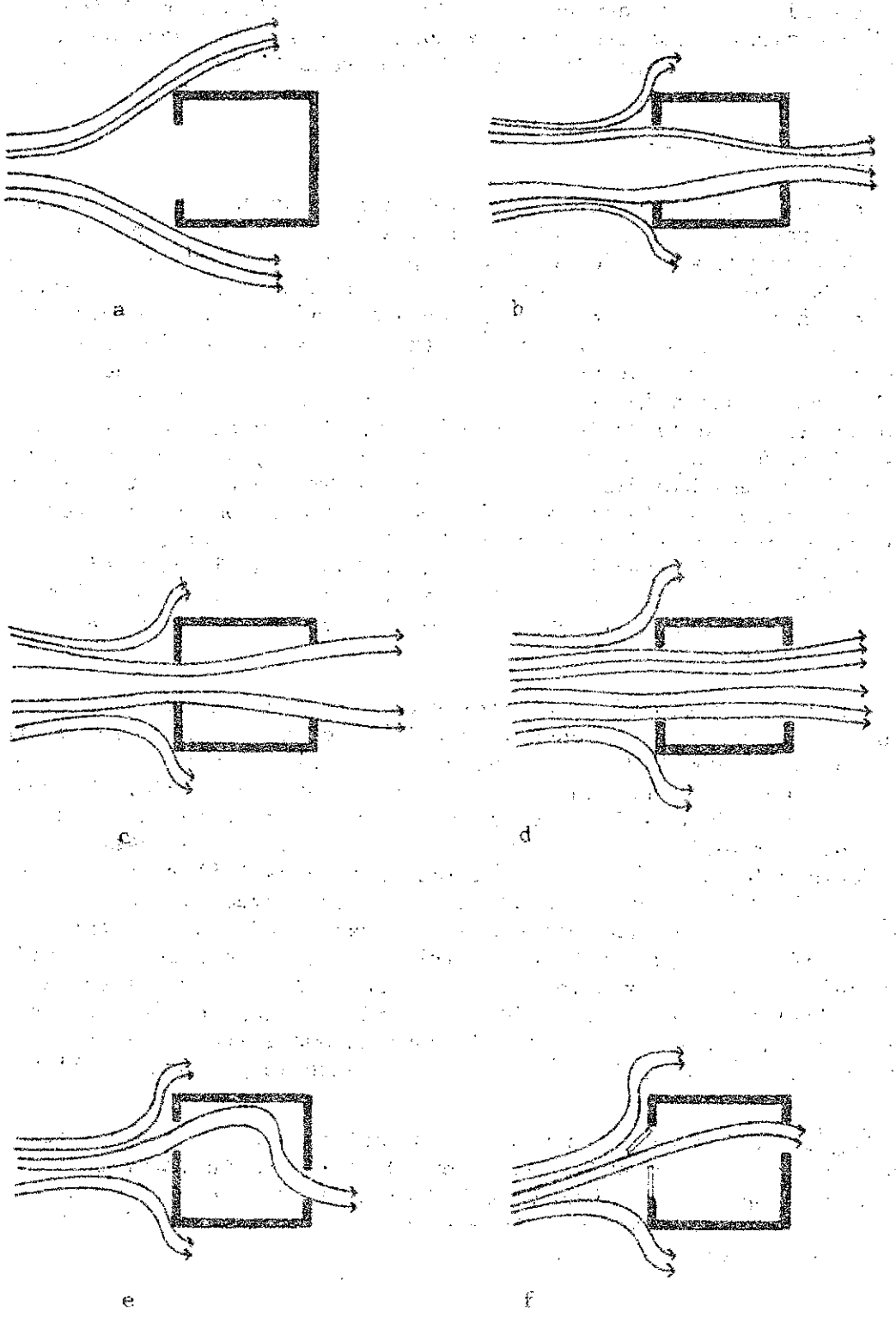
La aireación en espacios interiores depende, en cada caso concreto, del diseño de las aberturas. Generalmente la atención del lego se centra en las aberturas por donde "entra el viento". Se olvida pues que para que el viento pueda entrar es necesario proveer una salida adecuada. En realidad, las condiciones de salida resultan ser en la práctica más críticas que las de entrada. Cuando en un clima cálido-húmedo se desea utilizar el efecto refrescante de la aireación interna es útil recordar que la máxima velocidad se consigue cuando el flujo se estrecha. Es pues preferible diseñar una entrada pequeña y una gran salida que una entrada amplia y una salida estrecha. En este último caso, el incremento de velocidad se produciría en el exterior, sin beneficio alguno para el usuario.5/ La ampliación de la abertura de salida mejorará la aireación interna, mientras que la ampliación de la abertura de entrada puede reducir la velocidad promedio del aire en el ámbito interno. (Véanse las figuras IV-11 y IV-12.)

5/ La analogía hidráulica es bastante ilustrativa: la persona que sumerge una mano en un tonel lleno de agua con una perforación inferior por la que sale el líquido, podrá no percibir el movimiento del fluido; pero esa misma persona notará perfectamente el chorro si coloca la mano frente al orificio de salida.

/Figura IV-11

Figura IV-11

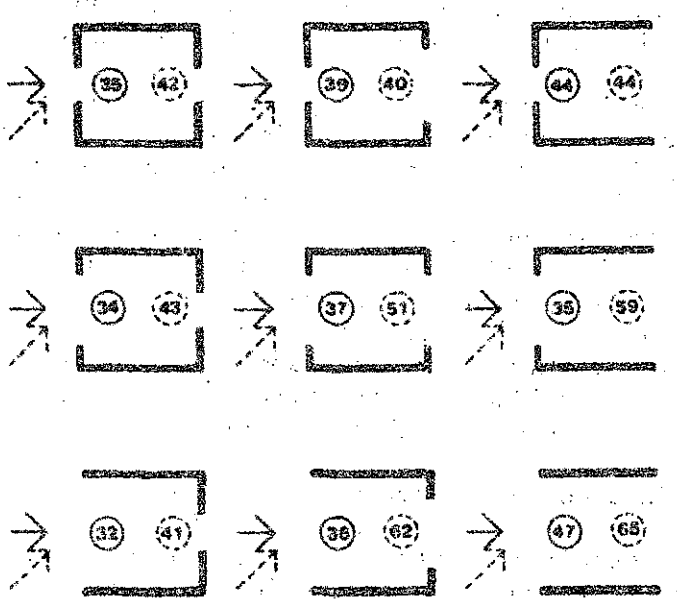
AIREACION DE ESPACIOS INTERIORES, ADAPTADO DE OLGYAY (1963)



/Figura IV-12

Figura IV-12

AIREACION ENTRE ABERTURAS OPUESTAS; EN FUNCION DE LA AMPLITUD DE LOS HUECOS DE ENTRADA Y SALIDA Y DEL ANGULO DE INCIDENCIA (Npp)



*(Npp): las cifras indican la velocidad promedio del flujo interno, expresada en % de la velocidad del viento exterior.

Línea continua: incidencia normal
Línea de trazos: incidencia oblicua

Datos tomados de Givoni (1976)

/Desde el

Desde el punto de vista del confort térmico, interesa no sólo la magnitud del flujo interno sino también su ubicación predominante. De poco serviría una brisa que barriera el techo si el aire en contacto con los usuarios permaneciera más o menos en calma. El diseño de la abertura de entrada puede influir considerablemente en la dirección del flujo, induciendo, por la posición o por la forma, un debido encauzamiento. En la aa figura IV-13 se puede apreciar la influencia de este factor en la ubicación vertical del flujo. Se llama especialmente la atención respecto a la diferencia entre el caso g y el h; la simple separación del alero bastará para modificar favorablemente la dirección del flujo.

En las zonas climáticas en que la aireación interna constituya un elemento importante para mejorar las condiciones de confort presentará siempre interés el diseño de dispositivos monofuncionales. En vez de la clásica ventana de múltiples usos, se podrá optar por diversos dispositivos ad hoc, que garanticen por separado una eficaz aireación, una comunicación visual con el exterior, y una adecuada iluminación. Las mallas de algodón, de metal o de plástico que se disponen en las aberturas para proteger el espacio interior contra los insectos pueden limitar considerablemente el flujo que las atraviesa, especialmente cuando el viento exterior es de baja velocidad, cuando incide en forma sesgada o cuando dichas mallas se encuentran parcialmente obstruidas por la suciedad.

El diseño adecuado de la compartimentación espacial interna garantizará la ausencia de "áreas muertas", de difícil ventilación (véase la figura IV-14). Cuando la morfología de la compartimentación no garantice, por sí misma, una aireación eficaz en todos los puntos, se podrá recurrir a un encauzamiento artificial por medio de ductos en los que se controlen estrictamente las aberturas. Esta solución es muy eficaz, incluso sin ayuda mecánica, en los casos de edificación elevada y con más de una crujía de ancho, para conectar los espacios centrales con los diferenciales externos de presión.

El ángulo de incidencia de un flujo sobre un hueco afecta a la eficacia de la penetración del viento. Generalmente, la aireación interna será máxima cuando el viento incide en dirección normal a la superficie del hueco. Sin embargo, algunas experiencias reseñadas en Givoni (1976) parecen indicar que la velocidad media del aire interior es máxima cuando la incidencia se produce bajo un ángulo aproximado de 45°, por establecerse entonces una turbulencia interior generalizada. (Véase de nuevo la figura IV-12.) Esta observación permitiría ampliar el margen de opciones al elegir la orientación de una edificación.

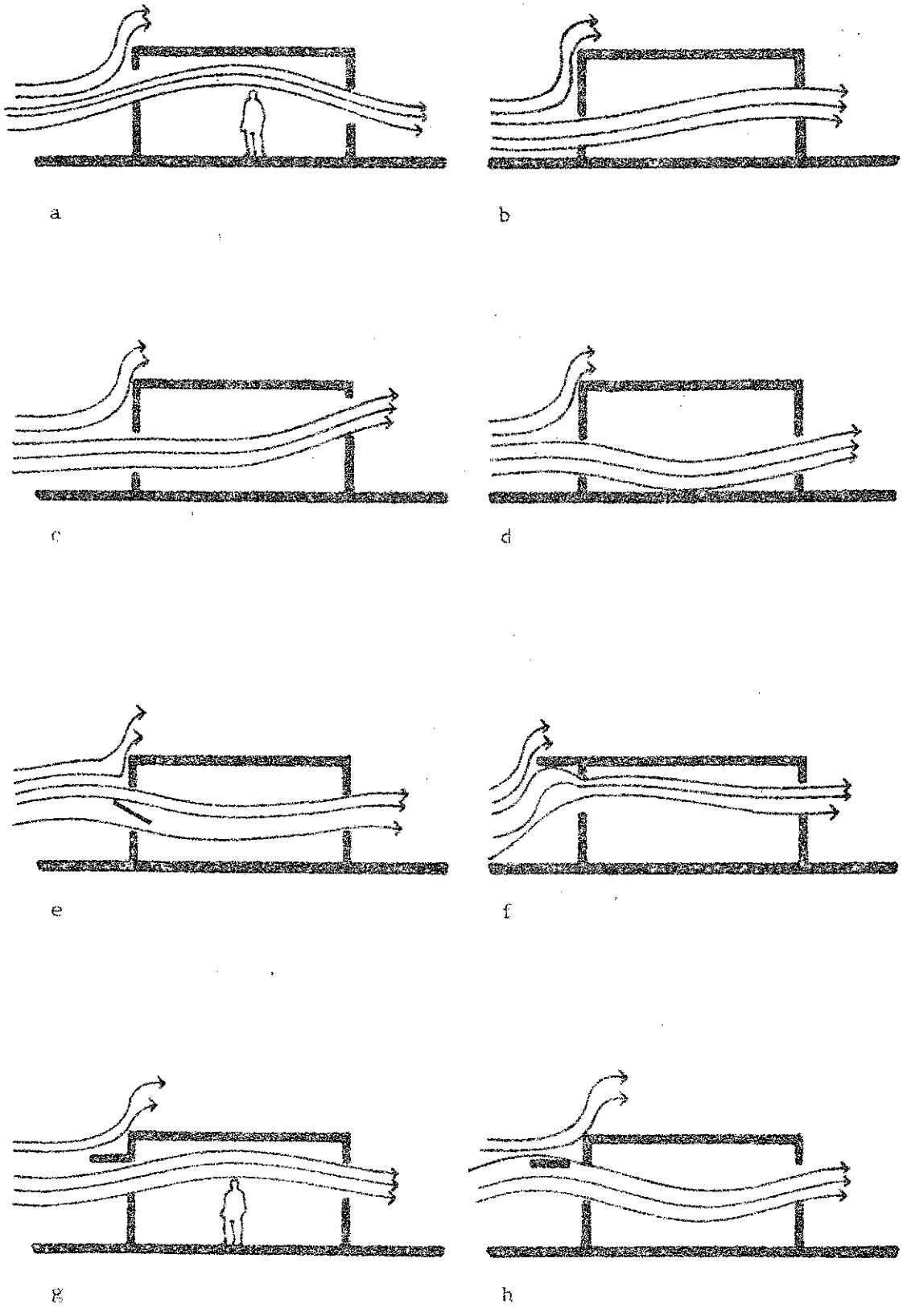
3. Dispositivos especiales de aireación

La aireación interior no tiene por qué limitarse a la que determine el campo de presiones que espontáneamente induce el viento. Se puede aprovechar o modificar dicho campo y mejorar las condiciones de aireación mediante algunas intervenciones de diseño como las que, a título de ejemplo, se reseñan a continuación.

/Figura IV-13

Figura IV-13

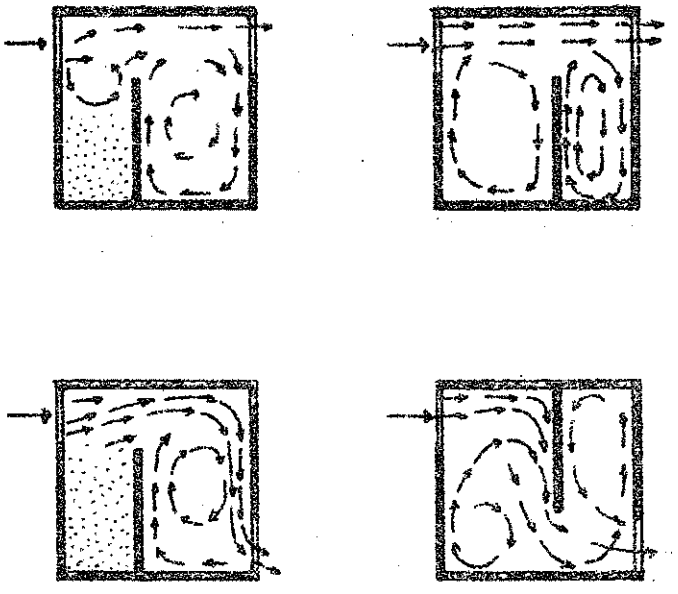
UBICACION VERTICAL DE LOS FLUJOS DE AIREACION



/Figura IV-14

Figura IV-14

AIREACION A TRAVES DE ESPACIOS COMPARTIMENTADOS
EN PUNTEADO: ZONA SIN AIREACION SUFICIENTE
FUENTE: GIVONI (1976)



i) Diseño de barreras vegetales o constructivas. Mediante la disposición de barreras se puede alterar el campo de presiones y lograr una mejor aireación. En la figura IV-15 se puede observar cómo la incorporación de setos altos y tupidos puede en parte remediar una pésima orientación de una construcción respecto al viento dominante, logrando una aireación inducida.

ii) Captadores de viento. En la arquitectura tradicional de Irán, Paquistán y otros países, se localizan ejemplos de "deflectores de viento", "torres de viento", etc., que son estructuras cuya misión es interceptar flujos de viento a mayor altura que la del espacio habitable e introducir en éste la corriente captada. La altura de estos dispositivos les permite beneficiarse de una mayor velocidad del viento y de una menor contaminación por sólidos en suspensión (polvo, arena, etc.). (Véase la figura IV-16.)

iii) Efecto térmico de chimenea. El establecimiento de un diferencial térmico en un espacio vertical confinado genera un tiraje en virtud del cual el aire caliente asciende y sale de la construcción. La entrada de aire que hace posible esta circulación puede diseñarse de tal forma que garantice un cierto frescor a los usuarios. La superficie del ducto de salida puede tratarse para que absorba la radiación solar, caliente aun más el aire y mejore el tiraje térmico. Puede incluso utilizarse el "efecto de invernadero" en combinación con una chimenea.

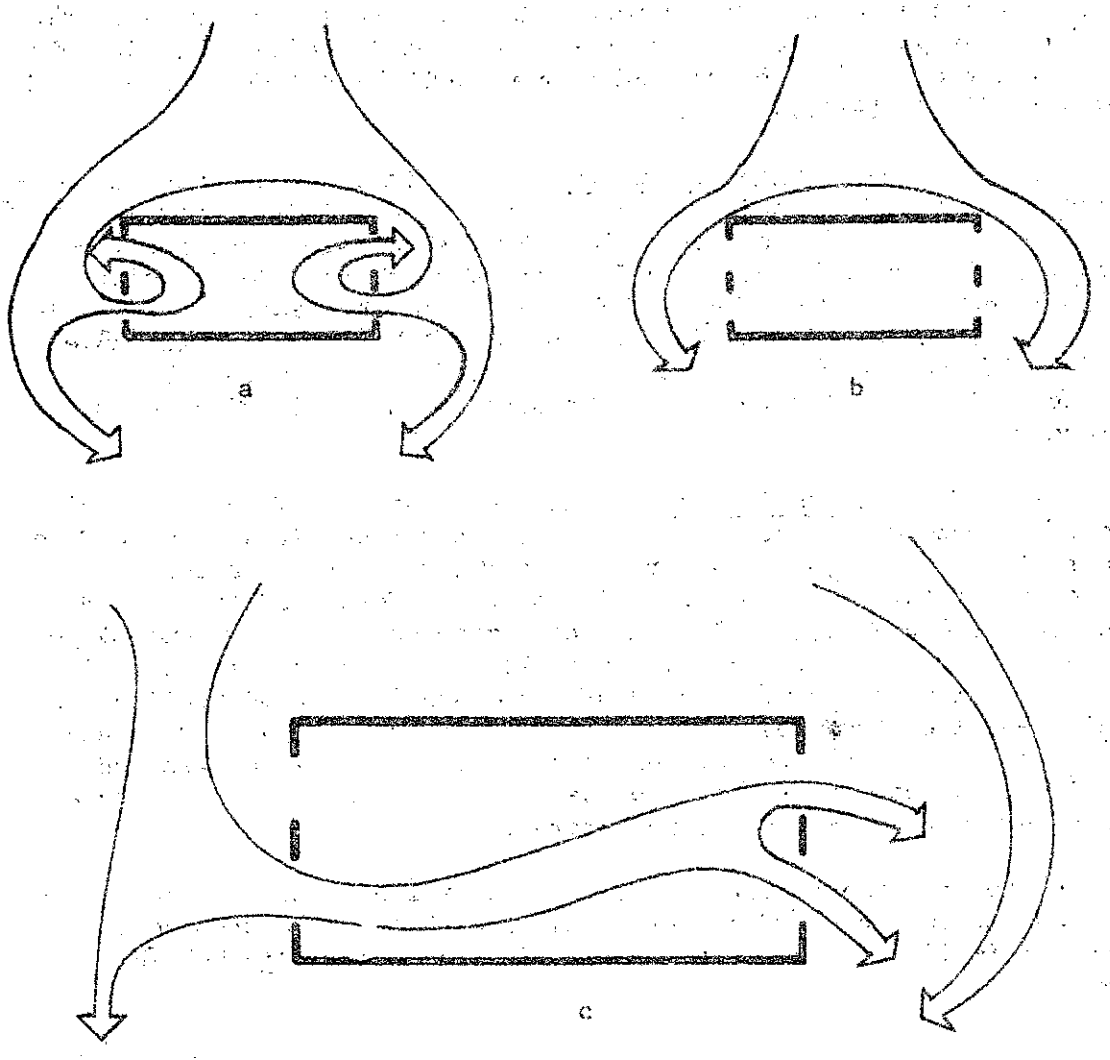
iv) Extractores estáticos. Algunos dispositivos permiten el aprovechamiento de la energía eólica para forzar un tiraje, aun cuando la dirección del flujo que se pretende generar no coincida con la del viento dominante. Tal es el caso de los extractores estáticos o estatores en los que el paso del viento determina un efecto de Venturi por el que se favorece el tiraje de una chimenea. El aumento local de la velocidad del viento genera una depresión estática que equivale a una succión en el extremo del ducto (véase la figura IV-17). Para grandes volúmenes de aire existen dispositivos de aireación industrial en los que el viento hace girar una caperuza formada por aletas. Esta rotación genera una succión del aire interno.

La combinación de estos y otros dispositivos y efectos genera un campo enorme de variaciones. El manejo racional del recurso de la aireación implica un gran reto para la imaginación al diseñar los proyectos.

/Figura IV-15

Figura IV-15

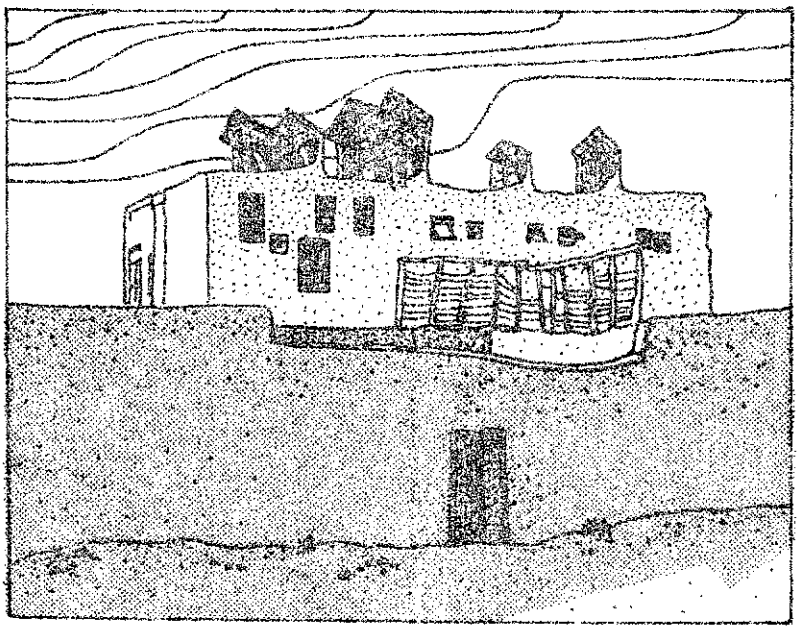
MODIFICACION DEL CAMBIO DE PRESIONES PARA MEJORAR LA AIREACION



/Figura IV-16

Figura IV-16

DEFLECTORES DE VIENTO EN PAQUISTAN (BAJO SINDH)
ADAPTADO DE KK MUMTAZ (1978)

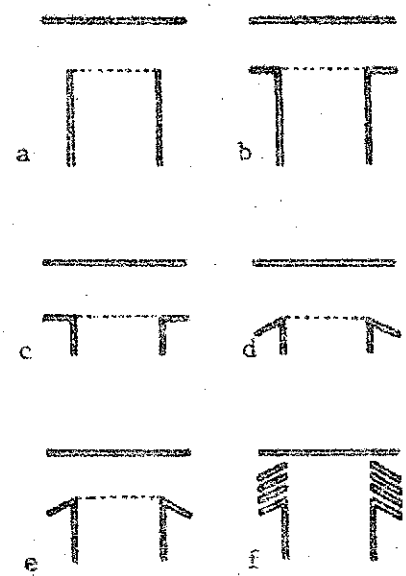


/Figura IV-17

Figura IV-17

DIVERSOS TIPOS DE EXTRACTORES ESTATICOS

(Secciones)



/NOMENCLATURA

NOMENCLATURA

α	Admisividad
β	Difusividad
b	Radiación reflejada
c	Calor específico (capítulo II)
c	Radiación transmitida (capítulo III)
C	Capacidad térmica
Ce	Concentración de gas en el exterior
Ci	Concentración de gas en el interior
cv	Calor específico volumétrico
de	Radiación re-radiada hacia el exterior
di	Radiación re-radiada hacia el interior
d	Radiación absorbida
e	Espesor
f	Factor de ganancia solar
g	Tasa de extensión
h	altura de la edificación
Δt	Incremento de temperatura
I	Radiación incidente
k	Coeficiente de conductividad térmica
K	Conductancia
Ka o U	Conductancia aire-aire o transmitancia
m	Masa
η	Amortiguamiento
ω	Desfase
q	Cantidad de calor
Q	Cantidad de calor
r	Resistividad
R	Resistencia
Ra	Resistencia aire-aire
Ri	Resistencia de cuerpos constructivos internos
Rse	Resistencia superficial externa
Rsi	Resistencia superficial interna

/S Area

S	Area
σ	Absortividad
t	Temperatura
θ	Constante de tiempo
τ	Reflexividad
TRM	Temperatura radiante media
TS	Temperatura seca
Tsa	Temperatura sol-aire
V	Tasa de ventilación

/BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

A.A.V.V., "Edilizia e risparmio energetico", Casabella, no. 461.

A.A.V.V., "Les 4 éléments"., Techniques et architecture, no. 325, junio-julio, 1979.

A.A.V.V., "Solaire: passif ou actif?", Architecture d'aujourd'hui, no. 209, 1980.

Acosta, Vladimiro, Vivienda y clima, Editorial Nueva Visión, Buenos Aires, 1976. 1976.

Ahmad, A.M., "On ceiling heights and human comfort", Overseas Building Notes, no. 155, B.R.E., Watford, 1974.

Arizona State University, Solar oriented architecture, Arizona State University, Temple, Arizona, 1975.

Aronin, Jeffrey Ellis, Climate and architecture, Reinhold, Nueva York, 1953.

A.S.H.R.A.E. Handbook of fundamentals, American Society of Heating, refrigerating and air-conditionning engineers, Nueva York, 1977.

Atkinson, G.A., "An introduction to tropical building design", Architectural Design XXIII, octubre de 1953.

Atkinson, G.A., "Building in the tropics", RIBA Journal, Londres, junio de 1950, págs. 313 a 320.

Aynsley; Melbourne, y Vickery, Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers, Essex.

Baer, S., Sunspots, Zomeworks Corporation, Albuquerque Nuevo Mexico, 1975.

Balwant Saini S., Architecture in tropical Australia, George Wittenborn, Nueva York, 1970.

Banham, R., "The architecture of the well-tempered environment The Architectural Press, Londres, 1969.

Bardou, P. Arzoumanian V., Arquitecturas de Adobe, Gustavo Gili, Barcelona, 1979.

Bardou P, Arzoumanian V., Sol y Arquitectura, Gustavo Gili, Barcelona, 1980.

Burberry, P., Environment and services, B.T. Batsford, Ltd., Londres, 1970.

C.I.C.T.U.H., Actualidades de la arquitectura, "Arquitectura y Clima", Centro de información científica técnica, La Habana, Cuba, 1974.

/Cochrane

Cochrane, A.T., The control of indoor climate, Pergamon, Oxford, 1968.

Cowan, H., Science and Building, J. Wiley, 1978.

Croiset M., Humedad y temperatura en los edificios, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1970.

Cutropia, A., et al, Clima y vivienda, Universidad de Mendoza, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Argentina, 1969.

Chauliaguet, Ch., et al, La energía solar en la edificación, Editores técnicos asociados, Barcelona, 1978.

Danz, Ernst La arquitectura y el sol, protección solar de los edificios, Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1967.

Dreyfus Jacques, Le confort dans l'habitat en pays tropical. La protection des constructions contre la chaleur, Editorial Eyrolles, París, 1960.

Evans, Martin,"Designing in the tropics". The Architec's Journal. 16 de noviembre de 1977, págs. 977 a 980.

Evans, Martin, Housing, Climate and Comfort, The Architectural Press, Londres, 1980.

Fry, M., y Drew, J., Tropical architecture in the dry and humid zones, Krieger, Nueva York, 1975.

Givoni, B., Man, climate and architecture, Van Reinhold Nostrand, Nueva York, 1976.

Golany, G.S., Urban planning for arid zones: American Experiences and Directions, J. Wiley & Sons, Chichester, 1978

Groupe ABC, Bâtir avec le soleil, Institut de l'environnement, París, 1974.

HMSO, Principles of natural ventilation, BRE Digest 210, HMSO, Londres, 1978.

Harkness, E.L., y Mehta M.L., Solar radiation control in buildings, Applied Science Publishers, Londres.

Hassan,Fathy, Arquitectura para los pobres. Clima y Arquitectura, Editorial extemporáneos, México 1975.

Housing and Home Finance Agency, Division of Housing Research, Applications of climatic data to house desing, Government Printing Office, Washington, 1954.

/Institute

Institute of heating and ventilating engineers, IHVE Guide, Londres, 1976.

INTI, Orientación de viviendas y radiación solar en la Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina, 1973.

Izard J.Guyot, Arquitectura bioclimática, Gustavo Gili, Barcelona, 1980.

Koenigsberger, O.M.; Ingersoll, T.G.; Mayhew, A., y Szokolay, Vivienda y edificio en zonas cálidas y tropicales., Editorial Paraninfo, Madrid, 1977.

Kukreja, C.P., New Delhi tropical architecture, Mc Graw-Hill, Nueva York, 1979.

Lacy, R.E., Climate and buildings, HMSO, Londres, 1978.

Lippsmeier, George, Building in the tropics , Callwey Verlag, Munich, 1969.

Milbank, N.O., A new approach to predicting the thermal environment in buildings at the early design stage, BRE, Watford, 1974.

Naciones Unidas, Departamento de Asuntos económicos y sociales, Climate and houses design, Nueva York, 1971.

National Academy of Sciences, Solar energy in developing countries, Washington, 1972.

Neira, Eduardo, Diseño de viviendas populares en el trópico húmedo, Facultad de arquitectura y urbanismo, Colección espacio y forma, no. 14, Caracas, 1968.

Oakley, D.J., Tropical houses: a guide to their design, B.T. Batsford, Londres, 1961.

OECD, Environment and energy use in urban areas, París, 1978.

Olgyay,Aladar, Solar control and shading devices, Princeton University Princeton, 1957.

Olgyay, Víctor, Clima y arquitectura en Colombia, Universidad del Valle, Facultad de arquitectura, Colombia, 1968.

Olgyay, Víctor, Design with climate Princeton University Press, Princeton, 1963.

Page, J.K.,"Climate and town planning with special reference to tropical and subtropical climates",BRS Overseas Building Notes, no. 52, Londres, junio de 1958.

/Pérez

Pérez-Chaniz, E.,"Problemas de la construcción en los trópicos;", Urbe, no. 20., San Juan Puerto Rico, diciembre de 1966 , febrero de 1967, págs. 41 a 56.

Petherbridge, P., Data for the design of the thermal and visual environments in buildings in warm climates, BRE current papers, Watford, 1974.

Petherbridge, P., Limiting the temperature in naturally ventilated buildings in warm climates., BRE, Watford , 1974.

Pichards, S.J., Climatic control by building design, South African Building Research Institute, Durban, 1959.

Pilkington Glass ;Windows and environment, Pilkington environmental advisory service, 1969.

Plant, C.G.H.,"Windows: design and function under tropical conditions", Overseas building note 142, B.R.E., Watford, febrero de 1972.

Puppo, Ernesto y Giorgio, Acondicionamiento natural en arquitectura Marcombo-Boixareu, Barcelona, 1972.

Ramón, F., Ropa, sudor y arquitecturas, Editorial Blume, Madrid, 1980.

Ramón, F., Soleamiento, en una situación urbana, COAM, Madrid, 1976.

Ramón, F., Ventilación, en una situación urbana, COAM, Madrid, 1976.

Randell, J.E., Ambient energy and building design, Construction Press, Lancaster, 1978.

Rannells, J.,"Building in the tropics", Architectural record, agosto de 1952, págs. 153 a 181.

Ransom, W.H., Tropical building studies 3; Solar radiation thermal effects on building materials, HMSO, Londres, 1962.

Rapoport, A., House form and culture, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1969.

Rapoport, A., Aspectos humanos de la forma urbana, Hacia una confrontación de las ciencias sociales con el diseño de la forma urbana, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1978.

Rivero, Roberto, Asoleamiento en Arquitectura, Universidad de la República, Facultad de arquitectura, servicio de climatología aplicada a la arquitectura, Montevideo, Uruguay, 1972.

/Rodríguez

Rodríguez-Porcell, R.R., Arquitectura ambiental en el trópico húmedo, Ediciones Laforgue Santiago de Chile, 1963.

Saini, Balwant Singh, Building in hot dry climates, J. Wiley & Sons, Chichester, 1980.

United Nations,"Design of low cost housing and community facilities", Climate and house designs, Vol.I., Nueva York, 1971.

Van Straaten, H.F., Thermal performance of buildings, Elsevier, 1967.

Vautier, Ernesto, El hombre y su vivienda frente al clima, Universidad Nacional de Córdoba, Departamento de Publicaciones de la Facult de Arquitectura y Urbanismo, Argentina, 1974.

Vinaccia, G., "Per la città di domani", Editorial Fratelli Palombi, Roma.

Wakely, Patrick I.,"Diseño y confort térmico en climas cálidos", Un texto de aprendizaje programado para arquitectos, Universidad de los Andes, Mimeo, Bogotá, 1978.

Webb, C.G.,"Ventilation in warm climates",Overseas building notes, no. 66, BRS, marzo de 1960.

White, R., Effects of landscape development on the natural ventilation of buildings and their adjacent area, Texas Engineering Experimental Station, Research report no. 45, marzo de 1945.

Wright, David, Natural solar architecture: a passive primer, Van Nostrand Reinhold Company, Nueva York, 1978.