



Centre de Cooperació per
al Desenvolupament. CCD

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Comportamiento bioclimático en la arquitectura

David Morillón Gálvez

Instituto de Ingeniería-UNAM
DMorillonG@iingen.unam.mx

**Diplomado en Acercamiento a criterios arquitectónicos ambientales para
comunidades aisladas en áreas naturales protegidas de Chiapas
Universidad Autónoma de Chiapas**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Febrero del 2003

Programa

Introducción

Conceptos generales

- Confort y conservación de la energía
- Definición de diseño bioclimático
- Metodología para diseño bioclimático
- Elementos del diseño bioclimático
- Helioarquitectura
- Sistemas pasivos de climatización

Enfoque bioclimático del análisis térmico de edificios

- Indicadores del comportamiento térmico de los materiales
- Cálculo de transmitancias
- Cálculo de ganancias extras de calor
- Cálculo de la ganancia o pérdida total de calor en un edificio
- Normatividad oficial mexicana para el diseño térmico de la envolvente de edificios no residenciales NOM-008-ENER-2001

Referencias

Introducción

El presente documento está dirigido a arquitectos, ingenieros y profesionistas de otras disciplinas interesados en el aprovechamiento de las energías renovables y el ahorro y uso eficiente de la energía en los edificios, desde el diseño mismo, así como en proporcionar a sus ocupantes confort ambiental integral y en coadyuvar al mejoramiento del ambiente y la calidad de vida. También está dirigido a personas de instituciones públicas y privadas y a organismos no gubernamentales, vinculados a los sectores constructivos, energético y ambiental, así como a estudiantes de licenciatura en arquitectura, ingeniería y otras disciplinas afines.

El principal objetivo de este material es proporcionar conocimientos, métodos y estrategias que les permitan diseñar edificios confortables, saludables y de máxima eficiencia energética para sus ocupantes, y en los cuales se utilicen principalmente energías renovables para contribuir con acciones sustentables al ahorro y uso eficiente de la energía en los edificios y al mejoramiento del ambiente y de la calidad de vida.

Las notas están estructuradas en siete capítulos: el primero sobre el proceso para llegar al diseño de arquitectura bioclimática; el segundo sobre los elementos del diseño bioclimático; el tercero sobre helioarquitectura; el cuarto sobre sistemas pasivos de climatización; el quinto sobre análisis térmico de edificios; en el sexto se trata sobre la normatividad oficial mexicana para el diseño térmico de la envolvente arquitectónica; y por último, se presentan el costo beneficios de la arquitectura bioclimática.

Los anteriores capítulos tienen información con una orientación práctica. A partir del primer módulo los alumnos podrán aplicar el conocimiento a un caso local, sin perder la universalidad del conocimiento.

Los beneficios al realizar arquitectura bioclimática serán directos en:

- ◆ Optimizar recursos energéticos y económicos en el manejo de los edificios, mediante el ahorro y uso eficiente de la energía.
- ◆ Conocer y aplicar técnicas o procedimientos de cálculo y constructivos que den un valor agregado a los espacios arquitectónicos.
- ◆ Colaborar en la búsqueda de la sustentabilidad del medio ambiente natural y urbano que requiere el país, desde el diseño mismo de los edificios.
- ◆ Retomar el principio de diseñar con la naturaleza y no en contra al margen de ésta.

Conceptos Generales

Conceptos Generales

Introducción

El diseño tradicional de edificios, por regla general, no incluye el estudio a detalle de todas las variables que influirán en la comodidad higrotérmica de sus ocupantes, y por lo tanto se recurre al uso del aire acondicionado y/o calefacción para lograr este fin, cuando se dispone de los medios económicos para poder usarlo.

Dicha actitud ha llevado al uso inadecuado de los recursos naturales y deterioro del ambiente, es por ello que los arquitectos e ingenieros, así como autoridades involucrada en el diseño y construcción de edificios, deben de tomar conciencia y encaminar sus esfuerzos desde su trinchera para desarrollar edificios adecuados al ambiente, y en consecuencia de máxima eficiencia energética.

Entre los conocimientos para lograr edificios adecuados al ambiente tenemos el diseño bioclimático.

El diseño bioclimático es el medio para lograr el diseño de edificios confortables, esto con el objetivo de que éstos resulten ser sistemas termodinámicos eficientes. Lo cual implica que se logre la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía eléctrica. Con base en lo anterior, el ideal será aquel sistema cuyo consumo de energía convencional sea nulo a lo largo del año, esto se puede llevar a cabo con el empleo o protección del clima.

Esta adecuación de los edificios al clima se puede apreciar en diversos ejemplos de la arquitectura vernácula, en los que cada pueblo, utilizando el clima como recurso y por medio de prueba y error, llegó a obtener una vivienda adecuada, repitiendo los aciertos y desechando lo que no funcionaba. Sin embargo en la época actual, debido a la variedad en el mercado de nuevos materiales de construcción y novedosos métodos constructivos, no se puede esperar que un determinado tipo de arquitectura, logre por sí mismo la optimización de los edificios para cada región.

Con base en lo anterior, se presentan ideas y métodos para la climatización natural de edificios, con el objetivo de aportar técnicas para el uso adecuado de componentes del edificio (muros, techos, pisos, orientaciones, etc.) que al interactuar con el clima tomen ventaja de él para lograr el bienestar térmico de sus ocupantes. Estos

componentes deben formar parte integral del edificio, estar fabricados con materiales que existan en el mercado local y que puedan ser aplicados con métodos constructivos usuales en la región.

En el desarrollo de las presentes notas se hará primero un análisis de consumo de energía y el confort, posteriormente se definirá que es el diseño bioclimático, una análisis de las metodologías de diseño bioclimático, y por último, se presenta una metodología que permitirá que nuestros futuros diseños sean bioclimáticos.

Confort y conservación de energía

Las inclemencias del clima, la inseguridad del entorno, la necesidad de estar consigo mismo y de restaurar las fuerzas, han llevado al hombre a construir un refugio, que con el tiempo se ha convenido en llamar arquitectura. La materialización que requiere ésta, es decir su calidad física y material, implica a su vez la transformación en mayor o menor grado del ambiente y con él, el aire, la luz, el agua, la tierra, el calor, la energía, entre otras.

Sin embargo, la naturaleza es un sistema, producto de millones de años de depuración, durante los cuales las estructuras ambientales han pasado de un estado inestable a otro más estable, cediendo energía.

El hombre para transformar su entorno debe suministrar una cantidad de energía equivalente a la que la reacción cedió en su proceso natural.

Por eso, la acción transformadora de nuestro hábitat, es con frecuencia contraria al proceso de la naturaleza, quien inmediatamente se ocupa de enmendar la plana, como cuando se invade el cauce de un río. Así, mientras mayor sea el consumo de energía invertido en la obtención de recursos, más rápida es su tendencia a volver a formas estables del ambiente.

De ahí que quienes nos dedicamos a la transformación del medio natural, supuestamente para alcanzar estados más propicios al desarrollo de nuestra especie, debemos ser muy cuidadosos de la calidad de la energía que empleamos -si su producción es contaminante o no, si su fuente es o no renovable etc.-, así como de la cantidad de energía que reclama nuestro ejercicio, tanto en la producción de materiales utilizados, como durante la construcción, y en la operación y mantenimiento de un edificio terminado. Este consumo energético puede considerarse una medida inversamente proporcional a la velocidad en que se degradará nuestra obra.

Como la preocupación de este curso es precisamente abordar la relación entre la arquitectura y una las energías llamadas renovables (natural), cuyo nombre implica, además de ahorro de energía, cierta tranquilidad de conciencia, voy a intentar definir los conceptos "natural" y "artificial", considerando al ser humano dependiente aunque interactuante con la naturaleza.

El medio natural se ve constantemente sujeto a cambios, en los cuales puede intervenir o no, una decisión de diseño. Los vegetales lo transforman de manera continua dependiendo de factores climáticos, estacionales y aún de eras geológicas. Los animales inciden en él con mayor capacidad de valoración, basada principalmente en sus respuestas instintivas. Algunos mamíferos son capaces de alterar su hábitat superando limitaciones genéticas.

Por lo anterior, no se tienen escrúpulos en calificar de natural al nido de un ave, al refugio de un chimpancé, a la choza de un aborígen bantú o a la pequeña casa de adobe del campesino mexicano, el empleo de materiales regionales y el consumo de energías renovables no contaminantes para construir este tipo de abrigos, no desencadena impactos de importancia en el aspecto del entorno y mucho menos en su estructura.

El problema aparece cuando el hombre debe superar a la naturaleza, porque no le suministra los medios suficientes para saciar sus necesidades y se ve obligado a encontrar sustitutos de tales satisfactores. El hombre debe valerse de algún artificio, en cualquiera de las acepciones de la palabra: arte, habilidad con que está hecha una cosa; aparato, mecanismo; disimulo, astucia, cautela y engaño. Entonces aparecen piedras que no lo son, maderas que sólo fingen serlo, brillos metálicos que no provienen de metales, y otras muchas lindezas que se califican no sólo de artificiales, sino aún mejor de hechizas.

Intervención humana, puesto que el hombre como parte integral de la naturaleza, es natural y sus productos deben serlo también. La realidad es otra, se tienen grados de trastorno, alteración o suplantación de la estructura ambiental de origen, un alto nivel tecnológico empleado para modificarla y la cantidad de energía consumida para hacerlo.

Además del impacto ambiental, la noción de artificial implica una intencionalidad, una voluntad expresa de transformar, alterar, suplantarse o destruir. Tal intención no puede ser sólo una resultante mecánica del instinto, sino un acto voluntario que exprese la personalidad total del sujeto y sea la síntesis reflexionada de sus tendencias de ejercer una acción sobre el mundo. Este simple hecho ha originado dos corrientes de pensamiento, dos imágenes del mundo:

- La que sostiene que el ser humano es una creación superior, el medio ambiente le pertenece, y por lo tanto puede hacer uso de él sin restricción alguna, y
- La que defiende la igualdad en esencia de todos los seres y por tanto integra al hombre con su entorno, permitiéndole servirse de él, siempre y cuando no altere las condiciones de equilibrio original.

No cuesta ningún trabajo afirmar cuál idea ha prevalecido con mayor fuerza hasta nuestros días. Culturas van y culturas vienen, y la idea de un "hombre-dios" y de un "ambiente-materia prima" son infaltables.

Aún el pensamiento primitivo desdeña a las especies que no le son de utilidad y ni siquiera les da nombres. Hombres con más cultura como los del renacimiento cuatrocentista, consideran al entorno como una arcilla para modelar su expresión. Hoy mismo el paradigma tecnológico en vigor se erige en detractor del medio, pues concibe que la tecnología todo lo puede, incluso, crear ambientes artificiales.

Los movimientos ecologistas de hoy en día, se esfuerzan en convencer sobre las bondades de sus postulados casi siempre con resultados adversos, enfrentándose a la inercia de la comodidad, del interés económico individual y minoritario, y de la fe en una superioridad del hombre cada vez más vulnerada y desmentida.

Dicha postura ha distorsionado en su concepción verdadera a la arquitectura, desviándose hacia la búsqueda de falsas necesidades. Un edificio superaislado, sellado a la interacción de las condiciones ambientales exteriores, y altamente condicionado a la utilización de la energía eléctrica de manera directa o indirecta, es el prototipo de la arquitectura actual.

La economía, la naturaleza y, desgraciadamente, la salud del hombre han sido seriamente afectadas por esa actitud injustificada, que ha venido desarrollándose a costa del deterioro del nivel y condiciones de vida del ser humano.

Es urgente y necesaria una actitud más consciente hacia la sensata y eficiente utilización de nuestros valiosos recursos naturales, actualmente utilizados para generar energía que se consume en las diversas actividades del ser humano.

Consumo de energía en los edificios

En el balance nacional de energía de 2000 el consumo final energético del país fue de 3,801.4 petajoules (tabla 1), el agregado, en el cual se involucran todos los edificios es el conformado por el sector residencial, comercial y público, registró una participación del 22.02%, para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos, iluminación, calefacción, aire acondicionado, calentamiento de agua y servicios municipales (alumbrado público, bombeo de aguas negras y potables, entre otras). Los energéticos empleados fueron, el gas licuado que participó, la leña con, la electricidad con aproximadamente el 21.0%, el gas natural, el combustóleo, y en conjunto los Querosenos y el diesel.

México: consumo final de energía por sectores
Mexico's final energy consumption by sectors
(Petajoules)

	Total de combustibles sólidos	Leña	Bagazo de caña	Coque	Total de petrolíferos	Gas licuado	Gasolinas	Querosenos	Diesel ¹	Combustóleo	Total de gas natural	Gas no asociado seco
	Solid fuels total	Wood	Bagass	Coke	LPG	Gasolines	Kerosens			Fuel oil	NG Total	Associated gas
Residencial, com. y púb.												
2000	253.9	253.9	0.0	0.0	361.0	356.1	0.0	1.4	3.6	0.0	29.1	14.6
Transporte												
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	1610.2	45.2	997.9	115.1	439.2	12.8	0.2	0.1
Agropecuario												
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	87.1	7.5	0.0	0.1	79.5	0.0	0.0	0.0
Industrial 3												
2000	179.1	0.0	82.6	96.5	283.5	42.5	0.1	1.5	54.8	184.6	438.0	219.8
Total												
2000	433.0	253.9	82.6	96.5	2341.8	451.4	998.0	118.1	577.0	197.4	467.4	234.5

Fuente: SENER, Balance Nacional de Energía.

Source: SENER, National Energy Balance.

¹ Incluye gasóleo industrial a partir de 1991, el cual fue sustituido por combustible industrial a partir de 1998.

² No incluye la autogeneración de electricidad.

³ Incluye petroquímica de PEMEX.

Tabla 1, Consumo nacional de energía por sector (2000).

El consumo de energía por rama de actividad económica, esto es, la energía consumida en cada uno de los subsectores que componen el sector residencial, comercial y público, fue: en el 2000 el subsector residencial, el 83 % de los requerimientos totales del sector. Los energéticos de mayor consumo fueron el gas licuado, la leña, la electricidad, el gas natural cubrió y las kerosinas, en dicho orden de consumo.

En el subsector comercial, el consumo de energía fue de 14.8 % del total del sector. Los principales energéticos utilizados fueron el gas licuado, la electricidad, y el combustóleo y diesel.

Finalmente, los servicios públicos requirieron el 2.2 % de la demanda total del sector.

Uso final de la energía en los edificios

En la mayoría de los edificios modernos, existe una dependencia cada vez mayor de la energía convencional, principalmente en los últimos estilos arquitectónicos: posmodernismo y el high tech, sin que esto signifique comodidad térmica para sus ocupantes y sí, en cambio, un alto costo económico para el usuario y el país y un deterioro del ambiente.

El diseño tradicional de edificios, no incluye el estudio en detalle de todas las variables que influyen en la comodidad higrotérmica y lumínica de sus ocupantes, por lo tanto, se recurre al uso del aire acondicionado e iluminación artificial en horas del día y zonas climáticas, que no se requieren para lograr este fin, con el consecuente costo económico, energético y ambiental.

En los edificios, el potencial de ahorro de energía se define a partir del consumo que representan los diversos usos finales energéticos o cargas; la iluminación, que en el caso de edificios no residenciales ubicados en el centro del país, generalmente representa el mayor porcentaje del consumo total. No así en el norte y costas del país, en donde el mayor consumo lo representa el aire acondicionado. Entre otras cargas se tienen el bombeo hidrosanitario y los elevadores. Es probable que, con el ritmo de crecimiento en la demanda de equipos de cómputo, llegará el momento en que éstos rebasen la carga por iluminación y aire acondicionado, como sucede en otros países.

El consumo por las diversas cargas de un edificio, se determina mediante un diagnóstico energético (DEN), cuyo fin es el conocer el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía. Es importante señalar que los DEN no son una solución directa al control del uso de la energía, pero sí la herramienta más útil para llevar a cabo un programa de ahorro y uso eficiente de la misma.

Con base en más de 200 diagnósticos energéticos realizados por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), el FIDE y el autor de manera particular, se realizó un estudio crítico de todas las formas de uso de la energía en edificios, con objeto de definir las estrategias de ahorro de energía.

No se puede hablar de un potencial de ahorro de energía en edificios (por uso) en forma concreta, porque se indicaría un número para cubrir la falta de información en el país, pero sí se puede señalar, con base en las experiencias institucionales personales, así como en los estudios de tendencias y perspectivas de la energía residencial en México, de Claudia Sheinbaum, de una problemática en el uso de la energía.

Problemática en el consumo de energía en edificios

Para identificar la problemática existente en el uso y consumo de la energía en edificios, se llevó a cabo un análisis de 110 diagnósticos energéticos realizados a edificios no residenciales, con distintos giros, lo anterior resultado de los programas de la Conae.

La problemática encontrada se puede agrupar en cinco puntos:

- Mal uso del alumbrado
- Equipos e instalación obsoletos e ineficientes
- Mantenimiento inapropiado
- Adición de cargas
- Edificios no adecuados al ambiente energético

Edificios no adecuados al ambiente energético

Se observaron edificios que, atendiendo a modas arquitectónicas, no son adecuados a las condiciones climáticas del lugar, por lo que se condicionan al uso de:

- Aire acondicionado.
- Iluminación artificial en horas del día en que existe aportación de luz natural.
- Entre otros usos de la energía convencional.

Estrategias para el ahorro de energía

Las estrategias que se proponen, para el ahorro de energía en edificios, se agrupan en dos actividades; la primera, para edificios en funcionamiento, la cual consiste en realizar una readecuación (*retrofit*), y la segunda, para el diseño de nuevos edificios, se proponen criterios o recomendaciones que permitirán edificios de máxima eficiencia energética (diseño bioclimático). Además se deben considerar estrategias para operación y mantenimiento de los edificios, las cuales no se presentaran en el presente documento.

En el país la experiencia en programas de ahorro de energía en edificios ha sido sobre el cambio de tecnología incandescente a lámparas compactas fluorescentes y aislamiento térmico de vivienda (Programa ASI de CFE-Div. Baja California), dichos proyectos son de tipo *retrofit*.

Readecuación (*Retrofit*)

La readecuación o *retrofit* en nuestro país ha consistido en el cambio de equipo obsoleto, aplicando dispositivos y accesorios mecánicos, eléctricos y electrónicos, a los cuales genéricamente se les llama *ahorradores de energía*.

Las siguientes acciones son algunas medidas de *retrofit* sugeridas para llevar a cabo un programa de ahorro de energía:

- Seccionar circuitos y usar más apagadores. En estos casos debe adecuarse el diseño a la instalación eléctrica con circuitos independientes, o bien instalar en cada luminario un apagador, sea de palanca o bien de perilla colgante.
- Eliminar las lámparas incandescentes, porque éstas son las de más bajo rendimiento debido a que su operación está basada en el calentamiento de un filamento hasta el rojo blando, con lo cual convierte el 95% de la energía eléctrica en calor y sólo el 5% se aprovecha en luz.
- Utilizar, en caso de que los niveles de iluminación sean los adecuados, lámparas ahorradoras que proporcionan el mismo nivel de iluminación que las lámparas convencionales pero con una menor potencia. Es conveniente esperar a la terminación de la vida útil y hacer la sustitución conforme con este tipo de lámpara. Para estos fines

es fundamental llevar un control por área de las horas de utilización de las lámparas, mantenimiento preventivo y no correctivo, lo que servirá para hacer el reemplazo en grupo.

- Sustituir los balastos electromagnéticos convencionales por balastos electrónicos dimmeables. Éstos sistemas que, sacrificando un mínimo de iluminación, ahorran entre el 15 y 30 % de la energía eléctrica, al reducir el consumo de todas las lámparas del edificio o las lámparas periféricas (aprovechando la luz solar) o reemplazar los balastos convencionales por electrónicos (alfa frecuencia, HF) o energoeficientes (EE).
- Revisar que el interior del luminario esté cubierto con pintura reflejante y que no esté deteriorada. Existen reflectores de aluminio (reflectores ópticos) que reflejan aún más la luz hacia abajo, con lo que se reducen las pérdidas.
- Aprovechar la iluminación natural en horas del día
- Aislar los ductos del sistema de aire acondicionado.

En cuanto a la envolvente arquitectónica:

- Aislar techos y paredes en clima cálido o extremoso.
- Modificar el valor de absorción de los acabados exteriores, pintando de colores claros las paredes y techos por la parte exterior, para limitar las ganancias de calor en las zonas de clima cálido.
- Tratar los vidrios para disminuir las ganancias de calor por radiación solar.

Proyecto y diseño del edificio

En esta parte no se presentaran las consideraciones y criterio para el diseño adecuado de la instalación eléctrica, diseño luminico y sistema de aire acondicionado, con el objeto de abordar de manera directa el diseño arquitectónico.

Hacia un edificio de máxima eficiencia energética

Dicha utopía es alcanzable por medio de la arquitectura y la manipulación de la energía de origen natural o artificial, teniendo presente la preocupación por que su utilización sea sensata, no contaminante y eficiente. Entre ellas la arquitectura bioclimática, el ecodiseño, la arquitectura ambiental, helioarquitectura, ecológica, solar, ecoarquitectura y arquitectura sustentable, son nombres de la misma esperanza. Esperanza que hoy más que nunca, es la alternativa.

Definición de diseño bioclimático

El diseño bioclimático consiste en la acción de proyectar o construir considerando la interacción de los elementos meteorológicos con la construcción, a fin de que sea esta misma la que regule los intercambios de materia y energía con el medio ambiente y propicie las condiciones que determinan la sensación de bienestar térmico del ser humano en interiores.

“Se refiere a un proceso de diseño que se desarrolle con la naturaleza y no contra o al margen de ella”¹

En virtud de que existe una estrecha interrelación entre el clima de una localidad y la arquitectura que la tradición popular a forjado allí, la arquitectura bioclimática no debe ser presentada como un movimiento o una de las muchas modas que animan el contexto cultural de la arquitectura. Para Gonzalo Villa Chávez, la buena arquitectura siempre ha sido y debe de ser bioclimática, y una arquitectura no bioclimática carece de calidad. Es decir, la buena arquitectura siempre ha propiciado las condiciones internas de confort, suficientes para permitir el desarrollo óptimo de las actividades humanas, si no es así, no debe considerarse como buena arquitectura.

¹ Tudela, F., Ecodiseño, Ed. UAM-X, 1982.

Aspectos bioclimáticos en el diseño de edificios confortables de máxima eficiencia energética

Los aspectos bioclimáticos que determinan la comodidad térmica en un edificio pueden englobarse en tres grupos.

El primer grupo de variables lo constituyen las condiciones ambientales que incluyen: la temperatura del aire (bulbo seco), humedad del aire (o bien, temperatura de bulbo húmedo del aire), velocidad del aire, radiación solar, radiación infrarroja procedente de cuerpos y objetos vecinos. Estos parámetros se pueden modificar en la interacción de la edificación con el ambiente, de tal forma que las condiciones del interior (microclima) deben ser agradables (o en el peor de los casos, menos agresivas) al cuerpo humano, que las condiciones ambientales exteriores al edificio. Estos factores son los que se modulan en una construcción pasiva.

El segundo grupo de variables lo forman el vestido con el que se cubren los ocupantes y las variables que determinan el metabolismo, como son: edad, peso, complejión, actividad, etc.

El tercer grupo lo forman los materiales, las orientaciones, la forma, entre otros aspectos de la envolvente arquitectónica.

Los anteriores aspectos se manejan mediante la siguiente metodología de diseño.

Metodología para el diseño bioclimático

La mayoría de los métodos de diseño se preocupan casi sólo en las fases del método, que organiza y define los diversos pasos que el diseñador debe seguir para resolver un problema cualquiera. Este panorama parcial, que reduce el método a guía o receta de acciones en detrimento de los niveles de conciencia y conocimiento del diseñador, ha propiciado que los métodos se vuelvan prescriptivos y no generadores de ideas.

La tendencia actual, comprometida principalmente con el desarrollo sustentable, pretende quitarle a los métodos de diseño la estrechez de lo prescriptivo evitando las proposiciones ideales (así debe ser el proceso de diseño) y procurando secuencias de facto (esto hacen los diseñadores), que finalmente esbozarán las fases del proceso.

Apelando a la psicología, se propone determinar esta parte del método, modelando el acto de diseño como un acto voluntario cualquiera, esto es, como una decisión de ejercer deliberadamente una acción sobre el entorno. Y las acciones básicas de cualquier acto voluntario, si me permiten la exageración, se pueden reducir a cuatro:

- Concibe una hipótesis
- La fundamenta
- La verifica
- Y la materializa

Esto no representa un orden ideal, porque en la práctica es tan válido primero fundamentar (obtener información e introducirla en una caja negra, es decir sin saber lo que va a resultar) y luego concebir o viceversa (reunir información en una caja de cristal, sabiendo perfectamente qué deseamos lograr, lo que implica concebir la hipótesis antes en un proceso heurístico).

Lo anterior ha provocado dolores de conciencia a muchos diseñadores, que se asustan de haber concebido su hipótesis formal antes de realizar una investigación y un diagnóstico, pero la verdad es que resulta ser la secuencia más socorrida. Aunque muchos de los aciertos de los proyectos no fueron resultado de un razonamiento lógico, pero que una vez ideados sí fueron sujetos de ese razonamiento que los validó. En la ciencia misma, es permitido este orden, la labor esencial es descubrir el problema y adivinar la respuesta. Después la experiencia dictará el camino más apropiado para demostrar la verdad de dicha respuesta.

Igualmente se puede verificar antes de materializar o después. Pero nunca se podría verificar o materializar la hipótesis sin antes haber sido concebida (no dibujada o planificada, sino solamente concebida).

El carácter de estas acciones podría considerarse de la siguiente manera: fundamentar (investigar, inquirir, organizar, diagnósticas, analizar, deducir, etc.) es una categoría filosófica y más puntualmente epistémica; concebir es decididamente una actividad poética; verificar es sin duda una actitud científica; y finalmente materializar lo es eminentemente tecnológica. Esto responde a la consideración holística del acto de diseño (Fig. 1).

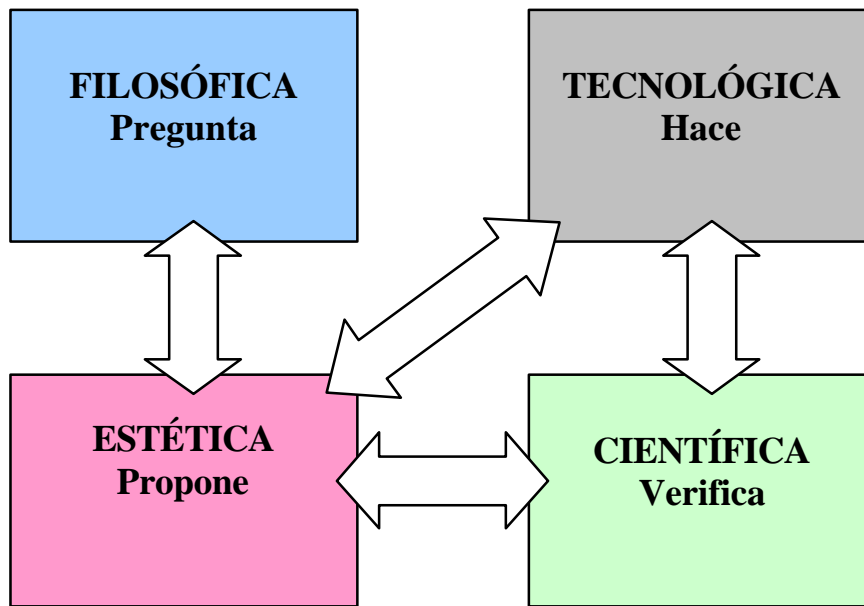


Figura 1. Actitudes del diseñador.

Así, las cuatro actitudes del diseñador constituyen esta sección del método. Sin embargo, a cada acción de diseño no le corresponde una fase única, sino varias a la vez. Dicho en otras palabras, las acciones son generalmente para todo el proceso y las fases son particulares y llevan a dichas acciones al detalle.

Por ejemplo, la acción de fundamentar implica dos estaciones bien diferenciadas, una donde se investiga y se acumula información, y otra donde se confronta y se llega a un diagnóstico. Esto indica la necesidad de dos etapas mínimas para organizar la fundamentación.

Sobre las metodologías para el diseño bioclimático

Entre las metodologías para el diseño bioclimático tenemos la de Humberto Rodríguez, que trata sobre la relación hombre y medio; E. Hernández/E. Mayer, encamina a obtener las recomendaciones de adecuación bioclimática de la vivienda aplicada a una localidad en particular; Adaptación de los patrones de Christopher Alexander al diseño bioclimático; Ingersoll/Szokolay, se enfoca a un análisis-síntesis-evaluación. Lipsmeier Georg nos lleva a determinar los factores que afectan la planeación del diseño; Olgyay V&A se fundamenta en la relación medio y la vida, y por último Gabriel Gómez Azpeitia, quien nos involucra en un proceso de diseño en espiral, ajustándose más a la forma de pensar del diseñador.

Partiendo del análisis anterior se presentan una serie de ideas que se han venido aplicando a lo largo de la vida profesional del autor. La aplicación de éstas ha provocado la maduración, y con ello una posibilidad mayor de transmitir las a otras personas ya no como ideas, sino como conocimiento en proceso de maduración.

Existe la preocupación de contribuir al buen diseño de edificios, debido a que esto significa bienestar para el ocupante. A lo cuál todos tienen derecho. Y a la vez, contribuir al ahorro de la energía utilizada en edificios mal diseñados, que tiran la energía que bien pudiera utilizarse de una manera más racional en algún uso necesario. Sin embargo, se está consciente de la existencia de una tecnología para el cálculo de la operación térmica del edificio, pues no basta decir (por ejemplo), que si se abre una ventana al sur se captará la energía solar en forma de calor durante el invierno; habrá que decir cuánta energía se capta, cuál es la temperatura que se alcanza y su historia en el

tiempo. Por esta razón se han desarrollado esfuerzos en esta vía, no sin desconocer la tecnología desarrollada en otros países, sobre todo en aire acondicionado y climatización, para adecuarla al cálculo de sistemas pasivos, así como la integración de estas "nuevas" técnicas a edificios con aire acondicionado mecánico en zonas donde el clima no permite la climatización natural en los rangos de confort.

El presente trabajo está orientado al manejo del clima como recurso para satisfacer las condiciones de confort del ser humano desde el punto de vista térmico, con el máximo de eficiencia energética posible. Y además de cumplir con las normas nacionales e internacionales de confort, permite obtener una alta calidad sanitaria para quien ocupe las instalaciones. Un edificio con un buen diseño térmico, implica gradientes de temperatura pequeños entre las diferentes zonas del edificio, aún entre el edificio y el ambiente exterior. Entonces, los ocupantes de los edificios no se expondrán a cambios bruscos de temperatura que pudieran afectar la salud (tanto problemas musculares, como bronco respiratorios).

Las normas que se seleccionaron para emplearse en la climatización de edificios, son las pertenecientes a la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, que son las bases para la normatividad por parte de la oficina N.B.S. en los E.U.A. Esto es debido a la naciente normatividad nacional, lo cual ha hecho que, en el medio de los profesionales en México dedicados al acondicionamiento de aire, se tomen algunas de las normas mencionadas a través de los manuales de aire acondicionado de compañías norteamericanas. Afortunadamente la Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía trabaja sobre normas oficiales mexicanas; NOM-008 y 020 para la eficiencia energética en edificios residenciales y no residenciales, las cuales se utilizaran como base en la toma de decisiones para el diseño de la envolvente de edificios.

Metodología

La metodología que se presenta para el diseño bioclimático de edificios parte de un cuidadoso análisis del clima del sitio, así como de los requisitos impuestos por el tipo de uso y del lugar donde se ubicará el mismo.

En la figura 2, se muestra un esquema que se sugiere seguir durante el diseño bioclimático de edificios.

Los parámetros del clima, además de la definición de los rangos de confort de las personas, animales o plantas que ocuparán el edificio, son: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, así como la radiación solar (Fig. 3).

Como primer paso, se debe construir un archivo de temperaturas horarias que correspondan a la temperatura de bulbo seco a la sombra del lugar. El archivo se organiza en 12 columnas que corresponden a los meses y 24 filas en las que cada valor es la temperatura promedio de cada hora, partiendo de las 1:00 y hasta las 24:00 hrs.

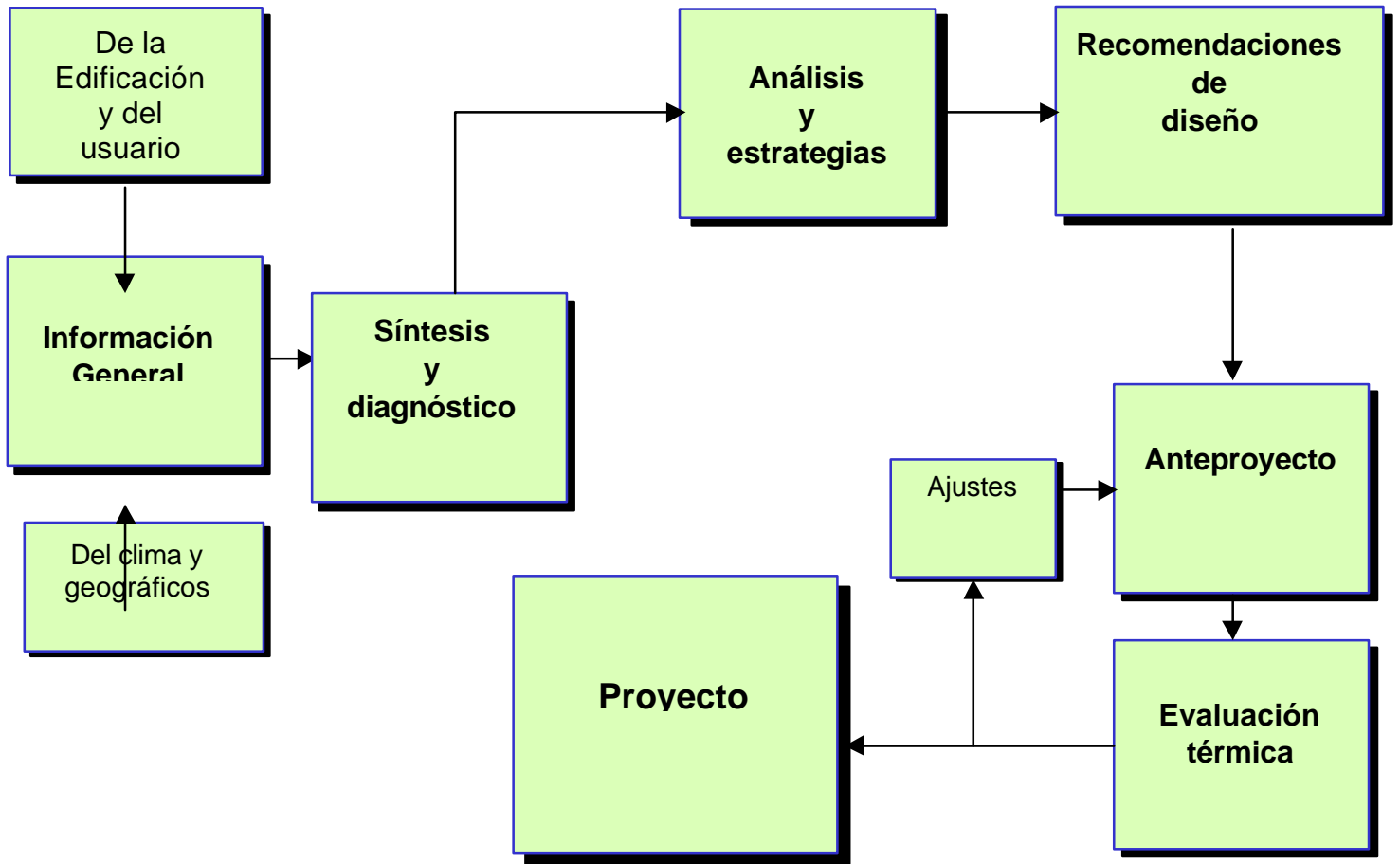


Figura 2. Metodología para el diseño bioclimático de edificios.

Los 288 valores de temperatura horaria, se procesan en cartas bioclimáticas junto con la humedad para indicar gráficamente el confort térmico (Fig. 4). En la nueva tabla conocida como diagrama de isorequerimientos de climatización, con las mismas columnas y filas que el anterior, marcando donde se tengan condiciones de incomodidad térmica; Frío y calor, y dejar el espacio en blanco para indicar las zonas dentro de las condiciones de confort para el cuerpo humano. Según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, al rango comprendido entre 22 y 28 °C; corresponde a la comodidad, si los ocupantes son otros seres vivos (animales o plantas), habrá que tomar en cuenta las condiciones en las cuales estos pueden desarrollar las funciones metabólicas de la mejor manera (condiciones de confort). O seguir algún código que permita al analista distinguir la situación del clima de manera horaria.

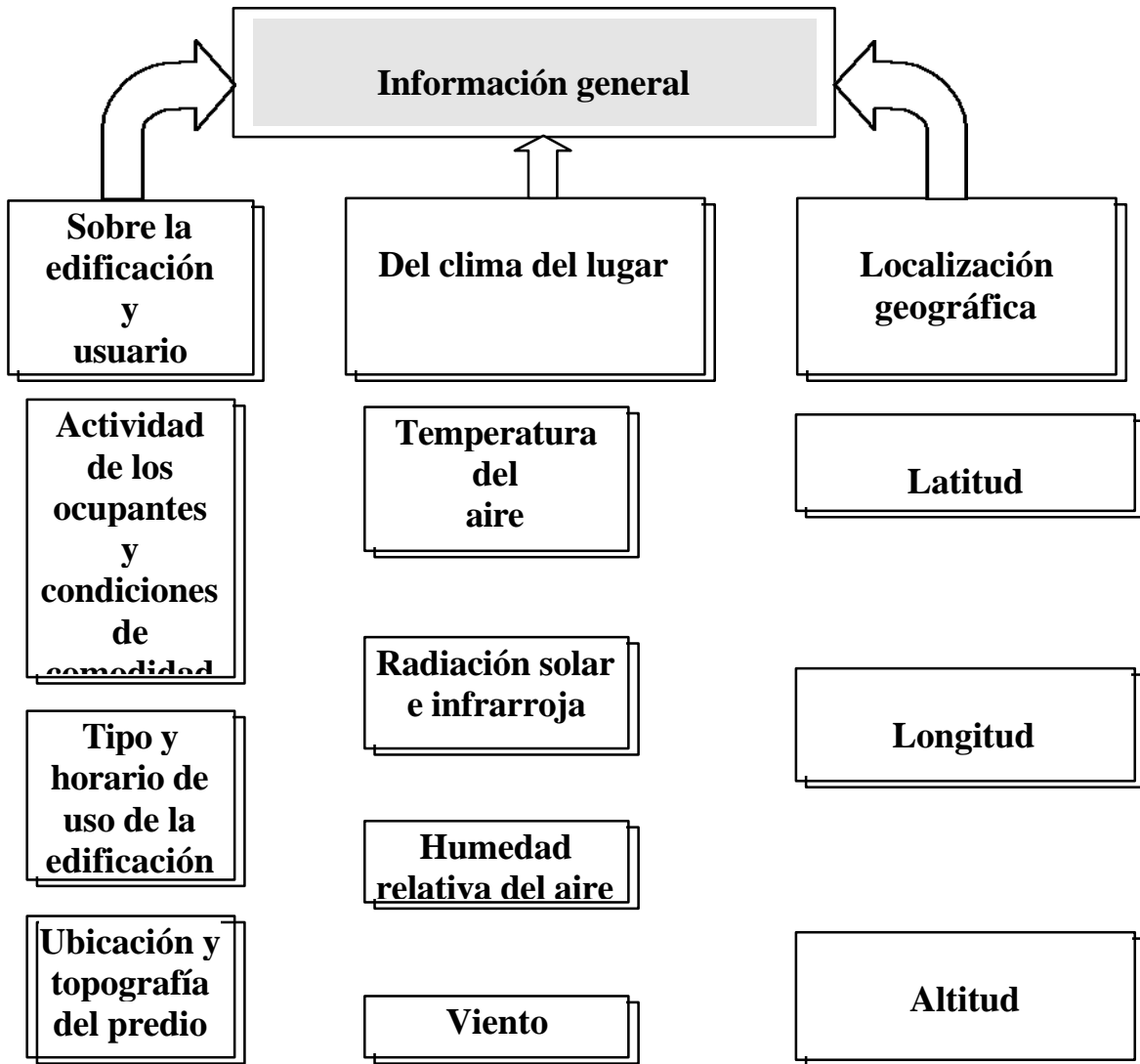


Figura 3. Información general.

En la matriz obtenida; diagrama de isorequerimientos de climatización de 12 columnas por 24 renglones, se recomienda trazar dos líneas, las cuales indican la hora de inicio de ocupación del edificio, así como la hora de abandono de éste. Esto es importante sobre todo en edificios de oficinas. Estas líneas delimitarán el área sobre la cuál debemos fijar nuestra atención. Es importante tomar como criterio de diseño el preocuparse por obtener las condiciones de temperatura de confort en el horario de ocupación del edificio.

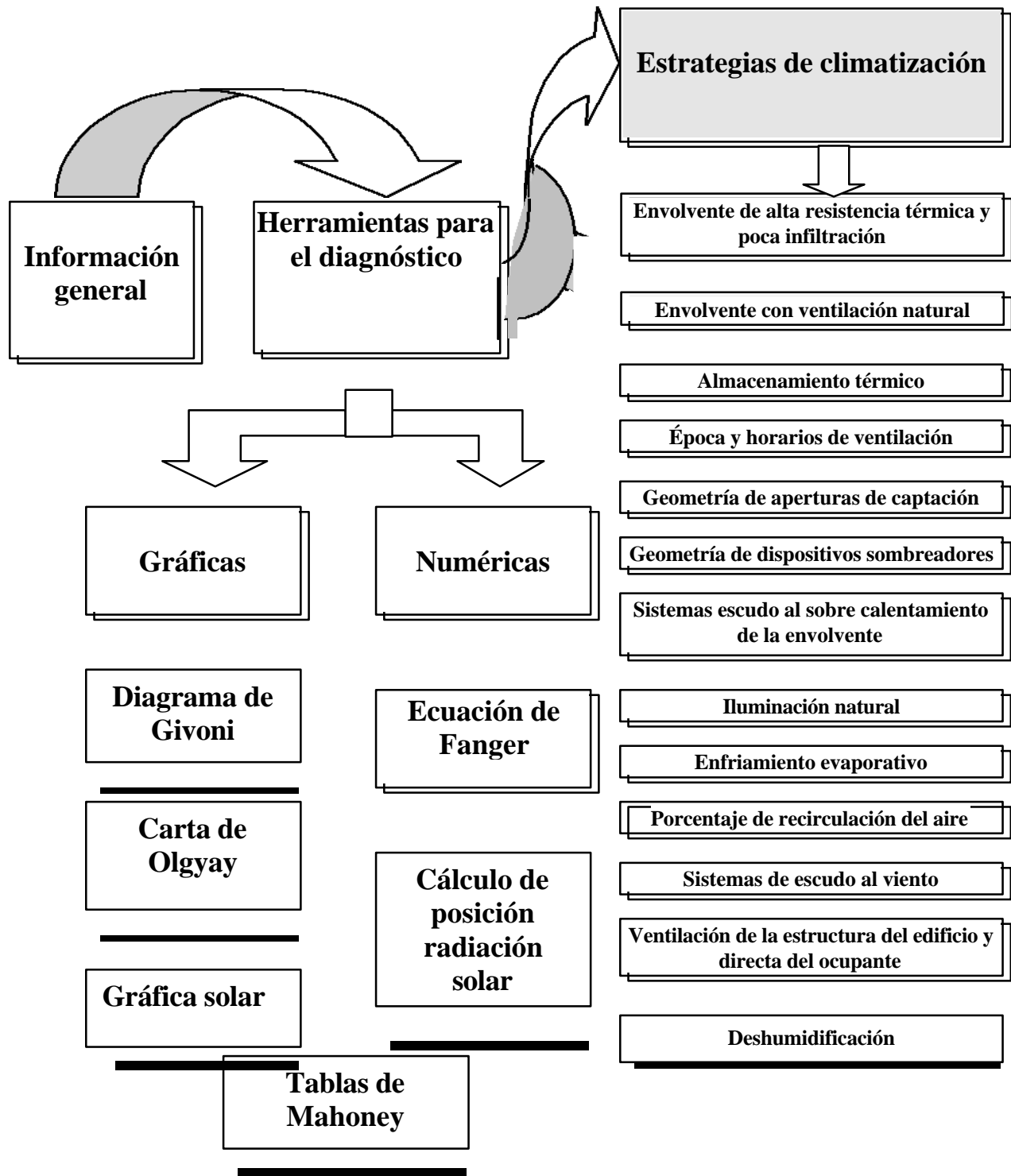


Figura 4. Diagnóstico y análisis (estrategias de climatización).

Con la información de temperatura ordenada es posible tener una primer idea de los problemas de confort a que se sujetará el ocupante, la temperatura del ambiente es el principal parámetro que modula la descarga de calor del cuerpo humano desde la piel.

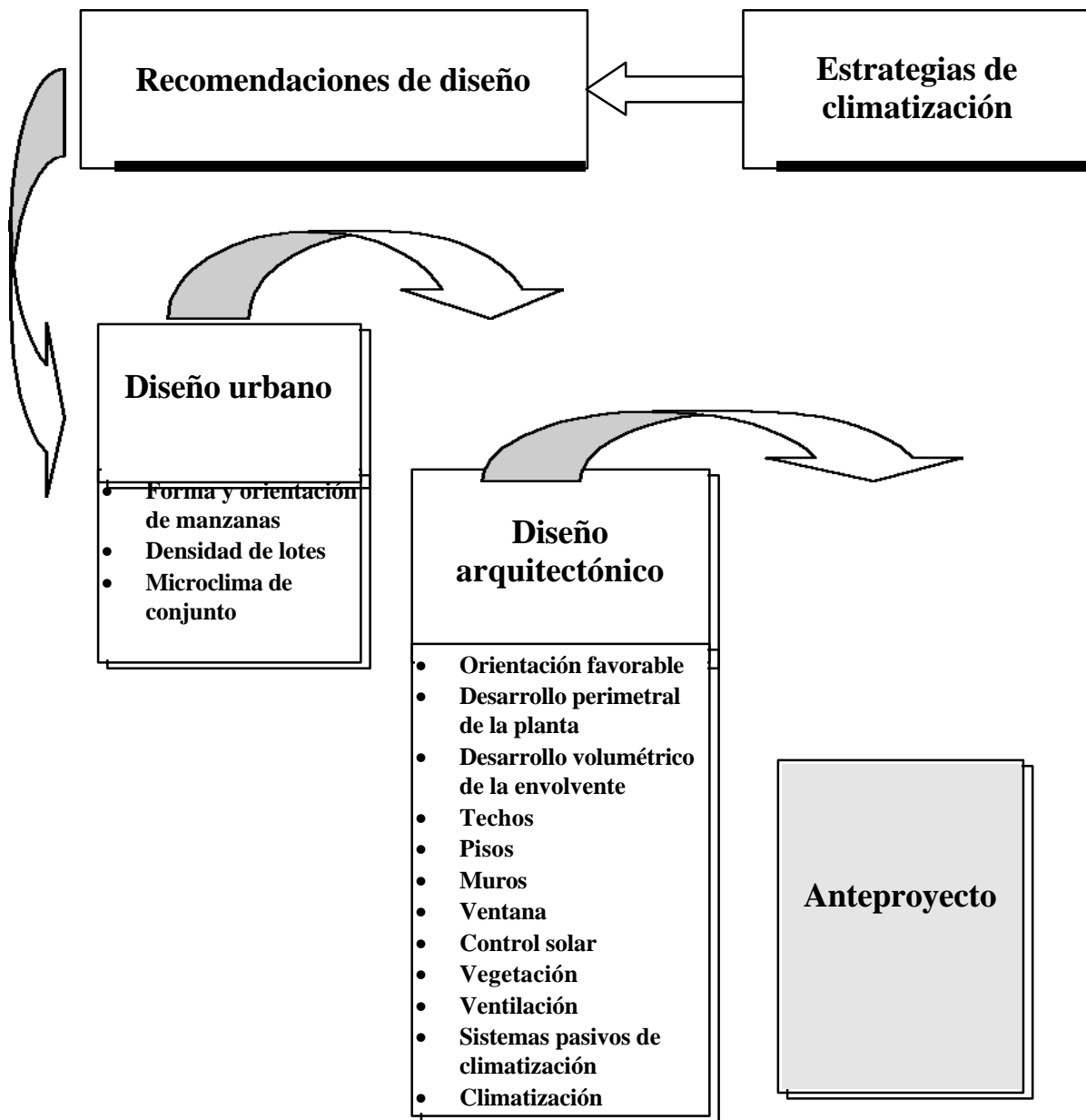


Figura 5. Recomendaciones de diseño-anteproyecto.

Sin embargo, la cantidad de radiación que incide sobre la piel, la velocidad del aire y con esto la cantidad de humedad que el aire evapora de la piel, altera el proceso de descarga de calor.

La radiación que incide sobre la piel hace que el cuerpo tenga que descargar el calor que produce, mas el que ha captado. Esto provoca la sensación de bochorno, y lo sentimos como un incremento aparente de temperatura del aire.

Una mayor velocidad del aire que choca contra la piel, provoca que el intercambio de calor se incremente. Si la temperatura del aire es menor que la temperatura de la piel se sentirá mayor enfriamiento. Si el aire tiene una temperatura mayor, sentiremos calentamiento. La sensación puede ser de un incremento o decremento aparente de la temperatura ambiente.

Con el diagrama de isorequerimientos alterada por la información de la radiación solar, humedad del aire y viento, es posible construir una nueva gráfica o juego de gráficas mostrando cada uno de los efectos anteriores. Se recomienda usar la definición de temperatura equivalente del aire, de ASHRAE para este propósito.

La observación de esta gráfica permitirá definir si el ocupante del edificio estará sujeto a un problema, determinado de incomodidad térmica. Así como hacer de esta manera una calificación del clima por época en el año.

Con esta información, y la información sobre la edificación, es posible establecer las estrategias de diseño térmico. Estas consisten en seleccionar cualitativamente los dispositivos o componentes, así como su forma, materiales y disposición en el edificio (Fig. 5). Así como emplear del clima lo que convenga para tomar ventaja de él, o en el peor de los casos, no tomar lo que no necesitamos. Por ejemplo, si el clima presenta una época cálida, no necesitamos el calentamiento del sol y habrá que diseñar una envolvente que escude. Si el clima es frío, con vientos fuertes durante la época de menor temperatura, habrá que cuidarse de la infiltración del aire exterior, hacia el interior de la habitación. Esta etapa del diseño que es cualitativa, se muestra gráficamente en la figura 4.

Una vez establecidas las estrategias de diseño, se plantea recomendaciones de diseño arquitectónico y urbano para el edificio (Fig. 5). Lo cual permite definir un anteproyecto, este es posible simularlo térmicamente, para predecir el funcionamiento que tendrá en condiciones reales, y de esta manera, optimizar el edificio desde el diseño mismo.

La figura 6, muestra los detalles a seguir para la evaluación térmica del anteproyecto, la cuál da la guía o la pauta para que el diseñador tome en cuenta o realice ajustes al primer planteamiento. Esto asegura que el edificio ha sido cuidado de una manera cuantitativa, para que tome ventaja del clima.

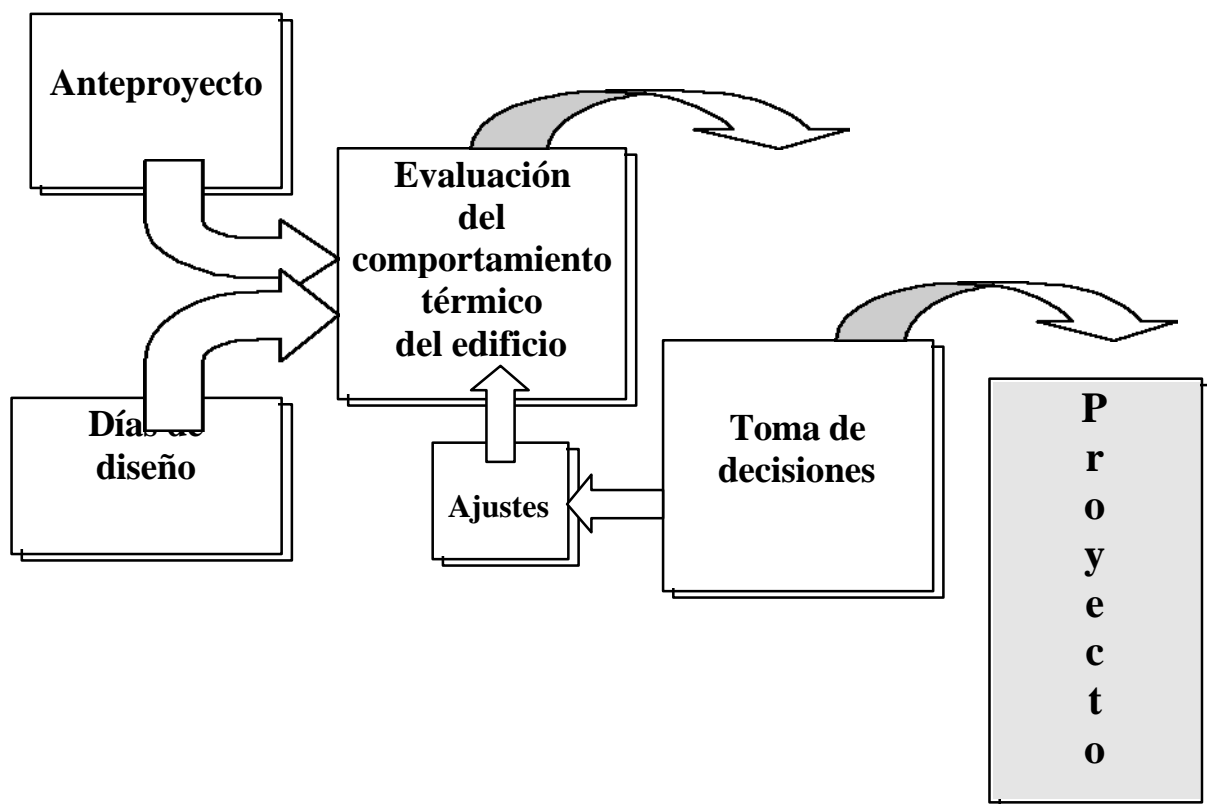


Figura 6. Evaluación de la operación térmica del edificio.

Para la simulación térmica del edificio es conveniente seleccionar días de diseño. Estos son los representativos del clima que se presenta en el lugar a lo largo del año. De esta manera, la simulación se reducirá de 365 a unos cuantos días, y la información de la operación térmica del edificio será completa.

Con los resultados de la simulación es posible tomar decisiones sobre el edificio antes de la construcción, y optimizar en el diseño del mismo, el uso de la energía eléctrica.



Centre de Cooperació per
al Desenvolupament. CCD
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Enfoque Bioclimático del Análisis Térmico de Edificios

Enfoque bioclimático del análisis térmico de edificios

Introducción

Es necesario un nuevo tipo de actitud en el diseño térmico de edificios basado en la comprensión de que estamos creando sistemas dinámicos. Es inadecuado asumir un estado invariable y nuestra capacidad mental es insuficiente para manejar pequeñas cantidades por medio de variaciones repetidas. Tenemos que hacer algunas abstracciones comparables en simplicidad a las suposiciones de estado invariable, si queremos evitar ahogarnos en detalles. Tenemos que observar el patrón de variables. El trabajo de diseño térmico se vuelve entonces un ejercicio de aparejo de patrones. El patrón de variaciones de temperatura externa, y el modelo de irradiación solar que son datos. El patrón de ocupación, o patrón de uso pueden establecerse sin esfuerzo. Debemos interponer entre estos patrones un sistema constructivo, el cual deberá dar el patrón de respuesta requerido para obtener un edificio climatizado y un ahorro de energía eléctrica.

Diseñar espacios que no requieran mas climatización que el uso adecuado de materiales, la correcta orientación de vanos, la disposición de la envolvente arquitectónica y que por lo tanto sea compatible con su entorno, es en ese sentido, el diseño bioclimático una herramienta insustituible para adaptarse al ambiente o transformarlo en algo más propicio para la vida, conservando sus características benéficas y controlando con medios no contaminantes las adversas para la supervivencia no sólo del hombre y su cultura, sino en general de equilibrio ecológico.

El enfoque bioclimático del análisis térmico, 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, los países en desarrollo tropicales y petroleros. Desde luego, existirán siempre principios científicos generales, cuya validez presentara rasgos de universalidad.

Así el comportamiento térmico real de cualquier edificación concreta es sumamente complejo y muy variable en función, tanto de las aportaciones energéticas internas, 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.

El primero y el más simple de los modelos de comportamiento térmico, el único además que se utiliza en las normativas existentes, es el denominado "Modelo del régimen estacionario" o régimen permanente o estático. El cual consiste en suponer una diferencia de temperaturas constantes entre el aire interior y el exterior. Esta situación provocaría un flujo térmico 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 establezca. El gran problema del modelo que se comenta es su potencial distancia respecto a la realidad comprobable.

El modelo del régimen estacionario se 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 funcione continuamente. Este modelo no presentará 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 instalaciones, mantenimiento y grave impacto ecológico, 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 resultara generalmente inaceptable. La difundida utilización de este modelo esta ligada a la practica 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 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 favorable. 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.

Otro modelo es el conocido como régimen periódico, el cual 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 es modelizar 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 temperatura exterior (T_o), experimenta una variación periódica estable, cuyo período coincide con las 24 horas del ciclo diario. En una primera aproximación se puede aceptar que la curva de temperaturas secas presenta una forma perfectamente sinusoidal. Podrá obtenerse mayor precisión todavía a partir de la curva de variación de la temperatura sol-aire, pues de esta forma se tomarían en consideración los efectos de la radiación. La selección de la curva constituye tan sólo 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, cuando está 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 desfazar la curva externa. 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 (w) se mide generalmente en horas y el amortiguamiento (o) constituye una magnitud adimensional obtenida como cociente de la amplitud interna respecto a la amplitud externa:

$$o = T_i / T_o$$

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 la dejará pasar al interior. Cada capa acumulará calor, aumentará su temperatura y transmitirá por conducción parte de su energía térmica a las capas siguientes. Por el contrario, si la temperatura exterior desciende, 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 esté en el exterior y se

encuentre ya en descenso. Puede, incluso, darse el caso de que el interior esté recibiendo calor del involucro aunque la temperatura externa resulte inferior a la interna. Cuando el involucro haya cedido suficiente calor se invertirá el sentido global del flujo, transmitiendo el calor desde el interior hacia el exterior, hasta que la temperatura externa vuelva a subir iniciándose un nuevo ciclo.

Por lo tanto, el involucro actúa 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.

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, 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 ambiente exterior, pero siempre manteniendo la oscilación en torno al mismo nivel medio. Sólo un sistema consumidor de energía permitirá 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, puede 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 en un instrumento indispensable de diseño.

Por otra parte, 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 aquellos que garantizan 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. En la práctica, 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 bastante burda. Por lo tanto, es sensato contentarse con simples órdenes de magnitud, que de todas maneras bastarán para reducir lineamientos de diseño.

Los fenómenos de transferencia de calor entre el medio ambiente energético y el interior de un edificio son a través de los materiales de los techos, muros, pisos, puertas, ventanas, entre otros, y la cantidad y velocidad, de las características y comportamiento térmico de dichos materiales.

Indicadores del comportamiento térmico de los materiales de construcción

El calor se propaga a través de los materiales por diferentes medios. Cada uno de los materiales se calienta a diferentes velocidades y no retienen el mismo calor, por lo que cada uno tendrá diferente temperatura y así existirá un intercambio de calor entre ellos.

Estos intercambios se producen únicamente por radiación a unas longitudes de onda diferentes, pero conforme al tipo de materiales, la transmisión de calor será en forma diferente.

Las moléculas de mayor energía cinética transmiten parte de su energía a las moléculas contiguas de menor energía. Es decir, se produce la transmisión desde las de mayor a las de menor intensidad calorífica.

Estas formas de transmisión o propagación se llevan a efecto por los fenómenos de:

- Conducción
- Convección
- Radiación
- Evaporación

Conducción: Es la transmisión de calor en forma directa de molécula a molécula en el mismo cuerpo o en contacto directo entre cuerpos. Se lleva a cabo en todas direcciones.

Convección: Es la transmisión de calor a través de los fluidos (gases o líquidos). El calor se transmite al fluido por conducción, la densidad del fluido se reduce, éste se dilata y se eleva y su lugar es ocupado por moléculas frías.

Radiación: Es la propagación del calor en forma de radiaciones, de ondas electromagnéticas. Se propaga en línea recta a través de todo los medios. La radiación solar llega a tierra y calienta los cuerpos, los cuales la reradían. Las longitudes de onda de la radiación térmica están comprendidas en 0.0001 mm y 1mm. La radiación solar es de onda corta y la radiación de los cuerpos calientes es de onda larga.

Evaporación: Los cambios de estado del agua son una fuente de transmisión del calor. Cuando el agua se evapora, lleva en sí cierta cantidad de energía que restituye en el momento en que se invierte el proceso.

Propagación de calor a través de los materiales

La transmisión del calor a través de los materiales dependerá de varios factores y de la diferente naturaleza de los mismos. Estos son:

- Sus propiedades físicas y químicas
- Su espesor
- Su densidad
- Su textura
- Su color
- La diferencia de temperatura entre las caras del material
- La velocidad del aire circúndate.

Propiedades físicas y químicas: Todos los materiales tienen diferente composición química y propiedades físicas que hacen que la transmisión se efectúe en forma diferente de acuerdo al material de que se trate.

Espesor: A mayor espesor, menor será la cantidad de calor transmitida. A menor espesor mayor será la cantidad de calor transmitida.

Densidad: Un cuerpo tiene sus moléculas muchas más juntas que otros menos densos, lo que hace que la transmisión por conducción sea mayor que en uno poco denso.

Textura: La textura en la superficie de los materiales es sumamente importante para la transmisión del calor, superficies lisas permiten mayor transmisión que las rugosas.

Color: El color de la superficie de los materiales es también otro factor relevante en la transmisión del calor, por radiación. Los colores oscuros absorberán más calor que los colores claros.

Diferencia de temperaturas: Siendo la transmisión de calor una cadencia de energía, es fácil comprender que a mayor diferencia de temperatura entre las caras de un material, mayor transmisión. Si no existe diferencia de temperatura, no existirá transmisión, ya que se tiene un equilibrio térmico.

Velocidad del aire circundante: El mucho o poco movimiento del aire circundante propiciará la mayor o menor transmisión de calor. Mucho movimiento del aire dará como resultado una aceleración en la transmisión del calor.

Resistencia térmica

Como se ha visto la cantidad de calor que puede ser transmitida por un material dependerá de varios factores entre los que se encuentran ciertas propiedades térmicas llamadas resistencias que retardan esta transmisión. Esta resistencia varía ampliamente, de acuerdo a la composición química del material. La resistencia total de un material será igual a la suma de todas y cada una de las resistencias de sus componentes.

Estos valores están dados con coeficientes de transmisión y conductibilidad y han sido obtenidos experimentalmente.

Conductividad

Es la propiedad que tienen los cuerpos homogéneos (como la madera, ladrillo o piedra) de conducir el calor, referida a la unidad de espesor.

Su valor está dado en watts por metro grado centígrado y variará desde 0.025 para materiales aislantes, hasta 343.9 para metales.

Cuando más bajo es el coeficiente de conductividad, mejor aislante será el material.

Absorción

Este es un proceso que dependerá de la facilidad que tenga un material para absorber una parte o la totalidad de la radiación solar.

Es la relación que existe entre el flujo absorbido y el flujo recibido. Esta relación es inferior a uno, para la mayoría de los materiales, solamente el cuerpo negro perfecto tiene una absorptividad igual a la unidad:

Reflexión

Este es un proceso por medio del cual un material refleja una parte de la radiación en la misma longitud de onda que la radiación incidente, o en una longitud de onda menor.

La relación que existe entre el flujo reflejado y el flujo incidente. Las superficies claras, lisas y brillantes tienen una reflectancia elevada, siendo una superficie teórica blanca la que tiene la perfecta reflectividad.

La reflectancia es complementaria de absorbancia y su suma es igual a la unidad.

Emisión

Todo material es capaz de emitir una radiación específica, de acuerdo a la naturaleza del material y a su temperatura.

Es la relación que existe entre la emisión de un cuerpo negro perfecto con la emisión del material. Este coeficiente es menor a la unidad. Es la cantidad de calor disponible que será emitido, en relación con el cuerpo negro. Su valor es el mismo que el de la absorbancia, para la misma longitud de onda de radiación. Si las longitudes de onda son diferentes, el coeficiente de emitancia será diferente también. Por lo que la absorbancia para la radiación solar no será igual a la emitida a temperaturas terrestres.

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, oscura	0.70	0.90	
Pintura negra o asfalto	0.85	0.90	

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

Almacenamiento y capacitancia

Cuando un material se calienta por medio de una radiación y de acuerdo a su absortividad, éste almacenará cierta cantidad de calor. Aumentará su temperatura en forma uniforme en todo su volumen a diferente velocidad de acuerdo al material. Acumulando calor en su masa, la cual será específica de cada material. Esta retención de calor es la llamada capacitancia calorífica y que representa la cantidad de calor retenida por unidad de volumen para la elevación de 1°C de la temperatura del cuerpo.

El calor absorbido por un material para elevar 1°C su temperatura, lo restituirá cuando su temperatura baje 1°C.

Retraso y amortiguamiento térmico

La variación de las condiciones climáticas de un lugar hace que las variaciones diarias de temperatura sean diferentes produciendo un ciclo repetitivo cada 24 horas, de aumento y descenso de temperatura ocasionando la transmisión periódica de calor.

Así, al aumentar la temperatura exterior, el calor comienza a atravesar la superficie exterior de un material, cada una de sus partículas absorberán cierta cantidad de calor por cada °C de elevación de temperatura y de acuerdo al calor específico del material.

El calor se transmitirá a las otras partículas sólo cuando se haya aumentado la temperatura de las primeras, por lo tanto el incremento de la superficie interna del material sufrirá un retardo.

Posteriormente al descender la temperatura exterior, el calor almacenado en el material disipará hacia dentro y hacia fuera llegando a invertirse el sentido del flujo calorífico.

Las magnitudes que nos permiten medir estos fenómenos son:

- Tiempo de retraso térmico
- Amortiguamiento térmico, que es igual a la relación entre la temperatura superficial exterior máxima y la interior máxima.

Inercia térmica

Es la velocidad a la cual un material transmitirá el calor. Se puede considerar como el área superficial de una esfera sobre la que se extiende la temperatura en la unidad de tiempo.

Dependerá de dos factores que son:

- Si es un material de elevada conductividad, la velocidad será mayor.
- Si es un material denso y de un elevado calor específico, la velocidad será más lenta por que gran parte del calor se absorberá.

Calculo del retraso térmico de los materiales

Método numérico

$$f = 1.38 e \sqrt{\frac{Cv}{k}}$$

Donde:

ϕ - Retraso térmico

e - Espesor

Cv- Calor específico volumétrico

k - Conductividad térmica

Nota: Las unidades en calorías

Método gráfico

$$q = \frac{1}{3600} \sum_1^n C_{v_1} e_1 \left(\frac{1}{h_0} + \frac{1}{2} e_1 r_1 \right) + C_{v_2} e_2 \left(\frac{1}{h_0} + e_1 r_1 + \frac{1}{2} e_2 r_2 \right) + \dots + C_{v_n} e_n \left(\frac{1}{h_0} + e_1 r_1 + \dots + \frac{1}{2} e_n r_n \right)$$

Donde:

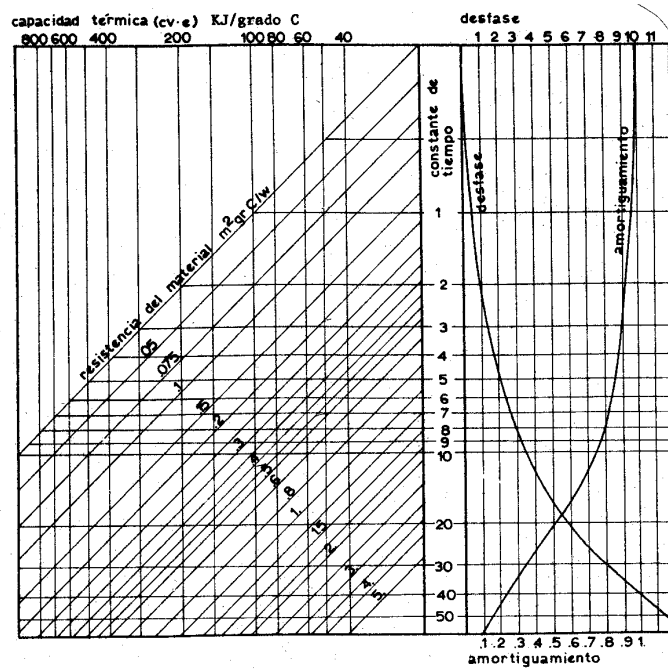
θ - Constante de tiempo

e - Espesor

C_v - Calor específico volumétrico

r - resistividad

Nota: C_v en J/m^3



Nomograma para el cálculo del retraso y amortiguamiento térmico de los materiales

**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/s m ⁴ grado ² C)	Difusividad (10 ⁻⁶ m ² /s)
Aire	1.20	1180	1.4	26	38460	0.036	18570
Agua	1000	4190	4190	580	1720	2430	140
Hielo	930	2060	1920	26	38460	50	13
Roca							
granito	2700	1030	2780	1920	520	5340	690
caliza	2500	910	2270	1530	650	3480	670
arenisca	2000	730	1460	1290	770	1880	880
Arena (seca)	1520	810	1230	500	2000	610	410
Arcilla (seca)	1600	800	1280	450	2220	580	350
Adobe	1500	1480	2220	580	1720	1290	260
Yeso	700	840	590	280	3570	160	470
Mortero cemento-arena	2130	890	1890	1400	710	2650	740
Mampostería de tabique						810	
ligera	1600	900	1440	560	1780	1210	390
mediana	1800	920	1660	730	1370	2030	440
densa	2000	1070	2140	950	1050	120	440
Vermiculita	700	880	620	190	5260	1680	310
Vidrio	2600	900	2340	720	1390	1120	310
Asfalto	1700	1140	1940	580	1720	174500	300
Acero	7760	450	3490	50000	20	492000	14300
Aluminio	2700	910	2460	200000	5	295900	81300
Cinc	7130	380	2690	110000	9	499800	40900
Piomo	11340	130	1470	340000	3	1760	231300
Concreto en general	2100	840	1760	1000	1000		570
agregado						1300	
ligero	1800	1000	1800	720	1390	2640	400
medio	2200	1000	2200	1200	830	3600	540
denso	2400	1000	2400	1500	670		620
Madera	600	1210	730	140	7140	100	190
Fibra de madera	250	1080	280	50	20000	14	180
Triplay	560	1400	780	140	7140	110	180
Tablero aglomerado	800	1400	1120	150	6670	170	130
Placa de corcho	140	1800	250	50	20500	12	200
Lámina de asbesto-cemento	1500	900	1350	360	2780	490	270
Lana mineral (fieltro)	140	750	100	37	27030	4	370
Fibra de vidrio (manta)	100	650	65	42	23810	2.7	650
Poliestireno expandido	30	1700	50	33	30300	1.7	660

Unidades para medir el flujo calorífico

Cuando hay que medir la tasa total del flujo calorífico con una unidad identificable (por ejemplo, la pérdida de calor de un edificio, la salida de una caldera, la radiación a través de una ventana o el calor desprendido de una planta de refrigeración) la unidad que se utiliza es el watt (W) o el kilowatt (kW).

Se puede utilizar el watt para medir la tasa de flujo energético. Este flujo energético puede ser el flujo de calor a través de una pared, el calor desprendido de una planta de refrigeración, el flujo de calor radiante de un radiador eléctrico, el flujo de electricidad a través de una lámpara, la energía acústica emitida por un altavoz, la energía mecánica de un motor eléctrico o incluso de un motor de automóvil. En todos estos casos la energía fluye o se consume, y es la tasa de este flujo la que medimos en watts.

El watt tiene las mismas dimensiones físicas que el Btu/h, la kcal/h, el ergio/s o el caballo de vapor (hp). Para convertir antiguas unidades en watts se deben utilizar los siguientes factores de conversión:

- 1 hp (británico) = 745.7 W
- 1 CV (métrico) = 735.5 W
- 1 Btu/h = 0.293 W
- 1 kcal/h = 1.163 W
- 1 erg/s = 0.0000001 W (10⁻⁷)

1 ton de refrigeración = 3516 W (aproximadamente 3.5 kW)

El elemento común de todas estas unidades es que todas son unidades de energía por unidad de tiempo, que puede ser un segundo, una hora o un día, como en el último caso. (Una tonelada de refrigeración es la potencia refrigerante de 1 ton (ton pequeña Americana de 2000 lb) de hielo fundente durante 24 horas. Como 1 lb de hielo requiere 144 Btu de calor para pasar agua a la misma temperatura:

1 ton de refrigeración = $2000 * 144 / 24 = 12000$ Btu /h

$12000 * 0.293$ W = 3516 W

En la practica se utiliza con mayor frecuencia el múltiplo del watt, "el kilovatio", que se representa kW (1 kW = 1000 W).

Cálculo de transmitancias

El recíproco de la resistencia aire a aire es la transmitancia aire, que se representa por U, este se refiere a la cantidad de calor transmitida del aire exterior al aire del interior de la casa por una unidad de superficie respecto a una diferencia unitaria de temperatura, en una unidad de tiempo. En unidades internacionales normalizadas se mide en watts por metro cuadrado por grado centígrado ($W / m^2 \text{ } ^\circ C$) y se calcula de la siguiente manera:

$U = 1/R = 1/$ sumatoria de las resistencias

$U = 1/ (1/h_o + l_1/ k_1 + l_2 / k_2 + l_3 / k_3 + 1/C + 1 / h_i)$

donde:

h_o	conductancia de la superficie exterior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
h_i	conductancia de la superficie interior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
l_1, l_2, l_3	espesor de cada una de las capas que compongan la pared o la cubierta (m)
k_1, k_2, k_3	conductividad térmica de las capas ($W/m \text{ } ^\circ C$)
C	conductancia del espacio de aire en cavidades

Las unidades de la transmitancia son igual que la conductancia $-W/m^2 \text{ } ^\circ C-$ con la única diferencia de que habrá que considerar la diferencia de temperatura del aire (y no la diferencia de temperatura superficial).

Si bien la conductividad y resistividad son propiedades de un material, las correspondientes propiedades de un cuerpo de un espesor dado se conocen por conductancia (C) o su recíproco, resistencia (R):

$C = 1 / R$

Conductancia es la tasa de flujo calorífico a través de la unidad de área del cuerpo (es decir, la densidad de la tasa del flujo calorífico) cuando la diferencia de temperaturas entre las dos superficies es de $1 \text{ } ^\circ C$.

La unidad de medida de la resistencia es: $m^2 \text{ } ^\circ C/W$

La resistencia de un cuerpo es el producto de su espesor por la resistividad del material:

$$R = b \cdot 1/k = b/k$$

donde b es el espesor en metros (dimensión: $m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W$).

Si un cuerpo consta de varias capas de materiales distintos, su resistencia total será la suma de las resistencias individuales de las capas. La conductancia de un cuerpo de varias capas (C_b) se calcula hallando su resistencia total R_b y tomando su recíproco.

Adviértase que las conductancias no son aditivas, solo lo son las resistencias.

Además de la resistencia de un cuerpo al flujo calorífico, se ofrece otra resistencia en la superficie del cuerpo, donde una delgada película de aire separa el cuerpo del aire del entorno. Recibe el nombre de resistencia superficial y vale $1/h$ ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / W$) siendo h la conductancia superficial ($W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

La conductancia superficial comprende las componentes convectivas y radiantes del intercambio calorífico en las superficies.

La conductancia superficial (h) es función de la calidad superficial y de la velocidad del aire que pasa por la superficie.

Conductancia de la superficie exterior e interior

<i>Tipos de superficies</i>	Resistencias superficiales en $m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / w$			
1. 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
2. Superficies exteriores				
		Situación respecto a la exposición al viento		
	Emisividad de la superficie	protegida	normal	expuesta
a) elementos verticales	normal	0.080	0.053	0.027
	baja	0.106	0.062	0.027
b) elementos ho- rizontales o en pendiente	normal	0.070	0.044	0.018
	baja	0.088	0.053	0.018

Los datos que se presentan en esta tabla proceden M Overleas 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.

Cálculo de ganancias extras de calor

Con fines de diseño de edificios es necesario determinar las ganancias extras de calor, por lo que resulta útil combinar el efecto calorífico de la radiación incidente sobre un edificio con el efecto del aire caliente. Esto se puede conseguir utilizando el concepto de temperatura sol-aire. Se hará un valor de la temperatura que produciría el mismo efecto térmico que la radiación incidente en cuestión y este valor se añade a la temperatura del aire.

La temperatura sol-aire se define como la temperatura del aire exterior, que daría la misma cantidad de calor transmitida y la misma distribución de temperatura a través de una construcción que los efectos combinados de la radiación solar y la temperatura del aire.

La temperatura sol-aire será más elevada que la temperatura del aire y puede utilizarse para los cálculos de flujo calorífico cuando se trata de superficies iluminadas por el sol:

$$T_{sa} = \frac{aI}{h_o} + T_o \quad ; \quad T_{sa} - T_o = \frac{aI}{h_o}$$

Donde:

T_{sa} = Temperatura sol-aire (°C)

a = Absortancia de la superficie respecto de la radiación solar (fracción)

h_o = Conductancia de la superficie exterior (W/ m² °C)

I = Intensidad de la Radiación solar (W/ m²)

T_o = Temperatura del aire exterior (°C)

El coeficiente de transferencia calorífica debido a la radiación es:

$$q = U (T_{sa} - T_i) \quad ; \quad T_{sa} - T_i = \frac{aI}{h_o}$$

$$q = \frac{U a I}{h_o} \quad ; \quad \frac{q}{I} = \frac{U a}{h_o}$$

Donde:

q = Flujo calorífico

q/I = Factor de ganancia solar

La razón es que la radiación incidente aumenta la temperatura superficial por encima de la temperatura del aire, por lo que parte de calor se disipa al aire externo inmediatamente.

El factor de ganancia solar se define como el flujo calorífico a través de la construcción debido a la radiación solar expresado como fracción de la radiación solar incidente. Como este valor puede estar relacionado con el aumento de la temperatura superficial interna, se puede establecer un requisito de acción basado en la experiencia en función de este factor de ganancia solar.

Su valor no debe exceder de 0.04 en los climas templado-húmedo, o de 0.03 en la estación cálida seco de los climas compuestos, cuando la ventilación es reducida.

Diseño térmico de edificios

Los ingenieros mecánicos y los diseñadores de calefacción y aire acondicionado hacen uso frecuente de métodos complicados, pero el principio es la utilización de parámetros fijos, es decir la ecuación de balance térmico:

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_e \pm Q_m = 0$$

donde

Q_i = Ganancias internas

Q_s = Ganancias solares

Q_c = Ganancias o pérdidas por conducción

Q_v = Ganancias o pérdidas por ventilación

Q_e = Ganancias o pérdidas por evaporación

Q_m = Ganancias o pérdidas mecánicas

Todos los factores son, o se suponen que son fijos y determinados. La única variable dependiente (la cual hay que hallar) es la Q_m , el flujo calorífico es el que hay que proveer mecánicamente (calefacción o aire acondicionado).

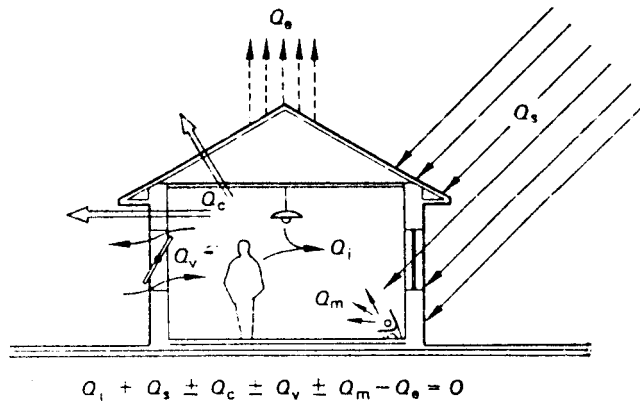
El diseño de edificios se enfrenta con una situación mucho más indeterminada. Tienen que tomar decisiones para determinar el tamaño, volumen y construcción del edificio, el tamaño y la orientación de sus ventanas, etc., cualquiera de las cuales influiría en la magnitud de uno o varios de los factores del balance térmico.

Puede que haya o no un procedimiento establecido para la secuencia de decisiones a tomar, pero es útil tener presente la ecuación del balance térmico en cualquier decisión, para ver cual de los factores (y en que sentido) se afectan a causa de la decisión particular, y para pronosticar las consecuencias de varias soluciones alternativas de diseño.

Q_m -es decir, los controles mecánicos- son costosos: por consiguiente, el diseñador debe tratar de que la suma de la ecuación sea cero sin que intervenga el componente Q_m , objetivo primordial del diseño bioclimático.

Cálculo de la ganancia o pérdida total de calor

El cuerpo humano se considera como una unidad definida y se analizaron los procesos de su intercambio calorífico con el ambiente. Análogamente se considera el edificio como una unidad definida y se puede examinar los procesos de su intercambio calorífico con el ambiente exterior:



Intercambio calorífico de un edificio.

- Se produce conducción de calor a través de las paredes hacia dentro o hacia afuera, cuya medida se representará por Q_c (las componentes convectivas y radiante en la transferencia del mismo calor a las superficies están incluidas en el término: transmitancia)
- Los efectos de la radiación solar sobre superficies opacas se pueden incluir en el apartado anterior utilizando el concepto de temperatura sol-aire, pero si es a través de superficies transparentes (ventanas) la ganancia de calor solar debe considerarse por separado. Se representa por Q_s .
- El intercambio de calor en ambos sentidos se produce con el movimiento del aire, es decir con la ventilación, y su medida se representa por Q_v .
- Ganancia interna de calor: puede producirse por emisión calorífica del cuerpo humano, lámparas, motores y mecanismo. Se puede representar por Q_i
- Puede producirse deliberadamente un aporte o eliminación de calor (calentamiento o enfriamiento), utilizando algunas fuentes externas de energía. El flujo calorífico de estos controles mecánicos se representa por Q_m .
- Finalmente, si se produce evaporación en las superficies del edificio (por ejemplo, en el tejado) o dentro de éste (sudor humano o agua de una fuente) y se elimina el vapor, se producirá un efecto de enfriamiento, que se representara por Q_e .

Si la suma de esta ecuación es menor que cero (negativa), el edificio se enfriara, y sí es mayor que cero, la temperatura del edificio aumentara.

La medida de flujo calorífico por conducción a través de una pared de área dada se expresa mediante la ecuación:

$$Q_c = A \cdot U \cdot \Delta T$$

donde:

Qc	Es la medida de flujo calorífico por conducción, en W
A	Es el área, en m ²
U	Es la transmitancia, en W/ m ² °C
ΔT	Es la diferencia de temperaturas, en °C

Para un edificio rodeado por varios elementos y con diferencias de temperatura que varían de lado, la ecuación anterior se resuelve para cada elemento y se suman los resultados.

Si se considera la pérdida de calor de un edificio:

$$\Delta T = T_i - T_o$$

Si se calcula la ganancia de calor en edificios con aire acondicionado:

$$\Delta T = T_o - T_i$$

y, por último, si una superficie está también expuesta a la radiación solar:

$$\Delta T = T_{sa} - T_i$$

en donde T_i = Temperatura del aire interior o temperatura de confort (T_p)

$$T_p = 17.6 + 0.31 * T_{mamb}$$

donde T_{mamb} es la temperatura media ambiente.

El flujo calorífico por convección entre el interior de un edificio y el aire libre, depende de la ventilación, es decir del intercambio de aire. Este intercambio puede deberse a una infiltración de aire involuntario o a una ventilación deliberada. La ventilación se expresa en m³/s.

La medida del flujo térmico de ventilación se realiza mediante la ecuación:

$$Q_v = f_m (H_e - H_i)$$

Donde:

Q_v = medida del flujo calorífico de ventilación en W

f_m = flujo masico ($f_v D$) f_v es el flujo volumétrico, D es la densidad del aire

$f_v = NV/3600$

V = Volumen del espacio, en m³

N = numero de cambios de aire

Si se da el número de renovaciones de aire por hora (N) la ventilación se halla por:

$$V = \frac{N * \text{Volumen de la habitación}}{3600}$$

(3600 es el número de segundos de 1 hora).

Si se conoce la intensidad de la radiación solar (I) que incide sobre el plano de la ventana - expresada como densidad de flujo energético (W/m²)- sólo habrá que multiplicarla por el área del hueco (m²) para obtener el flujo calorífico en watts.

Esto daría el flujo calorífico a través de una abertura sin cristal. Para ventanas con cristales se reduce este valor por medio de un factor de ganancia solar (Fgs) que depende de la calidad del cristal y del ángulo de incidencia.

Por consiguiente, la ecuación del flujo calorífico solar queda establecido:

$$Q_s = A \cdot I \cdot F_{gs}$$

donde:

- A Es el área de la ventana, en m²
- I Es la densidad del flujo calorífico de radiación, en W/ m²
- Fgs Es el factor de ganancia solar del vidrio de la ventana

El desprendimiento de calor de un cuerpo (dentro de un edificio) es aporte de calor para el edificio. En consecuencia, debe seleccionarse la adecuada tasa de calor desprendido y multiplicarse por el número de ocupantes. El resultado en Watts será un componente significativo de Qi.

La cantidad total de emisión de energía de las lámparas eléctricas debe considerarse como un aporte interno de calor. La mayor parte de esta energía se emite en forma de calor (95% para las lámparas incandescentes y 79 % para las fluorescentes) y la parte emitida como luz, cuando incide en las superficies, se convertirá en calor. En consecuencia, hay que añadir la potencia total en Watts de todas las lámparas del edificio (cuando estén encendidas) a la Qi.

Si en el mismo espacio hay un motor eléctrico y una máquina por él movida (actuando), hay que tomar como Qi la potencia total en watts del motor. (Si se conoce la potencia en CV del motor, su potencia en watts se halla: $W = 736 \text{ CV}$)

Si en el espacio considerado está sólo un motor cuya eficiencia es e, entonces su potencia útil $W \cdot e$ se utiliza en otra parte, pero el flujo calorífico $W(1-e)$ contribuirá a aumentar la Qi.

La tasa de enfriamiento por evaporación sólo puede calcularse si se conoce la propia tasa de evaporación. Si esa se expresa en kg/h, la pérdida de calor correspondiente será:

$$Q_e = 666 \cdot \text{kg/h}$$

como el calor latente de evaporación del agua a unos 20 °C es aproximadamente 2400 kJ/kg, será:

$$2400 \text{ 000} \\ 2400 \text{ 000 J/h} = \frac{\text{-----}}{3600} \text{ J/s} = 666 \text{ W}$$

El cálculo de la tasa de evaporación es una labor más difícil y en raras ocasiones se puede llevar a cabo con cierto grado de exactitud (excepto bajo condiciones controladas mecánicamente), ya que depende de muchas variables, tales como: humedad disponible, humedad del aire, temperatura de la propia humedad y del aire y velocidad del movimiento de éste. Puede determinarse indirectamente, por ejemplo midiendo la reducción de la cantidad de agua en una vasija abierta, o puede estimarse a partir del número de personas que hay en la habitación, su actividad y su sudor probable (valor que oscila entre 20 g/h y 2 kg/h).

Normalmente en los cálculos no se tiene en cuenta la pérdida de calor por evaporación (excepto en las instalaciones mecánicas), o se maneja sólo cuantitativamente:

El enfriamiento por evaporación se utilizará para reducir la temperatura del aire “cuanto sea posible”.

Ejemplo

El método de cálculo se comprende mejor con un ejemplo sencillo: Una oficina de 5 x 5 m y 2.5 m de alto está situada en un piso intermedio de un gran edificio; por consiguiente, sólo tiene una pared expuesta al sur, siendo las temperaturas:

$T_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$ y $T_o = -1\text{ }^\circ\text{C}$.

La ventilación es de tres renovaciones por hora, tres bombillas de 100 W están siempre encendidas para iluminar la parte posterior, que se utiliza para alojar a cuatro empleados.

La pared expuesta de 5 x 2.5 m consta de una ventana sencilla de cristal, de 1.5 x 5 m = 7.5m²; $U = 4.48\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ y una pared de cemento clinker, de 200 mm, enlucida y enyesada, de 1 x 5 m = 5 m²; $U = 1.35\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

Solución:

Diferencia de temperaturas (DT) = $20\text{ }^\circ\text{C} - (-1\text{ }^\circ\text{C}) = 21\text{ }^\circ\text{C}$.

$Q_c = (7.5 \cdot 4.48 + 5 \cdot 1.35) \cdot 21 = 847\text{ W}$,

El volumen de la habitación es $5 \cdot 5 \cdot 2.5 = 62.5\text{ m}^3$

Así la tasa de ventilación es:

$$\frac{62.5 \cdot 3}{3600} = \frac{187.5}{3600} = 0.052\text{ m}^3/\text{s}$$

$Q_v = 1300 \cdot 0.052 \cdot 21 = 1420\text{ W}$

Las tres bombillas y las cuatro personas producen:

$Q_i = 3 \cdot 100 + 4 \cdot 100 = 300 + 560 = 860\text{ W}$

Como no hay radiación solar y no se consideran las pérdidas por evaporación, la ecuación de balance térmico es:

$$Q_i - Q_c - Q_v + Q_m = 0$$

sustituyendo los valores calculados:

$$860 - 847 - 1420 + Q_m = 0$$

$$-1047 + Q_m = 0$$

$$Q_m = 1047\text{ W}$$

La instalación de calefacción o el sistema pasivo debería proporcionar calor según esta proporción, o redondeando, a una tasa de 1.5 kW.

La ganancia de calor se calcula generalmente con el fin de conocer el comportamiento térmico de los sistemas pasivos y diseñar instalaciones de aire acondicionado. Es obvio que esta instalación debe hacer frente a las más agobiantes condiciones con su capacidad máxima. De nuevo se toma como “temperatura exterior del diseño” la temperatura más alta que se obtenga el 90 % de las veces y la intensidad de la radiación solar se fundamenta sobre una base análoga.