



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

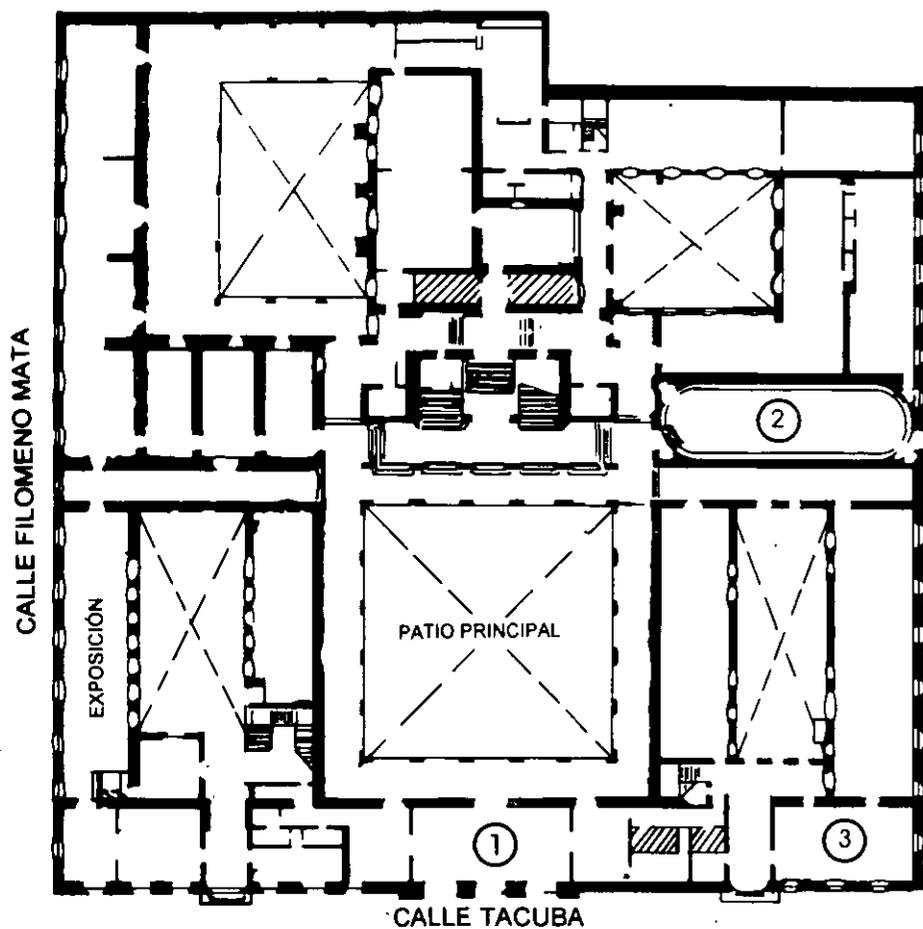
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

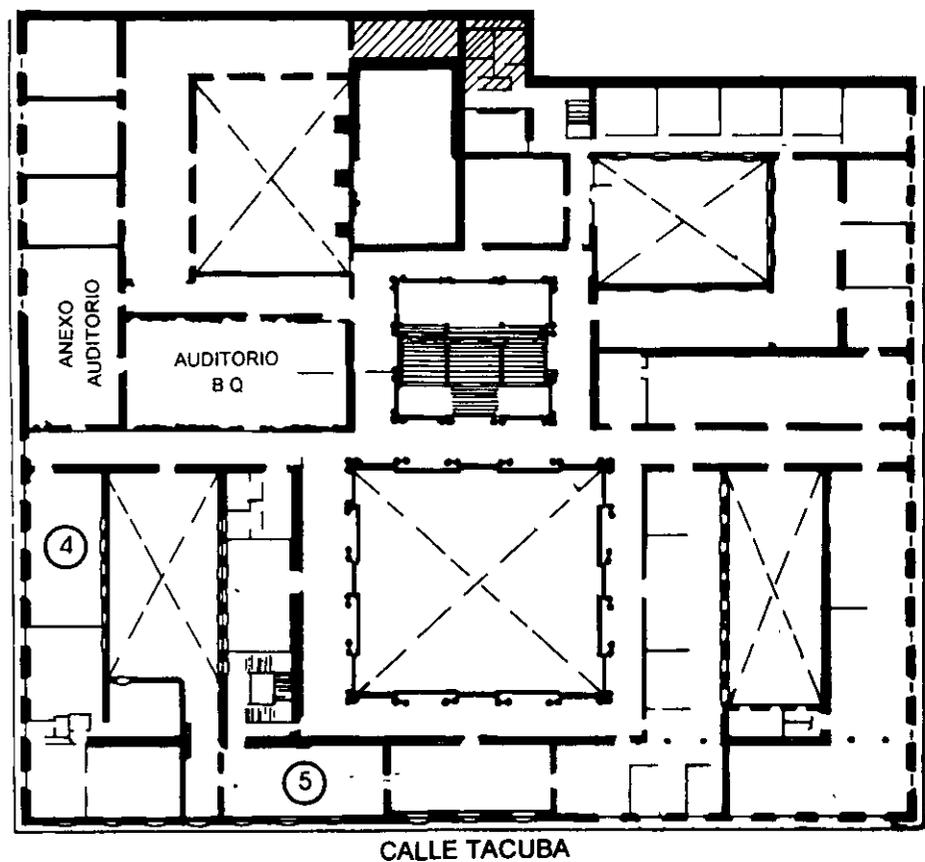
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

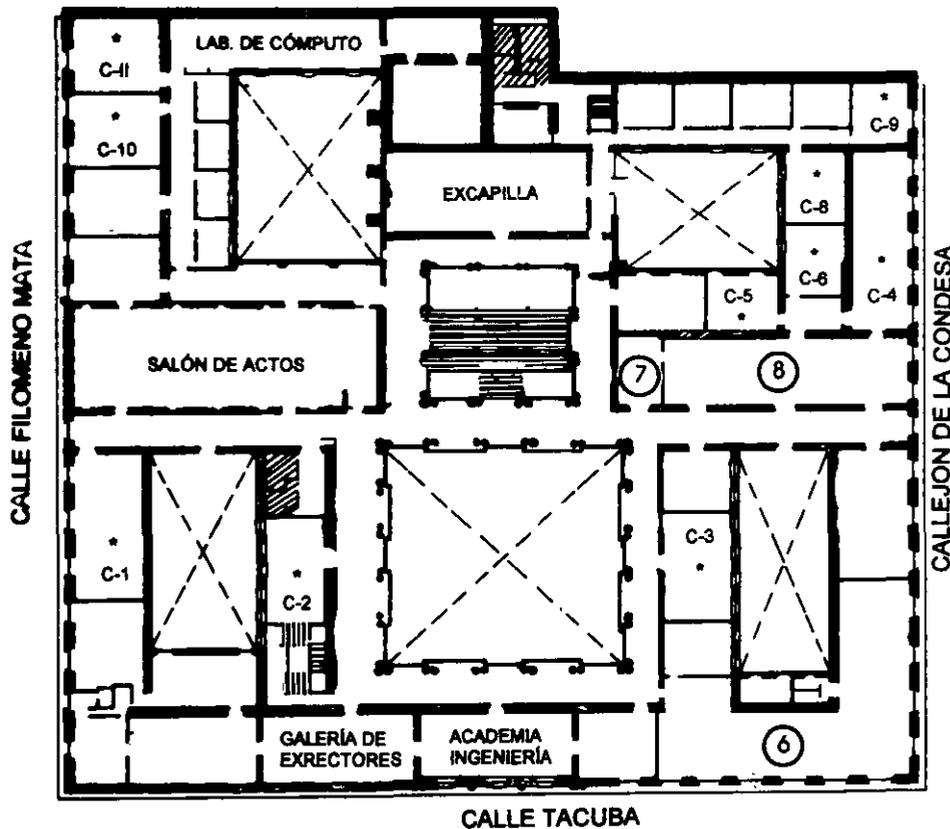


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 – 2001

CURSOS ABIERTOS

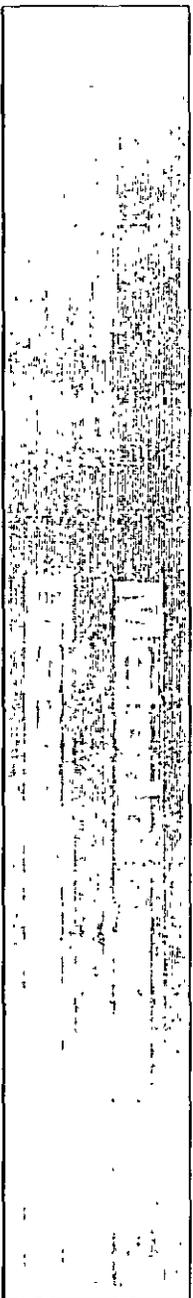
**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE ENERGIAS
RENOVABLES**

MODULO IV: DISEÑO BIOCLIMATICO

TEMA

**METODOLOGIA PARA DISEÑO BIOCLIMATICO Y SUS
ELEMENTOS**

**EXPOSITOR: ING. DAVID MORILLON GALVEZ
PALACIO DE MINERIA
MAYO DEL 2001**



Metodología para el diseño bioclimático

Dr. David Morillón Gálvez

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 al llevar al uso inadecuado de los recursos naturales y deterioro del ambiente, es por ello que los arquitectos e ingenieros, así como autoridades involucradas 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 fuera 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 aborigen 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, suplantar 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 cual 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.

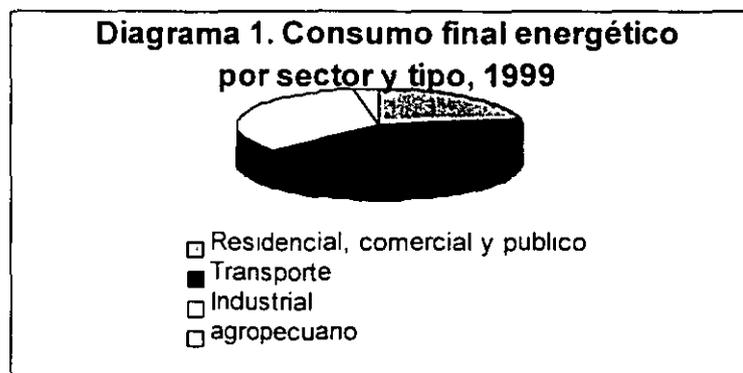
Dicha postura ha distorsionado en su concepción verdadera a la arquitectura, desviándose hacia la búsqueda de falsas necesidades. Un edificio superaislado, sellado a la interacción de las condiciones ambientales exteriores, y altamente condicionado a la utilización de la energía eléctrica de manera directa 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 1999 el consumo final energético del país fue de 3.799.920 petajoules (Diagrama 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 22.4%, 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 con 41.5 %, de la leña con 29.3 %, la electricidad con 21.0%, el gas natural con 3.9 %, el combustóleo con 3.7 %, y en conjunto los Querosenos y el diesel con 0.2 %.



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 1997 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 si 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 presentaron 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 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 lumínico 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 bioclimáticos 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 a 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 Chives, 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.

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, compleción, 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.

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

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 al 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 esbozaran 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 dictara 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).

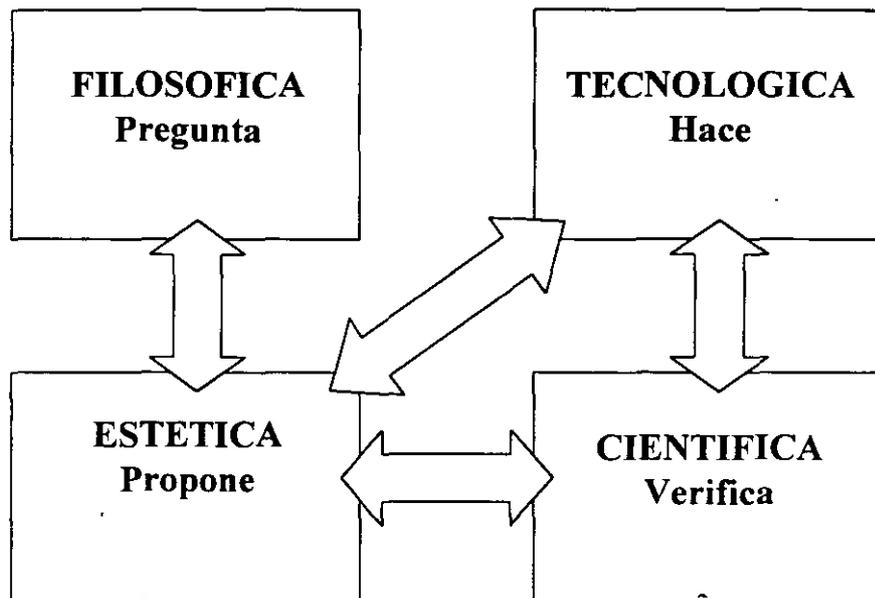


Figura 1. Actitudes del diseñador.

Así las cuatro actitudes del diseñador, constituyen propiamente 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 estas, 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 tenemos 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, sé esta consiente 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 cuanta 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 brocorrespiratorios).

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 mexicana: 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.

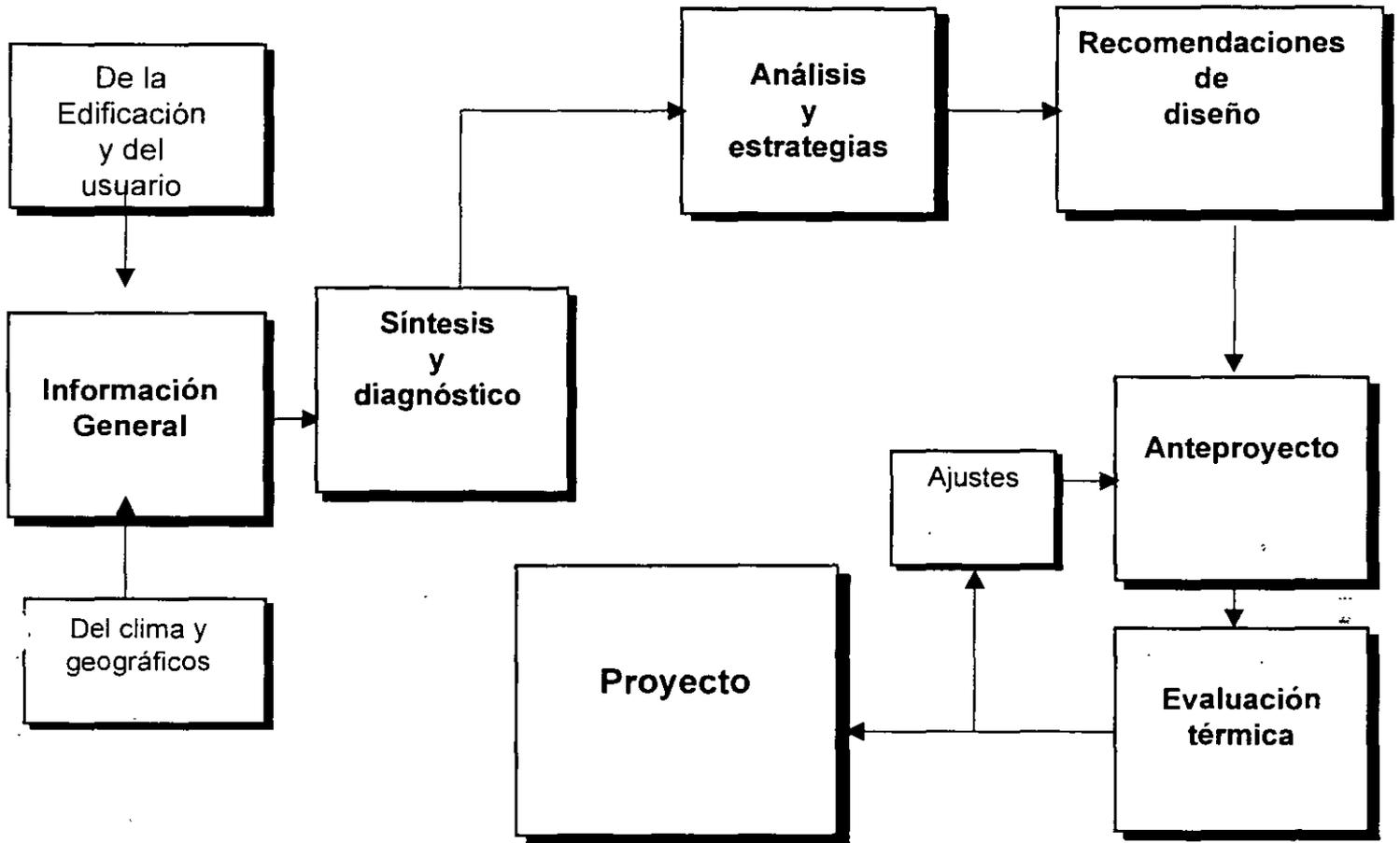


Figura 2. Metodología para el diseño bioclimático de edificios.

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.

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.

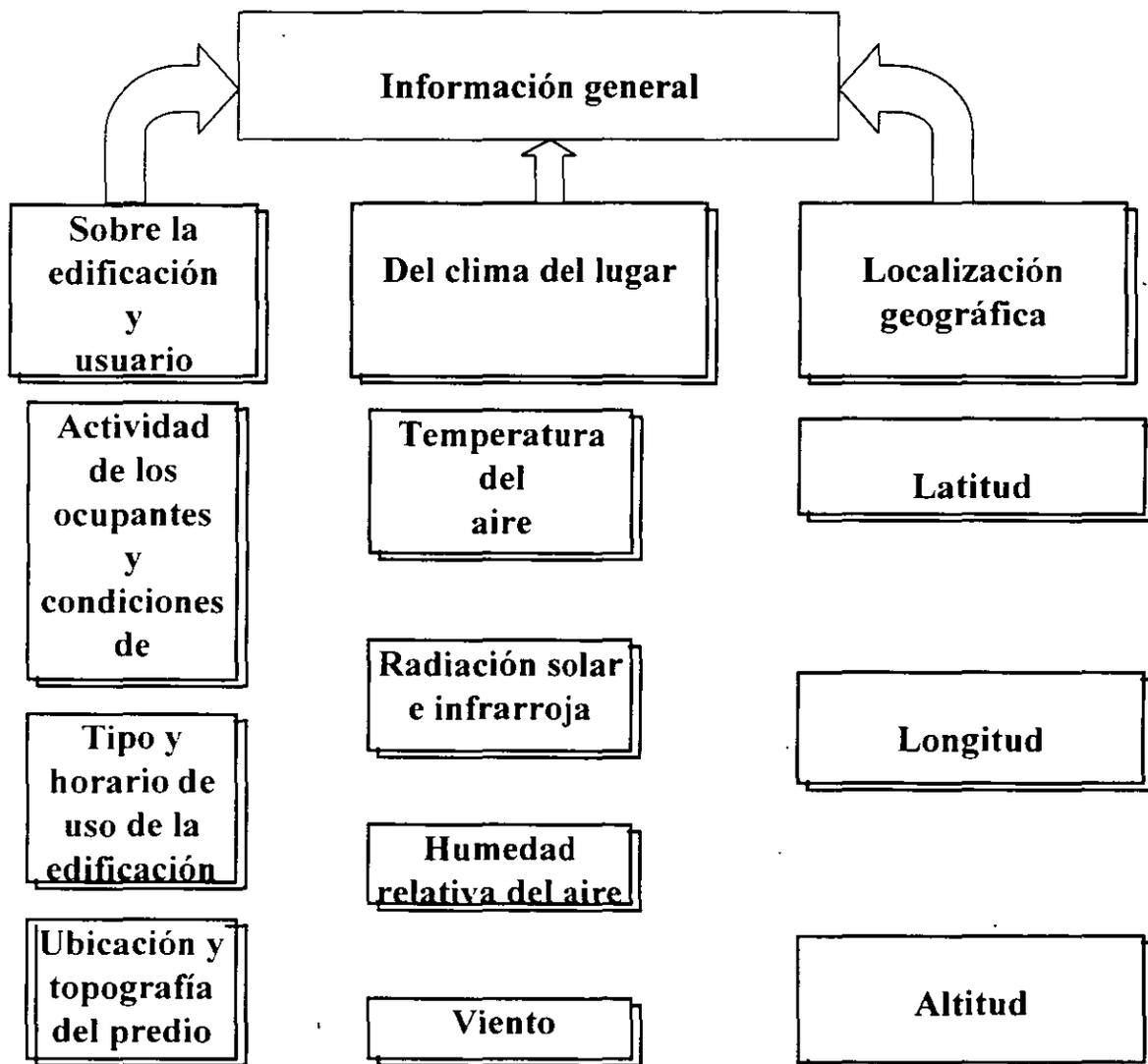


Figura 3. Información general.

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 este. 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.

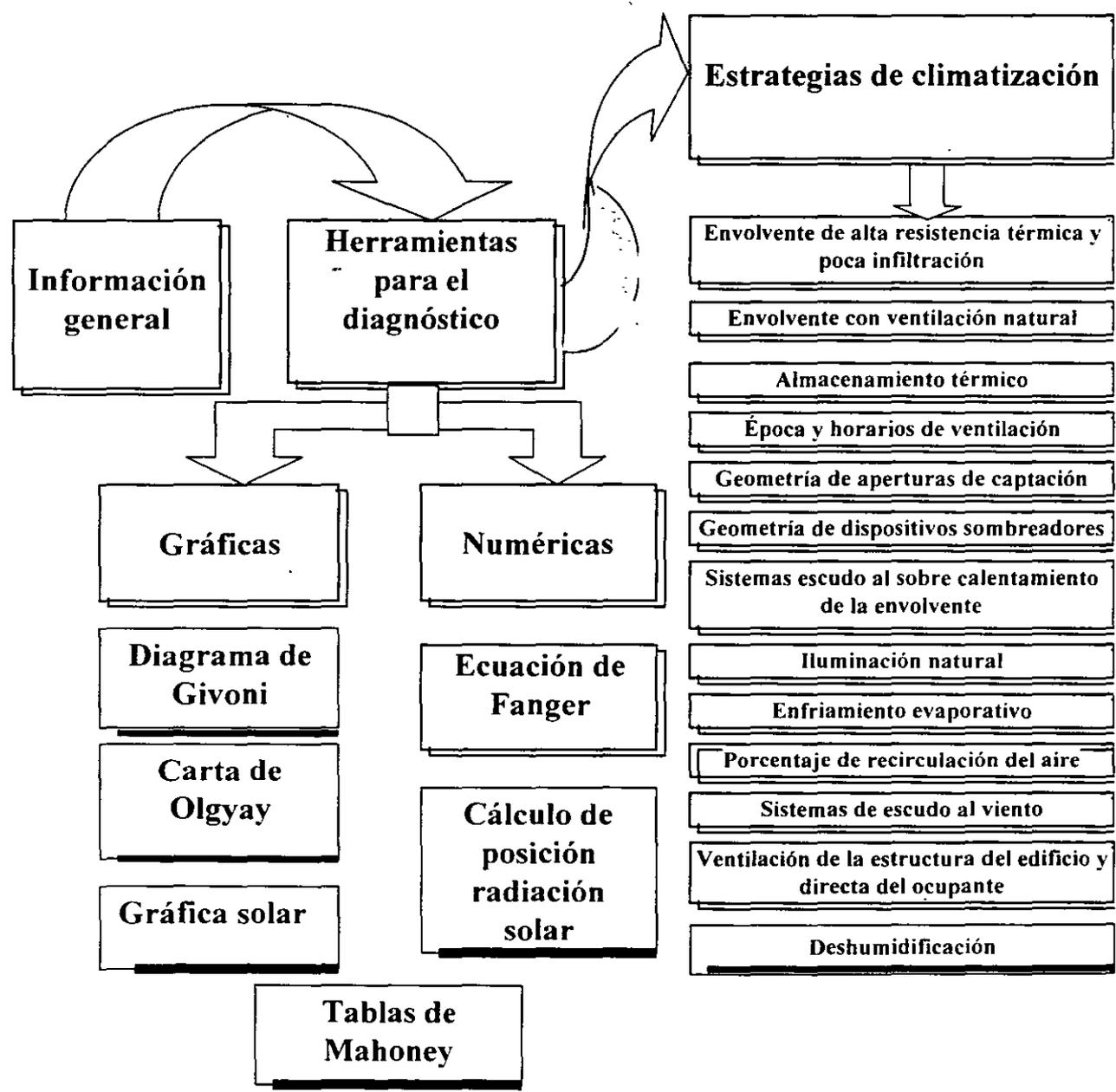


Figura 4. Diagnóstico y análisis (estrategias de climatización).

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.

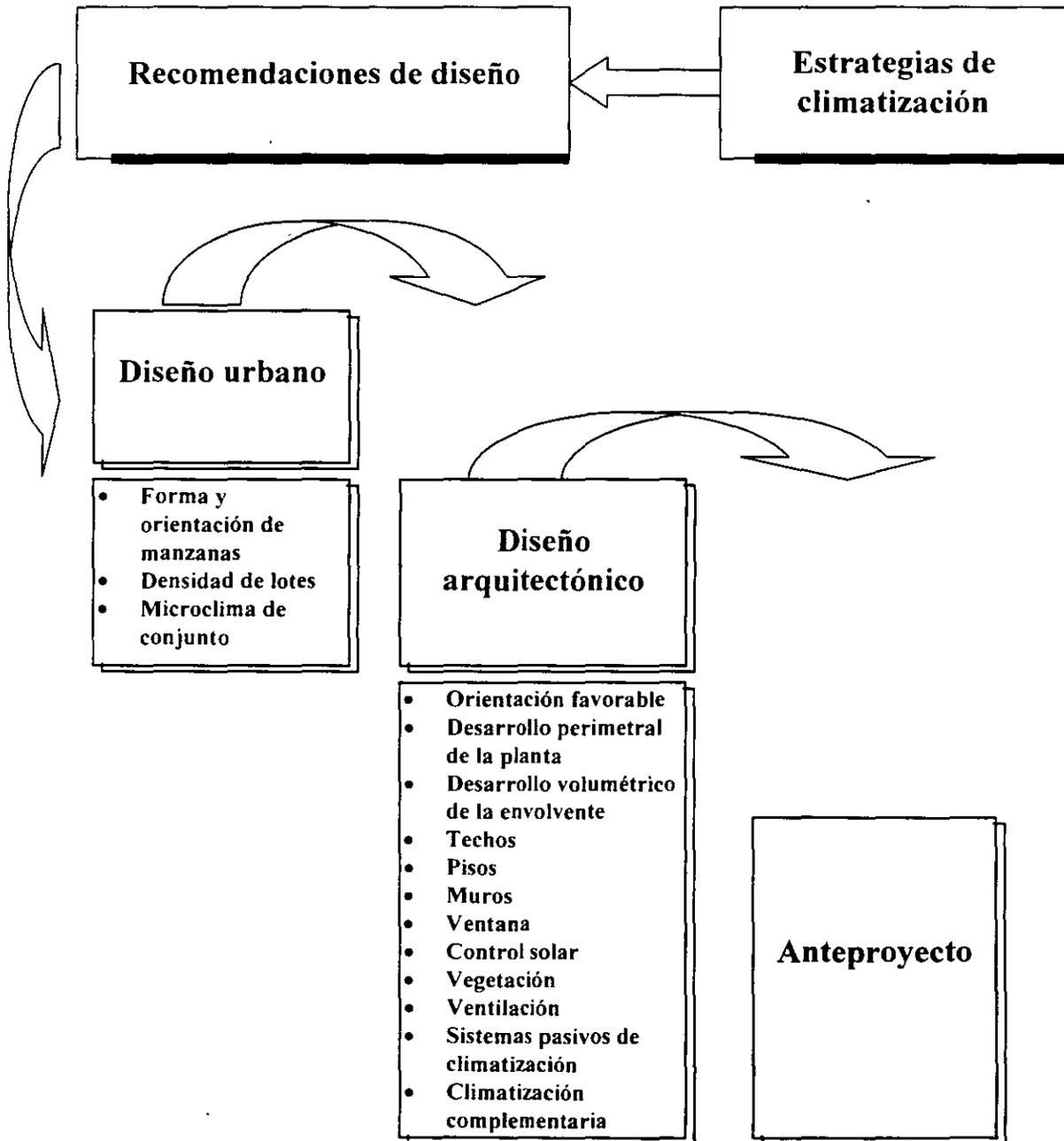


Figura 5. Recomendaciones de diseño-anteproyecto.

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, más 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 que el diseñador tome en cuenta o realice ajustes al primer planteamiento. Esto asegura que el edificio a sido cuidado de una manera cuantitativa, para que tome ventaja del clima.

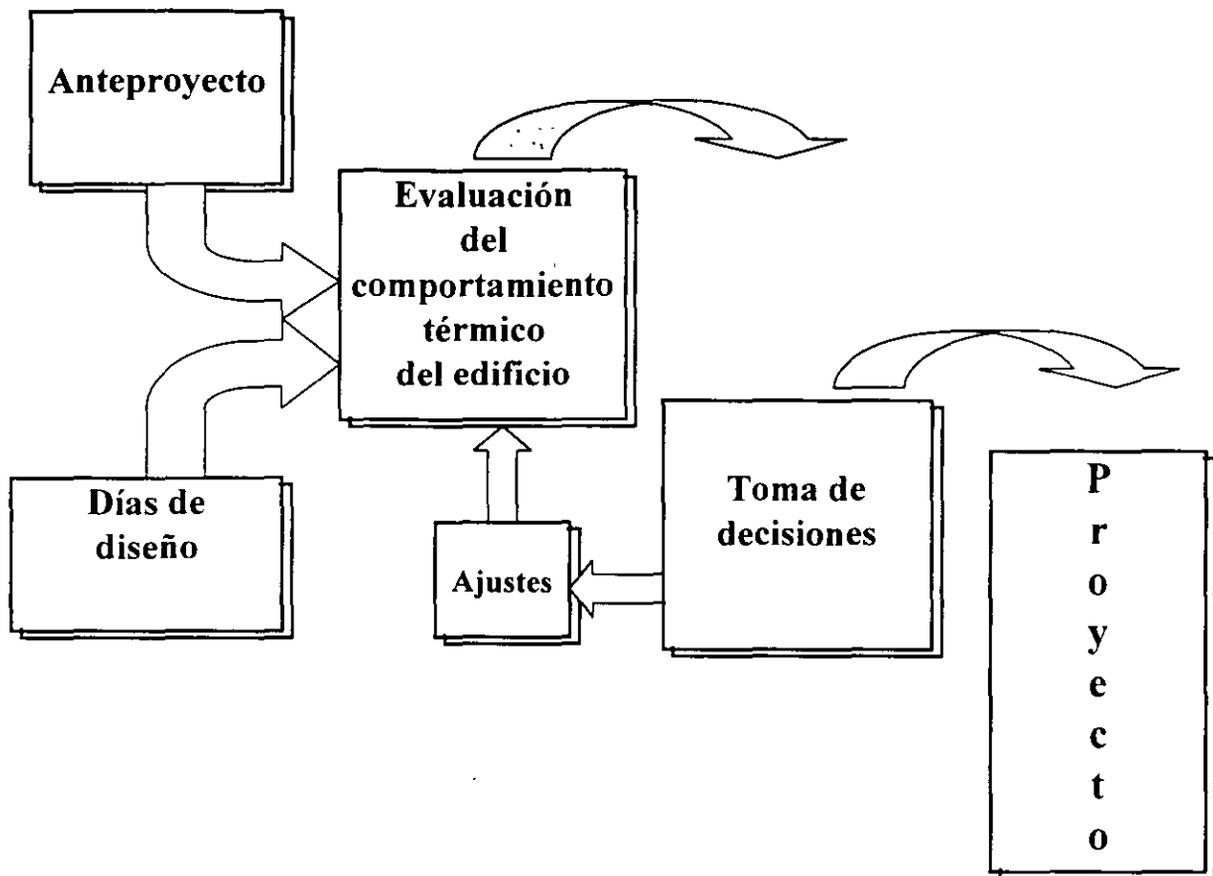


Figura 6. Evaluación de la operación térmica del edificio.

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 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 el mismo el uso de la energía eléctrica.

Referencias

ASHRAE "Fundamentals Handbook", 1981.

Gómez A., Gabriel. 1990. Hacia donde nos lleva la arquitectura. Revista Palapa. No. 8, Ed. Facultad de Arquitectura, Universidad de Colima.

Morillón G., David. 1993, Bioclimática: Sistemas pasivos de climatización, Ed. Universidad de Guadalajara.

Morillón G., David, 1996, Diseño bioclimático; Una arquitectura adecuada al clima. Revista Enlace, año 6, No. 7, Ed. Colegio de Arquitectos de la ciudad de México y Federación de Colegios de Arquitectos de la República Mexicana.

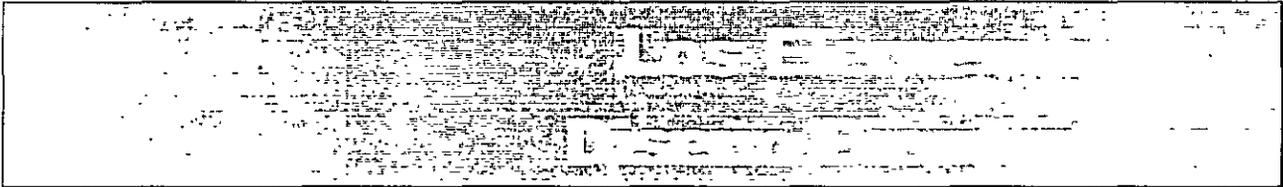
Morillón G., David, 1999, Arquitectura Bioclimática en México, Revista del Taller Internacional de Arquitectura Bioclimática, Editado por ASADES, Tucumán, Argentina.

Morillón G., David, 2000, Metodología para el diseño bioclimático, Memorias del Millennium Forum Solar, organizado por la International Solar Energy Society y ANES. México, D.F.

Olgay, Víctor, 1963, Design with climate, Ed. Princeton University Press, Estados Unidos.

Sámano T., Diego, Morales R., Diego y Morillón G., David, 1999, Metodología para el diseño térmico de edificios, Memorias del Curso de Actualización, Centro de Investigaciones en Energía, pp. 240-245.

Sámano T., Diego, Morales R., Diego y Morillón G., David, 1999, Aspecto bioclimáticos en el diseño de edificios confortables de máxima eficiencia energética, Memorias del Curso de Actualización, Centro de Investigaciones en Energía, pp. 219-239.



Los elementos del diseño bioclimático

Dr. David Morillón Gálvez

Entre los elementos del diseño bioclimático tenemos el clima, así como los principios termofisiológicos del confort, que al analizarlos en conjunto, a través de herramientas como las cartas bioclimáticas, permiten definir las estrategias de climatización pasiva para cada localidad.

Clima

El clima del planeta puede considerarse un extraordinario rompecabezas, las principales piezas, el sol, la órbita terrestre, la atmósfera, los océanos y los continentes, están compuestos de piezas más pequeñas y entrelazadas a su vez. Por ejemplo la estructura de la molécula del agua tiene gran influencia en los fenómenos atmosféricos: el vapor de agua presente en la atmósfera retiene calor que de otra forma se disiparía al espacio y además, los cambios de estado de líquido a gas y de líquido a hielo son vitales en la redistribución de la energía solar entre los océanos, los continentes, y la atmósfera.

Para la arquitectura bioclimática, todas estas piezas constituyen las condiciones ambientales a las que tiene que enfrentar las condiciones ideales o de confort para precisar la tarea de control que debe solventar la envolvente arquitectónica.

Parámetros climáticos a considerar

Temperatura del aire

El aire es una mezcla de gases y no un gas en sentido estricto. La composición y las cantidades relativas de gases que forman la atmósfera han cambiado gradualmente a lo largo de millones de años. Sin embargo podemos considerarlo constante a nuestra escala de tiempo. Dentro de los diversos gases que lo forman, no es el nitrógeno ni el oxígeno los que influyen más sobre su temperatura a pesar de ser lo más abundantes en su composición. En cambio, el vapor de agua, sí lo es, puesto que absorbe gran parte de la radiación de onda larga de la radiación terrestre. Como se dijo antes, su estructura molecular permite absorber un buen número de calorías sin modificar rápidamente su temperatura, en un proceso de aparente “almacenamiento de calor”, que provoca efectos importantes en el balance de radiación entre la tierra y el sol. Esto a su vez hace que la temperatura del aire, es decir la temperatura ambiente aumente o disminuya en un momento y lugar determinados.

El vapor de agua se forma continuamente por la evaporación de las plantas y las aguas superficiales, y asciende a la parte alta de la troposfera por turbulencias. El vapor de agua es un gas, no hay que confundirlo con la niebla, líquido compuesto por gotas diminutas.

La temperatura del aire, se mide directamente por medio del termómetro común, cuyo bulbo al ponerse en contacto con el aire, iguala su temperatura, la cual es señalada por una sustancia altamente sensible a los cambios de temperatura.

Humedad del aire

El contenido de vapor de agua en el aire se denomina humedad. Así también se habla de humedad relativa cuando se expresa el mayor porcentaje posible de humedad a una temperatura y presión determinadas. Varía desde el 100 por ciento en la mayoría de las nubes y la niebla, hasta el 10 por ciento o menos en los desiertos durante el medio día.

Pero también se puede hablar de temperatura absoluta, y esa se refiere al volumen o masa de vapor de agua presente en un volumen o masa de aire seco. Por otra parte la humedad específica se refiere a la presión que ejerce el vapor de agua. La cual es una fracción de la presión atmosférica total. La primera se expresa en gramos de agua por kilogramo de aire seco, y la segunda en milímetros de mercurio o milibares.

A medida que la temperatura aumenta, el aire puede retener más vapor de agua, pero si el contenido de agua permanece idéntico entonces disminuye la humedad del aire. Por otro lado, la disminución de la temperatura del aire reduce su capacidad para retener la humedad hasta alcanzar el punto de saturación. Un enfriamiento continuo por debajo de este punto conduce a la condensación de agua líquida, ya sea en forma de rocío, niebla o nubes.

Como la estructura molecular del agua permite el efecto de “almacenamiento de calor”, sucede que en atmósferas con mayor contenido de vapor las oscilaciones de temperatura son menores que en las pobres en agua. Así los climas desérticos son extremos, y los tropicales constantes.

La humedad se mide indirectamente por medio de un termómetro de bulbo húmedo, que mide la temperatura que tendría el aire saturado, bajo las mismas condiciones de presión. Si la lectura de este termómetro es igual que la del termómetro común, entonces la humedad relativa será de 100 por ciento. Si existe una diferencia, entonces se obtiene el porcentaje correspondiente de humedad relativa. Al equipo formado por los dos termómetros de referencia se le conoce como psicrómetro. También puede obtenerse a través del higrómetro.

Datos de temperatura, humedad relativa horarios y geográficos de Ixtacalco, D.F.

Latitud: 19.38° N

Longitud: 99.11° W

Altitud: 2261 msnm

Temperaturas (°C)												
Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	7	8	11	11	12	14	13	13	13	12	10	7
1	6	7	10	10	12	14	13	12	12	11	9	6
2	5	6	9	10	11	13	12	12	12	10	8	6
3	5	6	9	9	11	13	12	11	12	10	8	5
4	4	5	8	9	11	12	12	11	11	9	7	5
5	3	4	8	9	10	12	11	11	11	9	7	3
6	3	3	6	8	10	12	11	10	11	8	6	4
7	6	4	7	9	11	11	11	11	11	9	6	7
8	10	6	10	13	14	12	11	14	14	11	8	11
9	15	11	14	18	18	15	14	18	18	14	12	15
10	20	16	19	23	23	19	18	21	21	18	17	19
11	22	21	23	26	26	22	21	24	23	21	20	22
12	24	24	27	28	28	25	24	26	25	23	23	24
13	24	26	28	29	28	26	25	26	25	25	25	24
14	24	26	28	28	27	26	25	25	25	25	25	23
15	22	25	28	27	26	26	25	24	23	24	24	22
16	20	24	26	25	24	25	24	23	22	23	23	20
17	18	22	24	22	22	23	22	21	21	22	21	18
18	16	19	22	20	20	22	21	19	19	20	19	16
19	14	17	20	18	19	20	19	18	18	18	17	14
20	12	15	18	16	17	19	18	16	16	17	15	12
21	10	13	16	15	15	17	16	15	15	15	14	11
22	9	11	14	13	14	16	15	14	14	14	12	9
23	8	9	12	12	13	15	14	13	13	13	11	8

Humedad relativa (%)												
Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	59	52	54	60	67	73	73	74	77	69	63	61
1	61	54	56	62	68	75	76	76	79	71	65	63
2	62	55	58	63	70	76	78	77	80	73	67	64
3	63	57	59	64	71	78	79	78	81	74	68	65
4	64	58	60	65	71	79	80	79	82	76	69	66
5	67	59	61	66	72	80	81	79	82	76	70	69
6	66	61	64	67	74	80	81	81	84	79	73	68
7	60	60	63	65	72	82	83	79	82	78	72	62
8	51	55	57	57	63	80	81	71	73	72	66	53
9	41	46	48	46	52	71	72	59	62	63	56	42
10	32	36	39	36	41	60	61	49	52	52	46	33
11	25	28	30	28	33	49	50	41	44	43	37	27
12	22	22	24	24	29	42	43	36	39	36	30	23
13	21	19	21	23	28	37	38	35	38	33	27	23
14	23	18	20	25	30	36	37	37	40	32	26	24
15	26	20	22	28	33	38	39	40	43	34	28	28
16	30	23	25	32	38	41	42	45	48	37	31	32
17	35	26	29	37	42	46	47	50	53	41	35	36
18	39	31	33	42	47	50	52	54	57	46	40	41
19	44	35	37	46	52	55	56	59	62	51	45	45
20	48	39	42	50	56	60	61	63	66	55	49	49
21	51	43	45	53	59	64	65	67	69	59	53	53
22	54	46	49	56	62	67	68	70	72	63	57	56
23	57	49	52	59	65	70	71	72	75	66	60	59

Movimiento del aire

El viento es la manifestación de los movimientos del aire. Este es provocado por diferencias de presión o de temperatura en alguna de sus masas. Al aumentar la temperatura o la presión en un sector de la atmósfera. Esta tiende a ascender dejando un vacío que rápidamente es llenado por una nueva masa de aire más fresco. Si las causas que originaron el calentamiento o el aumento de presión persisten, el fenómeno sigue presentándose ininterrumpidamente.

Así las estaciones propician cambios en la composición de las masas atmosféricas, que a su vez generan vientos característicos a cada época del año y a cada sitio del planeta.

El movimiento del aire tiene una gran importancia en la arquitectura bioclimática, puesto que mediante él, pueden transportarse calorías de un sitio en que no se desean a otro en que sí son necesarias.

Este movimiento se mide por el anemómetro que indica la velocidad del aire, y por una veleta que señala dirección del mismo. Los datos prevalentes de dirección y los promedios de velocidad, serán herramientas útiles para el diseño de los dispositivos de control bioclimático.

Radicación Solar

Es obvio que la causa original de todos los elementos que conforman el clima es la radiación solar. Esta es constituida no sólo por la luz visible. La luz es una parte de toda la radiación procedente del sol. El resto del espectro es invisible y se extiende a las longitudes de onda más largas y más cortas, que comprenden las ondas de radio, el infrarrojo, el ultravioleta, los rayos X y los gamma.

La radiación de onda larga que más nos interesa es la infrarroja, percibida como calor. De la radiación distribuida por el sol, mucha nunca alcanza el suelo, y la atmósfera por su parte refleja al espacio algo de la que llega.

La cantidad y la calidad de la radiación solar se miden mediante el piranómetro.

Gráficas del clima local

Es necesario organizar la información referente a los parámetros descritos de una manera fácil y adecuada para su manejo y guía en el diseño. Así el primer problema radica en donde encontrar tal información.

La institución encargada en México de proporcionar esta información es la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. Estos han publicado las NORMALES CLIMATOLÓGICAS, que incluyen las lecturas promediadas de varios años de los observatorios y de las estaciones meteorológicas de todo el país.

En los observatorios se hacen las siguientes lecturas:

- Temperatura:
 - Máxima extrema
 - Promedio máxima
 - Bulbo seco (Promedio ambiente)
 - Promedio mínima
 - Mínima extrema
 - Oscilación

- Humedad:
 - Temperatura de bulbo húmedo
 - Humedad relativa media
 - Evaporación total
 - Tensión media del vapor de agua

- Precipitación:
 - Total
 - Máxima
 - Máxima en 24 horas
 - Máxima en una hora
 - Mínima

- Total de horas de insolación

- Visibilidad dominante

- Frecuencia de fenómenos especiales:
 - Lluvia apreciable
 - Lluvia inapreciable
 - Días despejados
 - Días medio nublados
 - Días nublados cerrados
 - Rocío
 - Granizo
 - Heladas
 - Tempestades eléctricas
 - Niebla
 - Nevada

En las estaciones climatológicas (mucho más numerosas que los observatorios) no se practican las mediciones de humedad, que nos son de tanta utilidad para las fases de diagnóstico y de concreción del diseño bioclimático.

Otra desventaja es la forma en que se presentan tales datos: tablas con la información de manera digital, lo cual ha demostrado ser un eficaz espantapájaros para los arquitectos pero existen recursos, disponibles ya en este momento, que permiten disipar tales desventajas.

Respecto a la necesidad de datos de humedad en las regiones en la que no se tienen los instrumentos necesarios, es posible proponer un modelo formal del fenómeno, que relacione:

- precipitación pluvial (R)
- temperatura ambiente (o mejor aún, la oscilación de temperaturas) (To)
- fracción mensual de nubosidad (F):

$$F = (12 * DMN) + DN / DM$$

donde:

DN = Días nublados al mes

DMN = Días medio nublados al mes

DM = Días totales del mes

de tal manera que la humedad relativa (HR), esté en función de las anteriores variables:

$$HR = HR (R, To, F)$$

El modelo puede obtenerse practicando una regresión a los datos obtenidos empíricamente, que nos dé al final los valores constantes de la ecuación.

Por otra parte, el Instituto de Investigaciones Eléctricas, tiene disponible una base de datos meteorológicos obtenidos del procesamiento computacional de nueve años de información recabada en la red de observatorios del Servicio Meteorológico Nacional.

El problema más importante de esta información, respecto al uso que le dan los arquitectos, como ya se dijo, es su manera de presentación. Por tal motivo es necesario procesar los datos de una manera menos abstracta, necesariamente gráfica, a fin de que los profesionales del diseño no le rehuyan.

Eric Meyer ha propuesto unas tablas que muestran a la vez, los datos recabados y su variación a través de años, o bien del día. Tales esquemas expresan de manera inmediata el comportamiento del clima a través del tiempo, visualizando (sin necesidad de lecturas de números) los periodos críticos y los estables.

Tales gráficos pueden reducirse a los siguientes:

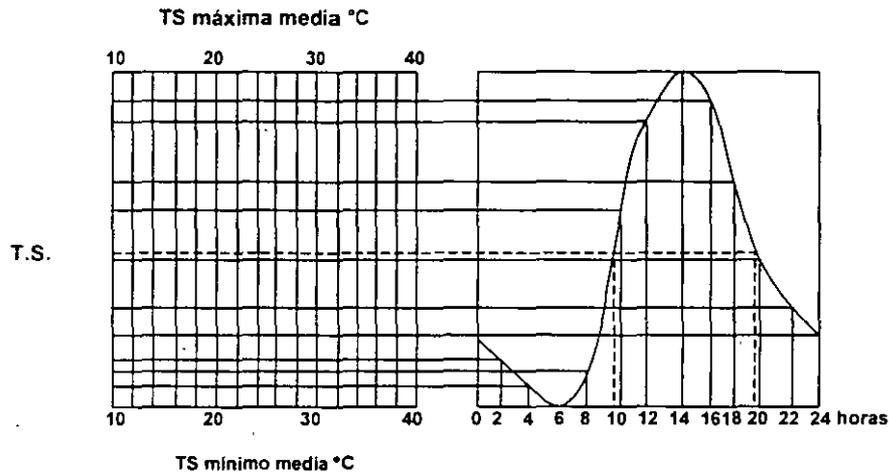
Isotermas

Isohigras

Soleamiento

Vientos (Velocidad y dirección)

NOMOGRAMA PARA LA INTERPOLACION DE TEMPERATURAS



Fuente : M. Evans (1980).

Principios termofisiológicos del confort

Aspectos bioclimáticos del cuerpo humano

Desde el punto de vista térmico, la primera consideración que se deberá tomar en cuenta, es la posibilidad de que el edificio que se diseña, esté en un futuro habitado por personas o animales de sangre caliente.

En caso que esto sea afirmativo, es importante que se busque obtener condiciones de comodidad térmica de los ocupantes. En el presente capítulo se hablará del cuerpo humano, pero en principio este esquema puede ser utilizado en el caso del diseño de establos, gallineros, zahurdas etc.

El cuerpo humano es, entre otras cosas, una bomba de calor, el cual necesita perder constantemente y a una rapidez determinada, y fijada por el metabolismo de la persona. La

descarga de calor a cierta rapidez que permite mantener la temperatura corporal entre 36.5 y 37.5 C con el mínimo esfuerzo, permite el desarrollo del trabajo fisiológico en óptimas condiciones; esto es lo que se reconocerá como condiciones de comodidad. Lo anterior, nos obliga a ubicar este problema en el clima particular donde se localizará el edificio, puesto que dependerá de éste, las alteraciones que habrá que provocar para que el microclima en el interior del edificio sea el adecuado para proporcionar comodidad a los ocupantes. En las presentes notas se discutirán los aspectos determinantes en la comodidad térmica de los habitantes de un edificio.

Balance térmico en el cuerpo humano

El cuerpo humano genera calor constantemente como producto secundario de las reacciones metabólicas celulares, y pierde calor permanentemente, que pasa al medio ambiente.

En promedio, el 55% de la energía de los alimentos se transforma en calor durante la formación del ATP (Trifosfato de adenosina). Otra parte de la energía el trifosfato de adenosina se transforma en calor cuando se cede a los sistemas metabólicos celulares; finalmente el metabolismo celular solo aprovecha el 25% de la energía.

Todavía se transforma en calor la mayor parte de ese 25% de la energía inicial: síntesis de proteínas, energía de la contracción muscular, bombeo de la sangre por el corazón, etc.

Por lo tanto, podemos decir que prácticamente toda la energía producida por el metabolismo de los alimentos en el organismo se convierte en calor. La única excepción es la realización de un trabajo exterior por los músculos.

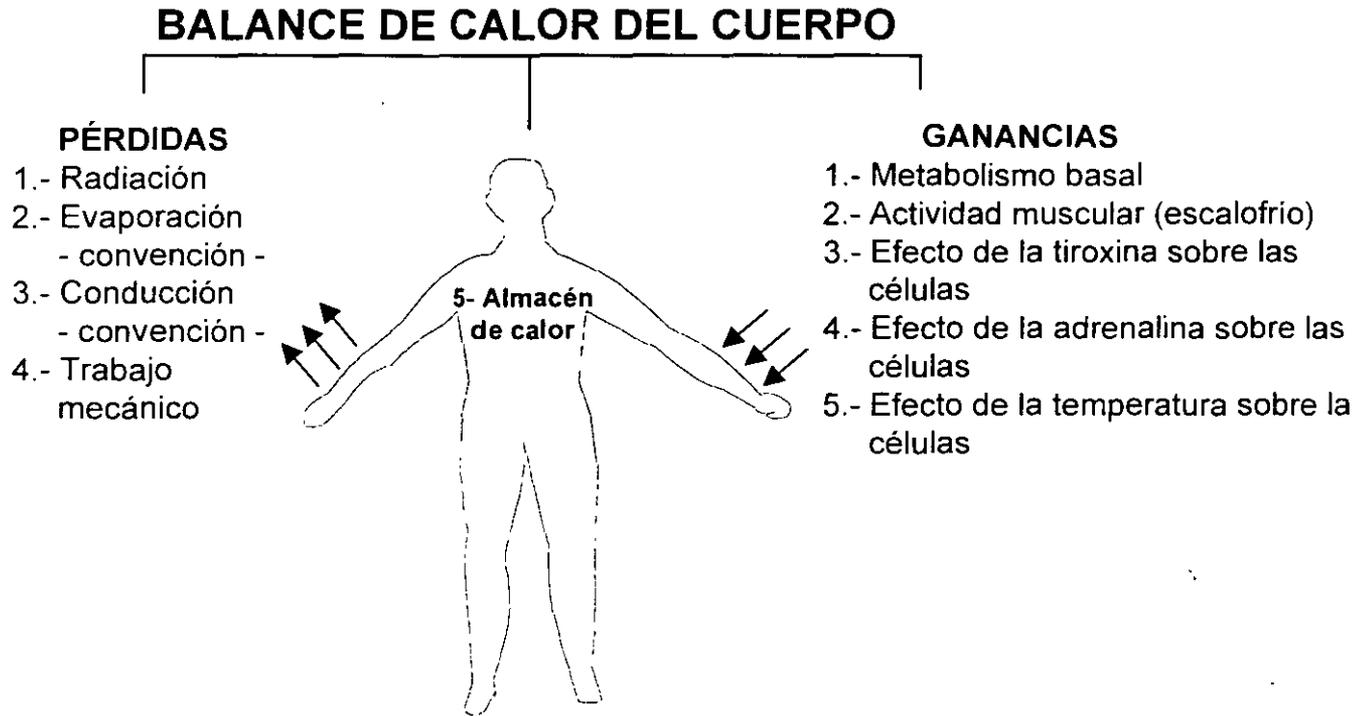
La cantidad de calor perdido por cada uno de estos mecanismos varía considerablemente según las condiciones atmosféricas. En una habitación a temperatura normal un cuerpo desnudo elimina el 60% de la pérdida total de calor por radiación.

El cuerpo radia calor en todas direcciones, a la vez llega al cuerpo radiación térmica, que proviene de las paredes y de otros cuerpos y objetos vecinos que la dirigen hacia el organismo. Si la temperatura del cuerpo es mayor que la temperatura del medio que lo rodea, pasará una cantidad de calor mayor desde el cuerpo hacia afuera que en sentido opuesto.

El calor perdido por radiación varía en proporción directa de la diferencia entre la cuarta potencia de: 1) la temperatura de la superficie corporal, y 2) la temperatura media del medio ambiente. Por lo tanto, es imposible afirmar en forma exacta cual porcentaje del calor corporal se perderá por irradiación, a menos que se definan todas las condiciones que en el momento determinado rodean al cuerpo.

La superficie del cuerpo humano absorbe extraordinariamente la radiación de onda larga (radiación infrarroja).

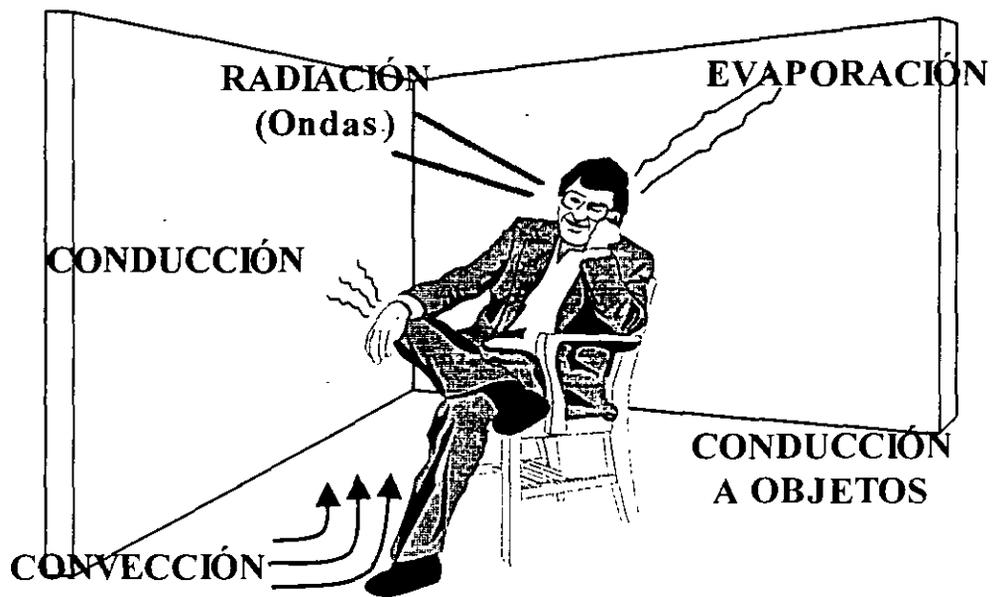
Generalmente solo se pierden pequeñas cantidades de calor del cuerpo por conducción directa desde la superficie corporal a los demás objetos como sillas, camas etc.



Por otra parte, la pérdida de calor por conducción hacia el aire representa una porción considerable del calor perdido por el cuerpo, incluso en condiciones normales. El movimiento vibratorio de las moléculas de la piel puede aumentar el movimiento de las moléculas del aire que entran en contacto directo con ella. Sin embargo, una vez que la temperatura del aire inmediatamente vecino de la piel, resulta igual a la temperatura de ésta, ya no hay intercambio de calor desde el cuerpo hacia el aire. Por lo tanto, la conducción de calor del cuerpo al aire termina automáticamente, a menos que éste se desplace de manera que aire nuevo no calentado esté constantemente en contacto con la piel, presentándose de esta manera el fenómeno de la convección. Una persona desnuda sentada en una habitación de temperatura agradable (condiciones de comodidad), sin corrientes de aire, pierde el 12% aproximadamente de su calor por convección.

Cuando el cuerpo queda expuesto al viento, la capa de aire inmediatamente vecina de la piel es sustituida por aire nuevo, mucho más rápidamente que en condiciones normales, por lo tanto, aumenta en forma correspondiente la pérdida de calor por convección. El efecto de enfriamiento del viento a baja velocidad es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad del mismo, por ejemplo: un viento de 6 km/hora es unas dos veces más eficaz para enfriar que un viento de 1.5 km/hora. Sin embargo, cuando la velocidad del viento pasa de unos

cuantos kilómetros por hora ya no se produce enfriamiento adicional en grado considerable sea cual sea la velocidad, una vez que el viento ha enfriado la piel hasta la temperatura del propio aire. Por lo contrario, la velocidad con la cual el calor puede pasar de la parte central del cuerpo a la piel, es entonces el factor que rige la rapidez con la cual puede perderse calor.



Formas de propagación de calor del cuerpo con el entorno

Cuando el agua se evapora de la superficie corporal, se pierden 0.58 kilocalorías (kcal) por cada gramo de agua evaporada y el agua se evapora insensiblemente de la piel y los pulmones. Ello provoca una pérdida continua de calor del orden de 12 a 18 kcal por hora. Esta evaporación insensible de agua no se puede controlar para regular la temperatura, pero la pérdida de calor por evaporación se puede moderar regulando la intensidad del sudor, como se verá posteriormente.

Cuando la temperatura del medio es mayor que la de la piel, en lugar de perder calor el cuerpo lo gana por radiación y conducción procedente del medio vecino. En tales circunstancias, el único medio por el cual el cuerpo puede perder calor es la evaporación.

El clima húmedo tiene influencia sobre la pérdida de calor por evaporación. Los días de verano calientes y húmedos son muy molestos, debido a que el sudor corre por la

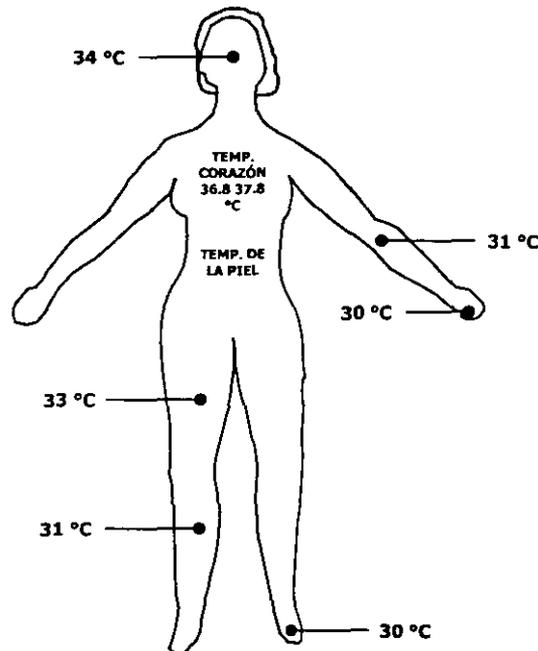
disminuida, o totalmente anulada, de manera que el sudor secretado persiste en estado líquido. Así la temperatura del cuerpo se acerca a la temperatura del medio, o se eleva por encima de ella a pesar de que el cuerpo sigue sudando.

La falta de movimiento del aire evita la evaporación, de la misma manera que el enfriamiento eficaz por conducción de calor hacia el aire. Los vestidos aprisionan capas de aire junto a la piel y en la textura de la ropa, por lo cual aumenta el espesor de la zona aislada y disminuyen las corrientes de convección. Por lo que la intensidad de pérdida calorífica del cuerpo por conducción disminuye considerablemente. La mitad, aproximadamente, del calor transmitido desde la piel a los vestidos probablemente se pierda por radiación en ellos, en lugar de ser transmitido a través de los espacios pequeños que quedan. La eficacia del vestido para evitar la pérdida de calor desaparece casi completamente cuando el tejido de la ropa se humedece, pues el aire aprisionado actúa como aislante, de hecho, los intersticios del vestido quedan llenos de agua, que a consecuencia de su elevada conductividad para el calor, aumenta la intensidad de la transmisión calorífica 20 veces o más, que cuando permanece seca.

El vestido que es permeable para la humedad, permite una pérdida casi normal de calor por el cuerpo, gracias a la evaporación; cuando hay producción de sudor, el propio sudor puede empapar el vestido y se produce la evaporación, no en la piel sino en la superficie del vestido. Ello enfría el vestido, lo cual, a su vez, significa enfriar la piel. El límite inferior de la temperatura a la cual puede llegar el vestido, es la temperatura de bulbo húmedo del aire atmosférico; en zonas desérticas esta temperatura está muy por debajo de la temperatura de bulbo seco del ambiente.

Por otra parte la temperatura del organismo se conserva por un centro de regulación, situado en el hipotálamo, entre los límites de 36.5 y 37.5 °C en forma indefinida en un medio variante que va desde los 15.5 hasta los 55 °C. La piel, el tejido subcutáneo, y especialmente la grasa de los tejidos subcutáneos, son aislantes eficaces para conservar el calor del cuerpo, que se produce en las partes más profundas del organismo.

Cuando el cuerpo se calienta excesivamente, se secretan grandes cantidades de sudor hacia la superficie de la piel por las glándulas sudoríparas, con el fin de permitir un rápido enfriamiento por evaporación corporal. se observa que casi a la temperatura de 37° C empieza la sudación, aumentando rápidamente cuando la temperatura se eleva. Por otra parte, el sudor cesa a cualquier temperatura por debajo de este valor crítico. A cualquier temperatura debajo de 37° C son activados intensamente diversos mecanismo que aumentan la producción de calor, según lo muestra la curva discontinua, especialmente el aumento de actividad muscular que culmina en escalofríos.



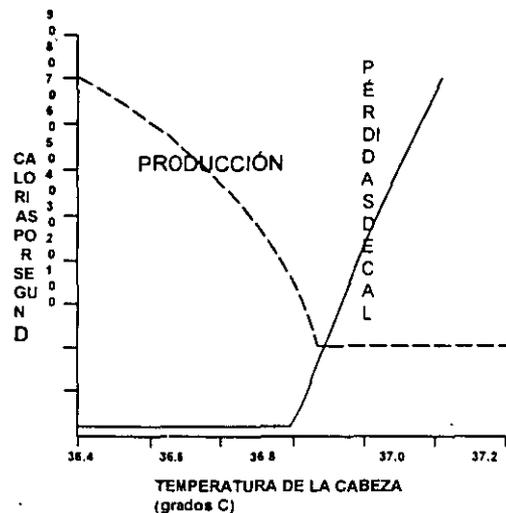
Temperaturas de algunas regiones del cuerpo.

Además del mecanismo termostático para el control de la temperatura corporal, el cuerpo tiene otro mecanismo destinado al mismo fin y más potente todavía, que consiste en el control de conducta del individuo con relación a la temperatura, que puede explicarse así: siempre que la temperatura se eleva demasiado, señales provenientes del área prepóptica del encéfalo proporcionan la sensación psíquica de un exceso de calor.

Cuando el cuerpo se enfría demasiado, señales provenientes de la piel y posiblemente de otros receptores nerviosos periféricos provocan la sensación de frío molesto.

Por lo anterior, la persona efectúa ajustes adecuados del ambiente para restablecer su sensación de bienestar y comodidad en ambos casos. Este, generalmente conlleva a la disminución en la productividad del individuo, razón por la cual, es importante tratar de lograr las condiciones de comodidad térmica dentro de las habitaciones.

Los tipos evidentes de ajuste de conducta incluyen: selección de vestidos, desplazamiento del cuerpo hacia un ambiente diferente, aumento de calor o de frío proporcionado por calentadores adecuados o por acondicionamiento del aire, etc.



Pérdida de calor por evaporación vs producción de calor.

Evaluación de la comodidad en el humano

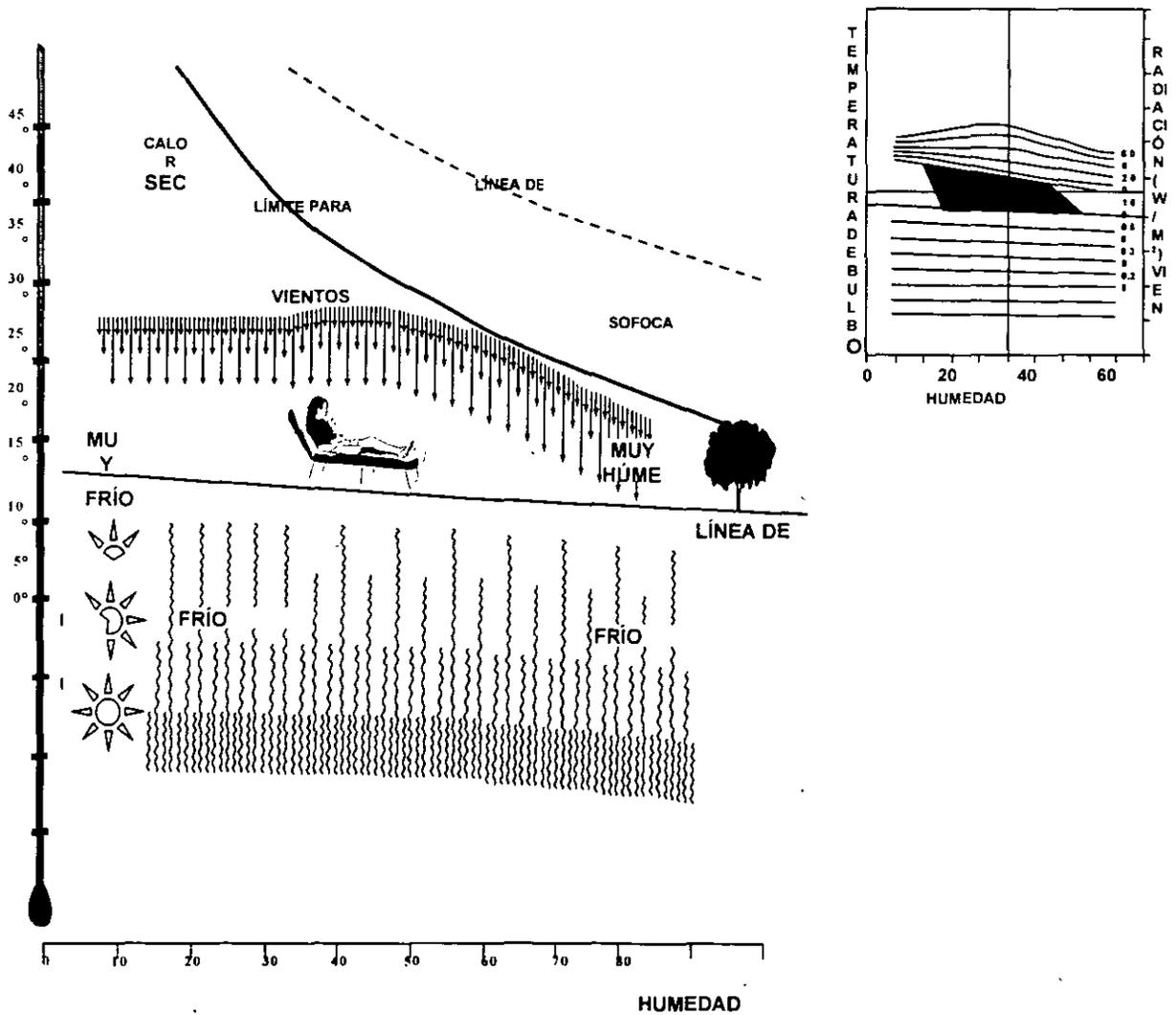
Las condiciones de comodidad térmica dependen de las variables del medio ambiente tratadas en el punto anterior: temperatura, humedad y velocidad del aire, y radiación incidente.

Los métodos para determinar las condiciones de comodidad térmica se desarrollaron desde finales del siglo pasado, y a partir de estos se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros de clima, dentro de los cuales el ser humano siente comodidad. La comodidad en la Gran Bretaña está definida entre 14.4 y 21.1 °C en la temperatura del aire en contacto con el cuerpo humano (58 a 70 °F), en los Estados Unidos de América entre 20.5 y 26.7 °C (69 a 80 °F) y en los trópicos entre 23.3 y 29.4 °C (74 a 85 °F) con humedades relativas entre 30 y 70 %. Estas especificaciones de temperatura y humedad que determinan la zona de comodidad, pueden verse modificadas por:

- 1). La presencia de viento; con lo cual el mecanismo de transferencia de calor por convección, se incrementa.
- 2). La incidencia de radiación; con lo cual se dificulta la salida de calor del cuerpo humano.
- 3). La ocurrencia de enfriamiento evaporativo en el aire que entrará en contacto con el cuerpo humano; lo cual aumenta la salida de calor del mismo.
- 4). La salida de radiación infrarroja del cuerpo humano, debido a superficies frías que lo circundan lo cual favorece la salida de calor del mismo.

5). La modificación de la temperatura del aire que entrará en contacto con el cuerpo humano, debido a la transferencia de calor por convección con materiales que conforman el medio ambiente y que son capaces de almacenar calor de manera sensible (estos materiales pueden ser los materiales de construcción del edificio).

Los conceptos numerados anteriormente, resultan ser de suma importancia para fijar las estrategias de diseño térmico de una edificación. Algunos investigadores han plasmado estos criterios en diagramas psicrométricos obteniendo una presentación gráfica de los mismos, con los cuales es más sencillo trabajar cuando no se está familiarizado con los procesos físicos involucrados en los fenómenos de transferencia de calor que ocurren en el cuerpo humano y en la edificación.



Determinación de la comodidad térmica

Forma de evaluar la comodidad

Para evaluar la comodidad térmica de los ocupantes de un edificio, es necesario recurrir al método de la temperatura equivalente que aparece en las normas de ASHRAE. La ecuación utilizada para estos cálculos es:

$$DT \text{ (aparente)} = T \text{ (aire)} + DT \text{ (evaporativa)} + DT \text{ (radiación)}$$

donde;

T (aire) - es la temperatura de bulbo seco del aire ambiente medido a la sombra.

DT (evaporativa)- es el incremento aparente en la temperatura del aire debido al enfriamiento evaporativo sobre la piel. El incremento es siempre negativo. El cálculo se hace horario, con datos de temperatura y humedad del aire, así como con la velocidad del viento en el sitio, y datos fisiológicos internacionalmente aceptados del metabolismo del humano (para una persona en reposo el calor que debe disiparse de un met), y suponiendo que la persona vista ropa ligera durante la parte cálida del día (0.6 CLO) y ropa de mediano abrigo para la parte fría (1.0 CLO). Para hacer el cálculo se lleva acabo de acuerdo a la definición de enfriamiento del viento enfriador (WCI).

DT (radiación) - es el incremento de la temperatura aparente en el aire, debido a la incidencia de radiación sobre la piel, la cual es altamente absorbente de las ondas largas de radiación. El cálculo se hace horario y se toma en cuenta la radiación solar que atraviesa las cubiertas translúcidas y la radiación infrarroja emitida por superficies calientes u otras fuentes, así como la radiación infrarroja absorbida por superficies frías. El cálculo se hace, suponiendo que todo el calor de la radiación solar o infrarroja captada por la piel, se pudiera disipar al medio ambiente.

Estos cálculos se aplican para diversos días de diseño teniendo en cuenta que los edificios se construyen en un medio ambiente cambiante a lo largo del año y también durante las 24 horas de cada día. De tal forma que al cambiar en el tiempo uno de los parámetros del clima que es la temperatura y exponer a la radiación solar el edificio, se establecen en él flujos de energía en forma de calor que acoplados a las fuentes y sumideros de calor internos, condicionan el microclima que se obtiene en su interior.

El término pasivo, se refiere a que en todos los casos la energía transferida para y desde el edificio, se da por medio de un proceso natural, por conducción, convección y radiación, donde intervienen los componentes del edificio, tratando de que la intervención de sistemas mecánicos externos sea mínima, como son: ventiladores, bombas, compresores, etc. Y de esta manera lograr que en el interior del edificio se dan las condiciones de comodidad térmica para los habitantes del mismo. En la arquitectura tradicional, es posible encontrar ejemplos de edificios adecuados al clima donde se ubican, y que toman ventaja de él para obtener una temperatura confortable en su interior, estos edificios son pasivos.

Es decir, si bien el clima puede presentar un problema de incomodidad para los habitantes, es posible utilizar lo cambiante del mismo como recurso, y así lograr comodidad en el interior del edificio. Esto es posible, gracias a que los flujos de energía que tienen lugar en el edificio, no son instantáneos y es posible obtener un edificio fresco durante la parte cálida del día, o bien, un edificio tibio durante la parte fría del día, etc. Esto se puede lograr seleccionando adecuadamente los dispositivos pasivos que compondrán el edificio, y que en casi todos los casos, son a la vez elementos estructurales o componentes del mismos (ventanas, aleros, jardineras, etc.). No existen materiales buenos y malos desde el punto de vista térmico. Depende de su uso estratégico en la edificación, y su cooperación en la obtención de las condiciones de comodidad. Los sistemas pasivos en la edificación pueden ser según el clima, de dos tipos: de calentamiento y de enfriamiento. Los sistemas pasivos de calentamiento usan elementos de la edificación para coleccionar, almacenar y distribuir la energía captada, solar o de alguna otra fuente de calor. Un sistema pasivo e enfriamiento utiliza elementos de la edificación para almacenar y distribuir energía y cuando las condiciones del medio ambiente son adecuadas descarga calor a las partes más frías del exterior.

Herramientas para el diagnóstico del confort

La carta bioclimática de Víctor Olgyay (1963) fue la primera herramienta que nos ayuda a determinar los requerimientos de climatización y fue construida con la temperatura de bulbo seco como la ordenada y la humedad relativa como la abscisa. Cualquier condición climática determinada por su temperatura de bulbo seco y su humedad relativa puede ser graficada en la carta. Si el punto graficado cae dentro de la zona de confort, nosotros sentimos confort a la sombra. Si cae fuera, se necesitan métodos correctivos.

El uso de la carta es aplicable solamente a los habitantes de la zona templada de E.U. usando la ropa acostumbrada, realizando un trabajo sedentario o ligero, a no más de 1000 ft. s.n.m. Si aplicamos la carta a otras regiones de aproximadamente 40° de latitud, el perímetro más bajo de la zona de confort debe ser elevado $\frac{3}{4}$ de °F por cada 5° de latitud más baja. El perímetro superior debe ser elevado proporcionalmente, pero no sobre 29.5°C.

De esta carta fueron hechas posteriormente multitud de variantes (Olgyay 1967, Arens 1980, Szokolay 1984) y se incorporó el llamado Termopreferéndum (concepto acuñado por Humpreys y Auliciems y que varía según el lugar y la época del año en función de la temperatura media mensual).

Este concepto se expresa así:

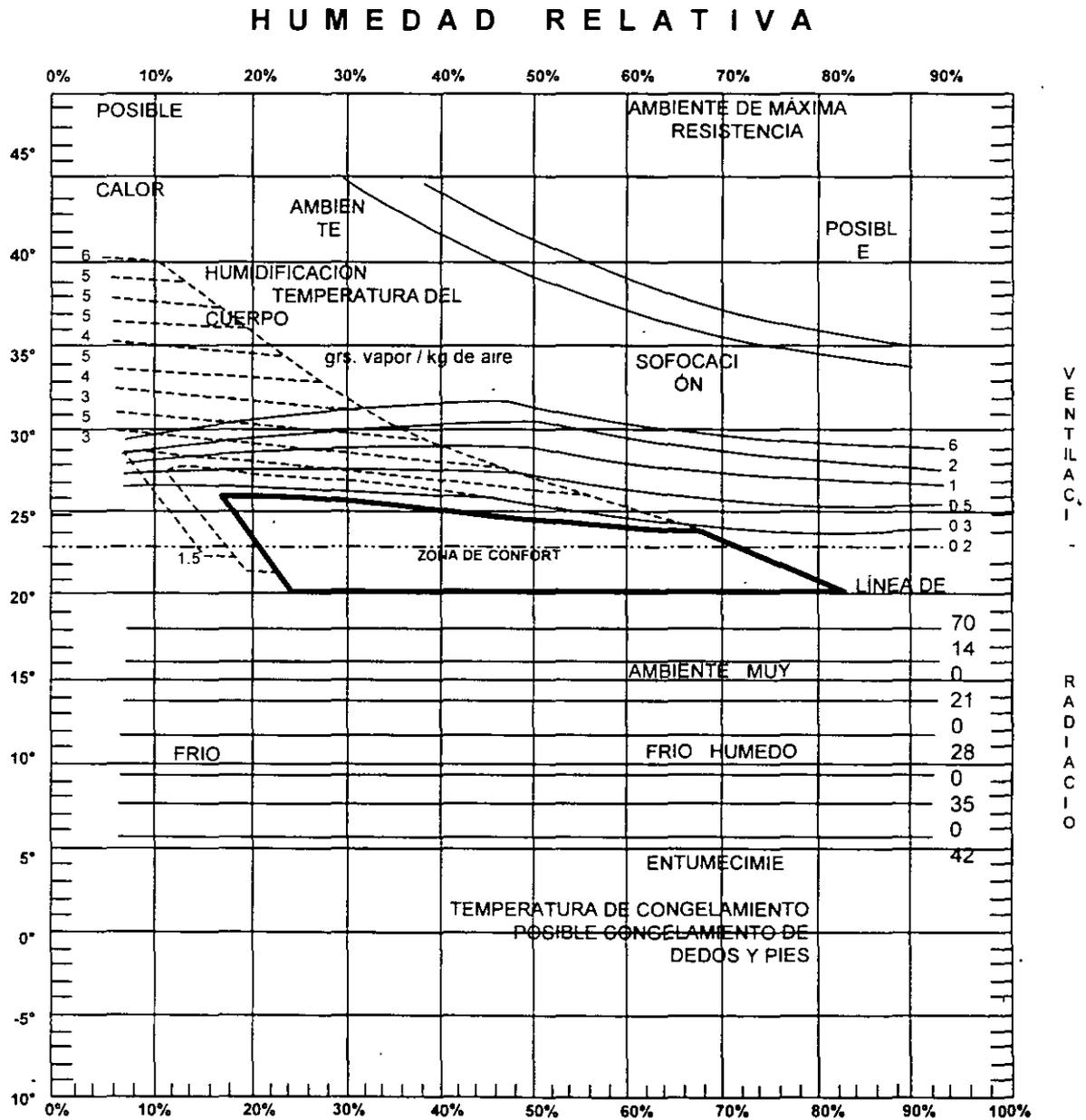
$$T_n = 17.6 + 0.31 (T_{amb}) \text{ en } ^\circ\text{C}$$

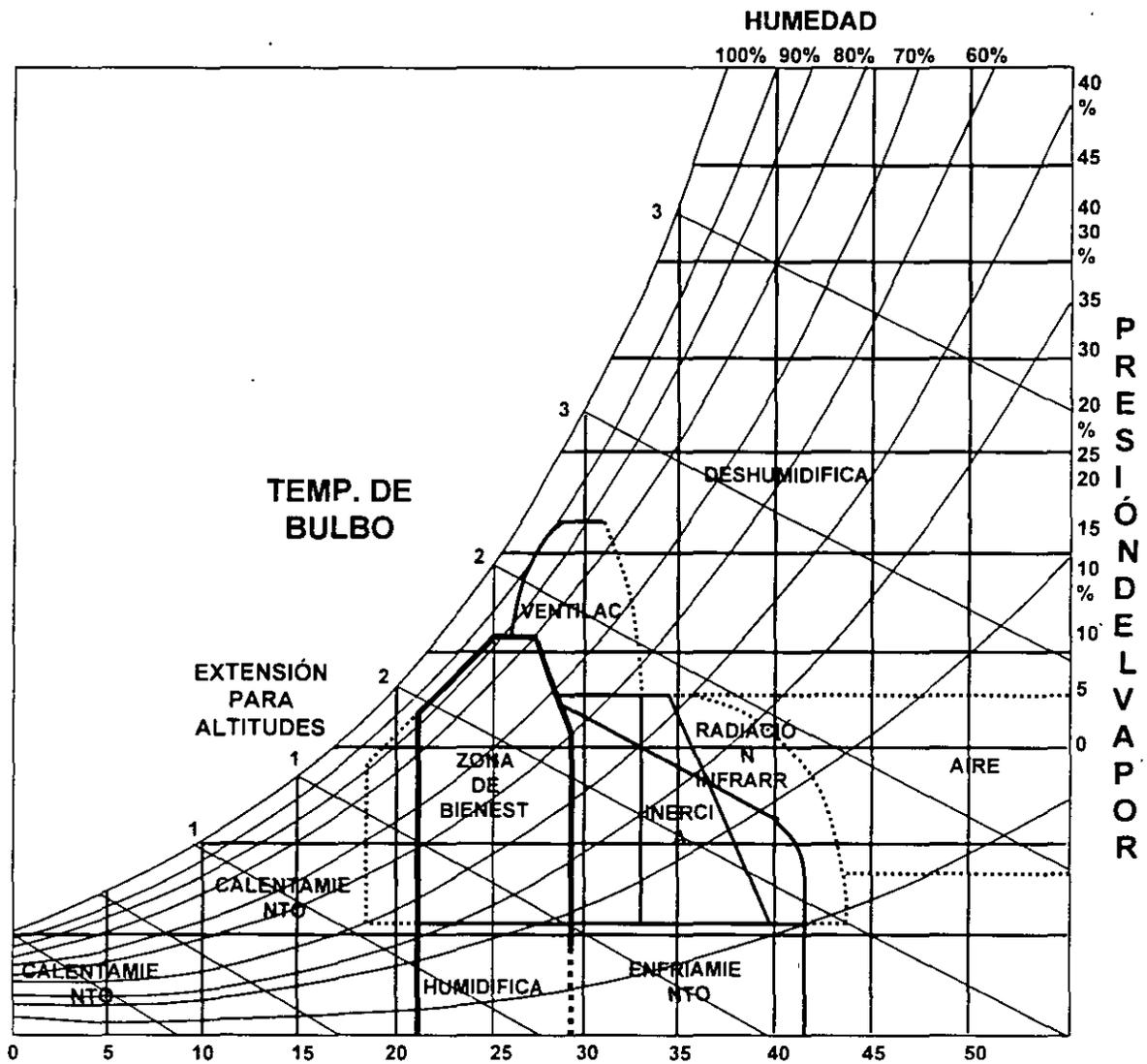
donde:

T_n es la temperatura de neutralidad

T_{amb} es la temperatura media mensual ambiente

Los límites de su aplicabilidad práctica (por efectos de la presión de vapor de agua) se fijan entre los 18.3°C y los 29.5°C de la temperatura de neutralidad, mientras que la zona de confort puede tomarse como ± 2.5 de esa misma temperatura.





Referencias

ASHRAE "Fundamentals Handbook", 1981.

Sámamo, D.A., Morales, D. y Morillón D., "Aspectos Bioclimáticos en el Diseño de la Edificación", Notas del Curso de Actualización en Energía Solar, CIE, IIM-UNAM, Temixco, Mor., mayo de 1998.

Morillón Gálvez David, Bioclimática, "Sistemas Pasivos de Climatización", Ed. Universidad de Guadalajara, 1993.

Guyton, A., "Tratado de Fisiología Médica", Editorial Interamericana, 5a. Edición. México.

Givoni, B., "Man, Climate and Architecture", Applied Science Pub., London.

Gómez, G., Recomendaciones de diseño bioclimático para la ciudad de Colima. Fac. de Arquitectura, Universidad de Colima, 1989.

Olgay, V., "Design With Climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism", Princeton University Press, New Jersey, 1973.

Hernández, E., Tejada, A., Atlas Solar de la República Mexicana, Universidad de Colima, 1991.

Tudela Fernando, Ecodiseño, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, D.F., 1982.

Brooks. C.E.P., "Climate in Everyday Life", Ernest Benn, London, 1950.

Olgay, V., "Bioclimatic Orientation Method for Buildings", Int. J. of Biomet., Vol. 11, No.2 pp. 163-174.

Fanger, P.O., "Thermal Comfort. Analysis and applications in Environmental Engineering", Danish Tech Press, Copenhagen.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

“Tres décadas de orgullosa excelencia” 1971 – 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE ENERGIAS
RENOVABLES**

MODULO IV: DISEÑO BIOCLIMATICO

TEMA

HELIOARQUITECTURA

**EXPOSITOR: ING. DAVID MORILLON GALVEZ
PALACIO DE MINERIA
MAYO DEL 2001**

Helioarquitectura¹

Dr. David Morillón Gálvez

Diagramas de soleamiento

Como es bien sabido, muchos problemas de discomfort y por tanto de dispendio energético a nivel doméstico, comercial o industrial, tienen su origen en una mala decisión en cuanto a la orientación del proyecto arquitectónico o urbano, tomada necesariamente desde las primeras etapas.

Desafortunadamente algunos profesionistas del diseño no recurren a los diagramas solares que les permitirían disponer de manera óptima las características espaciales, formales y materiales de sus proyectos, debido sobre todo a que tales diagramas, como herramientas que son, pueden presentarse en múltiples versiones o modalidades. Esto aumenta la confusión de los ya de por sí engorrosos métodos de proyección geométrica, y provoca que el diseñador prefiera omitirlos durante su trabajo cotidiano.

Aunque el trazado de tales gráficos se incluye en los planes de estudio de las escuelas de arquitectura, es muy triste reconocer que son muy pocos quienes saben construirlos, y menos aún quienes los entienden y los utilizan con frecuencia. Los siguientes párrafos pretenden dar una información básica al respecto.

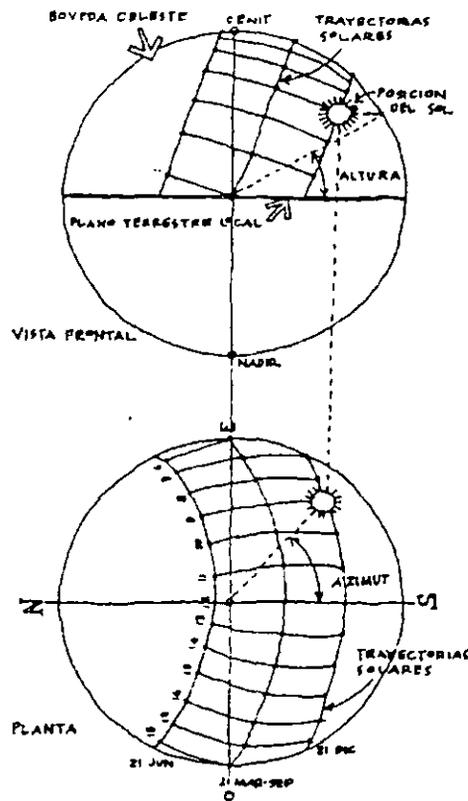
Cada línea de tales gráficos representa la proyección de la trayectoria aparente que seguirá el sol en un día en particular sobre el plano terrestre local. En el mismo se marcan puntos que representan las horas del día, así que el sistema completo presenta todas las trayectorias que sigue el sol en su movimiento aparente sobre nuestro plano de referencia durante el ciclo anual. Como a cada día le correspondería una línea, se dibuja sólo una por mes para evitar confusiones en su lectura.

En este sentido, la gráfica solar es una herramienta muy útil que permite a los diseñadores conocer las características geométricas del soleamiento en cualquier sitio sobre la tierra, y en cualquier momento del año. Estas características son básicamente dos:

¹ Tomado de Gómez Azpeitia, Gabriel. *Metodología para el Diseño Bioclimático*. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. México. 1990

ALTURA SOLAR (h), ángulo formado por el rayo solar y la proyección de éste sobre el plano horizontal del sitio, y

AZIMUT SOLAR (a), ángulo formado por la proyección del rayo solar en el plano horizontal del sitio y la intersección de este con el plano meridional o línea Norte-Sur, medido a partir de esta última, tanto desde el Sur como desde el Norte, de acuerdo al cuadrante en que se encuentre.



Gráfica solar

Como puede comprenderse, este sistema geométrico es cuatridimensional, pues además de las tres dimensiones espaciales, debemos agregarle una temporal, ya que el sol se mueve aparentemente sobre nosotros sin interrupción. El problema estriba entonces en obtener un instrumento que traduzca esta realidad cuatridimensional, a un lenguaje bidimensional que es el utilizado en nuestros proyectos arquitectónicos y urbanos. Este instrumento es precisamente la gráfica solar. Entonces toda la dificultad se reduce a proyectar sobre un plano, generalmente horizontal, los puntos que el sol va ocupando sobre la bóveda celeste a lo largo del año y del día en su aparente movimiento por sobre nuestras cabezas.

Aunque el conocimiento de tales características geométricas era evidentemente conocido desde la más remota antigüedad, como lo pueden atestiguar las construcciones ali-

neadas al sol y los astros en Stonehenge y Chichén Itzá, no es sino hasta la edad media en que se empieza a sistematizar el trazado de un tipo especial de gráficas solares: el astrolabio. Este artefacto, usado para determinar las coordenadas de los astros en la esfera celeste, debe su nombre a las palabras griegas *astron*: astro y *labe*: encontrar. Su invención se fecha alrededor de los años 200 y 100 A.C. y se atribuye a Hiparco de Alejandría, pero su uso generalizado, sobre todo aplicado a la navegación, es medieval, gracias principalmente a la obra de Ahmad Al-Fergani, sabio del siglo IX, que fundamenta la teoría de su trazado.

Durante el renacimiento se plantean sistemas un poco más concretos para el trazado de las trayectorias solares, como los que muestra con profusión la "Rudimenta Mathematica" de Basel, publicada en 1531. Ahí se observan las rutas solares tanto en representaciones planas como tridimensionales. No es sino hasta el siglo XVIII cuando se puede decir que el trazado de las gráficas solares alcanza su sistematización más acabada, como lo demuestra la construcción del observatorio de Taipur, en la India, en 1724. Por lo que respecta a occidente, es en 1794 que Gaspar Monge en la Escuela de Ingenieros Militares y luego en la Politécnica de París, establece los fundamentos de una nueva ciencia que posibilitaría el trazado de los diagramas solares: la geometría descriptiva. Sus alumnos Girard y Leroy desarrollan posteriormente los métodos para el trazado de cuadrantes y relojes solares.²

Sistemas de proyección

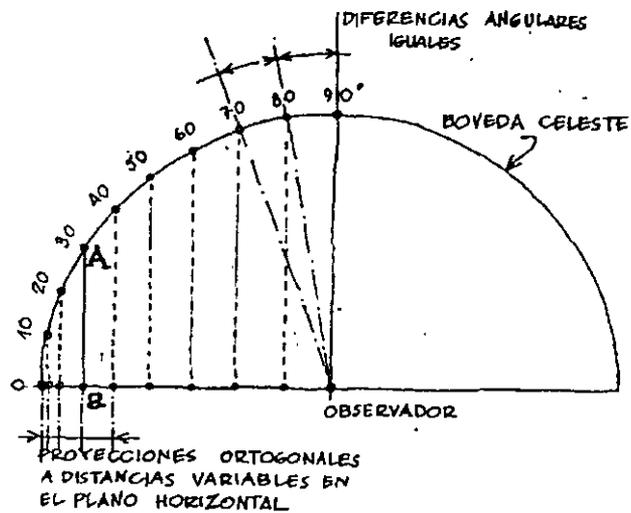
Como dijimos anteriormente, el problema de las gráficas solares es únicamente de proyección. Por lo tanto habrá tantos tipos de gráfica solar, como tipos de proyección planteé la geometría descriptiva. Los más usuales se pueden considerar los siguientes:

Sistema de proyección ortogonal.

Es el sistema clásico de la descriptiva. Todas las líneas de proyección son perpendiculares a la línea de tierra. Las trazas de dichas proyecciones sobre el plano horizontal del sitio definen las trayectorias solares aparentes sobre esa localidad. Su principal desventaja consiste en que las alturas solares muy cercanas al horizonte, tienden a aglomerarse en los extremos de la gráfica dificultando su lectura³. Este tipo de gráfica fue desarrollado en 1906 por Molesworth en *Obstruction to light* y ampliado por Waldram en 1933, ambos ingleses.

² Bertran de Quintana Miguel. *El sol en la mano*. Estudios de iluminación, orientación y relojes solares. UNAM, Escuela Nacional de Arquitectura.

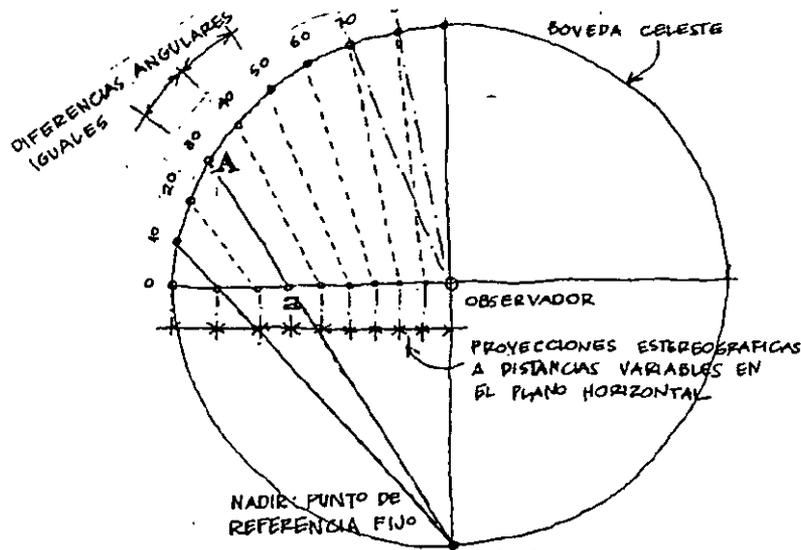
³ Watson, D. *Where the sun is: a brief review of solar geometry for architectural designers*. Proceedings of the second international PLEA Conference. Crete, Greece. 1983. Pergamon Press. pp. ~71 – 482



Sistema de proyección ortogonal.

Sistema de proyección estereográfica.

Este es uno de los métodos más usados en la actualidad, en el cual las proyecciones en vez de ser paralelas convergen a un solo punto, regularizando un poco más su lectura, aunque ahora las alturas cercanas al cenit. Tienden a juntarse al centro de la gráfica. Cuando el punto, de convergencia está contenido en la esfera que define la bóveda celeste (generalmente se usa el nadir), la proyección estereográfica es propia. Por el contrario, si el punto focal no se encuentra en dicha esfera (como por ejemplo el centro de la misma) la proyección estereográfica se considera impropia. Tal es el caso de la gráfica solar cilíndrica en que las proyecciones de los puntos solares convergen al centro de la esfera y se intersectan con un cilindro que envuelve a ésta. El desarrollo del cilindro es la gráfica buscada. Así también como el caso de los relojes solares, en que las proyecciones convergentes al centro de la esfera se intersectan con un plano horizontal.



Sistema de proyección estereográfica.

El procedimiento de la proyección cónica de figuras sobre un plano se usa en la geometría con mucha frecuencia. Para obtener la representación de un cuerpo cualquiera sobre un plano se debe elegir un punto en el espacio, llamado centro de proyección, foco o punto de fuga. A partir de cada uno de los puntos del cuerpo trazamos visuales o proyecciones convergentes al centro de proyección e intersectamos el plano referido. Las trazas ahí dejadas definen la representación buscada, que es la proyección de la figura sobre ese plano.

Hay sin embargo, un tipo de proyección muy singular, para la cual las circunferencias siempre aparecen en la imagen proyectada como circunferencias o líneas rectas. Tal proyección se obtiene únicamente si consideramos circunferencias situadas en una esfera, y solo si consideramos como centro de proyección a un punto contenido en esta misma. Se requiere además usar como plano de proyección cualquier plano que no pase por el centro de proyección.

La proyección de este tipo, llamada proyección estereográfica propia, es muy utilizada en diferentes ramas de las matemáticas, la astronomía, la cristalografía, la geografía, la arquitectura y la pintura, conocida en estas últimas como perspectiva esférica. El término "proyección estereográfica" fue impuesto en 1831 por el matemático alemán L.I. Magnus, a quien se le atribuye a veces el descubrimiento de esta notable proyección. El término se originó de las palabras griegas "estereon" cuerpo sólido y "grafe" descripción o dibujo, y pretende expresar el arte de proyectar los sólidos sobre un plano.⁴

⁴ Rosenfeld B.A y Sergeeva N.D. *Proyección estereográfica*. Lecciones populares de matemáticas. Editorial Mir. Moscu. 1977.

¿Pero cuales son esas propiedades que los matemáticos se han esforzado en demostrar y los artistas en mostrar? se reducen esencialmente a tres:

Las circunferencias pertenecientes a la esfera, al ser proyectadas sobre el plano de proyección, se representan como circunferencias: si las circunferencias situadas sobre la esfera pasan por el centro de proyección, se representan como rectas.

En la proyección estereográfica, los ángulos formados por las curvas de una esfera, son representadas por ángulos iguales, formados por las curvas proyectadas sobre el plano de proyección.

Cuando la esfera gira alrededor del diámetro que pasa por el polo, en el plano de proyección también tiene lugar el giro en un mismo ángulo, alrededor del punto donde se tocan el diámetro y el plano.

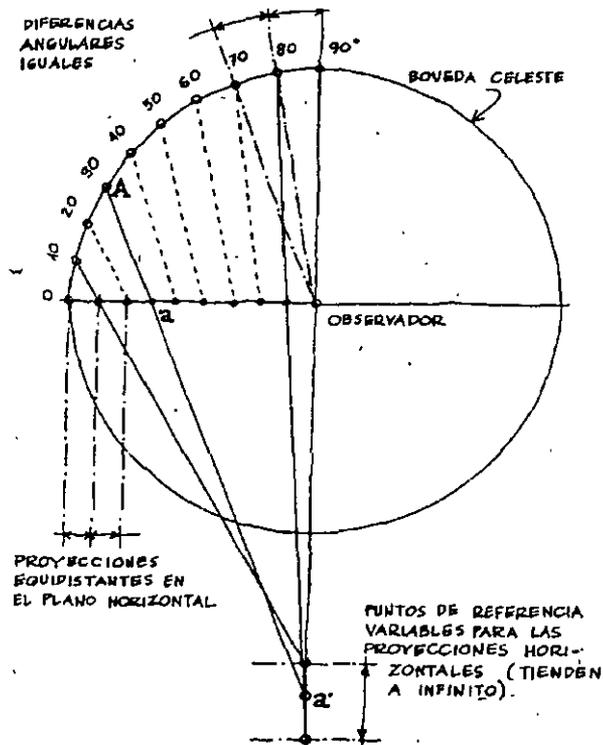
Estas propiedades hacen del método uno de los más convenientes para trazar las trayectorias aparentes del sol sobre nuestro horizonte. Su ventaja principal como ya se dijo antes es que regulariza las lecturas de la altitud solar, además de que las relaciones angulares contenidas en la bóveda celeste se expresan con igual valor en la representación bidimensional, pudiéndose aplicar cualquier giro de la bóveda, sin modificar las características del sistema.

Son varias las instituciones que desde la mitad del presente siglo utilizan y recomiendan el uso de diagramas solares obtenidos con este método, entre ellas están la *Australian Commonwealth Building Station*, la *Industrial Welfare Division of Australia* y *South African Building Institute*⁵. Asimismo se han publicado en el manual de G. Leepsmeier⁶ y en el de Koenisberger *et al*⁷.

⁵ Olgyay & Olgyay. *Solar control and shading devices*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 1957.

⁶ Lipsmeier, George. *Tropenbau. Building in the tropic*. Callway Verlag. Munchen. 1969.

⁷ Koenisberger O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew A., & Szokolay S.V. *viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial paraninfo. Madrid 1977.



Sistema de proyección equidistante.

Sistema de proyección equidistante.

Este es un método muy conveniente a mi juicio, ya que en él a diferencias angulares iguales corresponden distancias iguales en los puntos proyectados. Esto acarrea dos ventajas: Las medidas angulares al no deformarse, permiten el uso una escala constante facilitando las mediciones correspondientes. Las imágenes obtenidas con lentes fotográficas conocidas como "ojo de pescado" presentan deformaciones equidistantes, lo cual permite sobreponerles las rutas solares proyectadas con este método y conocer a simple vista que día y a que hora el sol permanecerá oculto tras el medio circundante (edificios, árboles, cerros etcétera), con referencia al punto desde donde se toma la fotografía.

La gran desventaja del sistema de protecciones equidistantes es el complicado procedimiento que lo origina, ya que sus líneas de proyección son variables y se dirigen cada una a diferente punto de convergencia. El trazado con base geométrica en consecuencia es un tanto engorroso. Sin embargo, con el auxilio de ecuaciones trigonométricas se pueden obtener los valores de altura y azimut solares, para luego localizarlos sobre un sistema de coordenadas equidistantes. La repetición de cuando menos dos ecuaciones por cada punto de la gráfica, hace al método fatigoso y vulnerable si se realiza a mano. Por eso se ha recurrido a la ayuda que ofrece la computación en la rápida solución de ecuaciones iterativas y en la graficación de tales funciones.

Un programa para graficar trayectorias solares según el método equidistante, desarrollado dentro de los ejercicios del posgrado en Diseño Bioclimático en la Universidad de Colima⁸, se compone básicamente de cuatro grandes secciones. La primera donde se despliega información acerca del mismo, se alimenta de datos geográficos y astronómicos y se dimensionan todas las matrices involucradas. La siguiente sección corresponde al cálculo de las trayectorias solares propiamente dicho y la tercera al cálculo de los husos horarios respectivos. En estas secciones también se grafican en pantalla las proyecciones equidistantes de tales trayectorias. La última sección se forma con rutinas de evaluación, en las que se alimenta de datos arquitectónicos particulares y se grafica la mascarilla de sombreado.

La parte más importante del programa es sin duda la que se refiere al despeje de las ecuaciones⁹ de altura (h):

$$\text{sen } h = (\text{sen } \delta * \text{sen } \varphi) + (\text{cos } \delta * \text{cos } \varphi * \text{cos } \omega)$$

y de azimut (a):

$$\text{sen } a = (\text{cos } \varphi * \text{sen } \omega) / \text{cos } h$$

en donde:

φ = Latitud del sitio, en grados.

δ = Declinación solar para el día en cuestión, en grados.

ω = Angulo horario, formado por la abertura entre el rayo solar y el plano meridional medido en el plano que contiene a la trayectoria solar, según lo cual las 12:00 Hrs. tienen un valor de 0, las 6:00 Hrs. un valor de 90 y las 18:00 Hrs. un valor de -90

Los datos que se requieren para trazar cualquier diagrama solar, son los siguientes:

- LATITUD DEL SITIO (φ). Expresado en grados y con la indicación si se refiere al hemisferio norte o al del sur.
- DECLINACION SOLAR (δ). Este dato se requiere cuando menos de un día por mes. La máxima oscilación de este concepto queda expresada por el valor de oblicuidad entre el plano del ecuador terrestre y el de la eclíptica, es decir -23.45 y 23.45. Las fechas en las que ocurre tal declinación corresponden a los solsticios, de invierno (21 de diciembre) y verano (21 de junio). Durante los equinoccios el valor de la declinación es 0. Para el resto de los días, el valor de la declinación se encuentra mediante la siguiente expresión:

$$d = 23.45 * \text{sen } (360 * (284 + n) / 365)$$

⁸ Gómez Azpeitia, Gabriel. *GRAFISOL, simulador solar para un diseño energéticamente racional*. En las Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar. ANES Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia. 1989. pp 139-143

⁹ Olgyay & Olgyay. 1957. Idem.

donde:

$n =$ el número ordinal del día, es decir, la i para el 1.º de enero es uno y la i para el 31 de diciembre es 365.

- LONGITUD DEL SITIO (LS). Como las lecturas que se hacen sobre la gráfica solar se expresan en términos de la hora solar, habrá que hacer correcciones, por longitud, ya que por conveniencias políticas y económicas se ha establecido una hora civil que o corresponde a la real. Esta se obtiene así:

$$dT = (LS - LA) * 4$$

donde:

dT es la diferencia en minutos en que se desvía la hora civil de la solar.

LS es la longitud del sitio,

LA es la longitud del meridiano que ha sido adoptado para regular el horario de determinada región.

4 es el número de minutos que tarda en girar la tierra un grado de longitud.

El valor así encontrado se suma algebraicamente a la hora solar para encontrar la hora civil en la que ocurren los datos de la gráfica solar.

- ECUACION DEL TIEMPO (ET). Además de la corrección por longitud también hay que considerar las diferencias de velocidad en el movimiento terrestre, por lo que algunos días son más cortos que otros. Para cada día del año habrá un valor en minutos que habrá que sumar o restar al valor determinado en el párrafo anterior, para llegar a una hora solar más exacta aun. Los valores de la ecuación del tiempo se obtienen en los anuarios astronómicos o bien mediante las siguientes ecuaciones¹⁰:

$$f = 360 (n - 81) / 364 \text{ (en grados)}$$

donde:

$n =$ número ordinal del día

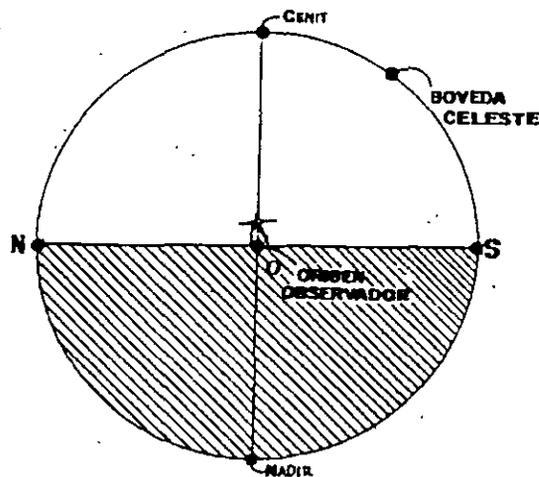
$$ET = 9.87 \text{ sen } (2f) - 7.53 \text{ cos } (f) - 1.5 \text{ sen } (f)$$

El valor de la ecuación del tiempo (ET) se sumará algebraicamente a la hora obtenida en el párrafo anterior para obtener la hora civil corregida con relación a las diferencias antes explicadas.

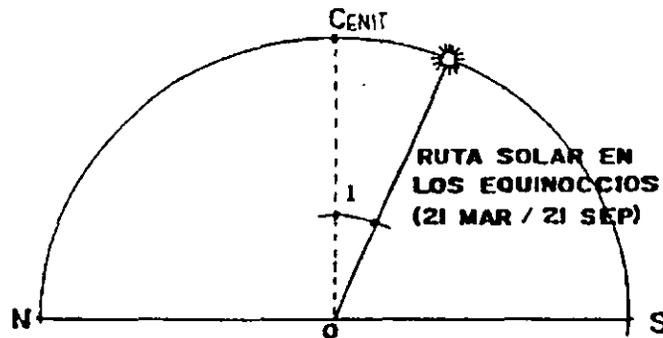
¹⁰ Duffie, John. *Solar engineering of thermal process*. A Wiley-interscience Publication. 1980. pp 7

Método gráfico

El método gráfico por su parte, ha sido descrito por Irving F. Hand en *Charts to obtain solar altitudes and azimuths* en 1948. Diagramas de este tipo se han producido y comercializado por Libbey-Owens-Ford Glass Co. con el título de *Sun angles calculator*¹¹. Para el trazado de las trayectorias solares y sus husos horarios, se proponen los siguientes diez pasos:

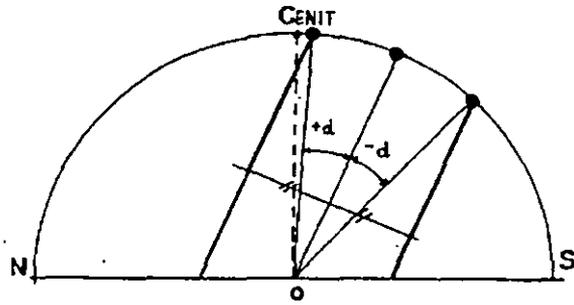


1. Se traza un círculo que representa la esfera celeste con centro en O, sitio del observador. La intersección superior del círculo con el eje vertical es el zenit, punto más alto sobre la cabeza del observador. El punto diametralmente opuesto es el nadir, punto más alejado a los pies del observador. Sobre el eje horizontal se marcan los puntos Norte y Sur.

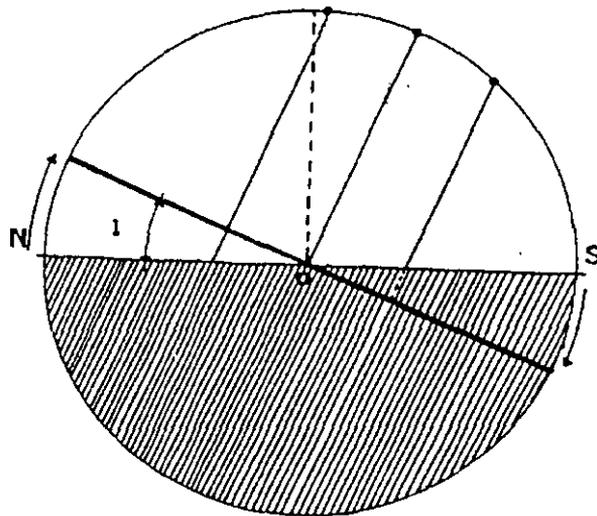


2. A partir del zenit y con centro en O se mide un ángulo igual a latitud del sitio. Si el hemisferio es norte se medirá hacia el sur, si es sureño es inclinará hacia el norte. Esta línea en realidad es un arco visto de canto y que representa la trayectoria solar en los equinoccios, su declinación es por tanto cero.

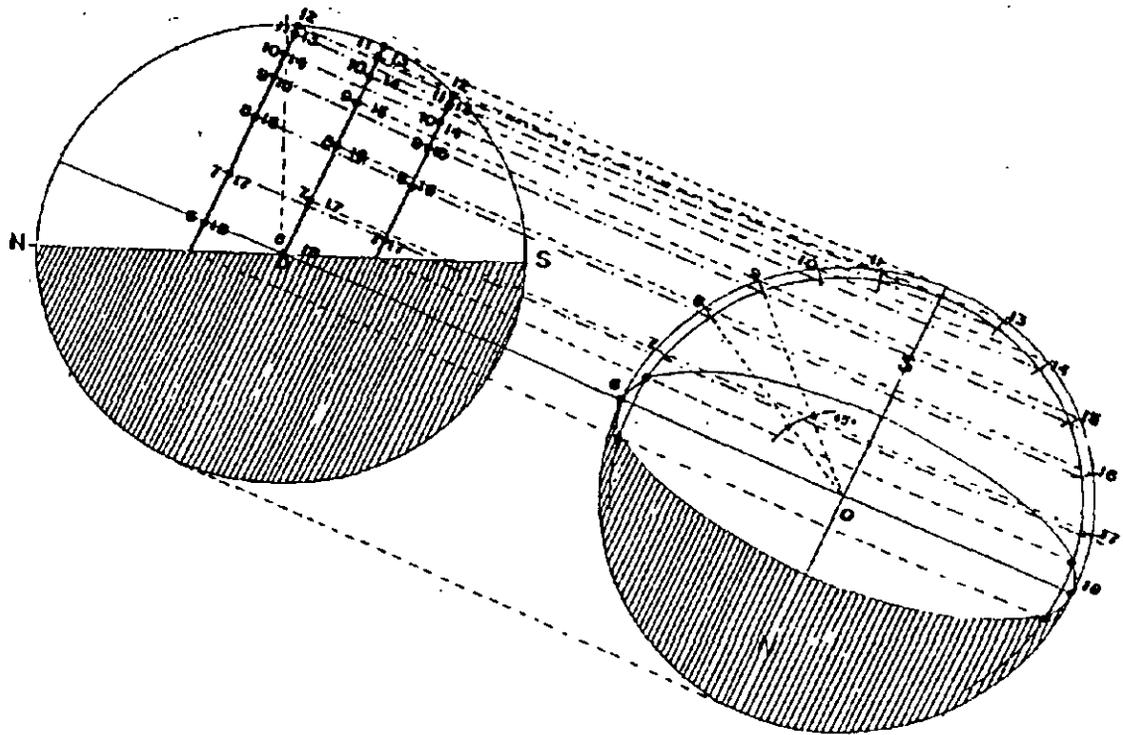
¹¹ Olgyay & Olgyay. 1957. Idem.



3. A partir del punto en que se intersecta el círculo con la trayectoria solar de los equinoccios (punto más alto del sol en esos días), se miden los ángulos de declinación solar el día en que se desea encontrar la trayectoria solar. Una vez encontrados dichos puntos sobre el círculo de la esfera celeste, a partir de ahí se trazan rectas paralelas a la correspondiente a los equinoccios. Esas serán las rutas solares de los días en cuestión.



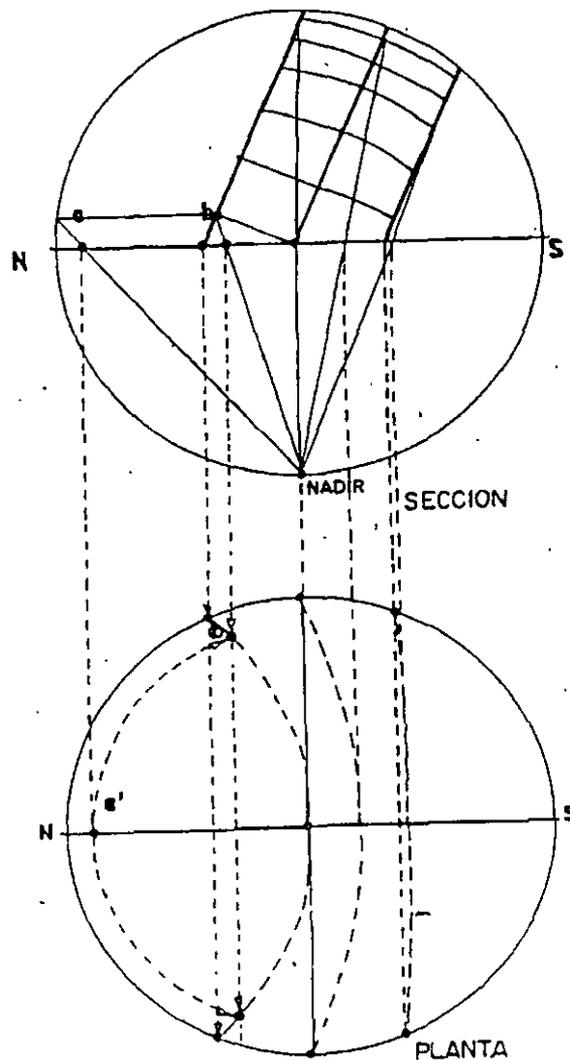
4. A fin de encontrar los husos horarios que definen la ubicación del sol sobre esas rutas a determinada hora, se abate el eje horizontal tantos grados como tenga la latitud. de tal manera que dicho eje quede perpendicular a la trayectoria equinoccial.
5. Con este nuevo sistema de referencia se construye una proyección ortográfica de perfil, de manera que las trayectorias se nos representen como arcos inscritos en la bóveda celeste. Como sabemos que la tierra tarda 24 horas en girar 360 grados sobre su propio eje, podemos dividir los arcos a cada 15 ($360/24$) y así encontrar los puntos en que el sol se encuentra a determinada hora en sus trayectorias. Devolver estos puntos a su proyección frontal, nos determinará los husos horarios con exactitud. El punto más alto del sol se logrará siempre a las 12 horas tiempo solar. El orto y el ocaso se hará siempre a las 6 y a las 18 horas durante los equinoccios, excepto en los polos.



Los pasos hasta aquí explicados son aplicables al trazado de la gráfica solar sea cual fuere el método de proyección a emplear. A partir de aquí se tendrá que optar por alguno de ellos. Si se desea una representación ortográfica lo que se obtendrá será la planta (o proyección horizontal) de la bóveda celeste. Si se opta por el método estereográfico o por el equidistante, lo que se obtendrá será la perspectiva (o proyección cónica o pseudo-cónica) de dicha bóveda. Y si se prefiere por el método estereográfico impropio se obtendrá la proyección cilíndrica o bien un reloj solar.

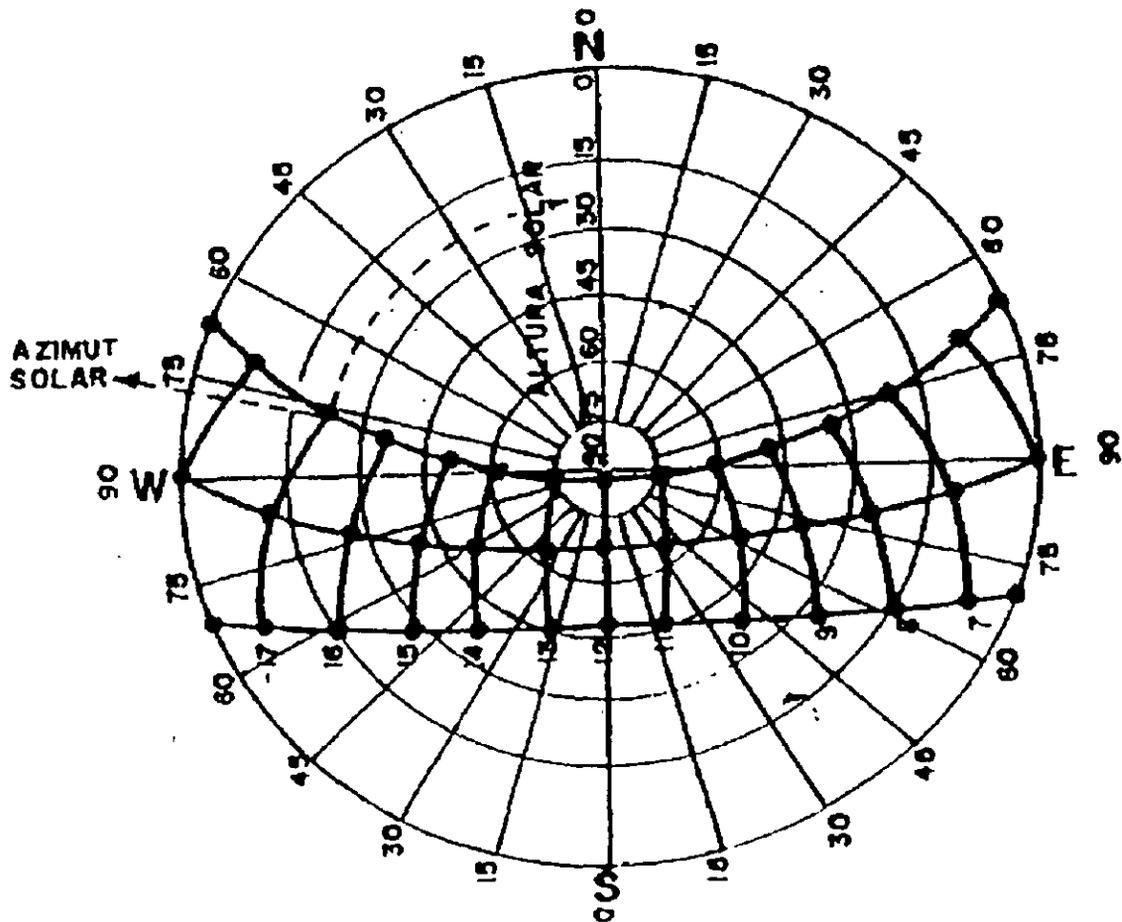
Siendo el método ortogonal muy conocido, pero poco propicio, y el equidistante muy complicado y disponible en software, ilustraré el trazado de las gráficas con el método estereográfico, correspondiendo a él los puntos siguientes.

6. El eje horizontal girado según la latitud, se devuelve a su posición inicial y será el plano en el que se encuentra inscrito el plano de proyección o de cuadro, en donde habrán de interceptarse las proyecciones generando la representación esperada. El punto de convergencia, de fuga o foco, es el nadir. Con esto quedan cabalmente satisfechas las exigencias geométricas que se requieren para la proyección estereográfica.
7. Se toma punto por punto de las trayectorias solares, los cuales serán proyectados al foco. El sitio en el que se intersecten con el plano de proyección se bajará ortogonalmente al círculo que representa ese mismo plano visto desde el nadir. En él se encuentran descritos los mismos puntos que en la imagen frontal.



8. Como la altura solar se expresa en términos de la diferencia angular del rayo solar con el piso, y la gran mayoría de los puntos que definen la trayectoria solar los vemos oblicuos en la representación frontal, es necesario conocer su magnitud real a fin de ubicarlos con precisión en la proyección estereográfica. Por tanto se abaten hasta quedar frontales, esto es inscritos en el plano meridional (el que contiene la línea norte-sur). Una vez girado el punto se proyecta al nadir. En el sitio que se intersecta con el plano de proyección se baja ortogonalmente hasta encontrar la línea norte-sur de la vista en perspectiva. Ahí, con centro en O , se traza un segmento de círculo hasta encontrar la línea previamente proyectada, (en otras palabras se devuelve el punto de la trayectoria al sitio original). El punto así encontrado representa la posición del sol a esa hora y ese día, según la proyección estereográfica.

9. Será cuestión de unir todos los puntos encontrados según el párrafo anterior para tener la representación completa de las trayectorias aparentes del sol sobre nuestro plano horizontal, construidas con el método de proyecciones estereográficas.



10. Dividir el círculo que representa la bóveda celeste en gajos y paralelos facilitará la lectura de los datos. Los gajos nos darán la lectura de los azimutes, con solo graduar el círculo exterior. Una recta que una el punto representante de la posición solar y el punto O, prolongado hasta el borde del círculo una vez graduado, nos dará la lectura exacta del azimut solar. En cambio, los paralelos o círculos concéntricos obtenidos también por el método estereográfico nos darán el valor de las alturas.

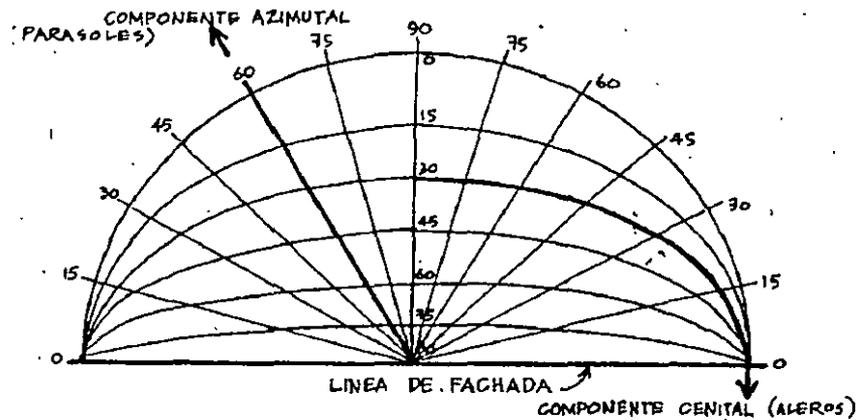
Los datos que en esta etapa nos dan los diagramas solares, son muy útiles para esbozar una hipótesis primitiva. Nos indican los días y las horas que recibirán sol directo los diferentes frentes del predio, así como la importancia de éste fenómeno en términos cuantitativos. Se podrá incluso proponer la orientación más adecuada de cada espacio o reconocer la necesidad de dispositivos de control solar en las orientaciones que así lo ameriten.

En suma, la información que los diagramas solares nos ofrecen a este nivel, son una base sólida para el análisis y propuestas subsiguientes, sin embargo, dado que las característi-

cas de soleamiento en un sitio en particular, se mantienen estables durante siglos (o más), esta indagación se requiere hacer sólo una vez en la vida (por cada sitio, insisto), así que debe ser lo más completa y precisa posible.

Mascarilla de sombreado

Para facilitar aún más el trabajo de los diseñadores, se adicionan también otros gráficos a manera de mascarillas transparentes.



Mascarilla de sombreado

El más utilizado, llamado de sombreado, nos ayuda a determinar la geometría de las obstrucciones al sol, tanto de la edificación misma (aleros y parasoles) como del entorno (otros edificios, árboles, cerros, etc.). Como lo que nos interesa determinar es el soleamiento sobre las fachadas, los datos del gráfico se expresan en términos relativos a ésta. Esto se logra mediante dos recursos, las alturas relativas del obstáculo y su azimut, también relativo. Así podemos obtener del gráfico las dos componentes, la azimutal, radialmente y con referencia a la perpendicular a la fachada, y la co-cenital por medio de curvas que representan valores iguales de altura con respecto al suelo. El resultado de estas obstrucciones nos indica el espacio de la bóveda celeste que queda limpio, si pasa por ahí algún segmento de cualquier ruta solar, esa será la fecha y hora en que nuestra fachada recibirá soleamiento directo. Esto responde al modelo siguiente¹²:

$$\tan p = \tan h / a_0$$

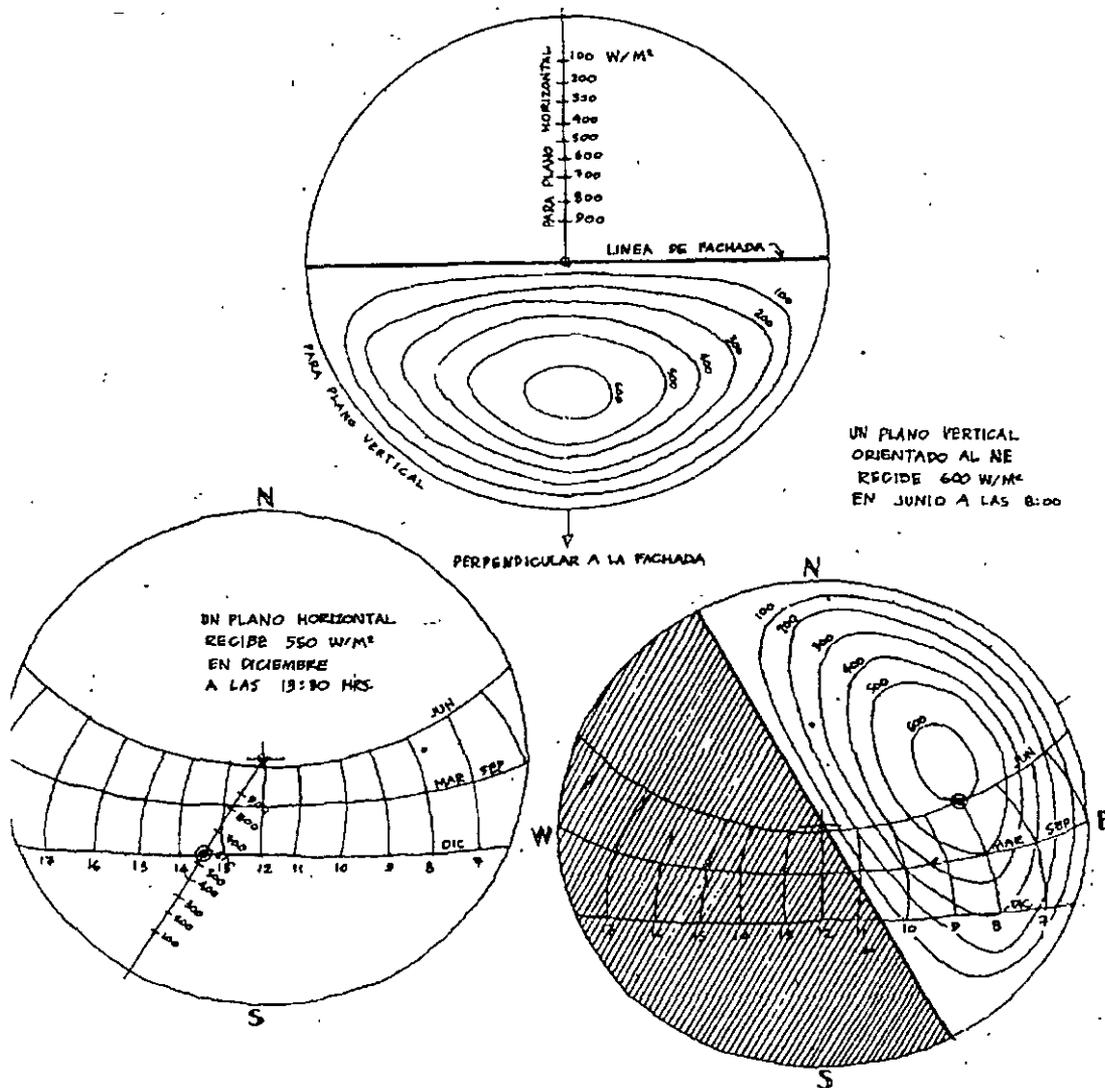
En donde:

p es la altura aparente de la obstrucción, relativa a la fachada.

h es la altura real de la obstrucción.

a₀ es el ángulo de desviación azimutal con respecto a la perpendicular a la fachada.

¹² ASHRAE *Handbook of fundamentals*. 1977. chapter 22. pp 406



Mascarillas de radiación

A su vez, el gráfico ofrece también la posibilidad de conocer la irradiancia sobre el plano horizontal mediante un radio graduado con los valores respectivos. Sobreponer tal radio sobre el punto de la gráfica que nos interesa nos dará la información de irradiancia para ese instante.

Aunque el método gráfico es suficientemente explicado por Olgyay¹³, no se aclara ahí con precisión de donde se obtiene. En primer lugar tales gráficos son aproximados, puesto que en realidad se requiere una por día del año, ya que la radiación varía a lo largo del mismo. Así mismo interviene la nubosidad y transparencia de la atmósfera en el sitio. Por lo tanto se asume que tales gráficos son válidos para días despejados, a la altura del nivel del mar y con una intensidad promedio igual a la constante solar extraterrestre: 1353

¹³ Olgyay, Victor. Op. cit. pp.35-38

w / m²

Radiación solar

Irradiancia sobre diversos planos

Si requerimos mayor precisión en tales datos, la podemos alcanzar por medios analíticos. Para determinar la irradiancia extraterrestre sobre un plano horizontal¹⁴ (I'c en w/m²):

$$I'c = 1353 (1 + 0.033 \cos (360 n / 365))$$

donde n = día ordinal del año.

Para calcular la masa de aire¹⁵ (m), para alturas solares mayores d 30°:

$$m = 1 / \text{sen } h$$

y para alturas solares menores de 30°

$$m = 614 / \sqrt{(1.229 + (\text{sen } h * 614)^2)}$$

donde h es la altura solar en grados.

Para calcular la transmitancia media de la atmósfera¹⁶ (zatm):

$$\text{zatm} = 0.5 (e^{0.65 m} + e^{-0.095 m})$$

Para obtener (por fin) la irradiancia instantánea sobre un plano horizontal¹⁷ (I_o):

$$I_o = I'c \text{ sen } h \text{ zatm}$$

Y para la irradiancia instantánea sobre un plano vertical¹⁸ (I_{v0}):

$$\cos \theta = (\cos h * \cos a_o * \text{sen } i) + (\text{sen } h * \cos i)$$

donde h es la altura solar

i es la inclinación del plano (vertical = 90 grados)

a_o es el ángulo azimutal del plano, formado por la normal al mismo y el meridiano local, medido desde el sur: al este negativo, al oeste positivo

¹⁴ Duffie, John Loc. cit.

¹⁵ Manrique, José A. *Energía solar*. Fundamentos y aplicaciones fototérmicas. Harla/Harper & Row Latinoamericana. México. 1984. Pp. 7

¹⁶ Manrique. Ob cit. pp. 8

¹⁷ Duffie. Ob cit. pp 22 y 63

¹⁸ Duffie. Ob. cit. pp 11

$$I_{vo} = I_o [\cos \theta / \sin h]^{19}$$

Radiación diaria global

Además de los datos de irradiancia instantánea, es necesario para el cálculo del balance térmico la integración de los anteriores valores durante el día, esto es, la radiación diaria global. Para ello, también se deben obtener primeramente los datos de la radiación extraterrestre, para luego aplicar factores de reducción atmosférica²⁰.

Para la constante solar diaria extraterrestre sobre un plano horizontal (H_o en w/m^2 día):

$$H_o = (24/\pi) I'c (\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_1 + \omega_1 \sin \varphi \sin \delta)$$

donde ω_1 el ángulo horario se expresa en radianes y se calcula:

$$\cos \omega_1 = -\tan \varphi \tan \delta$$

Sobre un plano vertical orientado al sur (H_{vs}):

$$H_{vs} = (24/\pi) I'c (\cos \delta \sin \varphi \sin \omega_2 - \omega_2 \sin \delta \cos \varphi)$$

donde ω_2 el ángulo horario se expresa en radianes, y se calcula así:

$$\cos \omega_2 = \tan \delta \cot \varphi$$

sólo si la declinación es positiva y menor que la latitud. En caso de que la d sea negativa, w se calcula de acuerdo al punto anterior, pero si es mayor que la latitud, entonces no hay soleamiento sobre la cara sur del plano.

Sobre plano vertical orientado al norte (H_{vn}):

$$H_{vn} = (24/\pi) I'c [(\omega_2 - \omega_1) \sin \delta \cos \varphi + (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \cos \delta \sin \varphi]$$

Donde las restas de los ángulos horarios w_1 y w_2 y la resta de sus respectivos senos, sólo se harán si la declinación es positiva y menor que la latitud. Si la d es negativa, entonces no hay radiación sobre la cara norte del plano. Si la d es mayor que la latitud, entonces tales restas se sustituyen por los valores en radianes de w_1 y $\sin w_1$.

Sobre plano vertical orientado al este o al oeste (H_{veo}):

$$H_{veo} = (12/\pi) I'c [\cos \delta - (\cos \delta \cos \omega_1)]$$

¹⁹ Duffie. ob. cit. pp 17

²⁰ Duffie. Ob. cit. pp 22

Para obtener los valores que realmente nos llegan a la superficie terrestre, existe una gran disparidad de modelos, todos ellos discutibles. De hecho mientras no se hagan mediciones lo suficientemente numerosas de la radiación solar, no se podrá. Contar con un modelo confiable. De manera preliminar y con las agravantes antedichas, propongo el modelo de Armstrong, que relaciona las horas de sol que realmente se dan en un sitio, con las horas teóricas que debían presentarse ahí, y los valores de radiación extraterrestre. Este modelo responde a una regresión estadística de datos observados, de la cual se obtuvieron unas constantes, que no se han ajustado a la realidad de todos los sitios del planeta. Otros autores han presentado variantes del mismo modelo, como el caso de Glover – McCulloch que relaciona también la latitud²¹:

$$IG = H [(a \cos \varphi) + (b \text{ ns/NS })]$$

donde IG es la radiación diaria global en w/m² día

H es el valor de la radiación extraterrestre

a es una constante = .29

φ es la latitud del sitio

b es otra constante = .52

ns es el numero de horas reales de sol

NS es el numero de horas teóricas de sol = $2 w_1 / 15$

En México, desgraciadamente no hay suficientes mediciones de la radiación solar, por lo que no estoy en posibilidad de proponer este modelo como definitivo. Por otra parte, las Normales Climatológicas de la SARH, no publican las horas reales de insolación de todos los sitios, por lo que me permito proponer que se sustituya el valor relativo de heliofanía (ns/NS) por la fracción mensual de nubosidad:

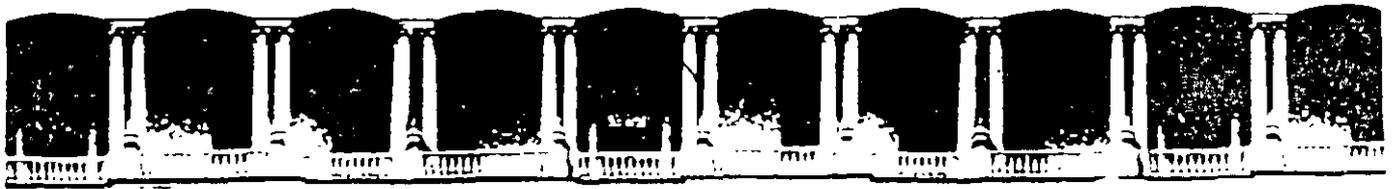
$$FMN = (1/2 \text{ DMN }) + DD / DM$$

donde DMN, son los días medio nublados al mes

DD son los días despejados al mes

DM, es el numero de días que tiene el mes en cuestión.

²¹ Glover, J. y McCulloch, J. S. G. *The empirical relationship between solar radiation and hours of bright sunshine*. Q. J. of the Royal Meteorological Society, 84, 56. Citado por: Koenisberger G.H., et aliter. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Editorial Paraninfo. Madrid. pp. 289



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 – 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE ENERGIAS
RENOVABLES**

MODULO IV: DISEÑO BIOCLIMATICO

TEMA

SISTEMAS PASIVOS

**EXPOSITOR: ING. DAVID MORILLON GALVEZ
PALACIO DE MINERIA
MAYO DEL 2001**

Sistemas pasivos

Dr. David Morillón Gálvez

Introducción

Los sistemas de climatización, por sus características, se han denominado, entre otros: sistemas pasivos, cuasipasivos, activos, híbridos, naturales, de autoclimatización, entre otros.

Existen varias definiciones acerca de lo que es un sistema pasivo. En sí, el término *pasivo* se empezó aplicar hace sólo unos cuantos años a aquellos sistemas de climatización ambiental que, en contraste con los complejos y sofisticados equipos de aire acondicionado o calefacción modernos, resultaban muy simples, tanto en concepto como en funcionamiento y mantenimiento; de hecho tratan de ser lo menos dependiente posible de equipos auxiliares convencionales de apoyo (bombas, ventiladores, condensadores), siendo, en la mayoría de los casos, totalmente independientes de éstos. En consecuencia, los sistemas pasivos de climatización se caracterizan por su mínima dependencia de energéticos convencionales, tales como combustibles fósiles y electricidad, contribuyendo de manera contundente al ahorro y uso eficiente de los recursos no renovables.

Los sistemas pasivos se caracterizan por formar parte de la estructura misma de la edificación, aunque acoplados de tal manera a las características del medio ambiente, que pueden captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre autorregulable, según el proceso de climatización implicado.

Para la clasificación de los sistemas pasivos de climatización se consideran tres aspectos:

- Configuración estructura
- Genero
- Requerimientos de climatización

La clasificación por requerimientos de climatización se desarrollara en los siguientes apartados, consistente en:

- Control Térmico
 - Calentamiento
 - Enfriamiento
- Control de humedad

- Humidificación
- Deshumidificación
- Arquitectura del paisaje
- Ecotecnologías
- Iluminación natural

Control térmico

Cuando se refiere al control térmico se debe tener presente las necesidades de calentamiento e enfriamiento mediante los sistemas pasivos.

Llegar a controlar el calentamiento de un espacio implica el control de los siguientes elementos:

- El espacio que va a ser calentado
- Un colector, donde la radiación solar sea admitida dentro del sistema y convertida a calor por una superficie absorbadora (este puede ser solo la envolvente de la edificación). En la mayor parte de los casos, el sol es la fuente de calor
- Un almacén de calor, (que puede ser la capacidad de almacenamiento térmico de la masa en la edificación) para suplir de calor al edificio en el periodo en el que no esta disponible la fuente

Los posibles intercambios de energía durante el funcionamiento del sistema existen entre:

- La fuente de calor y el almacén
- La fuente de calor y el espacio
- El almacén y el espacio

Lo que habrá que calcular, es la dimensión de estos dispositivos, para que la interacción entre los tres elementos, de como resultado que en el microclima interior generado por el edificio, se presenten las condiciones de comodidad durante todo el día.

Un sistema pasivo de enfriamiento del espacio contiene los siguientes elementos:

- Un espacio que va a ser enfriado
- Un enfriador o sumidero de calor, (cielo, atmósfera, o suelo), hacia el cual el calor se descargue

- Un almacén térmico, (que puede ser la capacidad de almacenamiento térmico de la masa en la edificación) para enfriar el interior del edificio, en el periodo en el que el sumidero de calor no está presente

Los posibles intercambios de energía existen entre:

- El enfriador y el almacén
- El enfriador y el espacio
- El almacén y el espacio

De manera similar, los sistemas pasivos de calentamiento y enfriamiento, habrá que dimensionar los dispositivos seleccionados.

Cuando no es posible obtener condiciones de comodidad con el uso de las técnicas antes descritas, el auxilio de equipo mecánico aumenta el flujo natural de energía en el monto y dirección deseada, y en el momento conveniente; y cuando el costo y la energía de operación de éstos equipos se justifiquen en un mejor funcionamiento del sistema.

En contraparte con los sistemas pasivos que pretenden utilizar solo el medio ambiente como recurso, existen edificios equipados con sistemas mecánicos completos, de los cuales se depende para que en el interior del mismo se obtengan las condiciones de comodidad. Estos últimos son llamados sistemas activos.

El término "pasivo" y el término "activo" en los sistemas de climatización, representan los extremos en el empleo de sistemas mecánicos.

También puede existir una mezcla de equipos activos y dispositivos pasivos, que formará un sistema llamado híbrido.

En los climas extremos, donde no es posible obtener soluciones totalmente pasivas, la solución híbrida, es la más económica en equipo, y en operación, y generalmente, de mayor calidad en la comodidad.

Calentamiento

El calentamiento en un sistema pasivo implica el aprovechamiento de una fuente de energía que pueda proveer el calor necesario. Esta fuente puede ser cualquiera que se tenga presente en la localidad de la construcción, por ejemplo geotérmica o solar. Dado que el caso común de fuente de calentamiento es el sol, se tratará a continuación con este caso.

Existen dos factores particularmente importantes que deben ser considerados para cualquier esquema de caracterización de un sistema pasivo de calentamiento:

I) Las características de la apertura de colección de la radiación solar, tomando en cuenta:

- Orientación de las fachadas, e inclinación de la incidencia solar con la vertical
- La localización relativa para con el resto de la estructura de la edificación

II) El método en que se está entregando la energía, tomando en cuenta el espacio acondicionado:

- Mecanismos de transporte de energía
- Graduación esencial del control térmico

III) Características de la apertura de colección:

- Se necesita conocer la trayectoria del sol, para estimar con exactitud el valor de la ganancia de la radiación solar, sobre superficies horizontales y verticales, y así determinar la posición óptima de las aperturas de colección
- Se sabe que el movimiento aparente del sol en la bóveda celeste, a lo largo del día describe un arco, con un punto máximo al medio día, y, por la inclinación del eje terrestre, al paso de las estaciones, el lugar del alba y el ocaso se desplaza hacia el norte en el verano, y hacia el sur en el invierno
- Se puede estimar la cantidad de radiación solar, sea esta difusa o directa, sobre un plano que este sobre la superficie de la tierra y que presente una cierta inclinación, por medio de relaciones geométricas y ángulos en función de la orientación relativa a la tierra y al sol.

Para localidades al norte del ecuador, y encima de los trópicos, el aprovechamiento del sol de invierno se lleva a cabo colocando ventanales en la fachada sur, recibiendo éstos los rayos solares durante la mayor parte del día. Así se obtiene una máxima ganancia de calor. Además se puede evitar, en verano la entrada directa de la radiación solar (debido a la inclinación con que incide sobre la superficie en esa época del año), colocando elementos sombreadores sobre las ventanas.

Ahora bien, si se toma en cuenta que el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre las fachadas sur, (para propósitos de transmisión de la radiación solar) no es favorable en verano: sería factible colocar vidrios en posición horizontal para obtener así un mayor flujo de calor hacia el interior. Flujo que podrá ser regulado por medio de aislantes móviles que permitan el paso de la radiación en invierno y en verano la obstruyan. Para ello las

superficies receptoras podrían ser la pared sur y/o el techo; utilizando por ejemplo el techo cuando la superficie sur este obstruida (sombras de edificios aledaños) o que la orientación del edificio este restringida. Para localidades en el hemisferio norte cercanas al ecuador, aún en invierno, el techo es la mejor superficie receptora.

También se puede tener una superficie colectora que está alejada de la envolvente propia de la edificación, que tendrá la ventaja de proporcionar un área de colección adicional, y así poder suplementar la energía colectada a través de la misma.

Las combinaciones ventajosas de la orientación y localización de las aperturas, para un sistema pasivo e calentamiento.

II) Método de la energía entregada:

La manera en que la energía es entregada tiene un profundo impacto en el grado de uniformidad térmica tanto en espacio como en tiempo requerido en el espacio por acondicionar.

A continuación se dan tres categorías de sistemas pasivos de calentamiento, basados en el método de la energía entregada para el espacio:

- Calentamiento directo: La radiación solar es admitida directamente en el espacio, donde es convertida en calor por absorción en las superficies internas y sobre el contenido del espacio. La temperatura del aire en el espacio "oscila" debido a las superficies absorbentes y/o el almacenamiento térmico.
- Calentamiento indirecto: La radiación solar es convertida en calor por absorción en una superficie externa al espacio. El contenido del espacio no está expuesto a la radiación directa del sol, la temperatura del aire en el espacio "oscila" debido al absorber y/o el almacenamiento térmico.
- Calentamiento aislado: La radiación solar es convertida a calor por absorción en una superficie externa al espacio. El contenido del espacio no está expuesto a la radiación directa del sol, la temperatura del aire en el espacio puede regularse independientemente del absorber y/o el almacenamiento térmico.

En algunas ocasiones la combinación de los tres sistemas son de considerable importancia. Varias combinaciones de localización de aperturas y mecanismo para transferir energía hacia el espacio de ningún modo agotan la lista de posibilidades.

La clasificación, se dificulta grandemente cuando se trata de edificaciones de varios pisos. En estos casos, los procesos de transmisión se complican, o bien en situaciones donde los procesos industriales requieran de rangos de alta ventilación. Por lo tanto serán más

apropiados los esquemas híbridos que involucren asistencia mecánica en la transferencia de calor.

Enfriamiento

El enfriamiento involucra la descarga de energía por acoplamiento selectivo del sistema, con las partes más frías del medio ambiente, buscando que ese flujo de energía se da por mecanismos naturales. Los posibles enfriadores o sumideros de calor del medio ambiente son: el cielo, la atmósfera y el suelo.

En el enfriamiento al cielo, la radiación del sistema pasa a través de la atmósfera y se disipa al espacio exterior.

El enfriamiento radiactivo al cielo funciona bien en condiciones ambientales que presentan cielos claros, y tiene el potencial de enfriar el sistema por debajo de la temperatura del aire ambiente. El límite primario para este tipo de enfriamiento lo fija la ganancia de calor convectiva y radiativa proveniente de la atmósfera circunvecina.

La energía del sistema puede también ser descargada a la atmósfera durante aquellos momentos cuando las condiciones del ambiente son favorables para tal intercambio. El calor puede ser disipado por una elevación de la energía de calor sensible del aire circunvecino (por ejemplo el aire frío de la noche) o por elevación de la energía de calor latente (por ejemplo el enfriamiento evaporativo). En cada caso, la transferencia de energía al aire puede ser mejorada por el movimiento del aire. El manejo de la energía para este movimiento puede provenir del viento, utilizando turbinas eólicas o mecánicas convectivas especiales. En climas secos, se tiene enfriamiento por radiación al cielo, para reducir la temperatura del sistema, así como buen enfriamiento por calor sensible y evaporativo al aire ambiente. Los climas húmedos dificultan ambos mecanismos y solo tienen disponible, el enfriamiento cuando el aire es más frío.

Cuando las temperaturas del suelo son considerablemente más bajas que la temperatura del aire del medio ambiente, este medio puede ser utilizado para remover una fracción de la carga de enfriamiento normal. Sin embargo, en general en México no se da este fenómeno y no se puede aprovechar en la mayor parte del territorio nacional éste sumidero de calor.

Análogo a los procesos de calentamiento, a continuación se da una clasificación de los procesos de enfriamiento directo, indirecto o aislado:

- **Enfriamiento directo:** Ocurre cuando las superficies y el contenido del espacio están expuestos directamente al (los) medio(s) de enfriamiento del ambiente (sumideros).
- **Enfriamiento indirecto:** Ocurre cuando el espacio es enfriado por transferencia de calor hacia una superficie que a su vez, esté siendo enfriada directamente por exposición al (los)

sumidero(s) de energía del ambiente, o que ha sido enfriada en otro momento, pero su capacidad de almacenamiento térmico, le permite seguir enfriando el espacio.

- Enfriamiento aislado: Ocurre cuando el espacio es enfriado por un fluido que controla la transferencia de calor entre la superficie enfriada por él (los) sumidero (s) de calor, o el almacén térmico, que ha sido enfriado en otro momento por intercambio con la superficie enfriada por el ambiente.

Una muestra representativa de las combinaciones de los sumideros de energía térmica del medio ambiente y mecánico para transferir energía del espacio ocupado. Estas combinaciones de ningún modo agotan la lista de posibilidades. Se debe prestar interés en los sistemas cuyos elementos puedan servir tanto al calentamiento como al enfriamiento. Generalmente, un almacén de calor sirve para fines de calentamiento o enfriamiento.

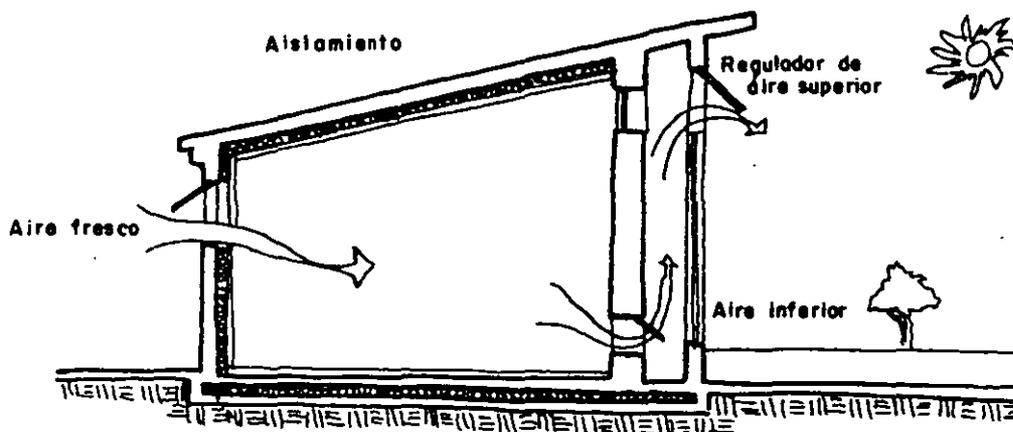


Figura 1 Pared Trombe para enfriamiento (ventilación inducida).

Otro recurso clima cálido, es la ventilación. En este caso, el movimiento del aire no se usa para enfriar la estructura solamente, sino que la función principal es la de aumentar la descarga de calor del cuerpo humano. Por lo que el diseño de las aperturas (ventanas) para proveer de viento el interior del edificio debe hacerse fijando la atención en que las corrientes de aire incidan sobre los ocupantes y no solamente sobre las estructuras.

Es el diseño de un sistema de ventanas para un sistema de ventilación se pueden identificar cuatro pasos.

Primero, es importante tener una clara imagen del rango direccional del viento en el lugar, durante todo el ciclo anual. Segundo, es necesario hacer una determinación de las

necesidades de enfriamiento por ventilación (diurno y estacional) para el confort térmico. Tercero, es necesario evaluar el resguardo de las estructuras o topografías vecinas que alteren el flujo del viento, tanto en magnitud como en dirección. Y cuarto, es vital escoger un sistema de ventanas cuyas características funcionales correspondan tanto al viento como a la comodidad térmica requerida.

Los sistemas de ventanas son para tomar una máxima ventaja del poder de ventilación, y no necesariamente en la respuesta direccional máxima proporcionando la mayor efectividad bajo condiciones habituales en las que los cambios de dirección del viento estén sobre ciertos rangos de direcciones en una base horaria, diaria o estacional.

Para un óptimo enfriamiento por ventilación, se requiere un área efectiva suficiente, tanto para la entrada como para la salida del aire, con la entrada localizada en una zona de presión positiva y la salida en una zona de presión negativa.

Se deberá procurar siempre una ventilación cruzada para incrementar la convección sobre los ocupantes y proveer una mayor comodidad de los mismos.

Los cuartos que solo cuentan con apertura de entrada, muestran que en vientos oblicuos y normales, ésta funciona como ambas (parte como entrada y parte como salida). Los tamaños de las ventanas no son determinados por la ventilación solamente, sino que también se tienen que tomar en cuenta otros factores arquitectónicos como iluminación, privacidad, seguridad y control a la radiación solar. Aunque es posible separar aperturas que solo sirvan para iluminación (ventanas) y aperturas que solo sirvan para ventilación (ventilas).

Una cuestión importante en ventilación es como distribuir el área disponible para ventana. Un parámetro importante en cuanto a esto es la distribución relativa de áreas para entradas y salidas. Es recomendable colocar ventanas corredizas, las cuales presentarán una resistencia menor al paso del aire, y colocadas de tal forma que el aire incida sobre los ocupantes y así aprovechar el enfriamiento evaporativo sobre el cuerpo humano. Las ventanas de persiana son ineficientes, por lo que su uso no se recomienda. Así mismo debe evitarse colocar aberturas de entrada y salida pegadas a las paredes o techo debido a que el flujo de aire tendería a pegarse a estas superficies y el efecto del enfriamiento sobre el cuerpo humano quedaría nulificado.

Un factor importante que hay que tomar en cuenta, cuando se seleccionan dispositivos pasivos para un edificio en un clima cálido, es que la radiación solar es abundante, y generalmente aparecerá todos los días. Para evitar calentamiento cuando no se desea, existen sistemas que escudan, los dispositivos sombreadores, aleros y parasoles. La radiación reflejada y emitida por superficies vecinas (en zonas desérticas suele ser importante), se puede escudar cuidando que las ventanas para iluminación natural y las áreas de circulación externas al edificio, se alojen en un patio interior, o con el auxilio de la jardinería en el exterior del edificio, cuando el recurso del agua lo posibilite.

Por otra parte, los techos son las superficies que más asoleamiento reciben, sobre todo para localidades dentro de los trópicos, por lo tanto debe cuidarse que el calor captado por estos, no sobrecaliente el interior del edificio. Una manera de lograrlo con sistemas pasivos, consiste en presentar una gran masa de material en la techumbre, capaz de almacenar el calor captado, y que retarde la transmisión de calor al interior, de tal manera que la mayor parte se transmita al medio ambiente. La solución de la arquitectura tradicional consistió en techos de terrado, actualmente, donde se empleen grandes losas de concreto, el problema esté resuelto.

Otras maneras de escudar el techo, consisten en presentar dos placas que formen el techo. La placa superior será la que reciba el calentamiento. Entre ambas placas se permitirá que el espacio se ventile. De esta manera, el calor captado se evacuará con este flujo de aire del medio ambiente, y la placa inferior, cuyo sobrecalentamiento es el que puede presentar problemas de incomodidad, tendrá una temperatura que oscilará alrededor de la del medio ambiente. Una solución en la que hemos estado trabajando es con la vigueta y bovedilla, simple y económica.

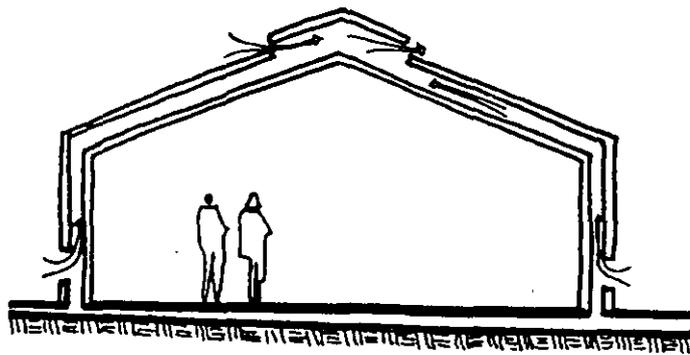


Figura 2 Sistema de doble pared.

Otra superficie de la envolvente sensible al asoleamiento, es la pared poniente. La radiación incide sobre esta superficie durante la tarde, cuando también se presenta la máxima temperatura del día. Para no recibir este calentamiento no deseado, se pueden emplear ideas similares a la techumbre, almacenamiento térmico que retarde la transmisión del calor, o muros dobles ventilados. Es claro que debía estar prohibido que en climas cálidos, se abran ventanas con vidrio en fachadas poniente, a menos que cuenten con parasoles.

En climas extremos, el uso de los sistemas pasivos se ve limitado. Pero, el empleo de estas técnicas, permiten obtener un edificio de máxima eficiencia energética. El edificio óptimo es el que emplea cero energía extra, y este es un edificio climatizado de manera natural.

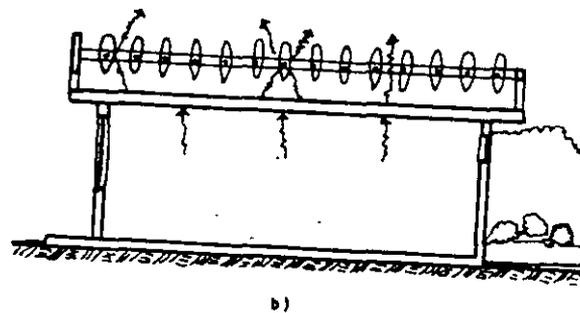
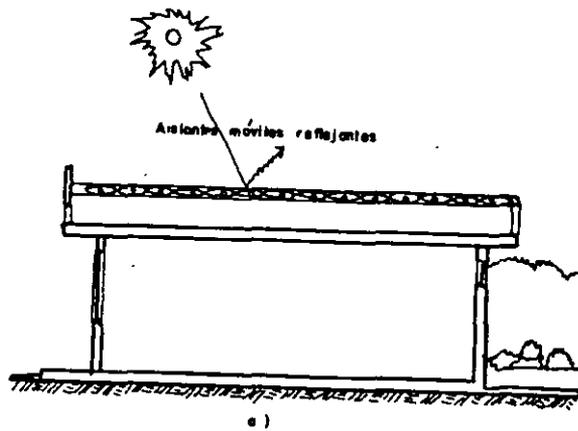


Figura 3 Techo de concreto con aislamiento operable: a) operación diurna, b) operación nocturna.

Control de Humedad

En climas cálido-húmedo y en muchos sitios con estaciones calurosas, la humedad es el principal problema a combatir cuando se quiere enfriar el aire.

Se ha encontrado que hasta un 40% del consumo de la energía eléctrica para aire acondicionado en regiones calientes y húmedas es para deshumidificar el aire.

En cuanto al enfriamiento pasivo, también si tiene problemas por la humedad. El enfriamiento por evaporación no es efectivo porque a menudo la temperatura del bulbo húmedo

está fuera de la zona de confort. Todavía más, la necesidad de limitar la humedad añadida al interior del edificio hace que se requieran sistemas indirectos más complicados. La humedad en la atmósfera inhibe el enfriamiento por radiación nocturna. El enfriamiento convectivo nocturno también se ve limitado debido a que la oscilación de temperatura, que en las regiones áridas puede ser de hasta 27°C, en regiones húmedas puede ver reducida hasta 7°C.

Las técnicas de enfriamiento pasivo que aprovechan los sumideros de calor naturales, que ya se han mencionado pueden suministrar enfriamiento sensible, pero no hace gran cosa en cuanto al enfriamiento latente. Algunos estudios han mostrado que en lugares muy húmedos, el enfriamiento sensible obtenido mediante medios pasivos no lograron condiciones en interiores dentro de la zona de confort, y fue necesario un notable movimiento de aire y deshumidificación del mismo.

Las alternativas a la deshumidificación del aire con propósitos de confort son el movimiento del aire y la disminución de la temperatura radiante de las superficies de los alrededores. Cuando se tiene una humedad ambiente demasiado alta en el aire ambiente, el proceso de enfriamiento del cuerpo humano por respiración se ve limitado y entonces se hace necesaria la eliminación de calor desde la piel por convección y radiación.

Se ha encontrado que la deshumidificación mediante los procesos compresión de vapor en edificios enfriados pasivamente no ayudan mayor cosa al ahorro de energía.

Fuentes de humedad

Para disminuir la necesidad de deshumidificación conviene empezar por disminuir las fuentes de humedad y realizar un análisis económico para comparar los costos de disminuir la carga y usar deshumidificadores.

Fuentes de humedad interna:

- Los ocupantes del edificio
- Cocina
- Baños

Fuentes externas de humedad:

- Permeación de vapor de agua a través de los materiales de construcción debido al gradiente de vapor de agua entre el interior y el exterior
- El vapor introducido hacia el interior a través de puertas, ventanas y otras aberturas

En la tabla 1 se dan algunas cantidades de humedad producidas por estas fuentes.

		Humedad liberada (lb/hr)
Fuente Interna		
Ocupantes:	Adultos descansando	0.16
	Ejercicio ligero	0.43
	Ejercicio fuerte	0.57
Cocina:	Cafetera de 11.4l	0.29
	Cocinando para 4:	
	desde los alimentos	1.20
	desde el gas	1.50
Regadera:	(5 minutos)	0.25-0.50
Otros:	Plantas domésticas (7) (vegetación)	0.04
	Trapeado del piso	2.4
Permeación:	Pared de madera (1000ft')	0.03
Infiltración/ ventilación:	(1 ACH, 10000 ft' y .018 lb en exterior)	4.40

Tabla 1. Cargas latentes de fuentes internas y externas.

Humidificación

La humedad del aire puede ser descrita como humedad absoluta, que viene a ser la cantidad de vapor de agua presente en una unidad de masa o unidad de volumen de aire, en término de g/kg o g/m³. Sin embargo, la humedad relativa es una forma más útil de expresar humedad, por dar una indicación directa de la capacidad de evaporación, esto es la cantidad de humedad que el aire puede retener (el punto de saturación), y depende de la temperatura.

La humedad relativa, a una temperatura determinada, es el cociente entre la masa de vapor de agua que realmente existe presente en la atmósfera, y la masa que sería necesaria para saturar a esta temperatura (Colieu, Powney).

El bienestar térmico está directamente influenciado por la humedad. El aire caliente y húmedo es sofocante, comparado con el aire caliente y seco.

El factor humedad incide en el diseño de una edificación. Para climas cálido-húmedo se requiere un tipo de diseño que permita la circulación de aire, al igual que la posibilidad de deshumidificar los ambiente internos.

El secado de aire húmedo produce una sensación de enfriamiento fisiológico, más que un efecto físico real. Debido a que la alta humedad impide al hombre el enfriamiento natural por medio de la evaporación del sudor (en vez de ello el sudor se aloja sobre la piel y no se evapora para enfriar el cuerpo), la tolerancia del hombre para soportar temperaturas más altas se reduce.

La temperatura del aire en el rango de los 23.9 a los 26.7 °C, acompañada de alta humedad relativa, puede proveer bienestar térmico natural, al reducir la presión del vapor de agua.

Sistemas de humidificación:

- Sistema Chimenea
- Torre eólica (bag-gir)
- Captadores con agua
- Ductos subterráneos
- Enfriadores evaporativo en New Gourn, Egipto
- Túnel de Rorkee-India
- Respiraderos de aire

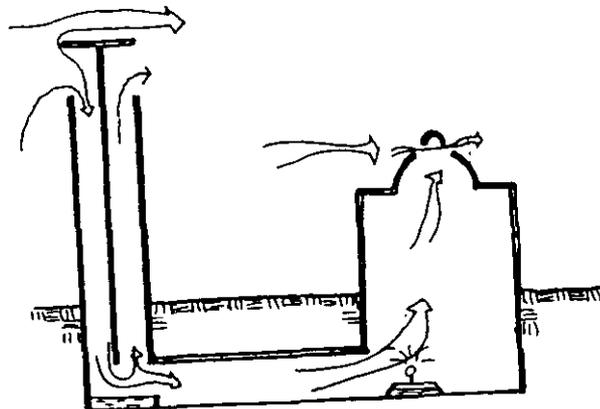


Figura 4 Torre eólica típica.

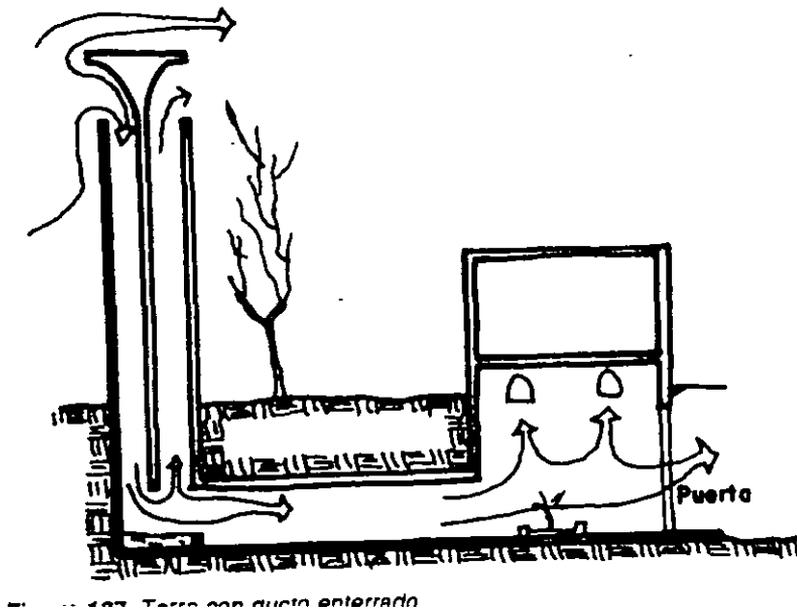


Figura 5 Torre eólica con ducto enterrado.

Deshumidificación

Estrategias de deshumidificación

Desafortunadamente no hay avances significativos en las técnicas de deshumidificación pasivas que pueda aplicarse sin mucho esfuerzo en cuanto a entendimiento, por parte de los diseñadores y constructores, de los procesos involucrados.

Sin embargo pondremos a continuación lo que sabemos al respecto.

En el ámbito de investigación están siendo consideradas las siguientes estrategias y dispositivos:

- Dilución de la humedad interior por ventilación con aire M ambiente exterior con punto de rocío menor
- Condensación sobre superficies que han sido enfriadas mediante técnicas pasivas o híbridas
- Condensación sobre superficies enfriadas mediante técnicas activas
- Absorción de la humedad mediante desecantes regenerados por calor de manera periódica

Deshumidificación mediante desecantes

En la figura 6 se muestra lo que es la operación de un deshumidificador sencillo por desecantes. En la figura se aprecia una propuesta de sistema pasivo de deshumidificación, la operación es la de un sistema de deshumidificación mejorado.

En el sistema mostrado en la figura 6, por la mañana el sol calienta la pared este, regenerando el desecante que ha absorbido la humedad de la tarde anterior, mientras el aire es deshumidificado en la pared oeste. El proceso se invierte durante la tarde.

El uso de sales desecantes representa un método de enfriamiento por deshumidificación.

Sistemas de deshumidificación:

- Sistema de enfriamiento por desecantes
- Sistemas de lecho dual por deshumidificación de Moore
- Deshumidificación solar pasiva

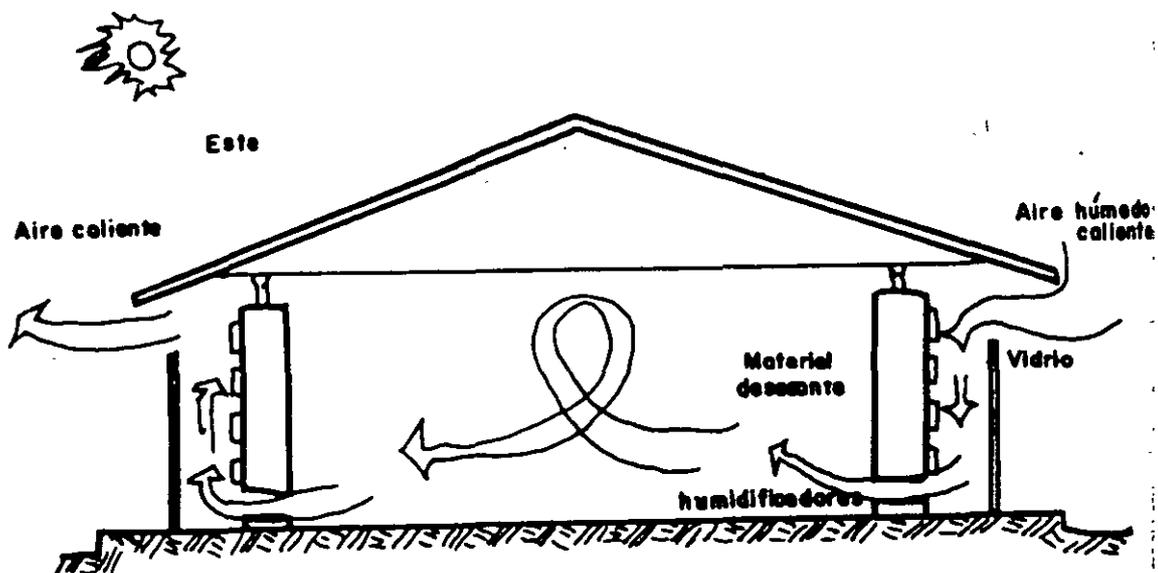


Figura 6 Operación de un sistema de deshumidificación simplificado.

Vegetación y agua para crear microclimas (Arquitectura del paisaje)

El agua y la vegetación son elementos que permiten el control de las condiciones microclimáticas exteriores a la edificación

El enfriamiento de una construcción puede ser logrado mediante la modificación del microclima existente. La plantación estratégica de árboles, arbustos y vegetación en general, suministrará sombra a la construcción y al suelo alrededor de ésta, evitando el incremento del calor solar por la reflexión de las superficies.

La forma de la edificación y el tipo de vegetación (setos, árboles, etc.) puede canalizar y concentrar las brisas a través del edificio (sistemas de ventilación inducida).

Estanque de agua, fuente a la irrigación de la vegetación ubicada a barlovento del edificio, reducirá la temperatura del aire incrementando su capacidad de enfriar los ambiente internos, arrastrando el calor hacia fuera.

La vegetación permite reducir la penetración de calor hacia el interior de la edificación y dispersar el calor acumulado durante el día, para prevenir la re-radiación durante la noche. Para ello es aconsejable un doble techo ventilado. Este tipo de protección previene que durante el día la acción de los rayos solares llegue directamente a la masa de la estructura.

Según David Wright, en climas cálido-húmedo la masa de la estructura debe ser minimizada para evitar el almacenamiento de calor en el material de la edificación. Una estructura con baja capacidad de retención de calor se enfriará rápidamente cuando hay lluvias y brisas.

La vegetación es el mejor elemento para sombrear las paredes, sin embargo, cuando esto no es posible, se pueden utilizar elemento de protección solar separador de la pared para permitir la ventilación y la remoción de calor.

La pared diseñada por A. Monen Saleh tiene las ventajas térmicas de una pared tradicional de construcción masiva, que impide la penetración inmediata de la carga térmica solar y, a su vez, tiene las ventajas prácticas de la construcción ligera. Esto se logra sombreando la pared exterior de la edificación con paneles prefabricados separados de la pared, proveyendo un espacio libre para la circulación del aire exterior: las paredes pueden ser de vidrio o metal.

Otro ejemplo del uso adecuado de la vegetación es el patio interior, que viene a ser un espacio abierto y sombreado que ha sido utilizado por muchas culturas (en Guadalajara aparece en las casas de barrios antiguos, así como en el centro histórico de Colima), para el enfriamiento

de los espacios que lo rodean. Pequeñas ventanas exteriores permiten la entrada de las brisas, bloqueando la entrada de los rayos solares hacia el interior. La vegetación y las fuentes de agua producen el efecto de enfriamiento, al pasar la brisa de un extremo a otro de la casa. Durante la noche, al abrir las puertas y las ventanas, la radiación y el aire remueven continuamente el calor de las partes masivas.

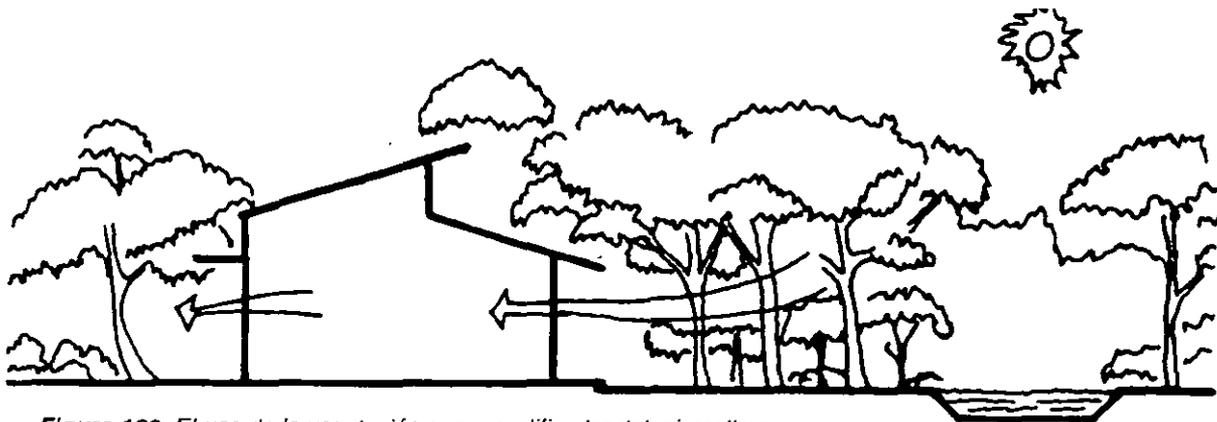


Figura 189. El uso de la vegetación como modificador del microclima.

Arquitectura del paisaje bioclimático

Dada las características climáticas de Cd. Juárez, donde existe una diferenciación muy marcada entre la dirección y temperatura de los vientos dominantes durante las estaciones de invierno y verano, alcanzan velocidades máximas considerables creando una sensación desagradable. Estas condiciones climatológicas permiten maximizar la obstrucción, encauzamiento y filtración del viento según la estación.

El uso de la vegetación para obstruir, encauzar y filtrar el viento es totalmente confiable, la eficacia de la misma depende de la gran ventaja que tienen las plantas, de las cuales es absolutamente predecible su altura, ancho, forma, densidad de follaje; los cuales pueden ser modificados por poda.

Las plantas además de purificar el aire, hacer más agradable el microclima local, controlar la erosión, el ruido y la reflexión de la luz y crear una sensación de bienestar y confort en el contexto urbano. Por su gran variedad y riqueza en colores son en sí elementos de diseño paisajístico urbano y arquitectónico sin límites.

Beneficios de la vegetación

- **Arquitectónicos**
 - **Control de privacidad**
 - **Articulación de espacios**
 - **Manejo de visuales**
- **Ingenieriles**
 - **Purificación del aire**
 - **Control de la erosión**
 - **Control acústico**
 - **Control lumínico**
 - **Control de tráfico**
- **Climáticos**
 - **Control de vientos**
 - **Control de humedad**
- **Económicos**
 - **Conservación y utilización de material orgánico**
 - **Provisión de alimento**
- **Psicológicos**
 - **Humanización del espacio**

En la presente parte se expone los efectos estudiados por Robert White, donde se muestra el efecto del diseño de paisaje en la ventilación natural de los edificios y sus áreas circundantes.

Se enlista especies arbóreas y arbustivas aptas para tales efectos en las ciudades de la Laguna, que comprende plantas ornamentales y nativas.

Paisaje urbano

Cd. Juárez desarrollo urbano a las orillas del Río Bravo, cuerpo de agua superficial: dejando a sus márgenes los pocos suelos fértiles y zonas idóneas para la vegetación, con cuenta la ciudad.

El perfil urbano es bajo, contándose aproximadamente con una decena de edificio de varios pisos.

Las áreas verdes públicas comprenden un porcentaje bajo de la mancha urbana, agregando las áreas verdes privadas, que comprenden otro pequeño porcentaje y para su establecimiento se requiere de la importación de tierra fértil.

Control del viento

La diferenciación tan marcada en las direcciones y temperaturas del viento permiten maximizar la obstrucción del mismo en invierno y su canalización en el verano para proporcionar confort natural biotérmico mejorando el clima extremoso de la región lo cual aumentará la superficie actual de las áreas verdes y permitirá ubicarlas.

Durante 6 meses al año se requiere controlar la infiltración del viento, evitando su paso a instalaciones deportivas y vestibulaciones o plazas de edificios y casas.

Lo cual se logra mediante cortinas rompevientos de especies arbóreas y arbustivas de hoja perenne y densa, las cuales deben de ser nativas en la región y por lo tanto requerir de poco riego.

La clasificación en función de la especie y tamaño es:

Arboles:

- Ciprés vela
- Cedro colorado
- Pirul
- Pinos
- Pinos pinoneros
- Ciprés
- Pinabete
- Grevilea
- Ahuehuete

Arbustos:

- Trueno
- Juníperos
- Tuya
- Clavos
- Laurel

Cactáceas:

- Sotol
- Magueyes
- Nopales

Las especies susceptibles a helarse deberán colocarse sotavento protegidas por otras más resistentes colocadas barlovento.

En el caso del laurel, estos deberán colocarse sotavento y bajo de las frondas de un árbol.

Durante la primavera, verano y otoño existe una más amplia variedad de especies tanto nativas como ornamentales que permiten lograr los siguientes efectos:

- El enfriamiento. Producido básicamente por sombra densa.
- La humidificación. Producida por enfriamiento evapotivo.
- Ventilación por canalización o filtración.
- La deshumidificación por el proceso de condensación de aire.
- La purificación mediante fotosíntesis y retención de partículas.
- Aromatización. Lograda por follaje o floración.
- La deflexión. Por barreras densas.

La combinación de estos efectos debe de estar siempre presente en diseño del paisaje puesto que además se desea lograr otros como son: controlar radiación, precipitación, temperatura, ruido, reflexión y enaltecer el diseño arquitectónico articulando espacios para controlar y encauzar tráfico, creando privacidad, obstruyendo vistas desagradables, delimitar áreas, enmarcar ingresos, acentuando o negando formas, etc.

Clasificación de la vegetación por lo estético y productos

Arboles ornamentales:

- Alamillo *populus tremula* o *fremonti*
- Alama *populus alba*
- Alama macho *populus verticalis*
- Alamo chopo *populus deltoides*
- Sicomoro *platanus occidentalis*
- Pata de vaca *bahaira purpurea*
- Jacaranda *jacarandamimoseafonna*
- Lila o canelo *Melia azedaral*
- Magnolias *magnolea denudata*
- Crespón *lagerstroemia indica*
- Cepillo *calistemun lancesladus*

Arboles frutales:

- Nogal pecanero carya illinosensis
- Mora morus nigra
- Pistache pistacia mexicana
- Manzano variedades golden, garden delicias, king, etc.
- Peral pyrus comunis, pera mantequilla, de agua, etc.
- Durazno variedad early ambas binita, deser gold etc.
- Ciruelo variedades italian, late santa rosa, mariposa, etc.
- Cerezo variedades jubilee, garden bing, etc.
- Higuera variedades Texas everaing, mision, genoa, etc.
- Chabacanos

Palmas:

- Datilera phoneix canarensis
- Abanico washingtonia robusta

El control de vientos por medio de vegetación es más efectivo que por medio de materiales sólidos. la eficiencia depende de la densidad de follaje, tamaño y patrón de crecimiento de las plantas, así como de la ubicación de las mismas.

Las limitantes básicas en el diseño en Ciudad Juárez son: pobreza de suelo, presencia de capas impermeables en el subsuelo y escasez de agua además del espacio disponible.

Se observa además la falta de investigación y experimentación en el desarrollo y propagación de árboles perennes que se adapten a las condiciones climatológicas y de suelo.

Básicamente las plantas controlan el viento por filtración, obstrucción y encauzamiento que puede canalizar el aire o desviarlo, cuyo efecto se conoce como deflexión.

Filtración

Para lograr este efecto se prefieren plantas cuyo follaje no sea muy denso y según el efecto deseado será la especie.

- Enfriamiento: árboles de fronda ancha o agrupados y de follaje denso.
- Humidificación: plantas de textura lisa o media, diseñada por lo menos en 2 estratos.
- Ventilación: plantas de follaje fino y poco denso
- Aromatización: follaje o floración aromática
- Deshumidificación: plantas de textura rugosa y/o hojas en forma de agujas para captar niebla o brisa.
- Purificación: plantas siempre verdes, textura rugosa.

Obstrucción

Reduce la velocidad del viento por medio de incrementar la resistencia al mismo. El grado de protección depende de características de la barrera: largo, ancho, alto, densidad de follaje y patrón de crecimiento de las especies.

Existen 3 tipos de barrera:

- Barrera sólida
- Barrera abierta
- Barrera incompleta

Estas barreras o cortinas rompevientos se colocan siempre perpendicularmente a la dirección del viento.

Ventajas y desventajas

Barrera sólida: obstruye la velocidad del viento y la reduce en un 75% crea zonas de turbulencia debido al vacío provocado, el área o edificio que se desea proteger deberá estar fuera de esta zona. Se recomiendan plantas de follaje denso y perenne, así como también proteger mediante variedad de especies combinando árboles de tronco alto con arbustos las especies más susceptibles a las heladas deberán ser colocadas sotavento de la barrera.

Barrera abierta: más apta para encauzamiento que para obstrucción, ya que se puede lograr mediante poda que el follaje de las especies coincida con el área o ventanas a proteger, realizando las instalaciones y/o la arquitectura reduce la velocidad del viento de un 5 a un 30%.

Barrera incompleta: apta para filtración reduce la velocidad del viento de un 15 a un 50% dependiendo de la densidad del follaje. Para este tipo de barreras se recomiendan especies cuyas ramas tengan cadencia o movimiento para provocar sonidos agradables (sauces, pirules, álarnos; etc.) y para las barreras incompletas y abiertas especies que tengan aroma (pinos, cedros, eucaliptos, lilas, huela de noche, etc.) En el caso de que se desee refrescar el ambiente se buscan especies cuya hoja tenga textura rugosa y/o pubescencia y se crearán por lo menos 2 estratos (bajo y alto) de plantas, esto crea la condensación minimiza el riesgo y humidifica el ambiente sotavento (efecto invernadero).

Las barreras al norte deberán ser de árboles y arbustos perennes, lo mismo que al oeste en la Laguna, en las barreras a sur y este se podrán utilizar indistintamente perennes o caducifolios.

La sombra del viento se le considera al área protegida del mismo y depende de: la altura de la barrera, generalmente se extiende hasta 20 ó 25 veces la altura. El ancho y densidad de follaje llegando un bosque de 120m de ancho a disminuir la velocidad hasta un 93% la longitud que incrementa el ancho de la sombra solo hasta un límite que es de 11 a 12 veces el alto de la barrera, más de esta distancia solo aumenta la longitud y el ancho en el mismo.

EDIFICIO, SETO Y ARBOL: ENCAUZAMIENTO DE VIENTOS

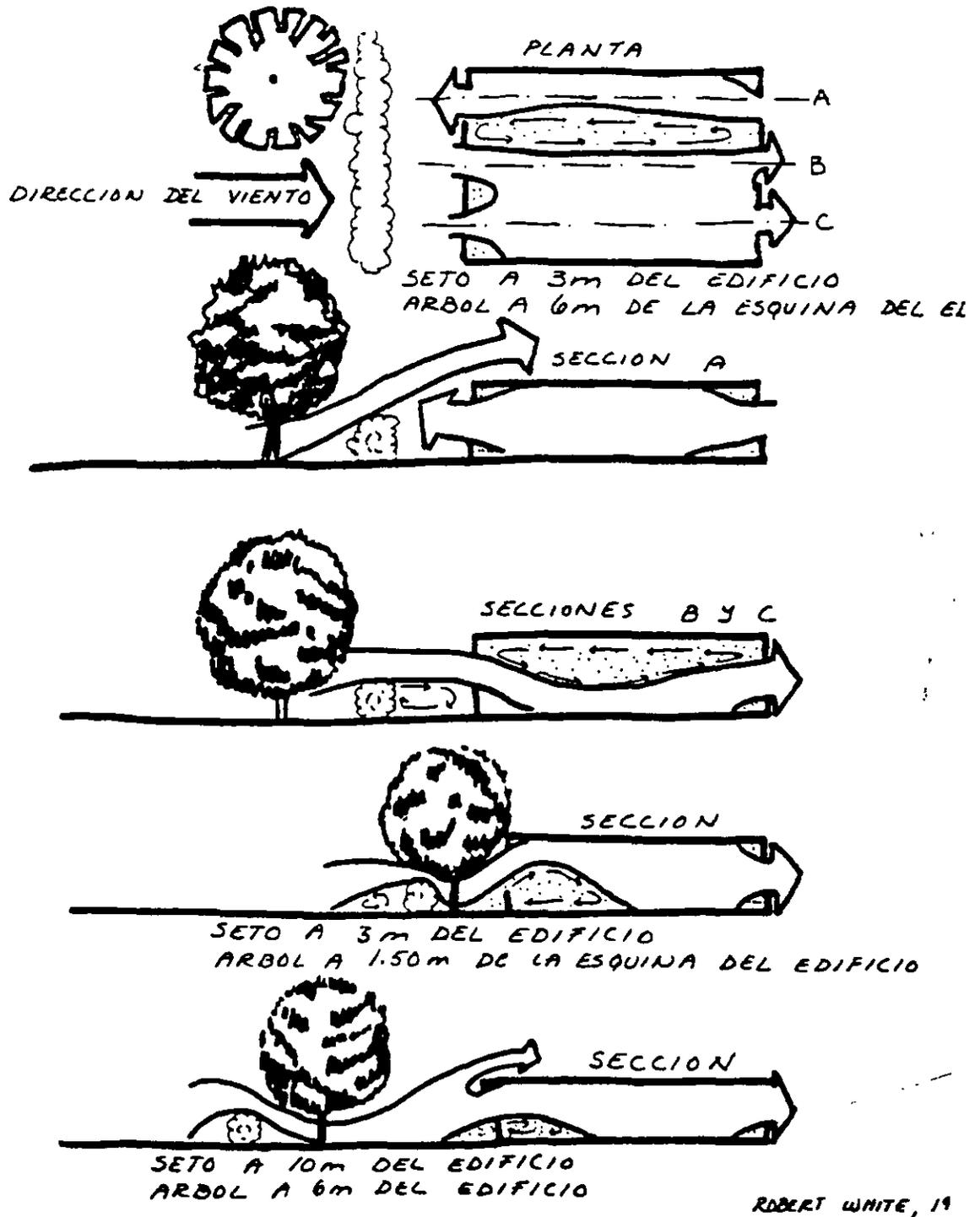


Figura 7 Encauzamiento del viento con la vegetación.

Encauzamiento

Es direccionar el viento para lograr un efecto deseado el cual puede ser canalizado hacia un edificio, instalación o sitio, o bien desviarlo cuyo efecto se conoce como deflexión. Estos efectos están sujetos a proyectos específicos y son materia de diseño de paisaje-bioclimático.

En estudios realizados con la ayuda de un túnel de viento por Víctor Olgyay, se encontró que las barreras formadas por arboles y arbustos proporcionan mayor protección al viento que barreras sólidas artificiales de distintas formas.

La forma de la barrera es un factor que influye en el comportamiento del flujo del aire. Formas con aristas cerradas: formas poco uniformes provocarán mayor turbulencia que formas curvas y ligeras.

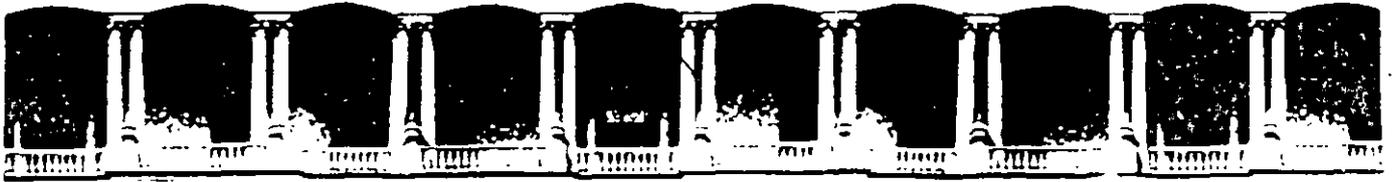
Estudios precisos realizados por el arquitecto en paisaje Robert F. White en la estación de ingeniería ambiental de Austin Texas, muestran los efectos que el diseño paisajístico tiene en la ventilación natural de los edificios y sus áreas circundantes (Fig. 7).

Referencias

Morillón G., David. Bioclimática: Sistemas pasivos de climatización. Ed. Universidad de Guadalajara, 1993.

Sámano T., Diego, Morales R., Diego y Morillón G., David. 1999. Aspecto bioclimáticos en el diseño de edificios confortables de máxima eficiencia energética. Memorias del Curso de Actualización en Energía Solar. Centro de Investigaciones en Energía, pp. 219-239.

West P., Luciel. Obstrucción, encauzamiento y filtración del viento por medio de la vegetación. Memorias de Primer Encuentro Nacional de Diseño y Medio Ambiente. Ed. Universidad de Colima, pp. 71-76, 1991.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 – 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE ENERGIAS
RENOVABLES**

MODULO IV: DISEÑO BIOCLIMATICO

TEMA

ENFOQUE BIOCLIMATICO DEL ANÁLISIS TERMICO DE EDIFICIOS

**EXPOSITOR: ING. DAVID MEJIA DOMINGUEZ
PALACIO DE MINERIA
MAYO DEL 2001**

Enfoque bioclimático del análisis térmico de edificios

Dr. David Morillón Gálvez

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 estabilice. 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 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 solar, 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 esta 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 aun que 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.

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.

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 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 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. 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. Es, pues, 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 es 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 cedencia 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 absorptancia 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 absorptancia, 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 absorptancia 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, lamina 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 absorptividad, 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 hacen 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 adentro 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.

Método numérico

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

Donde:

ϕ - Retraso térmico

e - Espesor

Cv- Calor específico volumétrico

k - Conductividad térmica

Nota: Las unidades en calorías

Método gráfico

$$\theta = \frac{1}{3600} \sum_1^n Cv_1 e_1 \left(\frac{1}{ho} + \frac{1}{2} e_1 r_1 \right) + Cv_2 e_2 \left(\frac{1}{ho} + e_1 r_1 + \frac{1}{2} e_2 r_2 \right) + \dots + Cv_n e_n \left(\frac{1}{ho} + e_1 r_1 + \dots + \frac{1}{2} e_n r_n \right)$$

Donde:

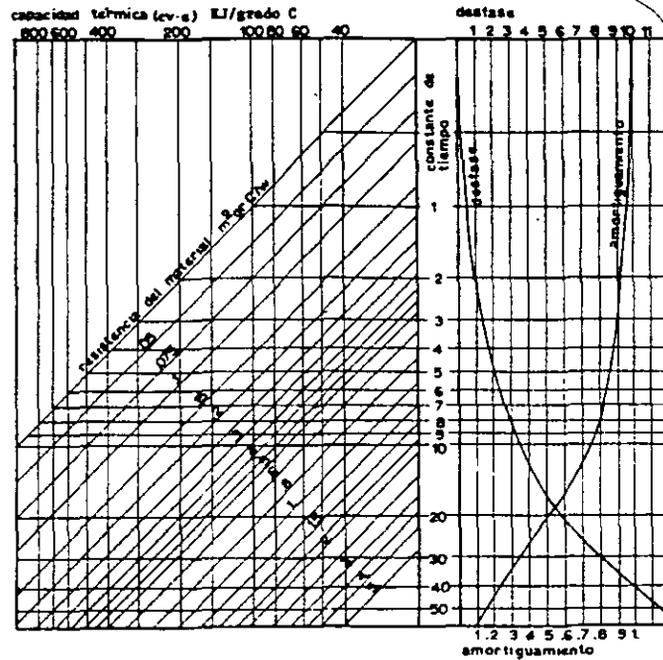
θ - Constante de tiempo

e - Espesor

Cv- Calor específico volumétrico

r - resistividad

Nota: Cv en J/m³



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 ² /s m ² 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	2080	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	810	410
Arcilla (seca)	1800	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							
ligera	1800	900	1440	560	1780	810	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	3480	50000	20	492000	14300
Aluminio	2700	910	2460	200000	5	295900	81300
Cinc	7130	380	2690	110000	9	499800	40900
Plomo	11340	130	1470	340000	3	1760	231300
Concreto en general	2100	840	1780	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 (fritro)	140	750	100	37	27030	4	370
Fibra de vidrio (manta)	100	850	85	42	23810	2.7	850
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:

$$1 \text{ ton de refrigeración} = 2000 * 144 / 24 = 12000 \text{ Btu /h}$$

$$12000 * 0.293 \text{ W} = 3516 \text{ W}$$

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:

$$U = 1/R = 1/\text{sumatoria de las resistencias}$$

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

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:

$$R = b * 1/k = b/k$$

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

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 $1/h$ ($m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$) siendo h la conductancia superficial ($\text{W} / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$).

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

Tipos de superficies

Resistencias superficiales
en $m^2 \text{ grado C} / \text{W}$

1 Superficies interiores (emisividad normal)		Resistencias superficiales en $m^2 \text{ grado C} / \text{W}$		
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 de *M 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.

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-humedo, 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).

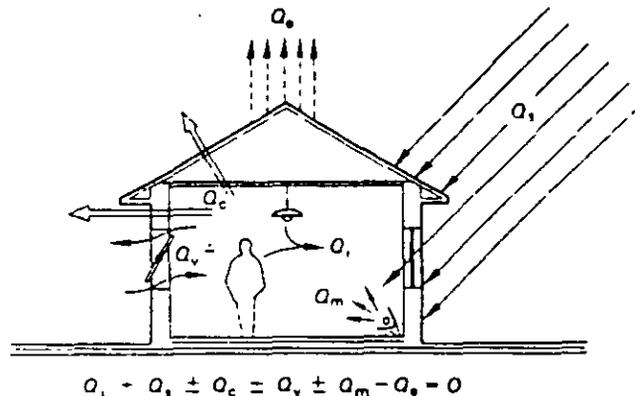
El diseño de edificios se enfrenta con una situación mucho más indeterminada. Tienen que tomar decisiones para determinar el tamaño, volumen y construcción del edificio, el tamaño y la orientación de sus ventanas, etc., cualquiera de las cuales influiría en la magnitud de uno o varios de los factores 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 (Fig. 4.5.1):



4.5.1 INTERCAMBIO CALORÍFICO DE UN EDIFICIO

- Se produce conducción de calor a través de las paredes hacia dentro o hacia afuera, cuya medida se representara por Q_c (las componentes convectivas y radiante en la transferencia del mismo calor a las superficies están incluidas en el termino: 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, lamparas, 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 del (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 si 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:

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

donde:

Q_c Es la medida de flujo calorífico por conducción, en W

A Es el área, en m^2

U Es la transmitancia, en $W / m^2 \text{ } ^\circ C$

ΔT Es la diferencia de temperaturas, en $^\circ C$

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 esta 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 m^3/s .

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

$$Q_v = \dot{m} (H_e - H_i)$$

Donde:

Q_v = medida del flujo calorífico de ventilación en W

\dot{m} = flujo masico ($\dot{v}D$) \dot{v} es el flujo volumetrico, D es la densidad del aire

$$\dot{v} = NV/3600$$

V = Volumen del espacio, en m^3

N = numero de cambios de aire

Si se da el numero 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/m^2) - sólo habrá que multiplicarla por el área del hueco (m^2) 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 (F_{gs}) que depende de la calidad del cristal y del ángulo de incidencia.

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

$$Q_s = A * I * F_{gs}$$

donde:

A Es el área de la ventana, en m^2

I Es la densidad del flujo calorífico de radiación, en W/m^2

F_{gs} 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 numero de ocupantes. El resultado en Watts será un componente significativo de Q_i .

La cantidad total de emisión de energía de las lamparas eléctricas debe considerarse como un aporte interno de calor. La mayor parte de esta energía se emite en forma de calor (95% para las lamparas 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 Watt de todas las lamparas del edificio (cuando estén encendidas) a la Q_i .

Si en el mismo espacio hay un motor eléctrico y una maquina por él movida (actuando), hay que tomar como Q_i la potencia total en watt 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 esta solo un motor cuya eficiencia es e , entonces su potencia útil $W \times e$ se utiliza en otra parte, pero el flujo calorífico $W(1-e)$ contribuirá a aumentar la Q_i .

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:

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

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 este. 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 sea maneja sólo cuantitativamente:

El enfriamiento por evaporación se utilizara 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 esta situada en un piso intermedio de un gran edificio; por consiguiente, solo tiene una pared expuesta al sur, siendo las temperaturas:

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

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;
 $U = 4.48 \text{ W/m}^2\text{°C}$ y una pared de cemento clinker, de 200 mm, enlucida y enyesada, de 1 x 5 m = 5 m²; $U = 1.35 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Solución:

Diferencia de temperaturas (DT) = 20 °C – (-1°C) = 21°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.

PRODUCCION DE CALOR METABOLICO EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL INDIVIDUO	
Actividad	Dispersión metabólica (W)
<i>Inactividad</i>	
Actividad reducida al mínimo posible (individuo dormido): "metabolismo basal"	75
Sentado inactivo	120
<i>Trabajo ligero</i>	
Sentado, movimiento moderado de brazos y tronco (por ejemplo: trabajo de oficina)	130-160
Sentado, movimiento moderado de brazos, tronco y piernas (por ejemplo: manejo de un carro con tráfico) o de pie, trabajo ligero, principalmente con los brazos	160-190
<i>Trabajo moderado</i>	
Sentado, movimiento intenso de brazos, tronco y piernas; o de pie, con trabajo ligero que incluya algún desplazamiento	190-230
De pie, trabajo moderado con desplazamiento	220-290
Levantamiento y transporte de pesos moderados	290-400
<i>Trabajo intenso</i>	
Levantamiento y acarreo intermitentes de grandes pesos	430-600
Trabajo físico mas rudo y continuado	600-700

La producción de calor metabólico tiene la dimensión de una potencia (energía por unidad de tiempo). Se medirá por tanto en Watts (Joules/s). Los datos de la tabla, extraídos de Belding y Hatch (1955), se refieren a un hombre de unos 70 kg de masa, 1.82 M² de superficie de piel y 1.73 m de altura, que se encuentre realizando en forma continuada la actividad que se describe en la parte izquierda de la tabla.

Normas mexicana para la eficiencia energética en edificaciones: Diseño térmico de la envolvente

Introducción

El Gobierno Federal Mexicano comenzó a reconocer los beneficios económicos y ambientales del ahorro de energía en la década de los 80's. Una de las instituciones que surgen es la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), entre sus funciones tiene la de emitir normas para la eficiencia energética, la Conae inicia sus funciones de normar en 1992, emitiendo primeramente

normas para refrigeradores, paquetes de aire acondicionado, motores, entre otras. Estudios de investigadores (de Buen 1987, Morillón 1993) alertan sobre la necesidad de aislamiento, en el primer caso, y del uso del clima como recurso de climatización en el segundo, para tener ahorro de energía en edificios, esto es partir del diseño mismo del edificio (Materiales, orientación, forma, etc.).

Para poder llevar a cabo una norma que involucre criterio de diseño de la envolvente del edificio es necesario ubicar a México geográficamente: longitudes entre 87° y 118°, y entre las latitudes 14° y 32°, lo que lo hace contar con una gran variedad de climas.

Lo anterior hace que las normas de eficiencia energética para edificios deban considerar todos esos aspectos, lo cual no sucede en otros países. En efecto, los países con normatividad térmica para envolventes de edificios, son principalmente los europeos y los del norte del continente Americano. Respecto a los países europeos, son pequeños en extensión geográfica y su mayor consumo de energía es para calefacción invernal; por tal motivo sus normas frecuentemente son simplemente requerimientos mínimos de aislamiento térmico promedio con un valor único para todo el país. En relación con el norte del continente Americano, el aislamiento térmico ayuda en ambas épocas del año: invierno y verano.

En el caso mexicano, el principal consumo de energía es en el aire acondicionado, durante las épocas de mayor calor, el cual proviene de diferentes fuentes. La fuente principal se puede controlar mediante el buen diseño de la envolvente del edificio: Transmisión de calor por conducción a través de los muros y techos, y por radiación solar que penetra a través de los vidrios de las ventanas y tragaluces.

Por todo lo anteriormente expuesto, es necesario contar con normas que, no solamente requiera un aislamiento térmico apropiado, sino que también incluyan un tratamiento especial de las ventanas y los tragaluces.

Las normas

Dos son las normas relacionadas con el comportamiento térmico de los edificios, elaboradas por la Conae:

NOM-008-ENER: Eficiencia energética en edificaciones "Norma para la envolvente de edificios no residenciales"

NOM-020-ENER: Eficiencia energética en edificaciones "Norma para la envolvente de edificios residenciales hasta tres niveles"

Objetivo

Estas normas limitan la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con el objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

Campo de aplicación

Estas normas aplican a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes.

Excepciones

Si un uso o destino, que se incluye en éstas normas, constituye al menos 90 por ciento del área construida del edificio, ésta norma se aplica a la totalidad del edificio.

Método de cumplimiento

NOM-020-ENER

Cumplir con las especificaciones para el aislamiento térmico promedio, la envolvente debe tener un valor de aislamiento promedio (M) no menor a lo que se establece en la Tabla 1 y área máxima de la parte transparente (ventanas 10% y tragaluces 0%).

Cálculo del aislamiento térmico promedio

Se calcula el aislamiento térmico promedio del edificio proyectado utilizando la siguiente Eq. (1):

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{K_i}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

Donde:

- M es el aislamiento térmico promedio del edificio proyectado en ($m^2 K / W$)
- i es la porción, transparente y opaca, de la parte de la envolvente
- K_i es el coeficiente global de transferencia de calor en ($W / m^2 K$) (de acuerdo al Apéndice B)
- A_i es el área de la porción (m^2)

Que la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado sea menor o igual al del edificio de referencia (Presupuesto energético, tratado más adelante).

Especificaciones del edificio de referencia

Techo			
Parte	Porcentaje del área total	K (W/m ² K)	CS
opaca	100%	Tabla 1	---
transparente	0%	---	---
Pared			
Parte	Porcentaje del área total	K (W/m ² K)	CS
Fachada libre opaca	90	Tabla 1	---
Fachada libre no opaca	10	5,319	1
Colindancia opaca	100	Tabla 1	---

El edificio de referencia no presenta ganancias de calor a través del piso, debido a que se supone que se encuentra sobre el suelo. Si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, ésta debe sumarse a la ganancia de calor del resto de la envolvente. Un ejemplo típico es un edificio cuyo estacionamiento ocupa la planta baja.

NOM-008-ENER

Que la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado sea menor o igual al del edificio de referencia (Presupuesto energético, tratado más adelante).

Especificaciones del edificio de referencia

Techo			
Parte	Porcentaje del área total	K (W/m ² K)	CS
opaca	95%	Tabla 1	---
transparente	5%	5,952	0,85
Pared			
Parte	Porcentaje del área total	K (W/m ² K)	CS
Fachada libre opaca	60	Tabla 1	---
Fachada libre no opaca	40	5,319	1
Colindancia opaca	100	Tabla 1	---

El edificio de referencia no presenta ganancias de calor a través del piso, debido a que se supone que se encuentra sobre el suelo. Si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, ésta debe sumarse a la ganancia de calor del resto de la envolvente. Un ejemplo típico es un edificio cuyo estacionamiento ocupa la planta baja.

Presupuesto energético

El método para el cálculo del presupuesto energético es el mismo para las dos normas, la diferencia está en los datos del edificio de referencia y los datos de la Tabla 1 de cada una de las normas.

Para realizar el presupuesto energético la envolvente del edificio proyectado debe especificarse de tal manera que la ganancia de calor (ϕ_p) a través de la envolvente del edificio proyectado, resulte menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (ϕ_r), es decir la Eq. (2):

$$\phi_p \leq \phi_r \quad (2)$$

Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado (ϕ_p), es la suma de la ganancia de calor por conducción (ϕ_{pc}), más la ganancia de calor por radiación solar (ϕ_{ps}) (Eq.(3)), es decir:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps} \quad (3)$$

Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de la componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente Eq. (4):

$$\phi_{pc} = \sum_{i=1}^6 \phi_{pci} \quad (4)$$

en donde:

i son las diferentes orientaciones: techo, norte, este, sur, oeste y superficie inferior.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i, se calcula utilizando la siguiente Eq. (5):

$$\phi_{pci} = \sum_{j=1}^n [K_j A_{ij} (t_{ei} - t)] \quad (5)$$

en donde:

ϕ_{pci} es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i, en W;
j son las diferentes porciones que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente global de transferencia de calor.

A_{ij} es el área de la porción j con orientación i, en m²

K_j es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción, en W/m² K;

- T_e es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinada según la Tabla 1, en °C;
- t es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a 25 °C.

Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes no opacas, la cual se calcula utilizando la siguiente Eq. (6):

$$\phi_{ps} = \sum_{i=1}^5 \phi_{psi} \quad (6)$$

en donde:

i son las diferentes orientaciones: techo, norte, este, sur, oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente Eq. (7):

$$\phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} CS_j FG_i SE_{ij}] \quad (7)$$

en donde:

ϕ_{psi} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en W;

j son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de sombreado exterior. Una porción típica de una parte no opaca es una pared de vidrio, o con un bloque de vidrio;

A_{ij} es el área de la porción transparente j con orientación i , en m^2

CS_j es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno;

FG_i es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según la Tabla 1, en W/m^2

SE_{ij} es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, con valor adimensional entre cero y uno;

Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (ϕ_r), es la suma de la ganancia de calor por conducción (ϕ_{rc}), más la ganancia de calor por radiación solar (ϕ_{rs}), es decir la Eq. (8):

$$\phi_r = \phi_{rc} + \phi_{rs} \quad (8)$$

Para el cálculo de las ganancias por conducción y por radiación del edificio de referencia, se utilizan las ecuaciones (Eq. (5 y 7)) presentadas en el caso de edificio proyectado, donde los valores de K serán tomados de la Tabla 1 y las áreas transparentes las indicadas en las especificaciones del edificio de referencia.

La bonificación por sombreado en las normas se considera por protecciones tales como aleros que dependiendo de su ángulo de protección el porcentaje que permitirá el aumento del área, además e considerar remetimientos, volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o más allá de los límites, valores definidos en la Tabla 2 de las normas.

Conclusiones

Con los actuales sistemas constructivos utilizados en muros y techos no aprobarían las normas los nuevos edificios. Aunque el problema en este caso no es tan sencillo, puesto que si aumentáramos el valor de la transmitancia y resistencia térmica (R) de manera que los sistemas constructivos utilizado aprueben las normas, estaremos también incrementando de manera importante el costo de la edificación (basta recordar que una de las maneras más comunes para aumentar el valor R es a través del uso de aislamiento u otro tipo de vidrio, aún costo más elevado). De aquí que la solución a este problema requiera de un estudio exhaustivo que busque la incorporación de nuevas tecnologías que sean económicas, culturalmente aceptadas, y adecuadas desde el punto de vista térmico.

Sin embargo, lo que sí resulta evidente es la necesidad de mejorar de manera urgente, la envolvente de los edificios de nuestro país. Si observamos las ganancias de calor que de manera conservadora generan las construcciones nuevas que utilizan los vidrio ordinarios en áreas de ventanas comúnmente utilizadas y sistemas de techo y muros actuales, nos daremos cuenta de la magnitud del problema, en virtud de que esas ganancias se traducen de manera directa, a consumo eléctrico vía sistemas de enfriamiento (en la mayoría de los casos, poco eficientes).

Como última conclusión de este trabajo, se puede decir que lo más importante en este momento es que se publique la norma en el Diario Oficial de la Federación. Lo lamentable de la situación actual de la NOM-008-ENER, es que después de haber sido aprobado por los colegios de arquitectos e ingenieros, así como varias dependencias del sector energético, la norma esta detenida con posibilidades de no aprobarse para su publicación por la SECOFI, por el costo beneficio de la misma, esto es cuestión económica, sin considerar los beneficios sociales y ambientales, así como de ahorro de energía, que la puesta en marcha de las normas implicaría.

Referencias

ASHRAE "Fundamentals Handbook", 1981.

Brooks, C.E.P., "Climate in Everyday Life", Ernest Bemm, London, 1950.

Diario Oficial de la Federación, NOM-008-ENER, Eficiencia Energética en Edificios no Residenciales, SE-Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, 2001.

Fernández, A. y Morillón, D., Ganancia Térmica en las Techumbres más Utilizadas para Vivienda Social. Revista Energía Racional del FIDE, informativa del ahorro de energía eléctrica. pp.31-35. México, D.F. 1997.

Givoni, B., "Man, Climate and Architecture", Applied Science Pub., London.

Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay, Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales. Ed. Paraninfo, Madrid, España. 1997.

Manrique, A.J., "Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones, Fototérmicas". Ed. HARLA, México, D.F., 1984.

Morillón Gálvez David, Bioclimática, "Sistemas Pasivos de Climatización", Ed. Universidad de Guadalajara. 1993.

Morillón, D., López, J.M.A. y Rodríguez, L., Efecto del tamaño de las ventanas de la vivienda en el consumo de energía eléctrica, Memorias del XIX Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía. pp. 437-447. 1998.

Tudela Fernando, Ecodiseño, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, D.F., 1982.

Anteproyectos de las NOM-020-ENE. Versión A del 18 de agosto de 1998. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía-SE.

De Buen R., Odón, 1987. Procedimiento de Estimación de Ahorros de energía Eléctrica en Casas Habitación Ubicadas en Regiones de Clima Cálido Seco. México, D.F., Programa Nacional del Uso Racional de la Energía CFE.

Morillón G., David. 1993, Bioclimática: Sistemas pasivos de climatización, Ed. Universidad de Guadalajara, NP 153.

Morillón G., David. 1999, Notas del Taller sobre aplicación de la norma para edificios no residenciales. Conae, México, D.F.

Tabla 1 (Continuación) VALORES PARA EL CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE

ESTADO	Ciudad	CONDUCCION														RADIACION					Barrera para vapor		
		OPACA														TRANSPARENTE							
		Coeficiente de transferencia de calor k (W/m²K)		Temperatura equivalente promedio te (°C)												Factor de ganancia solar promedio PG (W/m²)							
				Techo		Muro masivo		Muro ligero		Ventanas													
Techo	Muro	Superficie exterior	Techo	N	E	S	O	N	E	S	O	Techo y muro	N	E	S	O							
JALISCO	Guadalupe (c)	0.391	2.200	26	37	24	27	26	26	30	33	32	32	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146
	Huacuar	0.391	2.200	26	38	25	27	26	26	30	33	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146
	Lagos de Morelos	0.391	2.200	26	36	23	26	25	25	29	32	31	31	21	23	23	23	24	274	91	137	118	146
	Ocotlán	0.391	2.200	26	38	25	27	26	26	30	34	33	33	22	23	24	24	25	274	91	137	118	146
MEXICO	Puerto Vallarta	0.357	0.639	31	45	31	35	32	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	274	91	137	118	146
	Chapengo	0.391	2.200	23	32	20	22	21	21	26	28	28	27	19	20	21	21	21	274	91	137	118	146
MICOACAN	Toluca	0.391	2.200	21	28	17	18	18	17	23	25	25	24	17	18	18	18	19	274	91	137	118	146
	Morelia	0.391	2.200	25	35	22	25	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	274	91	137	118	146
MORELOS	Lazaro Cardenas	0.358	0.700	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	274	91	137	118	146
	Uruapan	0.391	2.200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	274	91	137	118	146
NAYARIT	Cuamatlan	0.391	2.200	26	38	25	27	26	26	30	33	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146
	Tepec	0.391	2.200	27	39	26	29	27	27	31	35	33	34	23	24	25	25	25	274	91	137	118	146
NUEVO LEON	Monterrey (d)	0.359	0.768	30	44	30	33	31	32	35	39	37	38	25	27	28	28	28	274	91	137	118	146
OAXACA	Oaxaca	0.391	2.200	26	37	24	27	26	26	30	33	32	32	22	23	24	24	24	272	102	140	114	134
	Salina Cruz	0.355	0.586	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134
PUEBLA	Puebla	0.391	2.200	24	33	21	23	22	22	27	29	29	28	20	21	21	21	22	272	102	140	114	134
	Atlixco	0.391	2.200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	272	102	140	114	134
	Tehuacan	0.391	2.200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	272	102	140	114	134
QUERETARO	Queretaro	0.391	2.200	26	37	24	26	25	25	29	33	32	32	21	23	23	24	24	274	91	137	118	146
	San Juan del Rio	0.391	2.200	24	34	22	24	23	23	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146
QUINTANA ROO	Cozumel	0.359	0.763	30	44	30	33	31	32	35	39	37	38	25	27	28	28	28	284	95	152	119	133
	Chetumal	0.358	0.679	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	284	95	152	119	133
	Cancun	0.355	0.587	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133
SAN LUIS POTOSI	Plaza del Carmen	0.356	0.623	31	45	31	35	33	33	36	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133
	Rio Verde	0.391	1.503	28	40	27	30	28	29	32	36	35	35	23	25	26	26	26	274	91	137	118	146
	San Luis Potosi	0.391	2.200	24	34	21	24	23	23	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146
SINALOA	Cd. Valles	0.356	0.611	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146
	Matichuala	0.391	2.200	27	39	25	28	27	27	31	34	33	34	22	24	25	25	25	274	91	137	118	146
	Culiacan	0.355	0.579	31	46	32	35	33	34	37	41	39	41	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164
	Mazatlan	0.358	0.720	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	322	70	159	131	164
	Guasave	0.355	0.563	32	46	32	36	33	34	37	41	39	41	27	28	29	29	30	322	70	159	131	164
Los Mochis	0.357	0.651	31	45	31	34	32	33	36	40	38	40	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	

15/49

Tabla 2 Factor de corrección de sombreado exterior (SE)

Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente mas allá de los limites de ésta (A), una distancia igual o mayor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior.

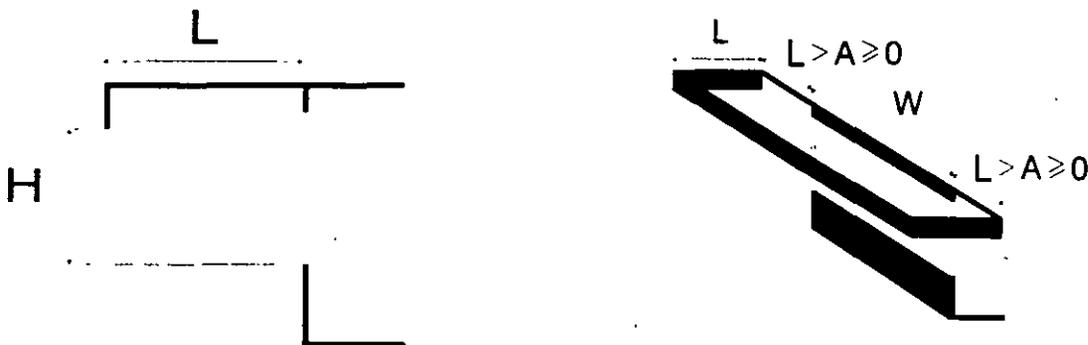


L/H	Este y Oeste		Sur	
	I(*)	II(**)	I(*)	II(**)
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,95	0,98	0,92	0,96
0,20	0,90	0,96	0,85	0,93
0,30	0,85	0,93	0,79	0,90
0,40	0,80	0,92	0,73	0,87
0,50	0,77	0,90	0,68	0,84
0,60	0,73	0,89	0,63	0,82
0,70	0,70	0,87	0,59	0,79
0,80	0,67	0,86	0,55	0,78
1,00	0,63	0,84	0,49	0,75
1,20	0,60	0,83	0,45	0,74

- (*) **ZONA I** (latitud desde 33° y hasta 28°)
- (**) **ZONA II** (latitud menor de 28° y hasta 14°)

Nota: El factor de corrección de sombreado exterior para ventanas orientadas al norte es 1.

Además se considera cuando se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o mas allá de los límites de ésta, una distancia menor a la proyección del volado (L).



Otra opción de bonificación por sombreado lo es cuando se construye una ventana remetida.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 – 2001

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE ENERGIAS
RENOVABLES**

MODULO IV: DISEÑO BIOCLIMATICO

TEMA

**SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES UTILIZANDO
ENERGY - 10**

**EXPOSITOR: ING. GENARO ALBERTO CORREA MIRANDA
PALACIO DE MINERIA
MAYO DEL 2001**

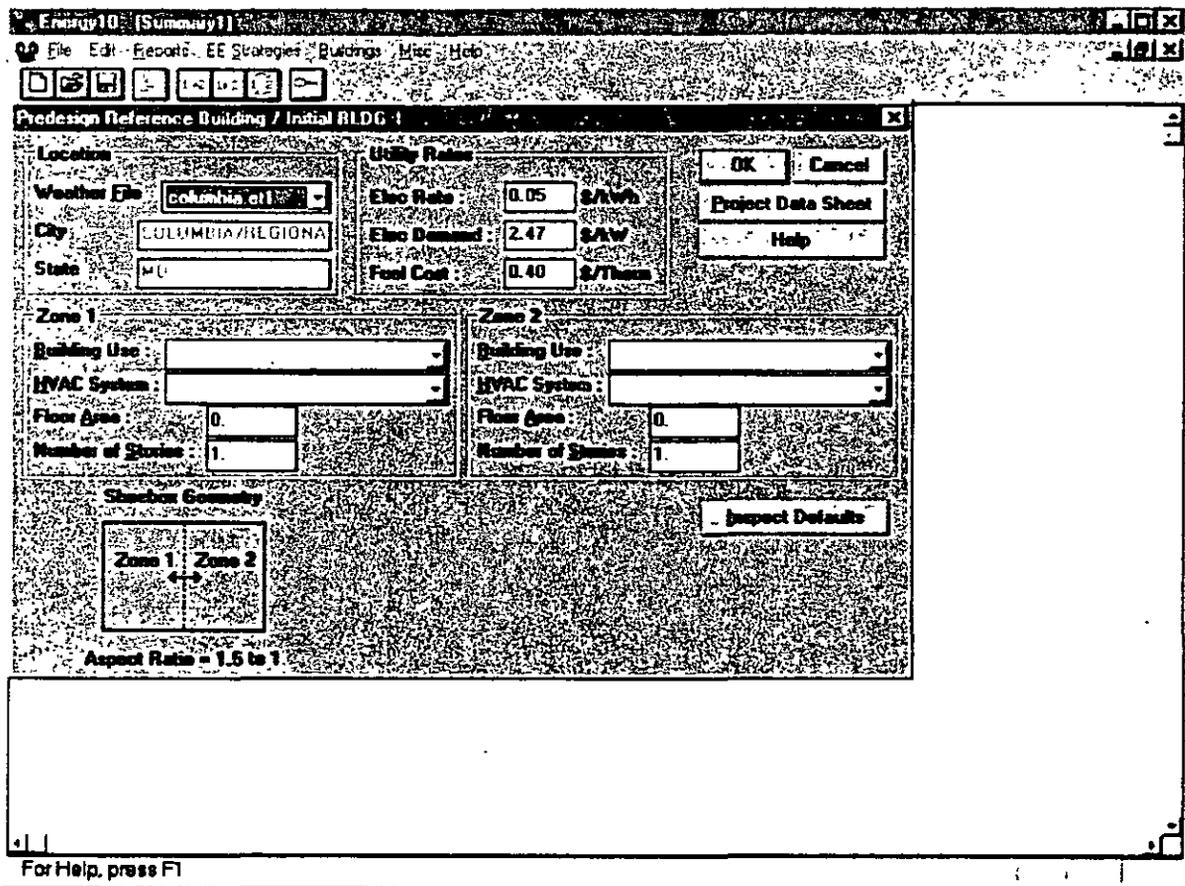
SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES UTILIZANDO ENERGY-10

Estrategias para el aprovechamiento de
la energía solar y el ahorro de energía

Genaro A. Correa Miranda
Instituto de Ingeniería, UNAM
Coord. Mecánica, Fluidos y Térmica



Paso 1. En la barra de menú. Seleccionar la opción FILE y después NEW PROJECT. Aparecerá la siguiente ventana:



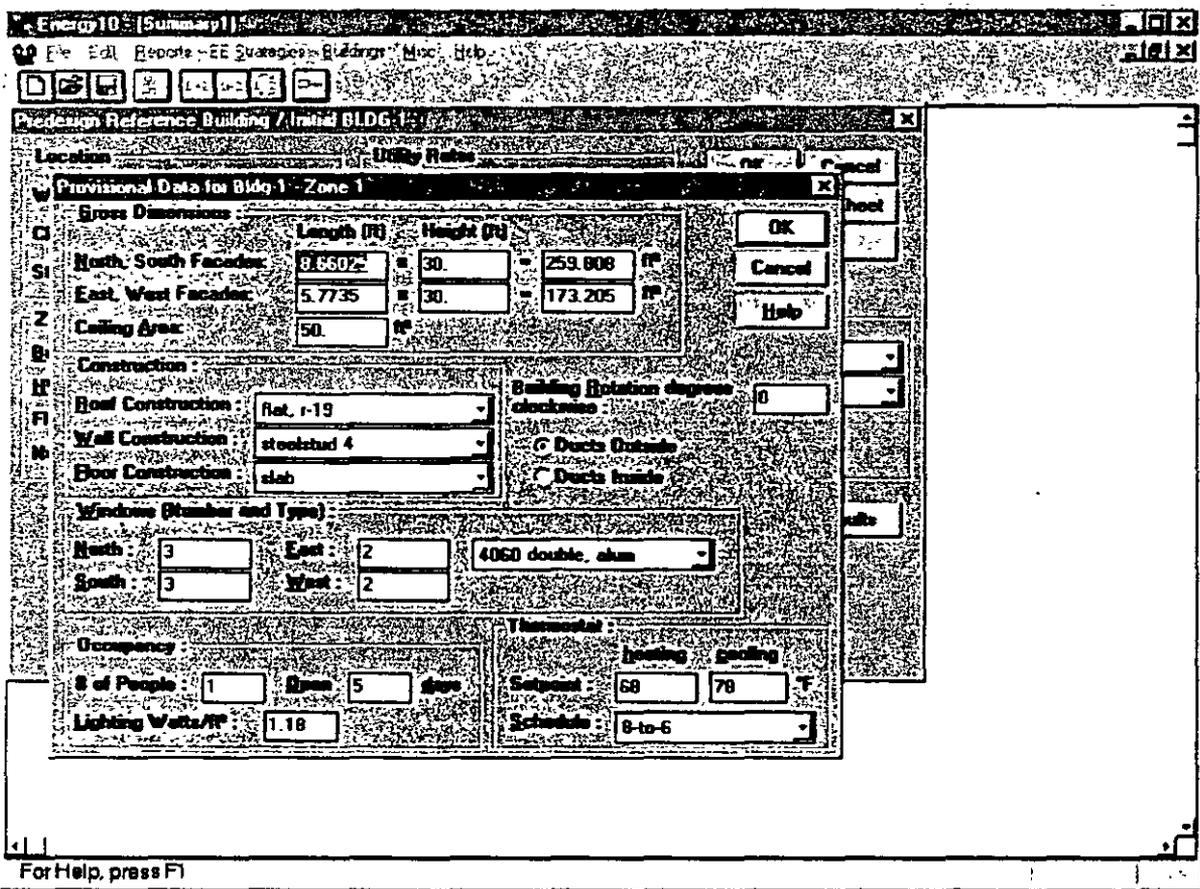
Paso 2. Llene los espacios que correspondan a ZONE 1. HELP nos indica qué es ZONE 1. Si se desea simular el mismo edificio pero modificando algún parámetro para comparar la influencia de éste, entonces también es necesario que se llenen los espacios de ZONE 2.

Paso 3. Haga clic en PROJECT DATA SHEET. Anote un título que describa lo que se está simulando, ya que éste aparecerá en todos los gráficos y resultados que surjan de la simulación.

Paso 4. Ahora regresamos a la ventana de prediseño (PREDESIGN REFERENCE BUILDING). Haga clic en O.K. Inician los primeros cálculos con la utilidad AUTOBUILD, aparece entonces la siguiente ventana donde se observan los datos provisionales del Caso de Referencia (ZONE 1).

Paso 5. Si es necesario, edite o modifique los datos. Haga lo mismo con el segundo caso (ZONE 2), si es que fue especificado. Haga clic en O.K.

Paso 6. Seleccione la opción SIMULATE AND SAVE



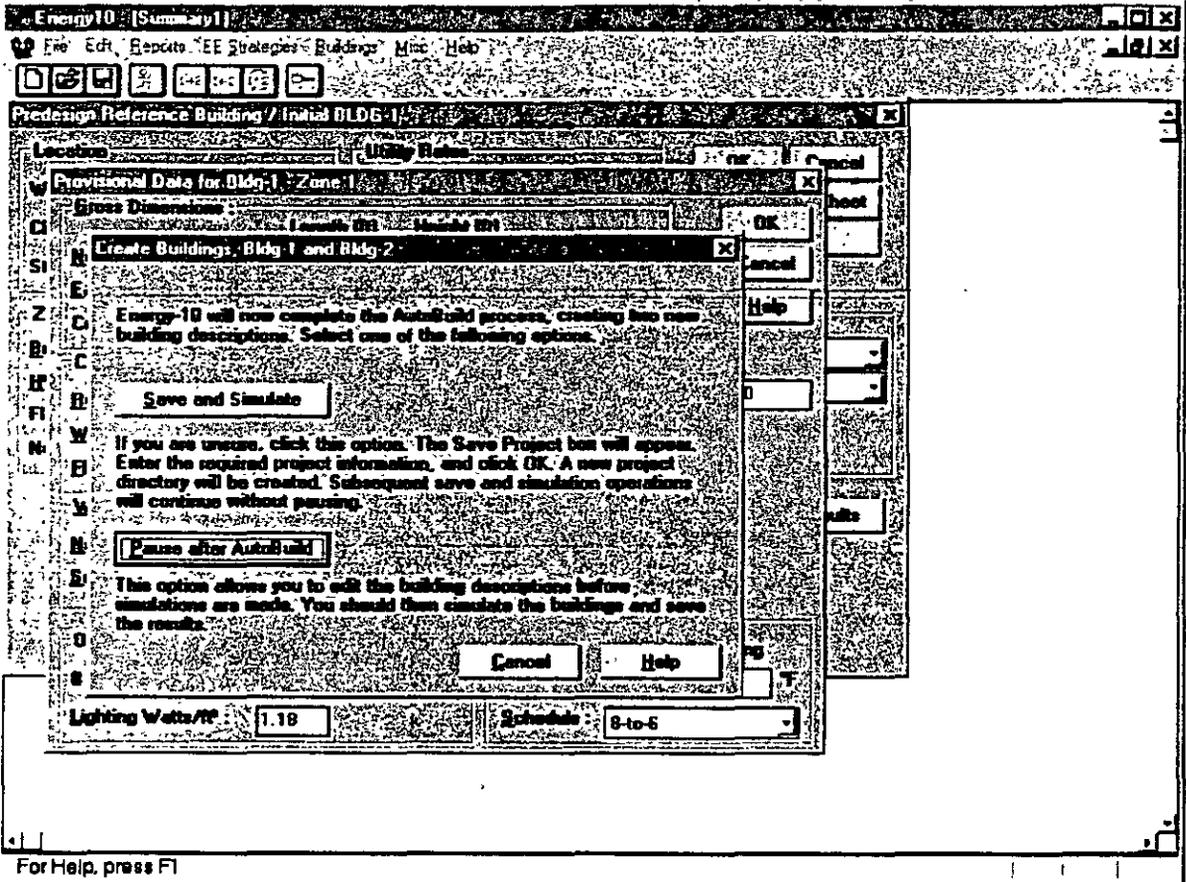
Se generan entonces con el AUTOBUILD dos completas descripciones una del edificio original y otra de su variante. Desde el menú principal en la opción BUILDINGS es posible acceder a ellas en cualquier momento para revisarlas/editarlas.

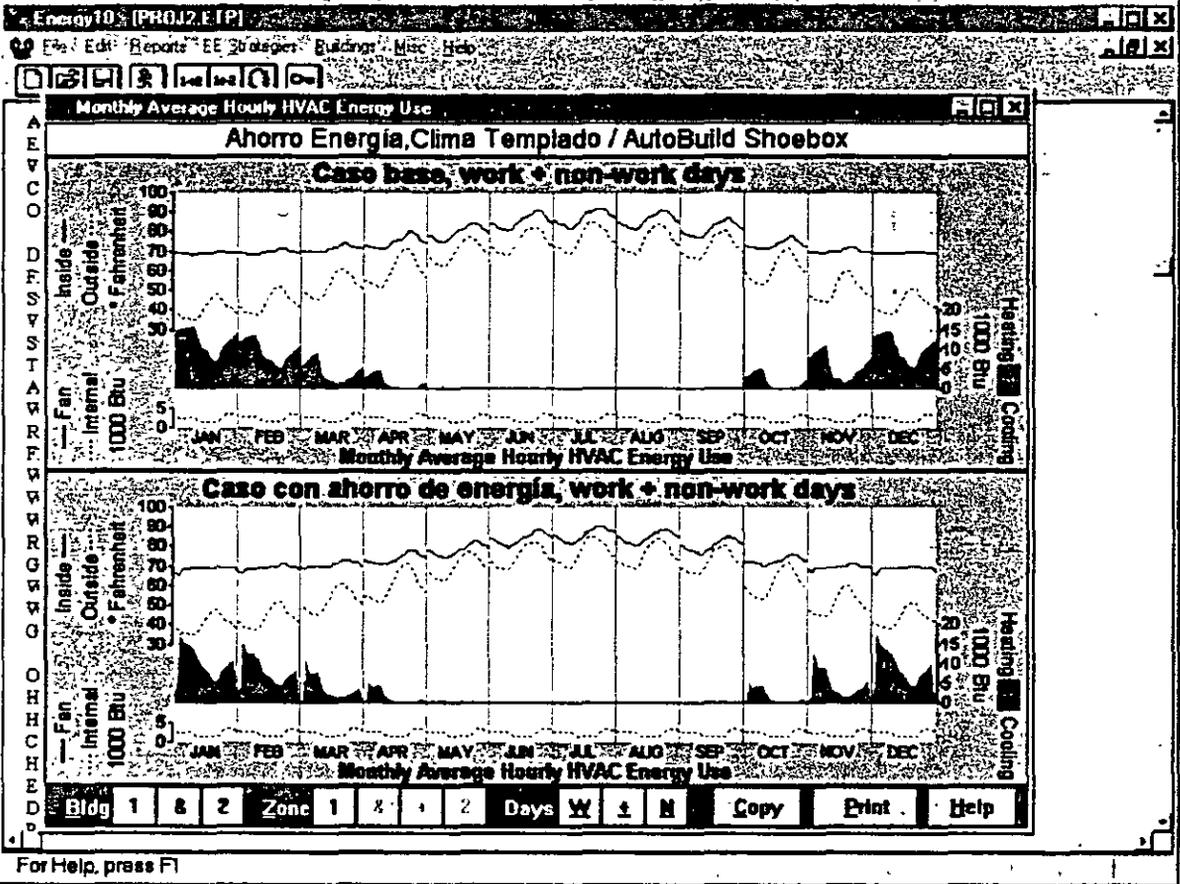
Paso 7.. No se olvide de salvar su trabajo.

Paso 8.. En este momento se hace la simulación completa de los dos casos. Al término una gráfica de barras aparece comparando el desempeño de ambos. Puede copiarla para insertarla en cualquier aplicación de Windows.

Paso 9. En el menú principal en REPORTS aparecen los resultados de la simulación en forma de gráficos muy bien presentados.

Paso 10. Se pueden hacer más modificaciones al resultado de la simulación escogiendo EE-STRATEGIES en el menú principal. Seleccionando APPLY puede introducir de manera sencilla estrategias para el ahorro de energía como son control de la iluminación, controles para el aire acondicionado, tipo de ventanas según el recubrimiento, etc. Los detalles de todas estas estrategias se presentan en CHARACTERISTICS.





Siempre es recomendable correr una simulación preliminar que no contenga todos los parámetros que nosotros deseamos. Una vez finalizada dicha simulación preliminar entonces ya podemos introducir todos los detalles finos y parámetros particulares del caso que deseamos analizar. Para ello hay que seleccionar en el menú principal la opción BUILDINGS.

Escogemos entonces el edificio 1 o el dos y procedemos a modificarle el espesor de los muros, la orientación del edificio, el material del techo, el tipo de ventanas y su posición, número de habitaciones, estrategias de ahorro de energía, etc.

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. At the top, there is a menu bar with options like File, Edit, Execute, EE, Simulation, Buildings, Misc, Help. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main window is titled 'Building Zones - Bldg 1'. It contains a table with columns for 'Rotate', 'Area', 'Volume', and 'UA'. The first row, labeled 'Zone 1', has values 90, 700.0, 6300.0, and 580.9. Below the table are buttons for 'Walls...', 'Roofs...', 'Floors...', 'Partitions...', 'HVAC System...', 'HVAC Controls...', 'Internal Gains...', and 'Lighting Zones...'. To the right of the dialog box, there is a text area showing the date 'May 08, 2001' and the file path 'weather file: atlanta.etl'. Below this, there is a list of energy savings values: 700, 2372.11, 6300, 1.16, 428.0, 0.180, and concrete floor, R=3.4. At the bottom of the window, there is a table comparing two building configurations.

Parameter	Configuration 1	Configuration 2
Roof Construction	concrete r-30, R=30.2	flat r-38, R=38.0
Floor type, insulation	Slab on Grade, RefR=7.2	Slab on Grade, RefR=7.2
Window Construction	4060 single, shum, U=1.20	4060 low-e al/b, U=0.31, etc
Window Shading	None	24 deg latitude
Wall total gross area, sf	972	972
Roof total gross area, sf	700	700
Ground floor gross area, sf	700	700
Window gross area, sf	192	192
Windows (N/E/S/W Roof)	0/40/4/0	0/40/4/0
Glazing name	single, U=1.11	double low-e, U=0.26
Operating parameters for zone 1		
HVAC system	Baseboard Electric Heat	Baseboard Electric Heat
Heating thermostat	70 F, no setback	70 F, setback to 65 F
Cooling thermostat	78 F, no setup	78 F, setup to 83 F
Heat/cool performance	eff=100, EER=1.0	eff=100, EER=1.0
Economizer type	no/NA	no/NA
Duct leakage, total %	5	5
Duct leakage, total %	0.20, 0.40, 0.60, 0.20	0.15, 0.30, 0.45, 0.20

For Help, press F1

Mar 06, 2001
 weather file atlanta etl

Windows /
 port

Gross Double UA Solar

Window Construction

Window Type: 4060 single, alum

U-value
 Use derived U-value: 1.2
 Use supplied U-value: 0.5

Glazing Name: single

Glazed Area (ft²): 22.2

Frame
 Name: no break

Rough Frame Opening Size

Width (inches)	Height (inches)	Area (ft²)
48	72	24

PFD Area (ft²): 2.7

Length (inches): 173

Diagram: PFD Width, frame, glass, opaque width, Frame thermal effect extends to here

Operati HVAC Heating then Cooling then Heat/cool pe Economizer?/type no/NA Duct leakages, total % 5 Peak Gain Utilif 0.200 0.040 66.0 26 0.150 0.020 66.0 26

For Help, press F1

Roof Construction

Roof Type: **concrete (0.38)**

R-value to use
 Derived R-value 30.18
 User-supplied R-value 30.18

OK
 Cancel
 Modify
 Help
 Remove
 Help

Roof Cross Section - 1

% of Roof Area: **86** R: **35.64**

Layers	Material	Thickness (inches)
outside	outside air film	0.175 0.01
2	softwood	0.75
3	fiberglass	10.00
4	concrete	4.00
5	gypsum board	0.38
6	inside air film	0.175 0.01

Roof Cross Section - 2

% of Roof Area: **14** R: **15.53**

Layers	Material	Thickness (inches)
outside	outside air film	0.175 0.01
2	softwood	0.75
3	softwood	10.00
4	concrete	4.00
5	gypsum board	0.38
6	inside air film	0.175 0.01

Mar 06, 2001
 Other file: phoenix.etl

OK

Windows /

Wall Construction

Wall Type: **concrete floor**

R-value to Use
 Derived R-value: 5.39
 User-supplied R-value: 3.39

OK
 Cancel
 Modify
 New
 Remove
 Help

Wall Cross Section - 1

X of Wall Area: 85. R: 3.39

Layers	Material	Thickness (inches)
outside	sheathing	0.50
2	insulation	11.47
3	concrete	3.00
4	carpet	0.75
5		
6		

Wall Cross Section - 2

X of Wall Area: 15 R: 5.82

Layers	Material	Thickness (inches)
outside	sheathing	0.50
2	concrete	10.00
3	concrete	3.00
4	carpet	0.75
5		
6		

For Help, press F1

6

Mar 06, 2001
 Other file: phoenix.etl

Name	Wall Type	Gross Area (ft²)	R-value	UA (opaque)	Solar Abs	Orient	Tilt	Windows / Doors
North	Concrete Block	291.425	3.39	75.35	0.5	0	90	0/0
East	Concrete Block	194.283	3.39	52.31	0.5	90	90	0/0
South	Concrete Block	291.425	3.39	69.45	0.5	180	90	0/0
West	Concrete Block	194.283	3.39	52.31	0.5	270	90	0/0
		0	0	0.0	0	0	0	
		0	0	0.0	0	0	0	
		0	0	0.0	0	0	0	
		0	0	0.0	0	0	0	
Sum:		971.42		259.12				

Window Gross Area: 3/0/3/0
 Windows (N/E/S/W/Roof): 3/0/3/0/0
 Glazing name: double, U=0.49 double low-e, U=0.26

Operating parameters for zone 1

HVAC system	PTAC with Gas Boiler & HW Coil	PTAC with Gas Boiler & HW Coil
Heating thermostat	70 F, no setback	70 F, setback to 65 F
Cooling thermostat	78 F, no setup	78 F, setup to 83 F
Heat/cool performance	eff=80, EER=8.1	eff=90, EER=13.0
Economizer/type	no/NA	yes/fixed dry bulb, 60 F
Duct leakages, total %	0	3
Peak Gains (BTU/hr)	0.200.040.660.26	0.150.030.660.26