



INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL

GUIA DE  
ARQUITECTURA BIOCLIMATICA  
II Parte

JIMENA UGARTE



Fundación Príncipe Claus para la  
Cultura y el Desarrollo

FUNDACION PRINCIPE CLAUS PARA LA CULTURA Y EL DESARROLLO

## EL BIENESTAR EN EL CALOR

La estrategia del frío consiste en:

- protegerse de la radiación solar y aportes de calor,
- minimizar los aportes internos,
- disipar el calor en exceso
- refrescar naturalmente.

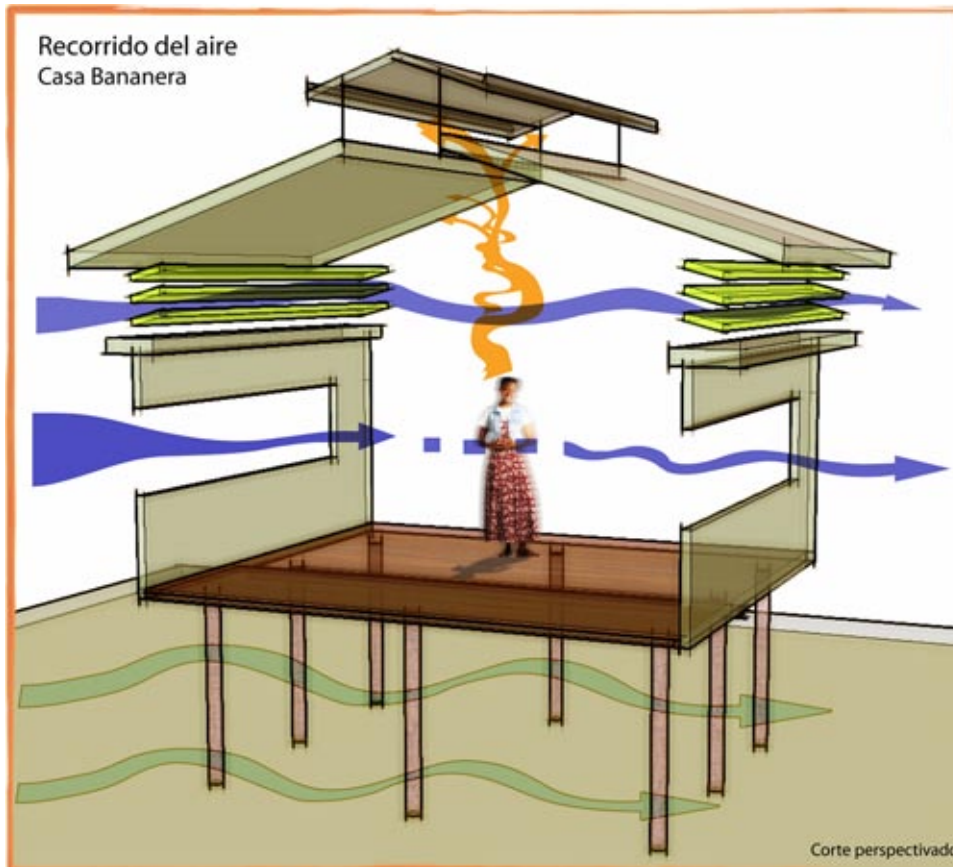
- **PROTEGER** el edificio y especialmente sus aberturas del soleamiento directo con el propósito de limitar las ganancias de calor, significa instalar pantallas exteriores en lo posible, que hagan sombra. Estas pantallas pueden ser fijas o removibles, Por otro lado, con el fin de evitar el recalentamiento del edificio en las paredes opacas, el aislamiento (puede ser vegetal) debe ser suficiente para impedir la acumulación de calor en la masa.

- **EVITAR** por todos los medios el calentamiento del techo y paredes: reflexión del calor, aislamiento, circulación de aire, limitar infiltración de aire caliente en el edificio.

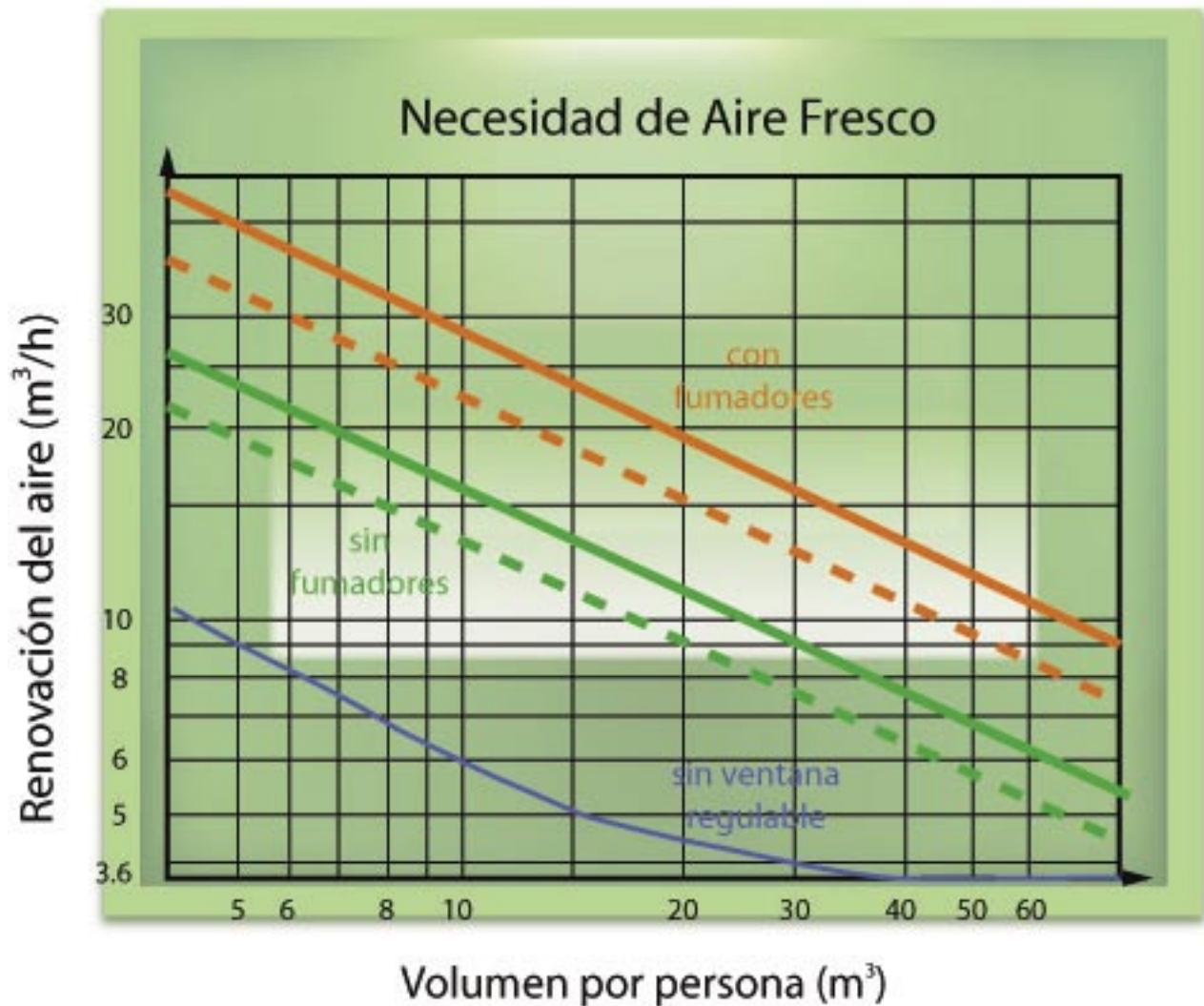
- **MINIMIZAR** los aportes internos: para evitar un sobrecalentamiento de los recintos, debido a los ocupantes y a los equipos: iluminación artificial, equipos eléctricos, densidad de la ocupación, etc. Promover el uso de luz natural y ventilación cruzada.

- **DISIPAR** el calentamiento: por medio de ventilación natural explotando los gradientes de T succionando el aire caliente por medio de un efecto chimenea. La presión del viento y la canalización de los flujos de aire pueden igualmente implementarse para evacuar el aire caliente del edificio.

- **REFRESCAR** los locales: la frescura de los recintos se puede asegurar por medios naturales. Una primera solución consiste en favorecer la ventilación (sobre todo nocturna, con el fin de desalmacenar el calor acumulado durante el día) o aumentar la velocidad del aire (efecto ventura, torre de vientos, etc.). Otro medio consiste en refrescar por medios naturales como espejos de agua, fuentes, vegetación, conductos internos, etc.



ESTRATEGIA PARA ENFRIAR. MODELO DE UNA CASA EN COSTA RICA.



La calidad del aire es importante para los procesos metabólicos y para la higiene personal. Debe preservar al individuo de los riesgos de contaminación debido a diferentes sustancias: gérmenes patógenos, moléculas orgánicas, materias odorantes, gas carbónico, polvo, humo de tabaco y partículas radioactivas y de la polución.

En los edificios muy aislados el aire se estanca y no se renueva suficientemente y es frecuente constatar que la polución del aire interior es superior a la polución exterior. Por esta razón, la ventilación juega un papel fundamental en la problemática del bienestar y de la higiene de los edificios.

#### El bienestar visual

El ambiente visual debe permitir visualizar los objetos con nitidez y sin fatiga en una gama cromática agradable.

Una buena iluminación debe garantizar al usuario la realización de sus actividades de la manera más eficaz posible (calidad visual) y aportarle un cierto atractivo visual (luz natural).

El resultado visual deseado está determinado por el trabajo a desarrollar y depende de los siguientes parámetros:

- nivel de claridad en la superficie de trabajo
- contraste de luminancia entre el objeto observado y su soporte

La claridad es el efecto producido por el flux lumínico que viene de una fuente luminosa natural o artificial sobre una superficie dada. Se expresa en lux.

La luminancia caracteriza el flux lumínico que abandona una superficie por el ojo del observador. Se expresa en candelas por m<sup>2</sup>.

El desagrado visual está ligado al encandilamiento, es decir a un fuerte contraste de luminancias en el campo visual. Distinguimos dos tipos de encandilamiento:

- fisiológico: aparición de un velo en el campo visual que impide distinguir los objetos
- psicológico: la molestia no altera la visión

A menudo son las ventanas y las instalaciones eléctricas inapropiadas las causas del desagrado visual. Una claridad insuficiente debida a una iluminación deficiente, causa fatiga. La variación rápida de la intensidad de la claridad natural ( de 5.000 luxes con cielo cubierto a 100.000 a pleno sol), produce encandilamiento.

El agrado visual es una noción subjetiva que se asocia a :

- la presencia de luz natural
- la variación en el tiempo de esta iluminación
- a ciertos efectos de claridad artificial
- a la armonía de colores

Características físicas de una fuente luminosa

El carácter ondulatorio de la luz está caracterizado por su período T, su frecuencia  $\nu$  y su longitud de onda  $\lambda$ . La luz natural se llama luz blanca.

La física moderna reconoce en la radiación electromagnética dos características: ondulatoria y corpuscular.

El carácter ondulatorio reposa sobre la noción de radiación monocromática, es decir una oscilación sinusoidal caracterizada por su período T (en segundos) o su inverso, la frecuencia  $\nu = 1/T$  (en hertz). Es preferible hablar de la longitud de onda como la distancia recorrida por la onda durante un período y medido en nanómetros.

El carácter corpuscular de la luz se observó en el hecho que la emisión y la absorción de luz por la materia se hacen de forma discontinua, como si el rayo estuviera compuesto de corpúsculos (fotones) y cuya energía  $\Delta E = h \cdot \nu$  donde h es la constante de Planck y se expresa en electrones-voltios (es la teoría cuántica).

La mezcla de diversas radiaciones del dominio visible forma la luz natural o luz blanca, la única que permite al ojo apreciar los colores. Las diferentes radiaciones coloridas que componen la luz natural aparecen cuando se refractan en un prisma o en las gotas de agua como el caso del arco iris.

El ojo está naturalmente adaptado a la luz del día. En consecuencia, la luz emitida por las fuentes lumínicas artificiales, deben tener la misma composición espectral que la luz natural para que no altere la visión de los colores. En efecto todo objeto refleja selectivamente las radiaciones coloreadas que recibe. Por ejemplo, si sólo refleja el rojo, aparece el rojo. Si por el contrario, la luz artificial incidente no contiene radiación en el dominio del rojo, el color aparente del objeto es diferente. Este fenómeno es corriente con la iluminación fluorescente, especialmente con los tonos que aparecen rojo-anaranjado en la luz natural.

Todo espectro luminoso que difiere de la luz del día, modifica el color aparente de un objeto.

La descomposición del espectro luminoso

Todas las radiaciones electromagnéticas no son perceptible al ojo humano: sólo aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre 380 y 700 nanómetros provocan una excitación lumínica.

El hombre está expuesto a una gran variedad de fuentes de energía natural o artificial que emiten radiación sobre varias bandas del espectro electromagnético. Los rayos se desplazan en el vacío a gran velocidad.

Podemos considerarlos como ondas o partículas que se desplazan en línea recta.

No todas las radiaciones electromagnéticas son perceptibles al ojo humano: rayos x, ultravioletas, infrarrojos, ondas de radio, etc. se sitúan fuera del campo visible. Sólo aquellos cuya longitud de onda está comprendida entre 380 y 700 nanómetros, provocan una excitación luminosa y forman el espectro visible. Existe divergencia en el rango límite. Algunos la sitúan a 770 nm: un límite preciso no puede definirse porque depende de la intensidad lumínica que golpea la retina y de la agudeza visual del observador. Esta particularidad deriva de la constitución del ojo y de la sensibilidad de los fotorreceptores de la retina, la cual difiere para cada longitud de onda  $\lambda$ .

La luz natural es la sola que permite al ojo apreciar con exactitud el color de los objetos y sus matices. A menudo los arquitectos tienden a concebir un proyecto como un ambiente comprendido entre el blanco y el negro.

Es importante medir la importancia de los colores como fuente de información suplementaria que permite al observador distinguir dos objetos que serían de tamaño y forma idéntica. Además, el color afecta varios parámetros fisiológicos humanos, como la tensión arterial, el ritmo cardíaco, la respiración, etc.

La percepción de los colores depende de su longitud de onda. El espectro de colores percibidos se extiende del violeta al rojo y en el sentido creciente de longitud de onda. En el dominio visible, la longitud de onda de 555 nm corresponde a la zona verde-amarilla (sensibilidad relativa = 1).

La sensibilidad del ojo a los rojos de longitud de onda superior a 700 nm es débil, así como los violetas de longitud de onda inferior a 400 nm. El ojo no es sensible a las longitudes de onda situadas fuera del dominio visible (sensibilidad relativa = 0).

En el dominio de las grandes longitudes de onda, los infrarrojos IR-A (de 760 a 1.400 nm), IR-B (de 1.400 a 3.000 nm) y Ir-C (> 3.000nm) tienen únicamente efecto térmico.

El fenómeno de la luminancia

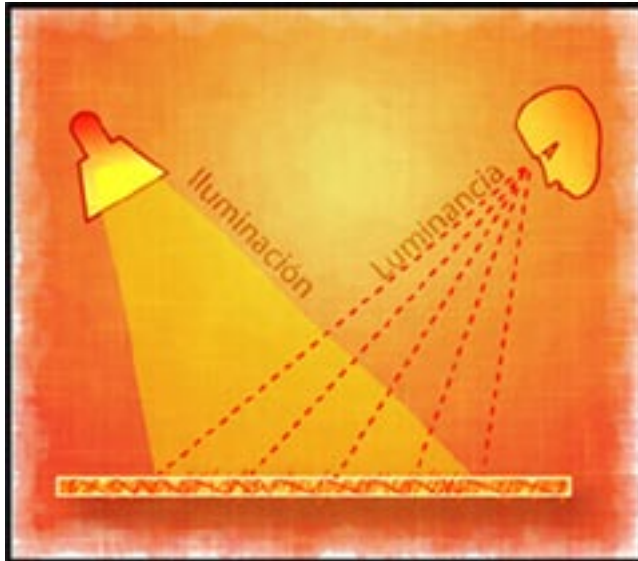
La luminancia es la relación entre intensidad luminosa de una fuente y su superficie aparente:  $L = I/S_{ap}$

La iluminación es el efecto producido por el flux lumínico que cae sobre una superficie dada y que proviene directa o indirectamente de una fuente luminosa natural (cielo, sol) o artificial. Se expresa en lux (lx).

La luminancia caracteriza el flux lumínico que abandona una superficie por el ojo del observador. Se expresa por coeficiente de intensidad luminosa de una superficie por el área aparente de esta superficie. Se expresa en candelas por  $m^2$  ( $cd/m^2$ ). La luminancia de una superficie es tan importante como la claridad que

recibe es importante y su coeficiente de reflexión es cercano a 1.

La luminancia es el tamaño fotométrico que corresponde mejor a la sensación visual de luminosidad de una superficie. El ojo humano percibe los niveles de luminancia que van de 0,001 cd/ m<sup>2</sup> (visión nocturna en la cual la percepción de los colores es imposible) a 10.000 cd/ m<sup>2</sup>. Por el contrario, el ojo no es sensible a las variaciones de luminancia inferiores a 20%: sólo puede comparar y no medir las sensaciones luminosas.



El factor dominante en la distinción de un objeto es el contraste de luminancia o de colores entre ese objeto y su entorno inmediato. Es más fácil leer un texto impreso en negro sobre fondo blanco que negro sobre fondo gris. El contraste de luminancias es en este caso igual a la relación del coeficiente de reflexión de la tinta negra y del soporte, es decir 20/1 en el primer caso y 10/1 en el segundo, en función del gris utilizado. El encandilamiento es el efecto de condiciones visuales por las cuales un individuo percibe menos los objetos después de luminancias o contrastes de luminancias excesivos en el espacio o en el tiempo. En la iluminación natural el encandilamiento puede ser provocado por la vista directa al sol, por una luminancia excesiva del cielo observada desde la ventana, o por paredes que reflejan muy fuertemente la radiación solar y que provocan contrastes muy exagerados, en relación a sus vecinos. En iluminación artificial, el encandilamiento puede ser provocado por la vista directa de una fuente luminosa o por su reflexión sobre las paredes pulidas de las luminarias, de las superficies del local o de los objetos.

La posición de las fuentes luminosas puede igualmente ser la causa de encandilamiento. Cuando una fuente de alta luminancia se encuentra en el campo visual, provoca un desagrado o una distracción según su posición. Para evitar ese inconveniente, la fuente debe estar ubicada de tal manera que el ángulo entre el ojo y el objeto observado, sea superior a 30°.

La luminancia de una superficie es un tamaño difícil

de estimar porque es directamente proporcional a la claridad recibida y al coeficiente de reflexión de la superficie. La cantidad de luz recomendada para una tarea visual precisa, se expresa en términos de iluminancia. Los niveles de iluminancia requeridos varían en función del nivel de detalle a percibir y a los contrastes lumínicos entre el objeto y el fondo.

El factor de luz natural

El factor de luz natural mide la relación entre el plano de trabajo y la iluminación externa sobre una superficie horizontal. Se expresa en porcentaje. En condiciones de cielo cubierto sus valores son independientes de la orientación de los ventanales y dan un valor de la calidad intrínseca del edificio para captar la luz natural. Se recomienda un mínimo de luz natural que deben captar los edificios con cielo claro, cuyos valores son: fábricas, 5%; oficinas 2%; vestíbulos 2% salas de hospitales 1%.

La luz penetra por diversos caminos y se constituye de tres componentes: el cielo, la reflexión externa y la reflexión interna.

La luz natural puede aclarar un espacio de manera directa o indirecta, lateral o cenital. También puede ser controlada o filtrada.

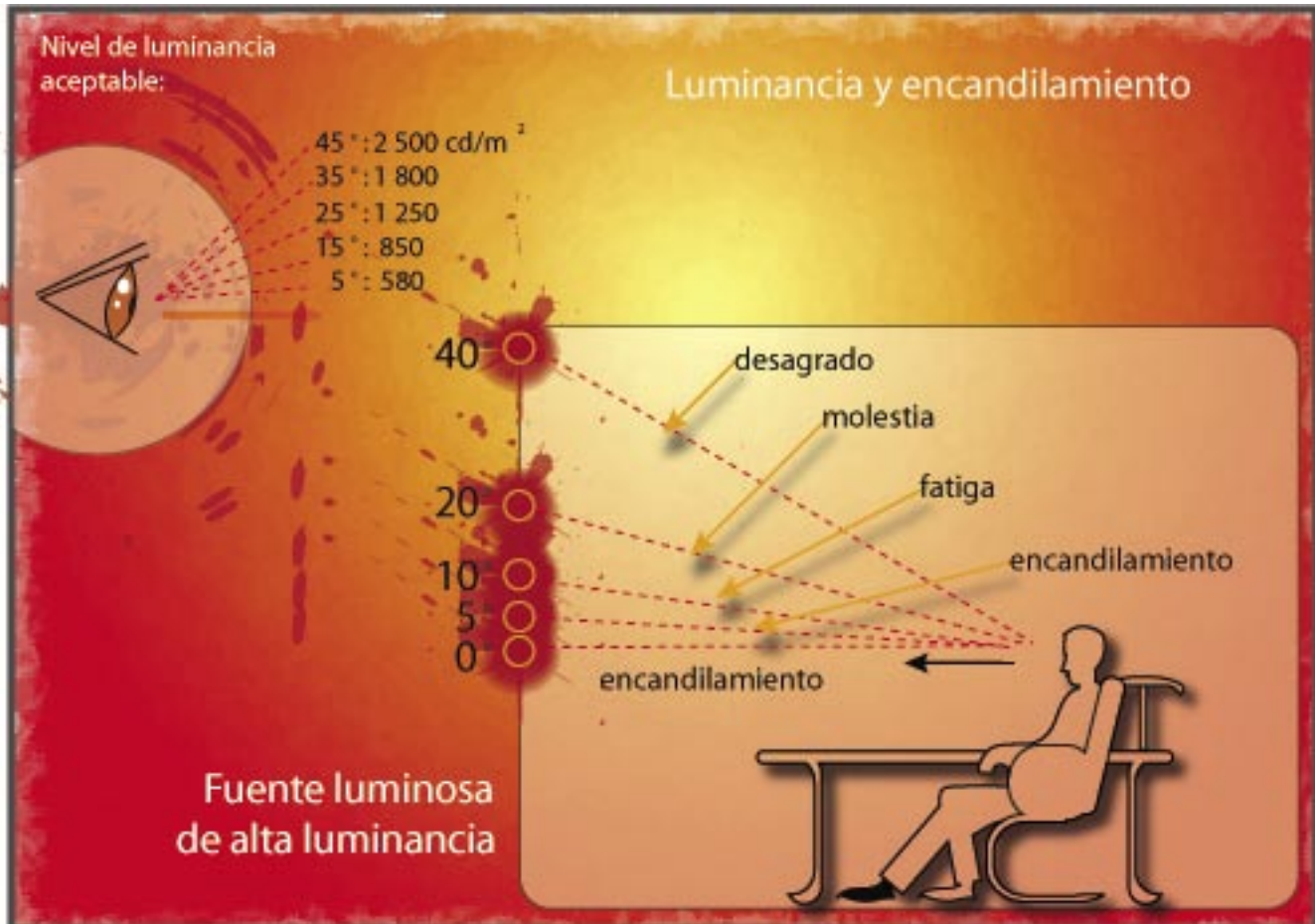
Algunos cuerpos brillan con la luz y otros no. La luz es emitida por fuentes naturales (sol, fuego) o artificiales (lámparas), todas consideradas fuentes de luz directa. Los objetos no luminosos reflejan una parte del brillo que los alcanza y participan así de la repartición y difusión de la luz. Estas son fuentes de luz indirecta.

La luz sólo es visible cuando se refleja en un soporte material. La universidad Central de Venezuela del arquitecto Carlos Raúl Villanueva, es un buen ejemplo del dominio de la luz natural.

En arquitectura la luz proviene de las aberturas y por reflexión de las paredes. El tamaño de las mismas determina la cantidad de luz recibida. Su posición (alta, baja), y su forma (vertical, horizontal) influyen la difusión y la repartición de la luz, así como la calidad de la superficie de las paredes (color, brillo). En consecuencia, el tipo de luz recibida por el hombre está directamente relacionada a su ambiente arquitectónico.

En el análisis arquitectónico, podemos distinguir: los espacios iluminados, los elementos que permiten el pasaje de la luz y los sistemas de control de luz.

- Los espacios iluminados pueden ser espacios de transición como galerías, porches, logias, etc. O espacios interiores iluminados como patios, atriums.
- Los elementos que permiten el paso de luz son de tipo lateral (ventana, muro cortina, muro transparente), o cenital (claraboya, cielo transparente, pozos de luz), o bien global (cenital y lateral).
- Los sistemas de control de luz dependen de la

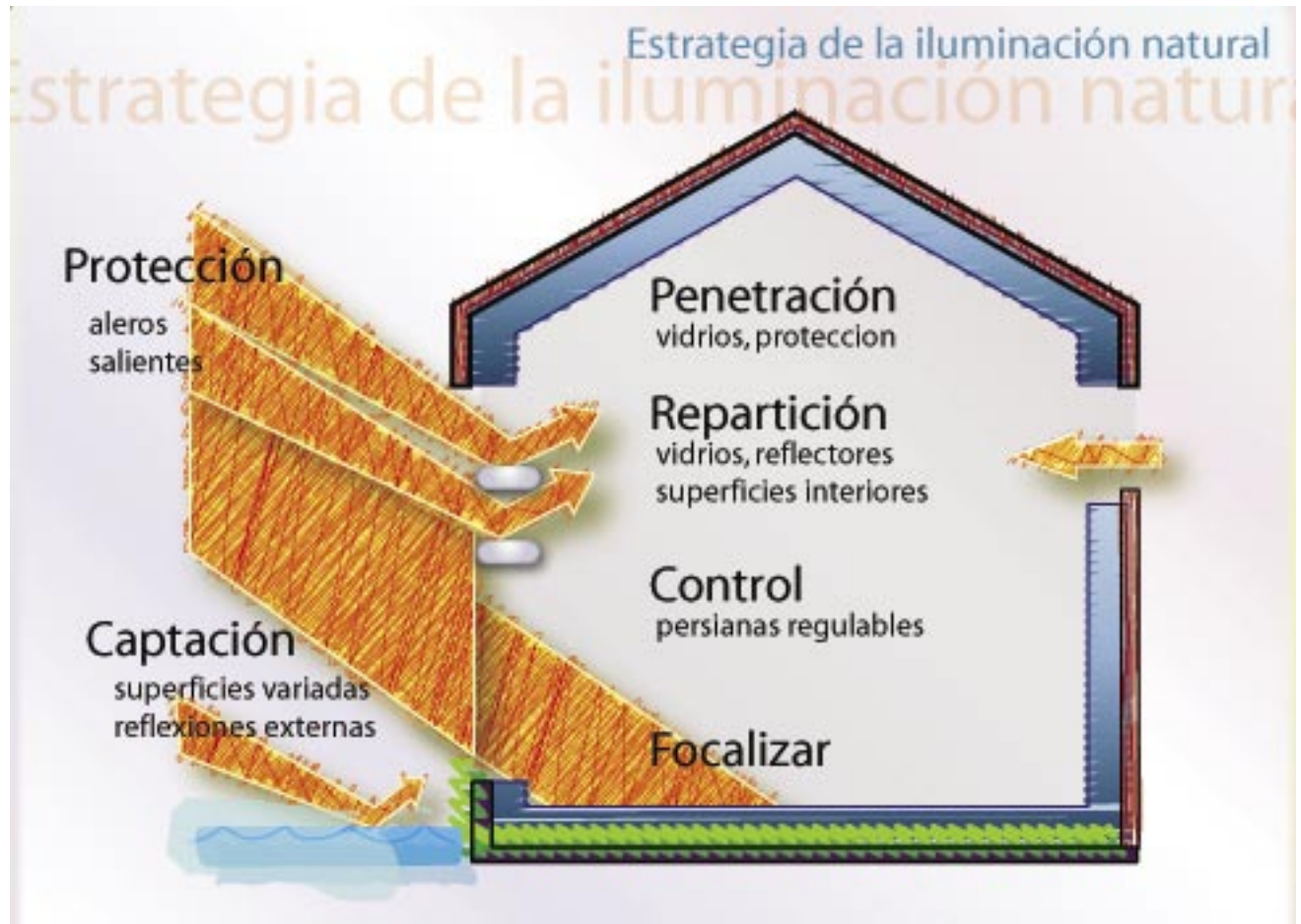


calidad de los materiales (vitrales, ladrillos de vidrio, vidrio traslúcido o bien opaco, protecciones solares, claustra, etc.).

La estrategia de iluminación natural se enfoca en captar la luz natural, hacerla penetrar y repartirla homogéneamente y focalizarla. También debe controlar el exceso de luz para calificar el ambiente. El buen manejo de la luz natural, permite reducir la factura de consumo eléctrico.

- **CAPTAR:** una parte de la luz natural se transmite a través de los vidrios hacia el interior del edificio. La calidad de la luz dependerá de la naturaleza y del tipo de pared vidriada, de su rugosidad, espesor y limpieza. El paisajismo circundante puede constituir una barrera rasante para la radiación, dejando una abertura hacia el cielo. Inversamente, las superficies reflectivas como piso cerámico o planos de agua, pueden contribuir a captar más luz.
- **PENETRAR:** La penetración de la luz al edificio produce efectos muy variados dependiendo de las condiciones externas ( tipo de cielo, fenómenos atmosféricos, estación, hora del día y lo despejado que esté el sitio), pero también en función del emplazamiento, la orientación, la inclinación, el tamaño y el tipo de vidrios. La iluminación lateral provee una luz dirigida que resalta el relieve, pero limita la profundidad, contrariamente a la iluminación cenital que es más uniforme pero sólo posible en el último piso.

- **REPARTIR:** La luz se refleja mejor en el conjunto de superficies internas mientras menos obstáculos encuentre, debidos a la geometría del local o al mobiliario. Y que los revestimientos de la superficie sean mates y claros. También puede difundirse según el tipo de vidrios utilizados (traslúcido) o por sistemas de reflectantes que permitan a la luz alcanzar el fondo del local.
- **PROTEGER Y CONTROLAR:** La penetración excesiva de luz natural puede ser causa de molestia visual(encandilamientoofatiga).Puede controlarse con elementos arquitectónicos fijos (voladizos, bandas luminosas, aleros), asociados o no a pantallas regulables (persianas, postigos, marquesinas).
- **FOCALIZAR:** A veces se necesita focalizar la luz para enfatizar un espacio o bien un objeto particular. La iluminación cenital o lateral alta, crea un contraste luminoso importante con la iluminación ambiental, menos potente. Un atrio al centro de un edificio permite a la luz de día penetrar mejor el edificio y crea un espacio de circulación y de reposo.



El color y la calidad de las paredes

El color y la calidad de las superficies de las paredes intervienen en la reflexión de la luz y los sonidos e influyen en la temperatura superficial de las paredes, aumentando o entorpeciendo la acumulación de calor. La calidad y la distribución de la luz y sonidos dependen en gran medida de la reflexión de las paredes.

La arquitectura de Luis Barragán en México es célebre por la calidad lumínica de sus espacios coloridos. Le Corbusier también trabajaba una paleta definida de colores, la cual fue estableciendo progresivamente.

Las radiaciones coloreadas pueden tener alguna influencia y producir efectos psicológicos sobre el sistema nervioso, como se conoce que los colores de onda larga (rojo, anaranjado) producen un efecto estimulante, mientras que los de onda corta (azules, violeta) producen un efecto calmante, mientras que los intermedios (amarillo, verde) tienen un efecto tónico, favorable a la concentración, igual que el color blanco. Los colores oscuros y el gris, tienen un efecto depresivo.

Los colores también contribuyen a modificar la dimensión aparente del espacio y los volúmenes. Los colores cálidos deben ser utilizados en locales de grandes dimensiones, mientras que los fríos son recomendables para dimensiones reducidas.

A cada color le corresponde un coeficiente de absorción solar que expresa la fracción absorbida de radiación solar incidente.

El bienestar acústico

El sonido es una sensación auditiva que se produce por la fluctuación periódica de la presión del aire al nivel de la oreja. Esta fluctuación se caracteriza por su intensidad (nivel sonoro en decibeles), su frecuencia (comprendida entre 20 y 20.000 Hz para el ser humano) y su timbre (diferencia cualitativa ligada a la forma de vibración). Los ultrasonidos son frecuencias que exceden estas categorías y que pueden ser captadas sólo por ciertos animales, como el perro que puede percibir hasta 80.000Hz.

El sonido se propaga a una velocidad que depende del medio: en el aire (ruido aéreo), a una temperatura de 20° C la velocidad alcanza 343 m/s; en el agua, es de 1.170 m/s y puede llegar a 5.000 m/s por la propagación del sonido vía de masas metálicas (ruido de impacto). La claridad del sonido depende del camino recorrido por la onda sonora: la geometría del lugar determina el tiempo de reverberación, primordial en el diseño de una sala de concierto.

Las presiones acústicas encontradas en la práctica varían de 1 a 10 millones. La sensación auditiva es proporcional al logaritmo de excitación (ley de

Fechner). La medida de intensidad está hecha por medio de la escala logarítmica de decibeles, que caracteriza la relación entre potencia sonora y una potencia de referencia ( 2 diez milésimos de Pa, es decir la presión acústica más débil perceptible por el oído humano). Todo aumento de 20 decibeles de la intensidad sonora corresponde a una multiplicación por 10 de la amplitud de onda.

Algunos valores:

30 dB = crujir de hojas;

50 dB= conversación en voz baja;

70 dB= conversación normal;

90 dB= viaje en tren;

110 dB= radio fuerte;

140 dB= límite de dolor.

La exposición al ruido conlleva una disminución de la percepción dependiendo de la intensidad del ruido, de la duración de la exposición y del tipo de sonido (los sonidos agudos intermitentes son los más nocivos). El exceso de ruido actúa sobre el nivel del oído interno, provocando un déficit temporal (fatiga auditiva) o definitiva de la sensibilidad. Una exposición corta a un ruido muy violento (110 dB en discoteca) puede producir la pérdida definitiva de una parte o del total de la audición.

El bienestar sonoro depende del nivel sonoro, especialmente en ambientes industriales donde las máquinas son ensordecedoras. Depende también de la sensibilidad del oído a las frecuencias bajas. Medidas correctivas tales como la instalación de paneles absorbentes pueden implementarse para controlarlo.

El bienestar sonoro depende también de la dinámica sonora, es decir de la emergencia del sonido sobre el ruido de fondo (efecto de contraste). Una llave que gotea de noche puede ser tan molesta como un tren que pasa a lo lejos. En los espacios de oficina donde el nivel sonoro es relativamente bajo, depende sobretodo de la capacidad del ruido de fondo para encubrir la emergencia de los ruidos particulares.

La conductividad térmica de los materiales

La conductividad térmica de los materiales  $\lambda$  expresa la cantidad de calor (en W) que atraviesa un  $m^2$  de superficie, un metro de espesor del material para un grado de diferencia de temperatura entre la cara externa y la interna. Se expresa en W/m.K.

Cuando se somete un material a diferentes temperaturas, nace un flujo de calor  $q$  que tiende a equilibrar las temperaturas. Este flujo de calor depende de la diferencia entre las temperaturas y las características del material:  $q=c.(T1 - T2)$ .

La constante de proporcionalidad  $c$  depende del espesor  $e$  de la pared entre las dos temperaturas dadas y de la conductividad térmica  $\lambda$ , que mide la capacidad propia del material para medir el calor:  $c= e/ \lambda$

En consecuencia,  $c$  aumenta con el mayor espesor del

material y la conductividad térmica disminuye a medida que  $c$  aumenta.

El valor de  $\lambda$  es débil para los materiales aislantes e importante para los materiales conductores. Los materiales se consideran aislantes cuando su conductividad térmica es inferior a 0,065 W/m.K. Los materiales de albañilería no son aislantes y para que logren el mismo resultado de una pared aislante deben pasar de 19 cms a 90 cms.

Los factores que determinan la conductividad térmica de un material son:

-su peso volumétrico

- la cantidad de agua que contiene

- el tamaño de sus poros

- la naturaleza del sólido que los contiene

La presencia de agua al interior del material influencia su conductividad térmica. La porosidad intrínseca de los materiales, conjugada a su exposición al agua, puede variar considerablemente su conductividad. El valor  $\lambda$  de los materiales aislantes varía en condiciones húmedas, razón por la cual es recomendable no utilizarlos en situaciones de condensación, vapor, etc. Su resultado disminuiría considerablemente. Los metales, materiales no porosos, tienen una conductividad térmica constante.

La transferencia de calor se efectúa por:

- convección y radiación entre el ambiente exterior y la cara interior de la pared

- por conducción en la pared

- por convección y radiación si la pared comprende una capa de aire

- por convección y radiación desde la cara externa de la pared hacia el exterior

Un aislante puede ubicarse de diversas maneras en el muro (en el interior, en el exterior o en sándwich), sin influenciar la calidad de aislamiento. Sin embargo su posición modifica la inercia de la pared así como el riesgo de condensación.

Conclusión de estas dos entregas

Hasta aquí hemos visto cómo funcionan y qué efectos producen los astros, los elementos naturales y los materiales. Sin estos antecedentes, difícilmente se puede pensar en diseñar bioclimáticamente. Puede parecer tedioso, pero es fundamental comprender el comportamiento de los diferentes factores y variables que comprometen el diseño de un habitar y el desarrollo de tecnologías pasivas.

En la próxima entrega desarrollaremos las herramientas para construir con el clima.



Conductividad térmica  
de los materiales  
 $\lambda$  en W/m.K

	seco	húmedo	
Materiales aislantes	0,028		poliuretano
	0,040		lana mineral, corcho
	0,058		vermiculita
	0,065		perlita
Maderas y derivadas	0,17	0,19	duras
	0,12	0,13	resinosas
albañilería	0,27	0,41	ladrillos 700-1000 kg/m <sup>3</sup>
	0,54	0,75	ladrillos 1000-1600 kg/m <sup>3</sup>
	0,90	1,1	ladrillos 1600-2100 kg/m <sup>3</sup>
vidrio	1,0	1,0	
concreto armado	1,7	2,2	
piedras naturales	1,4	1,69	toba, piedra pequeña
	2,91	3,49	granito, mármol
metales	45		acero
	203		aluminio
	384		cobre

