

# La fachada dinámica<sup>5.0</sup>

El primer control energético  
del edificio



Durante casi 50 años, el grupo Somfy ha estado desarrollando soluciones innovadoras para automatizar y gestionar el control solar en edificios y viviendas, contribuyendo así al confort, seguridad y ahorro energético diario de los usuarios.

Con el paso de los años, se ha demostrado que cada vez son más y más las ventajas asociadas al control solar automático. Todo ello junto a importantes cambios, tanto económicos como medioambientales, en los que el concepto de desarrollo sostenible se encuentra en el corazón del diseño arquitectónico.

De hecho, el control solar de la fachada conlleva un mejor aprovechamiento de la luz natural y de la ventilación, así como un mejor uso de la energía solar para conseguir reducir el consumo de energía que supone la iluminación, calefacción y refrigeración de los edificios.

En el interior de los edificios, los usuarios pueden disfrutar de la vista exterior y de la máxima luz natural posible, sin molestias provocadas por la radiación solar directa o contrastes excesivos en los niveles de luz. Además, hoy día, se sabe que tanto el confort visual y térmico como la calidad del aire pueden tener un impacto directo sobre el bienestar, la salud y la productividad de las personas.

Por ello, Somfy, interesado en la arquitectura sostenible, junto a los autores de la obra, *Treatise on bioclimatic architecture and town planning*, Alain Liébard y André de Herde, han dado forma a la concepción de las fachadas dinámicas, punto intermedio en el que el interior y el exterior de un edificio se encuentran.

Su libro, muy leído en Europa y en el resto del mundo, se ha convertido en la obra de referencia sobre el tema y ha permitido descubrir o redescubrir a muchos arquitectos los principios del diseño bioclimático y los medios técnicos y arquitectónicos modernos para alcanzarlos. Por ello, cada vez vemos más y más casas de bajo consumo energético, con el correspondiente reto de reducir las facturas de energía al mismo tiempo que mejorar el confort de los inquilinos.

Este libro está dirigido a todos los interesados en los principios de construcción sostenibles y, especialmente, a aquellas personas de la industria de la construcción que trabajan específicamente en fachadas, ya sea para definir sus principales características, contribuir a su diseño y construcción, o garantizar su mantenimiento.

**Jean-Philippe Demaël**  
*Presidente ejecutivo de Somfy (2008-2015)*



<b>OBJETIVO</b>	
<b>Libro</b> .....	<b>4-5</b>
- La Fachada Dinámica	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>Situación actual</b> .....	<b>6-13</b>
- La energía en el gasto de explotación de un edificio	
- El consumo de un edificio	
- CIF: Fachada + Climatización + Iluminación	
- La fachada dinámica	
<b>ARQUITECTURA SOSTENIBLE</b>	
<b>Orígenes</b> .....	<b>14-23</b>
- Demografía y energía	
- Cambio climático	
- Impacto del hombre sobre el entorno urbano	
- Concepto de ahorro de energía	
- Concepto de gestión energética	
<b>Factores climáticos</b> .....	<b>24-33</b>
- Principales climas del mundo	
- Energía solar	
- Trayectoria solar	
- Radiación solar	
- Luz	
<b>Factores microclimáticos</b> .....	<b>34-39</b>
- La influencia del paisaje en los microclimas	
- La influencia de la vegetación en los microclimas	
- La influencia de los edificios en los microclimas	
<b>Aproximación al bioclima</b> .....	<b>40-47</b>
- La persona como centro de la arquitectura sostenible	
- Estrategias de iluminación natural	
- Estrategias de refrigeración	
- Estrategias de calefacción	
<b>ESTRATEGIAS DE ILUMINACIÓN NATURAL</b>	
<b>Fundamentos</b> .....	<b>48-59</b>
- Propiedades físicas de las fuentes de iluminación	
- Composición del espectro de luz	
- La percepción de la luminosidad	
- Factor de la luz solar	
- Optimizar la luz natural	
- Transmisión luminica (TL)	
<b>Confort visual</b> .....	<b>60-69</b>
- Confort visual	
- Parámetros del confort visual	
- Niveles de iluminación	
- Relación con el mundo exterior	
- Reducción del deslumbramiento	
<b>Construir utilizando luz natural y artificial</b> .....	<b>70-83</b>
- Valores destacados de la luz natural	
- En oficinas	
- En hogares	
- En hospitales	
- En colegios	
- En zonas deportivas	
- En edificios industriales	
<b>ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN</b>	
<b>Fundamentos</b> .....	<b>84-91</b>
- Aporte solar	
- Ganancia calorífica interna	
- Factor solar	
- Pérdida de calor por aislamiento	
<b>Confort térmico</b> .....	<b>92-97</b>
- Factores del confort térmico	
- Temperaturas del confort térmico	
- Método Fanger	
<b>Herramientas para regular la temperatura</b> .....	<b>98-99</b>
- Control solar	

## VENTILACIÓN NATURAL

<b>Ventilación natural y confort de los usuarios</b> .....	<b>100-105</b>
- Confort a través de la calidad del aire	
- Confort del aire limpio	
- Confort termal en climas cálidos	
<b>Aproximación a la ventilación natural</b> .....	<b>106-109</b>
- Renovación del aire	
- Ventilación	
- Renovación del aire y ventilación natural	
- Ventilación natural en climas cálidos	

## SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS

<b>Construir con el clima</b> .....	<b>110-113</b>
- Orientación de las fachadas	
- Energía solar recibida	
<b>Herramientas arquitectónicas</b> .....	<b>114-133</b>
- Huecos	
- Ventanas	
- Acristalamiento transparente	
- Acristalamiento absorbente y reflectante	
- Acristalamiento electrocrómico y gasocrómico	
- Control solar: objetivos	
- Control solar: automático	
- Control solar: diferentes tipos	
- Características del tejido técnico	
- Los colores en los tejidos técnicos	
<b>Muro cortina: fachadas acristaladas</b> .....	<b>134-137</b>
- Una solución mejorable	
- Sistemas de regulación de fachada y uso del control solar	

## EDIFICIOS DE CONSUMO CASI NULO (EECN)

<b>Control centralizado en edificios</b> .....	<b>138-139</b>
- Sistemas de gestión y control de instalaciones	
<b>Nearly Zero Energy Building (nZEB)</b> .....	<b>140-141</b>
- Hoja de ruta	
<b>Código técnico de Edificación (CTE- DA-DB HE1, E2)</b> .....	<b>142-143</b>
- Factor solar modificado de huecos y lucernarios	
<b>La envolvente</b> .....	<b>144-151</b>
- Valores fundamentales. U + Fs +TL	
- La protección solar	
- El complemento Somfy para CE3X	
- Control solar automático	
<b>Confort lumínico</b> .....	<b>152-157</b>
- Valor añadido del control solar	

## REFERENCIA NACIONAL

<b>Rehabilitación energética en edificio terciario</b> .....	<b>158-167</b>
- Situación inicial	
- Solución instalada	
- SFuncionamiento y costes	
- Shadow management	
- Solución fachada dinámica - iluminación artificial	

## HOGAR CONECTADO

<b>La ventana</b> .....	<b>168-169</b>
- Historia	
<b>La ventana, nuevo electrodoméstico</b> .....	<b>170-171</b>
- Control energético	
<b>TaHoma®</b> .....	<b>172-175</b>
- La innovación en nuestras casas	

## LA FACHADA DINÁMICA

<b>Resumen</b> .....	<b>176-179</b>
- Nuevo CTE HB 2018. El control solar	
- Bibliografía	
<b>British Blind &amp; Shutter Association</b> .....	<b>180-181</b>
- SHADE IT	
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>182</b>

El objetivo del libro es difundir los beneficios del control y protección solar para conseguir que los futuros proyectos de obra nueva y rehabilitación de edificios incluyan los sistemas de control solar automático en la fachada contribuyendo notablemente a conseguir Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN). El control y la protección solar integrados arquitectónicamente en la fachada son el primer control energético del edificio para el ahorro de energía que implica un compromiso con el medio ambiente en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y una mejora notable en el confort térmico y lumínico de los usuarios.

#### ¿Qué es el control solar automático?

Son todos aquellos sistemas capaces de controlar y optimizar la entrada de la radiación solar e iluminación natural en cualquier tipo de edificios. El control y protección solar están integrados en la fachada con la arquitectura del edificio adaptándose a la climatología y entorno urbanístico de la zona. El control solar automático también puede integrarse con el resto de sistemas de iluminación, climatización, etc. para conseguir un sistema conjunto de gestión en el edificio.

#### ¿Qué aportamos?

**Confort Lumínico.** Mejorar el confort visual de los usuarios optimizando los aportes de luz natural reduciendo los sistemas de luz artificial y, por tanto, el consumo en iluminación de los edificios. El incremento de la luz natural mejora la calidad de vida en el edificio.

**Confort térmico.** Regular la temperatura interior de los recintos entre 21 y 26°C mediante el control solar automático con un aumento del confort térmico y reducción de los sistemas de climatización debido a que la fachada actúa como primer control energético del edificio. El control térmico supone un aumento de la productividad y confort de los trabajadores dentro del edificio.

**Ahorro energético.** Aprovechando la energía gratuita del sol en invierno y evitando la radiación solar en verano podemos reducir los consumos energéticos de iluminación y climatización. El control y protección solar contribuirán al ahorro energético y ayudarán a mejorar la calificación energética de los edificios. La mejora en la certificación energética significa incrementar el valor inmobiliario del edificio.

**Sostenibilidad.** El control solar automático permite una reducción notable del consumo de energía y por lo tanto también reducimos las emisiones de gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub> y reducimos el impacto de la huella de carbono. El control solar automático puede estar integrado con los sistemas de captación de energía sostenible para reducir la dependencia con los combustibles fósiles. El compromiso de respeto por el medio ambiente mejorando la sostenibilidad de la edificación y logrando edificios de Consumo Casi Nulo. EECN.



El control solar dinámico.

En 2014, un edificio de oficinas tenía un coste de construcción de aproximadamente 1.000 €/m<sup>2</sup> por planta de construcción sobre rasante y 700 €/m<sup>2</sup> en aparcamiento. Cuando se finaliza el edificio el promotor inmobiliario puede alquilarlo entre 15 y 25 €/m<sup>2</sup> por superficie de oficina o de “moqueta” (no incluye las zonas comunes como lavabos, pasillos, ascensores, etc.). Por lo tanto si reducimos el coste energético anual del edificio bajaremos el coste de explotación y estaremos incrementando el margen de beneficio del promotor inmobiliario, además de aportar un valor añadido de sostenibilidad medioambiental y de calificación energética del edificio. La mejora de la calificación del edificio (letra A, B, etc.) a fecha de hoy con la aprobación del Real Decreto 235/2013 del 5 de abril es un valor diferencial cuando el cliente ha de escoger para alquilar una oficina o bien para una futura venta del propio edificio.

La rehabilitación energética es una oportunidad de negocio cuando confirmemos cuál es el gasto real de energía respecto al gasto de explotación general del edificio. Con los datos facilitados por empresas de Facility Management o gestoras de edificios podemos saber cuál es la importancia de la energía en el gasto global de un edificio. En 2012 ya suponía un 30% del total de coste de explotación de un edificio. Si tenemos en cuenta que la tasa de crecimiento del precio de la energía duplica el incremento del Índice de Precios al Consumo (IPC), es lógico suponer que la importancia del consumo energético también continuará creciendo. La previsión es que en 20 años constituirá el 50% de los costes de explotación de un edificio.

Conforme el precio de la energía vaya creciendo, la Certificación Energética se irá convirtiendo en un distintivo de calidad. Así se usa ya en muchos países europeos como Francia, Reino Unido, Alemania, donde el certificado se sitúa a la entrada de los edificios. Este valor añadido nos da un baremo de calidad energética y nos indica el consumo estimado del edificio y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

Antes de aplicar las acciones de rehabilitación energética debemos analizar cuidadosamente el comportamiento del edificio y de sus usuarios. Las auditorías energéticas que monitorizan el consumo son una herramienta indispensable para saber dónde y cuándo gastamos más. Con los datos de esta auditoría, o con los consumos facilitados por el gestor del edificio podremos poner en marcha un plan de rehabilitación energética. Este plan debe informar sobre las posibles acciones a realizar, su precio y la amortización de la inversión.

1

### Principio de funcionamiento



*Nivel bajo de luz natural, nublado*

**Estores subidos:** máxima luz natural

**Nivel medio de iluminación artificial** para complementar la luz natural



*Nivel medio de luz natural, algunas nubes*

**Estores bajados hasta la mitad:** luz natural optimizada

**Nivel bajo de iluminación artificial** para complementar la luz natural



*Nivel alto de luz natural*

**Estores bajados y lamas en ángulo:** bloqueo del calor y del deslumbramiento

**Iluminación artificial:** apagada

La gestión de la luz natural.



¿Cómo podemos medir la sostenibilidad de nuestro edificio? Actualmente ya está aprobado el Real Decreto 235/2013 del 5 de abril como procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética en todo tipo de edificios. La clasificación energética se establece por letras: de la A (mejor) a la G (peor), siguiendo el mismo criterio aplicado en los electrodomésticos. Esta certificación permite que conceptos como “sostenibilidad”, “verde”, “ecológico” y “eficiente” puedan tener un valor real y objetivo. Una vez acreditemos el gasto energético de un edificio, podremos mejorar su calificación con una rehabilitación energética. En España, el camino por recorrer es largo. Mientras que la mayoría de nuestros electrodomésticos ya son todos A, A+ o A++, el 70% de los edificios españoles calificados han obtenido la letra D o peor (E, F y G).

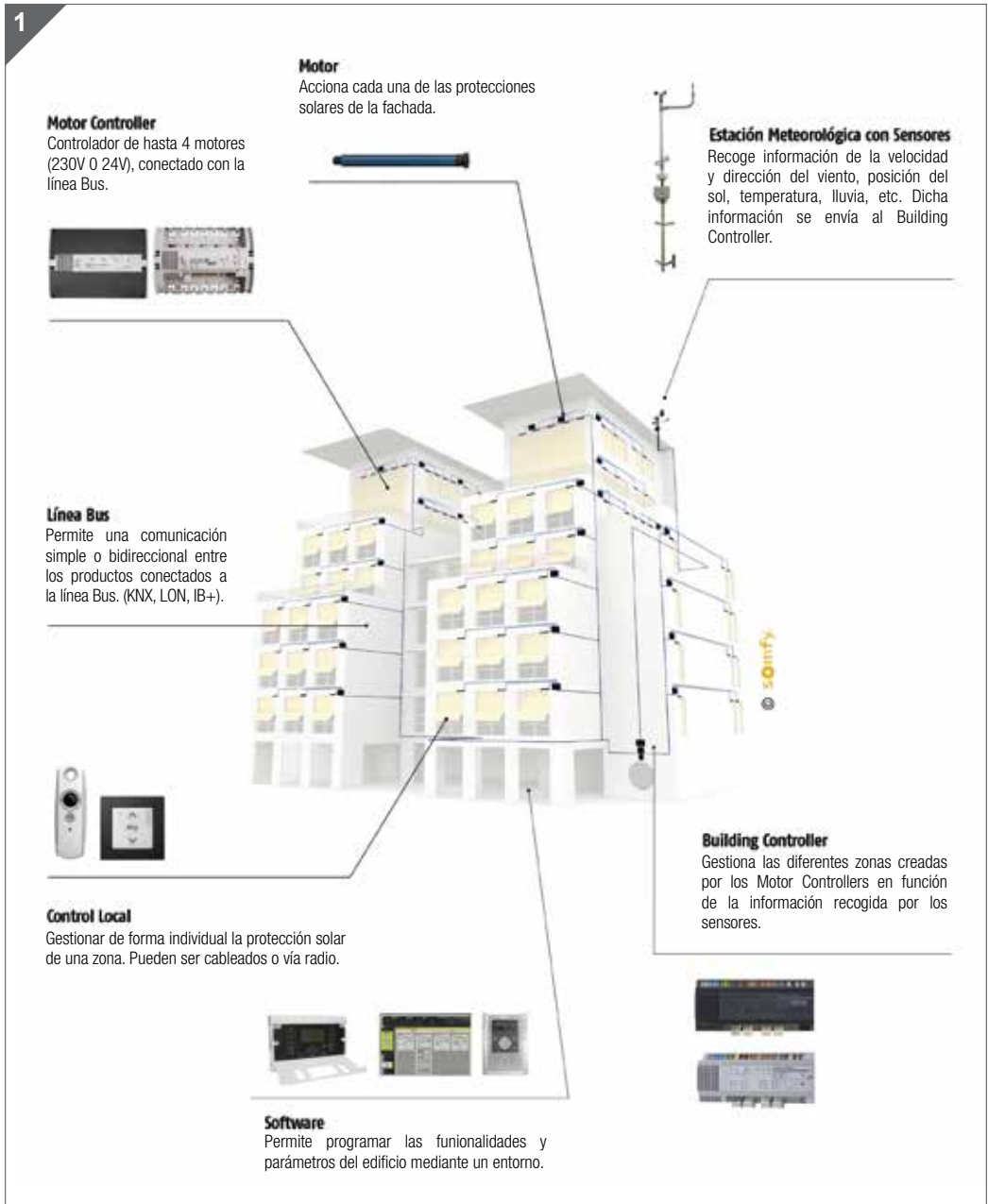
Comentar que la calificación A de un edificio no significa que sea un edificio de consumo casi nulo (NZEB). La calificación A, con un consumo aproximado de 50 kWh/m<sup>2</sup> es un primer paso para reducir el consumo, ya que la exigencia europea de que los edificios sean “de consumo casi nulo” implica que consuman cerca 0 kWh/m<sup>2</sup>. Las acciones de rehabilitación energética encaminadas a alcanzar este objetivo difieren según la tipología de edificio y que resumimos en 4 ejemplos según los usos de los edificios donde se determina el consumo medio:

Hospitales	uso 24 h	300 kWh/m <sup>2</sup> y año.
Museos	uso irregular	250 kWh/m <sup>2</sup> y año.
Oficinas	uso 12 h	175 kWh/m <sup>2</sup> y año.
Residencial	uso privado	150 kWh/m <sup>2</sup> y año.

Aunque los consumos medios también varían en función de la situación geográfica y orientación del edificio, sirven para tener un baremo de referencia sobre el consumo actual y el posible ahorro. Un ejemplo. La factura energética de un edificio de oficinas de una superficie de 6.000 m<sup>2</sup> con un consumo medio anual es de 175 kWh/m<sup>2</sup> (precio 0,165383 €/kWh en 2014)

$$6.000 \text{ m}^2 \times 175 \text{ kWh/m}^2 \times 0,165 \text{ €/kWh} = 173.250,00 \text{ €}$$

**El coste medio de consumo energético es de 30 €/ m<sup>2</sup> de planta construida de edificio.**



Esquema de control solar automático en edificios.

¿Dónde está realmente el consumo en un edificio? Si comparamos las diferentes instalaciones en un edificio de oficinas, en 2014, la climatización es con diferencia la instalación que más energía consume. Representa casi la mitad de toda la factura (48%) y el doble que la iluminación (22%). El control del gasto de estas dos instalaciones es fundamental para conseguir ahorros significativos de energía en el edificio.

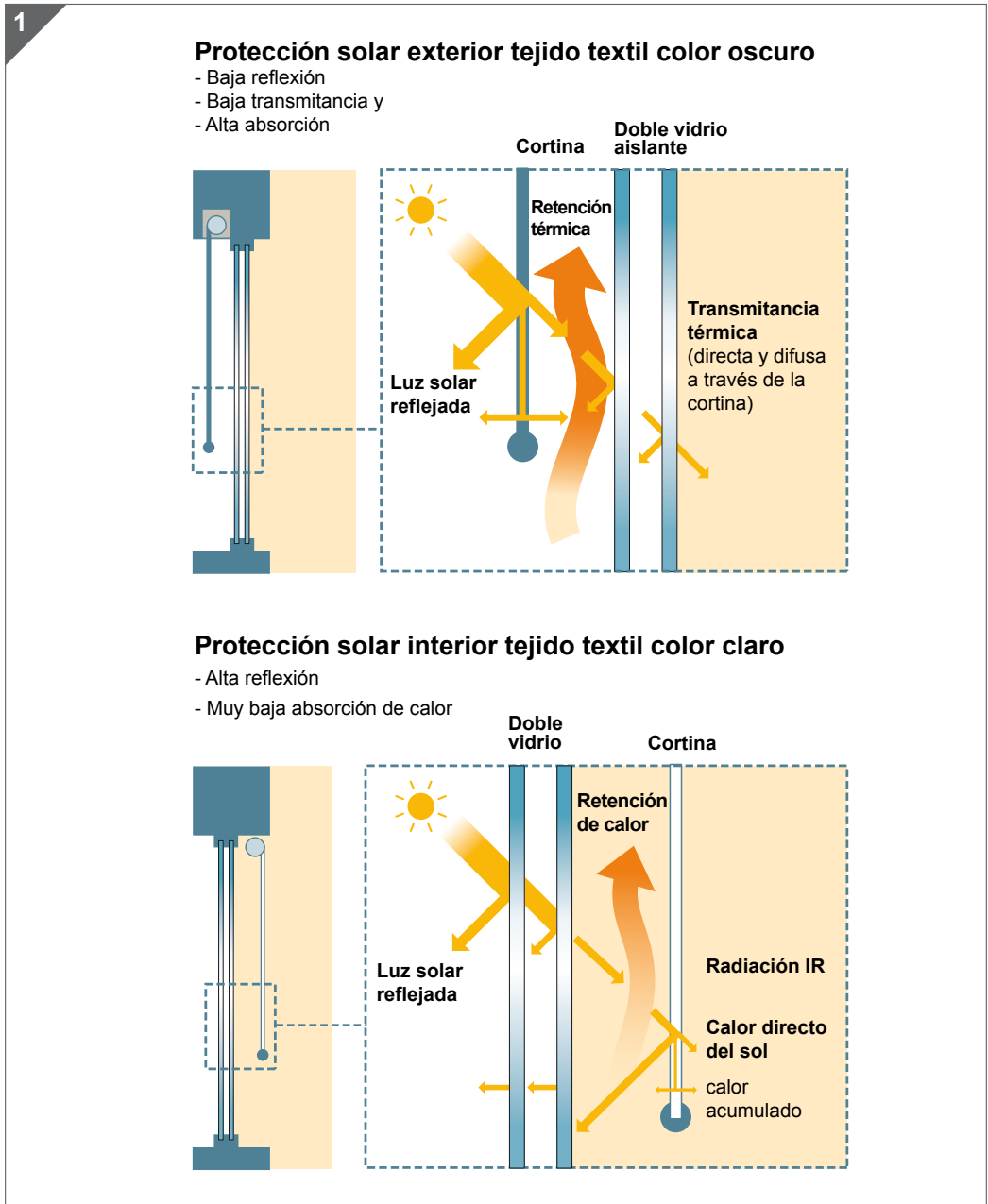
El consumo de energía que actualmente se prescribe en los proyectos europeos es de 50 kWh/m<sup>2</sup>. Es un requisito que forma parte de las necesidades iniciales o premisas del cliente conjuntamente con el diseño, confort, etc.

Al fijar los requisitos internos de un edificio a nivel de climatización e iluminación hay que tener en cuenta el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) que ya normaliza unas condiciones que deben ser respetadas por los usuarios y aplicadas por el responsable de mantenimiento de las instalaciones. Algunos establecimientos o centros comerciales ya tienen visible dicha información al consumidor y se indican los siguientes datos:

Temperatura:	Invierno 21°C – Verano 26°C
Humedad:	Entre 40 y 60%
Iluminación:	300-500 lux

Pero para poder reducir el consumo de climatización e iluminación en cualquier edificio de oficinas no podemos olvidarnos de un tercer elemento fundamental: la fachada. La envolvente o fachada es nuestro primer control a nivel térmico, lumínico, acústico, de seguridad, estanqueidad y radiación solar. Sus funciones incluyen el determinar la relación arquitectónica con el entorno y articular la respuesta del edificio a nivel térmico, lumínico y acústico, así como desde el punto de vista de la seguridad, la estanqueidad y la radiación solar.

Por lo general un edificio de oficinas siempre necesita frío debido a que los ordenadores, impresoras, iluminación, fotocopiadoras y las personas del edificio generan calor latente. Y además deberíamos evitar la entrada de calor desde el exterior por efecto de la radiación solar directa debido a que aumenta en 6-8°C la temperatura interior. Esta capacidad para reaccionar en tiempo real a los cambios climatológicos externos y de uso-distribución internos convierte a las fachadas dinámicas que incorporan protecciones solares en una solución fundamental para alcanzar el balance neto cero de energía en los edificios.



La protección solar.

La envolvente o fachada es el primer control energético del edificio. Las fachadas actuales o tradicionales se han adaptado al lugar y al entorno arquitectónico aunque respecto al clima del lugar son fachadas estacionales. Es decir, las fachadas actuales dan una respuesta en verano o en invierno a las necesidades del usuario en función de las condiciones climatológicas. Los nuevos edificios de consumo casi nulo o NZEB necesitan algo más que una fachada estacional... necesitan una fachada dinámica que reaccione en tiempo real según las necesidades y cambios del clima exterior y las necesidades internas del usuario (interior del edificio). Proponemos la fachada dinámica con una respuesta inmediata (minuto a minuto) y que pueda dar el máximo confort y el mínimo consumo de energía en cada momento del día.

Las fachadas dinámicas tienen 4 características:

**Inmediata.** Reacción instantánea de la fachada adaptándose cada minuto a los cambios climáticos exteriores y a las necesidades del usuario en el interior. No es una fachada estacional que se comporta bien en verano o invierno... en cada momento aporta la mejor opción de confort y ahorro energético.

**Flexible.** La fachada puede cambiar con el cambio de uso del edificio sólo con cambios de programación sin necesidad de obras en la fachada. La flexibilidad de las fachadas dinámicas favorece que se puedan adaptar a los procesos de alquiler de plantas y cambios internos del uso de los espacios.

**Invisible.** Respeta la imagen arquitectónica de la fachada ya que sólo es visible cuando es necesario controlar la luz natural. Sólo actúa si hay presencia en el interior para mejorar el confort térmico y lumínico de los usuarios o bien si no hay presencia optimizar el ahorro energético del edificio. Si no es necesario la protección solar está oculta.

**Integrada.** Las fachadas dinámicas se pueden integrar con la climatización y la iluminación en un mismo equipo o sistema de gestión-control del edificio para reducir el consumo del mismo. La climatización y la iluminación suponen aproximadamente entre el 70-75% del consumo de un edificio.

Los beneficios de la Fachada Dinámica:

- Potenciar la luz natural reduciendo el consumo de luz artificial y aumentando la vida útil de las lámparas.
- Reducción del consumo de climatización. (Aire acondicionado y calefacción)
- Mejorar el confort térmico y visual del usuario.
- Reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> y respeto al medioambiente.
- Integrar la gestión de la fachada dentro del sistema de control del edificio donde también estarán la iluminación y la climatización.



Beneficios de la fachada dinámica.

Cuando la raza humana contaba con unos 5 o 10 millones de personas, hace 10.000 años aproximadamente, apenas causaba impacto en el ecosistema. Ha sido recientemente cuando el hombre ha cambiado su entorno, tan drásticamente como lo había hecho anteriormente la naturaleza, pero en un periodo de tiempo mucho más corto.

Entre 1750 y 1950, Europa experimentó una explosión demográfica. Gracias al descenso de la mortalidad lograda por los principales avances científicos (en agricultura, salud pública y medicina), la población europea aumentó de 150 a 600 millones de habitantes.

Según la Organización de las Naciones Unidas, el planeta tendrá unos 9,3 mil millones de habitantes en 2050. El 95% de esta población nacerá en países menos desarrollados. Se espera que la población de Europa Occidental decrezca mientras que la población de América del Norte aumentará un 40%. El mayor crecimiento se dará en Asia (+46%), América del Sur (+53%) y especialmente en África (+146%). Mientras que en 1950 Europa representaba el 15,6% de la población mundial, en 2050, esta cifra se reducirá hasta al 6%. Los países del hemisferio sur representarán para entonces el 87% de la población mundial, alrededor de 8 mil millones de personas frente al 75% existente en 1990 (3,8 mil millones).

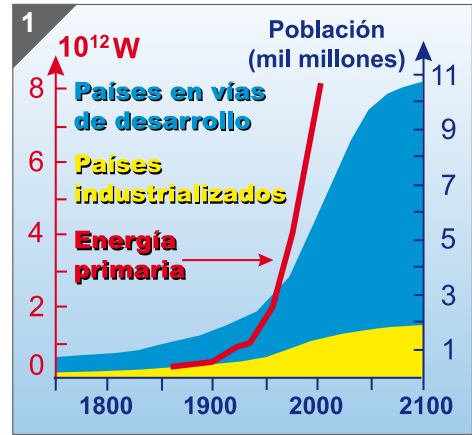
La figura 1 ofrece una visión general de las tendencias demográficas actuales hasta 2100. La curva azul representa el consumo primario de energía desde 1860. Puede observarse cómo la tasa de crecimiento de consumo energético es mayor que la de la población.

El consumo de energía no se corresponde con la distribución de la población de la Tierra. Los países industrializados sólo representan el 25% de la población actual pero consumen el 75% de la energía total utilizada en el planeta, el 60% del carbón, el 73% del petróleo y el 70% del gas natural. El consumo de energía por persona en el hemisferio sur es diez veces menor que en los países industrializados. Esta situación irá cambiando ya que, en 1986 se observó un crecimiento de un 6,2% por año en el consumo de energía del hemisferio sur, frente al 0,5% de los países industrializados.

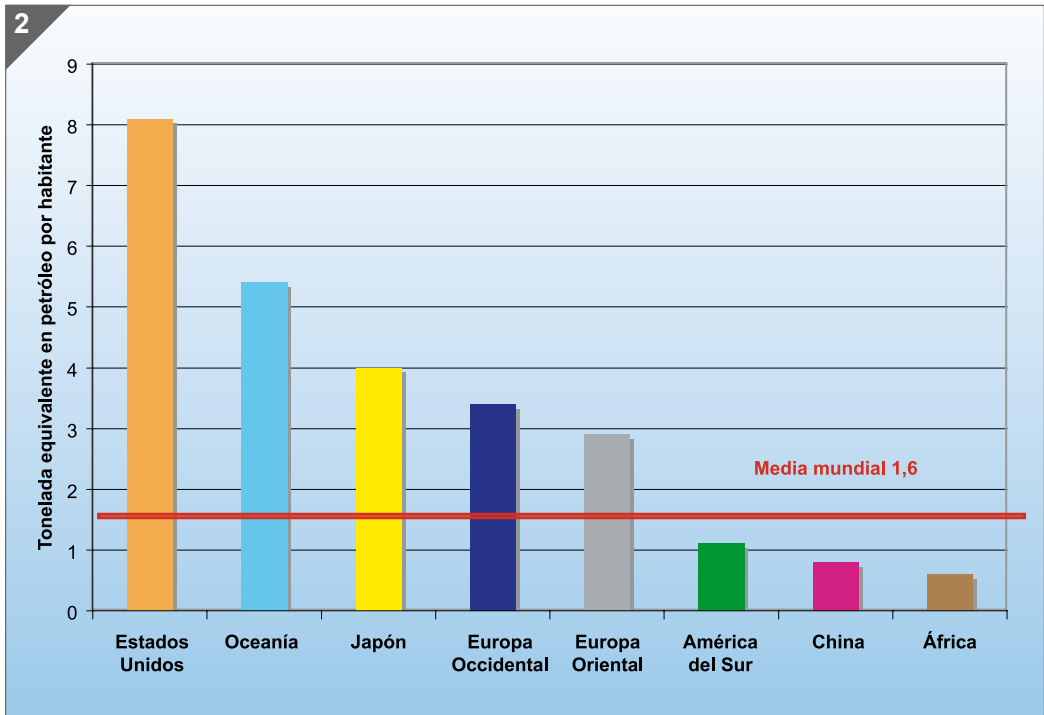
El cambio demográfico en el hemisferio sur va acompañado de una mayor urbanización. En el año 2000, el 26% de la población de estos países vivía en zonas urbanas. En el 2005, esta cifra llegó al 75% en América del Sur, 42% en África y 37% en Asia. En consecuencia, una quinta parte de la población urbana vivirá en grandes ciudades con unos 4 millones de habitantes.

La presión que ejerce la población sobre el medio ambiente es enorme: el consumo del agua y comida, el gasto de producción y explotación, el intercambio de fuentes de energía, etc. Puede ya preverse la magnitud de la devastación causada por la presión ejercida sobre los bosques, prados, lagos y tierras de cultivo, lo que actualmente está llevando a la deforestación, la erosión y el agotamiento del suelo, la reducción de los niveles freáticos, etc.

Para el 2050, los países en vías de desarrollo representarán más del 85% de la población mundial, frente al 75% de 1990. Tres cuartas partes de los productos derivados del petróleo son consumidos por los países industrializados hoy día.



Población mundial estimada (1750-2100) y consumo de energía primaria (1860-1975).



Consumo de energía media por habitante en 2001 (fuente: AIE/OCDE).



Hoy día, las consecuencias medioambientales del uso de los combustibles fósiles son más que evidentes. Por ello, las Naciones Unidas organizaron en 1992 la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro sobre el desarrollo y el medio ambiente, en la que se reconoció el concepto de desarrollo sostenible. Esto permite que se cumplan las necesidades de hoy en día sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

La figura 2 muestra algunos ejemplos de las causas y los efectos del calentamiento debido a los gases de efecto invernadero: 1. Deforestación (selva amazónica), 2. Secado del suelo (Burkina Faso) 3. Deshielo de los casquetes polares (Polo Sur), 4. La contaminación atmosférica en las grandes ciudades (Cubatão en Brasil).

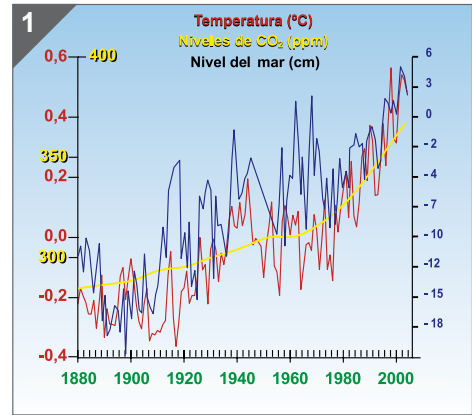
Las emisiones de carbono ( $\text{CO}_2$ ), provocadas por la oxidación del carbono durante la combustión del gas, el carbón, la madera y el petróleo, están relacionadas con el consumo de energía. Las cantidades emitidas durante las últimas décadas son muy elevadas (24 mil millones de toneladas de un total de 30 mil millones se debieron a los combustibles fósiles) y exceden la capacidad de absorción de la naturaleza. Desde hoy día hasta 2030, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) prevé un aumento del 60% en las emisiones globales de  $\text{CO}_2$  vinculadas con la energía. Los grandes cambios climáticos son alarmantes ya que el  $\text{CO}_2$  estimula el efecto invernadero y el calentamiento global. La figura 1 muestra la correlación entre el aumento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (en ppm, a la derecha), el aumento del nivel del mar (en cm, a la derecha) y de la temperatura en relación con temperaturas medias registradas entre 1950 y 1979 (eje de la izquierda).

La teoría del calentamiento global causado por el efecto invernadero se remonta al trabajo de Arrhenius (1895). En la actualidad, se estima que la temperatura media global puede aumentar, de aquí a 2100, de un  $1,4^\circ\text{C}$  a  $5,8^\circ\text{C}$ , lo que supondría un aumento del nivel del mar de 10 a 80 cm. En el último siglo, ya se ha registrado una reducción general de los glaciares y un aumento de 15 cm en el nivel del mar. Podría darse un incremento en el número y gravedad de hechos climáticos extremos como la ola de calor en Francia (2003) y el huracán Katrina (2005). Este aumento de las temperaturas podría causar inundaciones devastadoras en zonas sensibles, como los deltas fértiles de los ríos Nilo, Ganges, Mekong y Níger. También podría conducir a un deterioro de la calidad del suelo (desertización, salinización) y multiplicar el número de epidemias contagiosas sensibles a variaciones de temperatura menores.

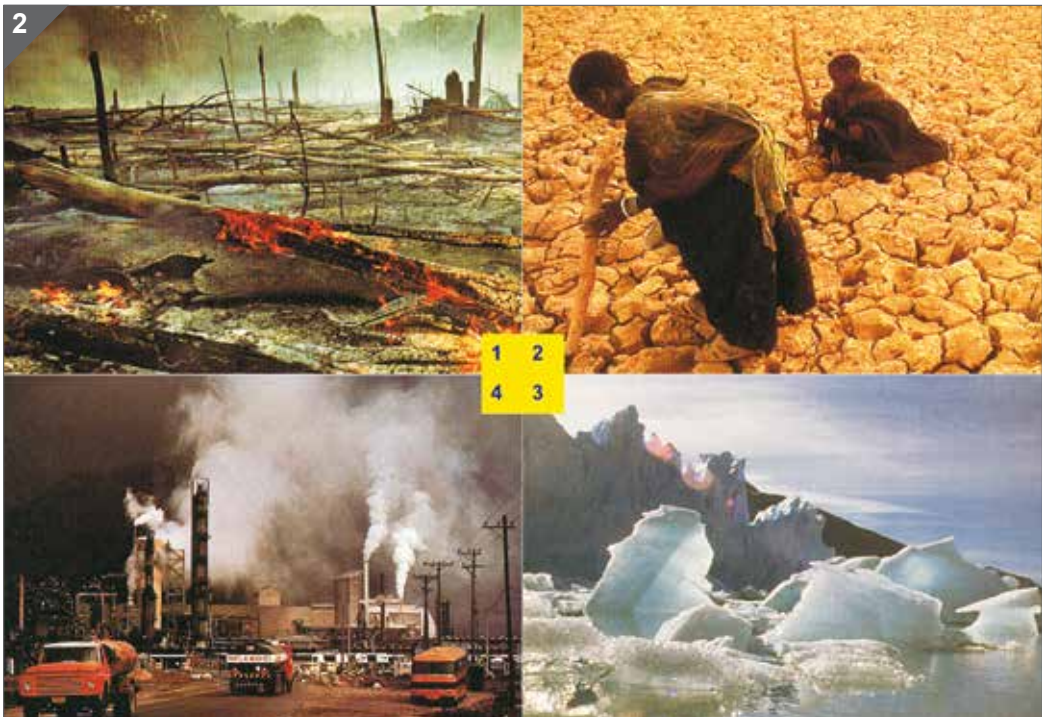
El protocolo de Kyoto fue adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009, eran 187 estados los que ratificaron dicho protocolo. Estados Unidos, que es el mayor emisor de gases de invernadero mundial, no ratificó el protocolo. El Protocolo de Kioto solo logró cubrir el 11% de las emisiones mundiales.

**El 12 de diciembre de 2015**, los 195 países participantes lograron un consenso en la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático. Y se consiguió por primera vez en la historia un acuerdo universal sobre los métodos para reducir el cambio climático en el **Acuerdo de París**, que fue aprobado por aclamación por casi todos los estados. El acuerdo será aplicado a partir de 2020 para limitar el calentamiento global por debajo de 2 grados centígrados en 2100, en comparación con anterioridad a la era industrial. El Acuerdo de París que pretende también proseguir con los esfuerzos para **limitar el aumento de temperatura de 2 a 1,5 grados centígrados**.

Las emisiones masivas de combustible causan un importante desequilibrio ecológico y climático: el calentamiento global provoca cambios en las lluvias.



Cambios de temperatura y niveles del mar, aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.  
(Fuentes: Nasa, Shom, CNRS-CERFACS)



Causas y efectos del calentamiento debido a los gases de efecto invernadero.

Las principales urbes han visto cambiar su microclima acorde con el desarrollo de la actividad humana. Los millones de desplazamientos diarios en coche, la calefacción e iluminación de los edificios o de los espacios públicos, la mera presencia de millones de seres humanos,... todas son diferentes fuentes de calor y contaminación que determinan el microclima urbano. Algunas ciudades, como México (figura 1) o Atenas, son tristemente conocidas por su nivel de polución. Al estar rodeadas por colinas y protegidas de los fuertes vientos, todos los productos generados por la actividad humana se acumulan en cantidades peligrosas tanto de manera sólida, líquida como gaseosa.

La figura 2 ofrece una visión global de cómo el aumento de la densidad de población urbana interactúa con el microclima. En ella se puede apreciar tanto los efectos de la contaminación del aire como el sellado y la compactación del suelo. Las cifras que se muestran se han extraído tras comparar los valores actuales con la media de los valores fuera del entorno urbano (más de 30 años).

París ha visto aumentar su temperatura media unos 6 grados en un siglo. En el pasado, se dieron 56 días de escarcha frente a tan sólo 22 días en la década de los 70. Los edificios y la red de carreteras constituyen una gran reserva de calor. Los barrios de las afueras sufren temperaturas mucho más bajas que el centro de París, con una mayor frecuencia de frío, escarcha y niebla. No resulta extraño para alguien de las afueras experimentar una diferencia térmica de más de 10 grados al llegar al centro de la ciudad por la mañana temprano. Los patrones de humedad y lluvia también han cambiado: 100 días de niebla en 1920 frente a tan sólo 10 días en la década de los 80. Los desagües de la ciudad filtran rápidamente el agua de lluvia, lo que no deja tiempo para refrescar el aire. Algunos distritos de la ciudad son más calurosos que otros y las corrientes de aire siguen este patrón. Por consiguiente, los distritos más cálidos, al atraer las corrientes de aire contaminadas, tienen una mayor contaminación.

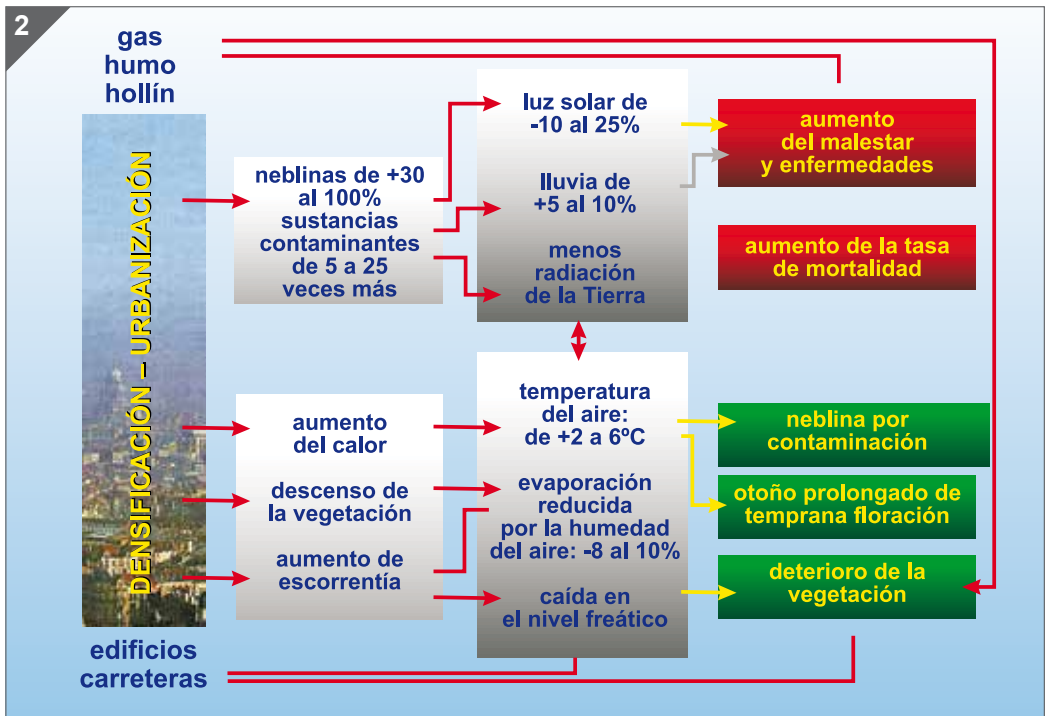
En general, todos los productos derivados de la actividad humana, el polvo, los hidrocarburos, los productos de combustión ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}$ ), se concentran en las ciudades. El ozono ( $\text{O}_3$ ) es un componente normal de la atmósfera. Hace cien años, la concentración media era de unos  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hoy día, en muchas ciudades, llega hasta  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y puede alcanzar picos de hasta  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El ozono se forma por la transformación de sustancias contaminantes ( $\text{NOx}$ ) liberadas por los motores de combustión. En altitudes altas, el ozono protege a La Tierra de los rayos UVA mientras que en altitudes bajas, es un gas tóxico e irritante. Durante los periodos de alta polución, los ingresos en la unidad de neumología de los hospitales aumentan de un 25 a un 50% y las llamadas de emergencia por ataques de asma se multiplican. El Instituto de Higiene y Epidemiología de Bruselas ha publicado un informe que relaciona los niveles de polución en 1994 con las altas tasas de mortalidad: 1226 muertes más comparadas con la media esperada.

Cosas tan simples como dormir con la ventana abierta, respirar aire puro en invierno o vivir cerca de los árboles ya no se aplican a las ciudades, ya que el aire se encuentra cargado de polvo y sustancias contaminantes que las plantas retienen en sus hojas.

Al concentrar las actividades en las ciudades, el hombre cambia su microclima: temperaturas medias más altas, cambios en las precipitaciones, niebla debido a la contaminación del aire. Los problemas de salud son cada vez más importantes.



Ciudad de México, ubicada en una cuenca refugiada del viento, es conocida por sus problemas de contaminación.



Los cambios en el clima urbano en comparación con los valores medios de las zonas no urbanas.

La posibilidad del agotamiento del petróleo y la gasolina, junto a la inestabilidad internacional, parecen estar causando la subida de los precios de la energía y la tendencia a que sigan aumentando. Además de esto, los efectos de la contaminación, ya sea en un entorno rural o urbano, se siguen manifestando. Estas reflexiones deben guiar los comportamientos de ahorro de energía para reducir el consumo de energía y las emisiones de sustancias contaminantes.

El ahorro de energía no es algo nuevo (ver figura 1). Por ejemplo, en Francia, la agencia de ahorro de energía Ademe se creó en 1974. De algún modo, olvidada en la década de los 90, la idea de limitar el consumo de energía volvió a surgir. A finales de los noventa, el petróleo valía menos de 20\$ el barril, mientras que llegó a los 65\$ en 2005 y alcanzó los 140\$ en 2008. Esta tendencia en auge probablemente continuará ya que el consumo de energía global está incrementando una media de un 2% por año (3,4% en el caso del consumo del petróleo en 2004). Con la actual tasa de consumo, el petróleo y la gasolina probablemente se agotarán, en el 2045 y el 2075 respectivamente. La era del combustible fósil barato ha acabado. Sobre todo lo demás, los expertos están de acuerdo en que la producción del petróleo alcanzará un máximo, el llamado «pico» de producción, durante los próximos 15 años.

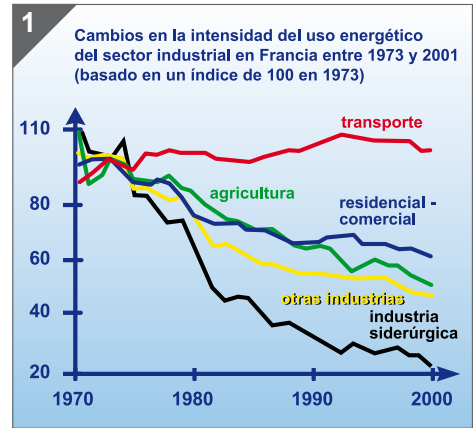
Si tanto las familias como las industrias son conscientes de estos ahorros directos, este efecto «cartera» es menos efectivo en el sector del transporte y el sector servicios. En este último caso, sin embargo, los ahorros de energía pueden llegar a ser muy relevantes. Un edificio comprende un complejo conjunto de componentes como la luz, la calefacción, en ocasiones el aire acondicionado y también el suministro de agua. La pérdida de calor debido a un edificio mal aislado es importante y conlleva altos niveles de consumo de energía para calentar las habitaciones. La iluminación es también una gran fuente de consumo de energía. Hoy día, podemos construir y renovar edificios para que sean de consumo casi nulo. Pese a que en Francia un hogar o una oficina consumen una media de 200kWh por m<sup>2</sup> por año, podemos reducir esto a 15 kWh/m<sup>2</sup>/año con las llamadas técnicas pasivas.

La figura 2 muestra el consumo de energía en dos hogares. El de la izquierda tiene un pésimo aislamiento, mientras que el de la derecha está mejor aislado y diseñado para aprovechar la luz solar. Con estos parámetros y para calentar la misma zona, un 40% menos de pérdida de calor (de 188 kWh/m<sup>2</sup>/año a 111) equivale a un 66% menos en el consumo de energía (de 220 kWh/m<sup>2</sup>/año a 67). Esto es posible gracias a mejores materiales (reducción en la pérdida de calor por razones técnicas) pero también gracias al importante aporte que proporciona la luz solar (de 24 kWh/m<sup>2</sup>/año a 57). Los resultados para las ventanas van de -6 kWh/m<sup>2</sup>/año (ganancia = 24; pérdida = 30) a +20 kWh/m<sup>2</sup>/año (ganancia = 57; pérdida = 37).

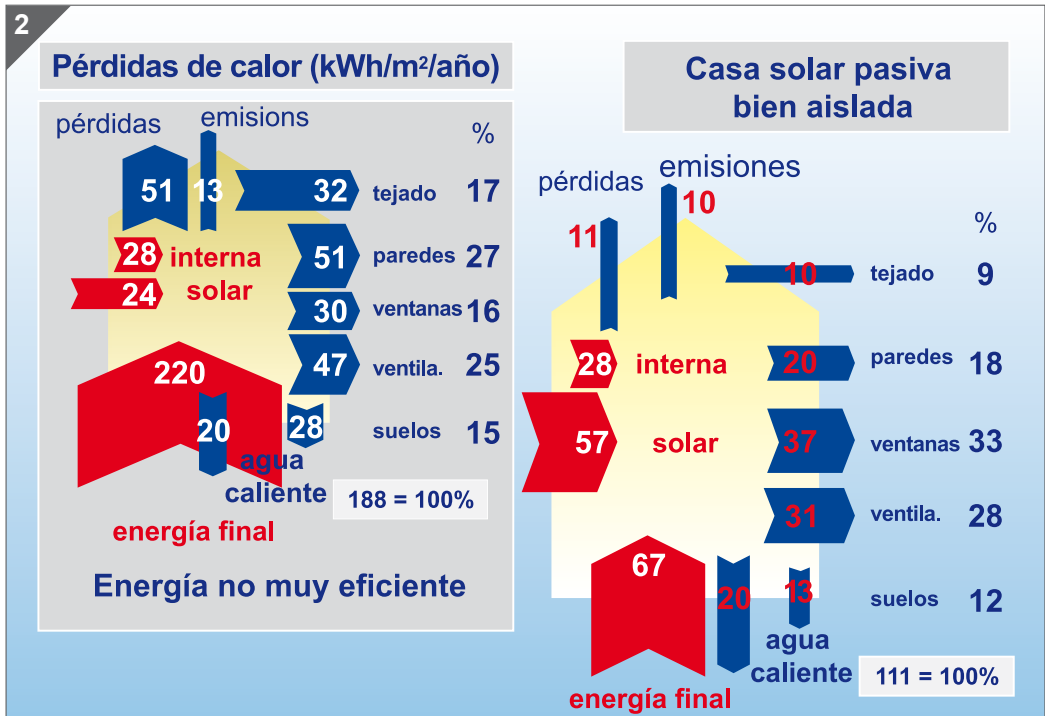
Hay que señalar que, si la pérdida de calor se debe a que los gases residuales se reducen en un 39% (del 13 al 10), las emisiones de sustancias contaminantes son proporcionales a la energía final utilizada y, por tanto, a su vez, se reducen en un 66%.

El ahorro en el consumo de energía sin perder confort es posible mejorando los materiales y el diseño del edificio.

Ahorrar energía supone tener el mismo nivel de confort utilizando menos energía. Supone igualmente emitir menos sustancias contaminantes a la atmósfera.



La intensidad del uso energético mide la cantidad de energía primaria utilizada por unidad de valor añadido (fuente: Observatorio de Economía, Energía y Materias primas. Ministerio de Industria. Enero 2003).



Comparación del consumo de edificios con diferentes niveles de eficiencia energética.

El interés en la gestión de la energía por parte de las autoridades públicas se remonta a la crisis del petróleo de 1973 y 1976. A pesar de estas advertencias, las caídas posteriores del precio del petróleo no fomentaban la adopción permanente de un uso de energía limpia. Durante la década de 1990, el consumo de energía comenzó a crecer de nuevo, sobre todo en el sector servicios y en el transporte.

La gestión energética se basa en controlar la cantidad de energía utilizada (ahorro de energía) y los tipos de energía utilizados (la principal elección energética determina la independencia de un país de sus posibles países proveedores). En la figura 1 se comparan los costes medios de construcción de una escuela en el año 1993 (885 € por m<sup>2</sup>) con los costes generados por el consumo de energía (calefacción, agua caliente, iluminación, cocina, etc.) durante la utilización del edificio (30 años). Las cifras de la izquierda son las de una escuela "tradicional" (en base a una muestra de 3000 establecimientos), con un consumo anual promedio de 190 kWh/m<sup>2</sup>/año. Las cifras de la derecha son las de una nueva escuela en Yonne, con un consumo anual promedio de 60 kWh/m<sup>2</sup>/año en 1987/1988. Para cada grupo de cifras, la primera barra representa el coste de construcción por metro cuadrado (885 €) y los otras dos muestran el coste de energía por metro cuadrado en 30 años correspondientes a la electricidad (coste unitario medio de 0,15 € por kWh) y al combustible (coste medio de 0,03 € por kWh VCN). La figura 1 resalta la importancia de la eficiencia energética de un edificio (la reducción del consumo), así como la elección del tipo de energía (reducción de costes).

Llamamos uso racional energético al conjunto de acciones que permiten alcanzar la comodidad necesaria para vivir y trabajar haciendo un mejor uso de los recursos energéticos. El uso de estos recursos implica tener en cuenta el consumo y el coste de la energía, los procesos de organización, el comportamiento individual y los efectos nocivos de la contaminación.

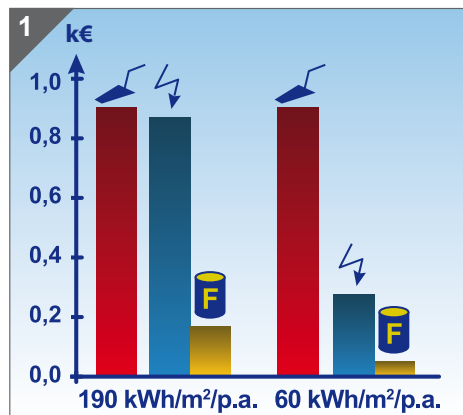
La figura 2 muestra un crecimiento continuo del consumo energético mundial, una tendencia que continuará en el futuro, especialmente en el hemisferio sur. El consumo en estos países (mucho más bajo que en el norte) se incrementará significativamente. El consumo de Oriente Medio y del Norte de África se duplicará entre 2000 y 2020. Las cifras recogidas de África y Oriente Medio muestran que el consumo de MTOE, aumentará de 843 en 2000 y a 1606 en 2020. En general, los países del hemisferio sur están experimentando un crecimiento urbano, demográfico e industrial, sobre todo en China, India y Brasil, basado en un alto consumo de energía. En los países del norte, se puede observar una desaceleración del crecimiento de la demanda de energía, provocado tanto por las mejoras en la eficiencia energética como por la saturación de la demanda. En lo que se refiere a la caída del consumo en Europa del Este entre los años 1990 y 2000, es el resultado de la caída de la antigua Unión Soviética y de la adquisición de la planta de alta eficiencia energética. No obstante, para 2020, se prevé también una tendencia al alza en estos países.

---

<sup>1</sup> El Valor Calorífico Neto (VCN) representa la salida real de poder calorífico del combustible cuando éste se quema y el calor de vapor de agua no se puede recuperar, lo que resulta válido para la mayoría de los sistemas de combustión tradicionales.

<sup>2</sup> MTEP = Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo. Una TEP es la energía contenida en una tonelada de petróleo. Ejemplo: 1166 litros de combustible.

El mundo debe hacer frente al previsible final de las reservas de combustibles fósiles ya que las necesidades energéticas van en aumento.



Comparativa de los costes de construcción y consumo (calefacción e iluminación) por metro cuadrado para una escuela durante 30 años.

2	MTEP	1990 Real	2000 Real	2020 Estimada
	Europa Occidental	1 468	1 625	1 990
	Europa Oriental	1718	1 227	1 277
	América del Norte	2 178	2 603	3 718
	América del Sur	517	691	1 234
	África	618	843	1606
	Asia	2 351	3 116	5 513
	<b>Total</b>	<b>8 850</b>	<b>10 105</b>	<b>15 338</b>

Estimación del consumo de energía en 2020 si continúan las tendencias actuales (fuente: *Les Cahiers de Global Chance*, 16 de noviembre de 2002).



La Tierra posee cinco tipos de clima principales, que se clasifican según la temperatura y la humedad: clima tropical, clima seco, clima templado cálido, clima templado frío y clima frío (figura 1). Esta clasificación puede detallarse según los ciclos estacionales, como los monzones o las características geográficas tales como la proximidad al mar, la altitud o la forestación.

Los climas tropicales (como el ecuatorial, el monzónico o el tropical seco) se localizan en las latitudes 15°N y 15°S (cf. Cayena, Guayana, figura 2). Estos se caracterizan por experimentar variaciones estacionales mínimas. Las temperaturas del aire varían desde 27 hasta 32° C en el día y de 21 a 27° C por la noche. La humedad relativa es del 75% aproximadamente durante todo el año. La cantidad de radiación solar es alta (aunque sea parcialmente mitigada por las nubes), los vientos son ligeros y la lluvia es intensa.

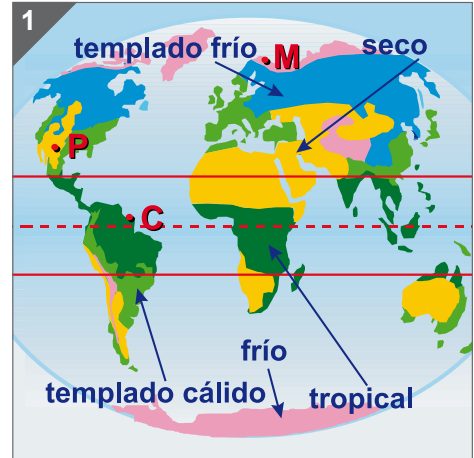
Los climas monzónicos se encuentran cerca de los trópicos de Cáncer y Capricornio. Se caracterizan por tener una estación seca calurosa larga y una estación húmeda y calurosa corta. Las temperaturas del aire varían desde 32 hasta 43° C en el día y de 21 a 27° C por la noche en la estación seca. En la estación húmeda, las temperaturas del aire varían desde 27 hasta 32° C en el día y desde 24 a 27° C por la noche. La variación de la temperatura diurna/nocturna es, pues, muy pequeña. La humedad relativa es baja (de 20 a 55%) durante el día, pero aumenta considerablemente durante la estación húmeda (de 55 a 95%). La radiación solar es intensa, los vientos son fuertes y continuos (principalmente durante el monzón), y las precipitaciones pueden alcanzar de 200 a 250 mm durante el mes más lluvioso.

Los climas secos (como el estepario y el desértico) se localizan en las latitudes 15° y 30° N y S (cf. Phoenix, EE.UU., figura 2). Se caracterizan por tener una temporada calurosa y una estación fría. Las temperaturas del aire varían desde 43 hasta 49° C en el día y de 24 a 30° C por la noche. En la estación fría, la temperatura del aire varía de 27 al 30° C en el día y de 10 a 18° C por la noche. La variación de la temperatura diurna/nocturna es significativa, la humedad relativa es baja (entre 10 a 55%), la radiación solar es intensa, los vientos son a menudo cálidos y localizados (con arena y polvo) y la lluvia es muy baja (entre 50 y 155 mm/año). Cerca de los océanos, estos climas están influenciados por la importante evaporación del agua del mar. La humedad aumenta del 50 al 90%, lo que reduce la variación de la temperatura diurna/nocturna. Los vientos alternan la brisa marina durante el día y la brisa terrestre por la noche.

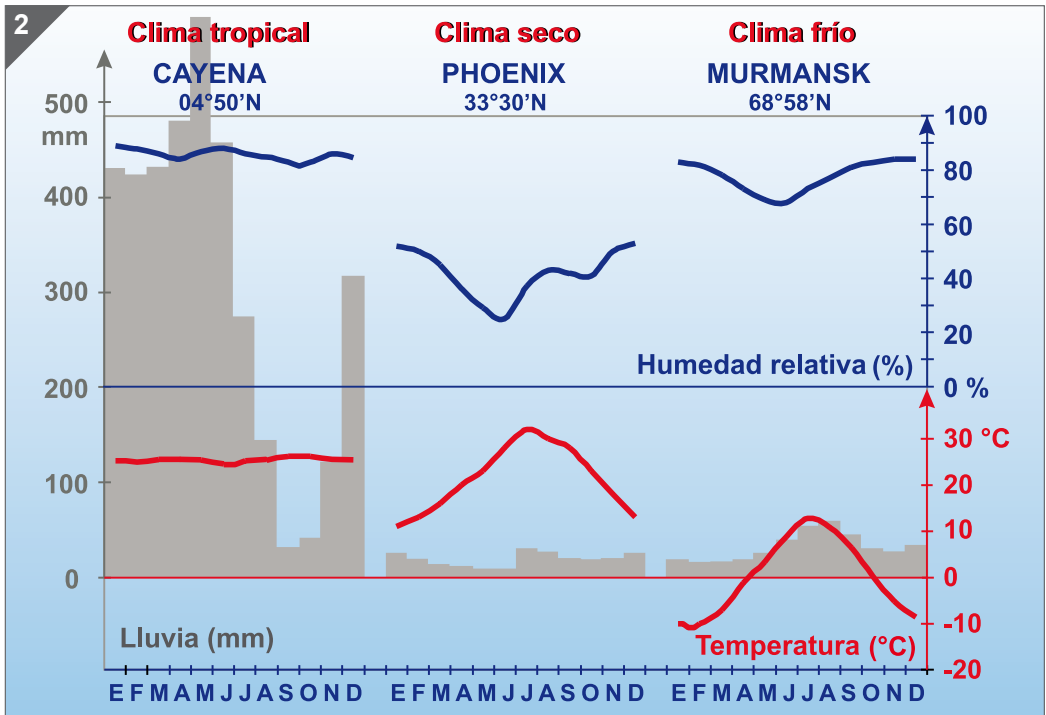
Los climas templados se corresponden con los climas europeos y se desarrollarán en una sección específica.

Los climas fríos (como la tundra o el polar) se presentan en América del Norte y Asia. Este clima continental pueden experimentar veranos húmedos muy cortos y largos inviernos con nevadas ligeras (continente de América del Norte) o veranos muy secos e inviernos muy fríos (noreste de Asia). Los climas polares se encuentran por encima del Círculo Polar Ártico (cf. Murmansk, Rusia, figura 2).

La Tierra tiene cinco tipos de clima principales, que se clasifican según la temperatura y la humedad: clima tropical, clima seco, clima templado cálido, clima templado frío y clima frío.



Distribución de los climas tropical, seco, templado y frío.



Valores típicos del clima de Cayena, Phoenix y Murmansk.

El Sol es una estrella incandescente (se calcula que la temperatura de su superficie es de 5.750° C) que emite radiación electromagnética en forma de luz y calor (figura 1). Los rayos del Sol son necesarios para mantener las condiciones de temperatura y luz esenciales en la superficie de la Tierra para que puedan producirse las reacciones bioquímicas de la vida vegetal y animal.

La Tierra sólo intercepta la dos mil millonésima parte de la energía emitida por el Sol. Esta cantidad de energía es 10.000 veces mayor que la potencia total generada por el hombre hoy día. En el límite exterior de la atmósfera, la intensidad de la radiación es igual a la constante solar, es decir, 1350 W/m<sup>2</sup>. Con un cielo despejado a mediodía (hora universal), la energía solar alcanza un nivel de 1.000 W en una superficie de 1 m<sup>2</sup> en dirección perpendicular a los rayos del Sol. La energía interceptada por la pared de un edificio depende de la orientación, la pendiente y el ángulo en el que los rayos del Sol inciden. Si los rayos perpendiculares transmiten 100 W de energía, para un ángulo de 60° de incidencia, la energía será igual a 50 (coseno 60°) y 0 en el caso de rayos paralelos (coseno 90°).

La energía solar está presente en todas partes (energía ambiental), es regular (ciclos diarios y estacionales), limpia (sin residuos) y disponible (sin costes, sin intermediarios, sin red). No obstante, es necesario un equipo para convertirla en calor o electricidad.

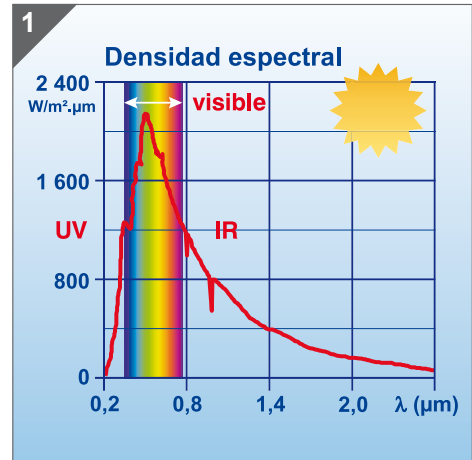
De la energía interceptada por la Tierra, el 60% queda reflejado directamente en la atmósfera (figura 2); el 16% contribuye a la evaporación del agua de mar, permitiendo así el ciclo del agua y la energía hidráulica; el 11,5% queda reflejado en la superficie de la Tierra (de acuerdo con su factor albedo); el 9,5% es absorbido por la Tierra y la masa de aire y alrededor del 3% se utiliza en la fotosíntesis (tanto en tierra como en agua). Sólo una pequeña cantidad contribuye a la formación de los combustibles fósiles (0,02%).

No todas las regiones del mundo reciben la misma cantidad de luz solar, debido a la cobertura de nubes existente entre el Sol y la Tierra. Por ejemplo, la Côte d'Azur se beneficia de 2.882 horas de sol al año, frente a las 2.038 horas de que dispone la región de Vendée y a las tan sólo 1.514 horas que disfrutan en el norte de Francia.

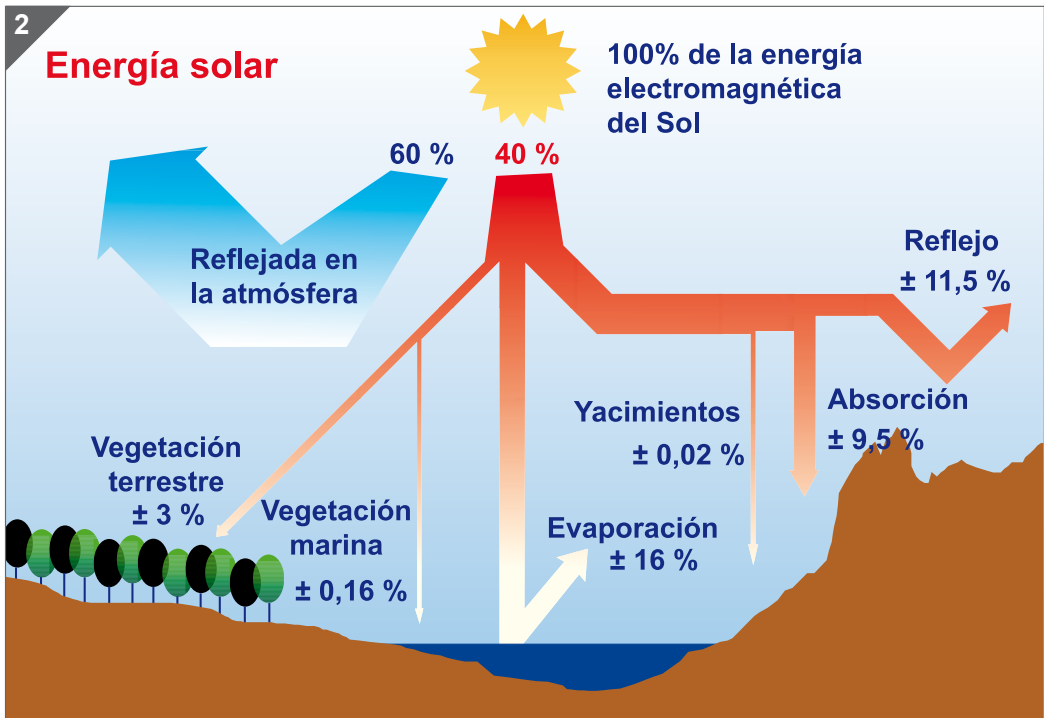
La arquitectura bioclimática trata de explotar estas energías ambientales que tenemos a nuestra disposición en forma de luz y calor. Es decir, trata de hacer un mayor uso de la luz natural para mejorar la conexión entre las personas y su entorno y reducir los gastos de funcionamiento de la iluminación artificial, y recurre a una calefacción más libre que frene el consumo de energía y limite el impacto ambiental.

La energía solar se utiliza en la actualidad en el ámbito de la arquitectura solar de manera tanto pasiva (mediante ventanales, invernaderos, calentadores solares de agua, etc.) como activa (mediante paneles solares para los sistemas de calefacción). En cuanto a los paneles solares fotovoltaicos, estos permiten la conversión de los rayos del Sol en electricidad (rendimiento del 10 a 12%), así como algunas aplicaciones interesantes especialmente en áreas en las que no se dispone de red eléctrica (balizas, faros, pantallas y teléfonos solares, iluminación, bombas de agua, refrigeración, etc.).

La Tierra recibe del Sol 10.000 veces la energía total generada por el hombre en la actualidad. La energía solar es regular, limpia y disponible.



La energía solar se compone de ondas electromagnéticas.



Elementos que la Tierra recibe del Sol.

Los niveles de luz solar están determinados por la trayectoria del Sol y las horas de luz. El estado geométrico del sistema Sol-Tierra determina la posición relativa del Sol, que se fija por su acimut ( $\gamma$ ) y su elevación angular ( $\alpha$ ) (figura 1).

El acimut es el ángulo horizontal formado por un plano vertical que pasa a través del Sol y el plano meridiano del punto de observación. Normalmente, se le asigna un valor de cero al sur.

La elevación angular del Sol es el ángulo que forma la trayectoria recorrida por el Sol con respecto al horizonte. La fórmula para la elevación del Sol a mediodía es la siguiente:

En el Solsticio de verano:  $\alpha = 90^\circ - \text{latitud} + 23^\circ 27'$

En el Solsticio de invierno:  $\alpha = 90^\circ - \text{latitud} - 23^\circ 27'$

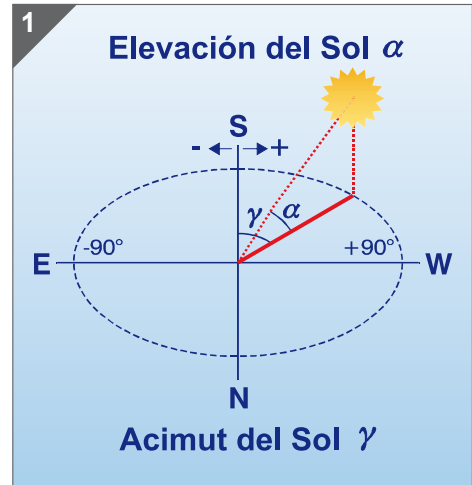
Teniendo en cuenta la influencia de la nubosidad, la trayectoria del Sol determina la exposición de la energía solar (horas de sol) y el ángulo de incidencia (intensidad). Generalmente los rayos del Sol se consideran útiles si su elevación es mayor a  $10^\circ$ , ya que debemos advertir los obstáculos que generalmente se encuentran presentes en el medio ambiente y la debilidad de los rayos al amanecer y al atardecer.

La intensidad de los rayos varía según el ángulo de incidencia y la densidad de las capas de la atmósfera que deben traspasar. Geométricamente, con una elevación del Sol a  $30^\circ$ , los rayos de Sol deben traspasar una masa de aire equivalente a dos veces el espesor de la atmósfera. A una altura de  $20^\circ$  o  $15^\circ$ , los rayos tienen que traspasar el equivalente a 3 o 4 veces este espesor.

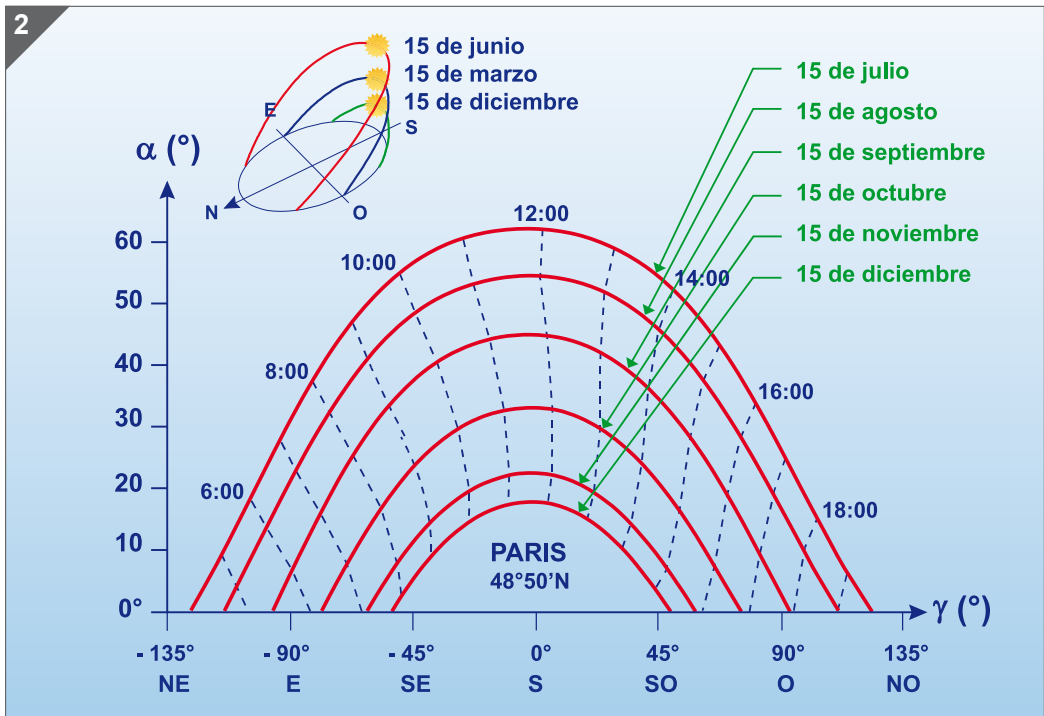
El diagrama muestra una vista cilíndrica (figura 2) que hace posible fijar la posición del Sol usando su acimut (eje horizontal) y su elevación angular (eje vertical). Las curvas rojas representan la trayectoria del Sol en un lugar determinado en fechas establecidas (por lo general el día 15 de cada mes) durante un período de 6 meses. Las curvas con líneas de puntos representan el promedio de momentos del día.

En París ( $48^\circ 50'N$ ), el Sol muestra una elevación angular de  $64^\circ 27'$  al mediodía el 15 de junio (su punto más alto se alcanza el 21 de junio:  $64^\circ 37'$ ). El 15 de marzo y el 15 de septiembre, este valor es de  $37^\circ 45'$ . El 15 de diciembre, la elevación del Sol es de sólo  $17^\circ 54'$  (su mínimo se alcanza el 21 de diciembre:  $17^\circ 43'$ ). Las horas del día que aparecen se corresponden con la hora universal.

El Sol sigue un recorrido establecido que se encuentra determinado por su elevación angular y su acimut. La mayor elevación se da en el Solsticio de verano y la más baja durante el Solsticio de invierno.



Posición del Sol.



Proyección cilíndrica de la trayectoria del Sol (París).

La radiación solar se caracteriza por poseer unos componentes directos y difusos.

El Sol emite radiación electromagnética que varía poco fuera de la atmósfera de la Tierra (constante solar:  $\pm 1.350 \text{ W/m}^2$ ). Sin embargo, su radiación a nivel del suelo depende de la composición de la atmósfera. De hecho, a medida que va traspasando la atmósfera, la radiación es parcialmente absorbida y reflejada por el polvo y las microgotas del agua existente en el aire. Parte de la radiación también es dispersada por las moléculas y partículas de aire contenidas en la atmósfera. Este tipo de rayos que consiguen alcanzar el suelo constituyen la radiación solar difusa. La radiación restante llega a la tierra directamente, lo que llamamos radiación solar directa.

La suma de la radiación directa y difusa constituye la radiación solar global "g". En nuestras latitudes, equivale aproximadamente a  $700 \text{ W/m}^2$  con un cielo despejado, es decir, alrededor del 50% de la constante solar. La proporción de radiación solar difusa puede variar de un 10% con un cielo claro a un 100% con un día nublado.

Para calcular la radiación solar global "g", a veces es necesario tener en cuenta un elemento adicional: el componente reflejado. Ya sea en un entorno rural, debido a los lagos, o en un entorno urbano, debido al reflejo del Sol sobre los edificios colindantes, este componente puede resultar importante. Además de esto, la presencia del agua tiene un gran impacto en la radiación solar, causado por la evaporación y la formación de nubes, que hacen reducir la radiación directa.

La figura 2 muestra un mapa de la radiación solar media diaria total sobre la superficie terrestre en el mes de enero. Cabe destacar que el espaciado de las curvas va en función de la latitud y posee el mismo nivel de radiación. Más cerca de los Alpes, las curvas están más próximas: el aumento de la energía recibida a través de la radiación es mayor a medida que aumenta la altitud, provocado en gran parte por un mayor número de horas de sol.

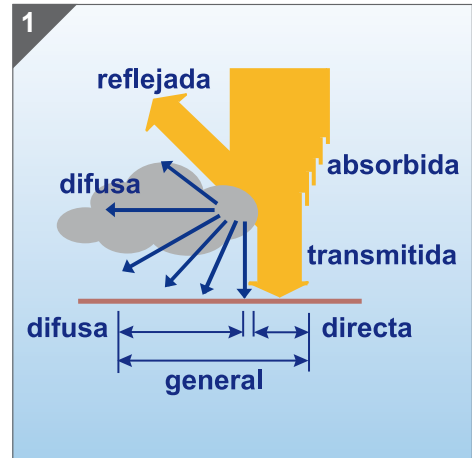
Para incorporar el control solar en el diseño de edificios es necesario conocer las diferentes características de la radiación solar. (Figura 1) Hay tres tipos de radiación solar: directa, difusa y reflejada.

- La radiación solar directa o incidente incide directamente sobre la superficie y depende de la orientación de las diversas superficies exteriores, de la latitud, y de la trayectoria del Sol.

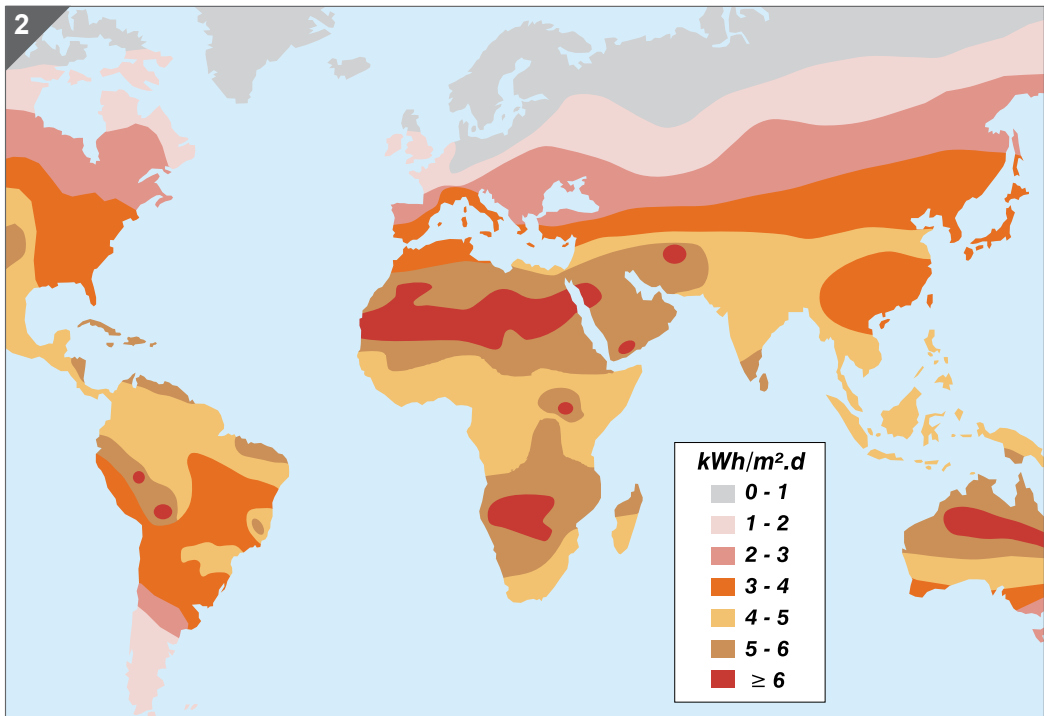
- La radiación solar difusa proviene de la radiación solar reflejada por las partículas contenidas en la atmósfera. La cantidad de radiación difusa es mayor con nubes (sobre todo en climas húmedos) y menor con cielos muy claros. La difusión sobre una superficie horizontal bajo un cielo sin nubes está alrededor del 10% de la radiación directa.

- La radiación solar reflejada proviene de la radiación directa y difusa reflejada por la superficie terrestre y depende principalmente de los tipos de superficie. La reflectancia de la arena varía del 10 al 40%, dependiendo de la época del año y de la latitud.

La radiación solar se caracteriza por poseer unos componentes directos y difusos. La cantidad de radiación varía en función del momento del año, la latitud, la altitud y las condiciones de nubosidad.



Componentes de la radiación solar global.



Radiación solar sobre la superficie terrestre.



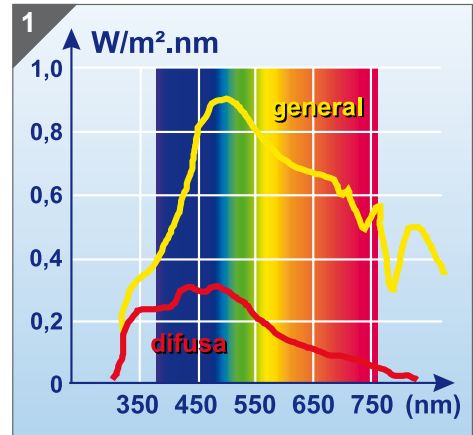
Como fuente de luz natural, la luz y el Sol son los factores climáticos que debemos aprovechar. Un buen diseño y un uso inteligente de un edificio permiten reducir los requisitos de iluminación, incluso cuando el cielo está nublado. Esto se basa en el conocimiento de la cantidad de luz disponible para un día y hora concretos. El análisis de la luz natural de un edificio se realiza mediante el uso de los datos de un día nublado (condiciones desfavorables). Los datos de un cielo despejado se utilizan como parámetro adicional para evaluar las variaciones de la luz natural en un edificio.

La luz natural tiene un espectro visible (rayos cuya longitud de onda es de entre 380 y 760 nanómetros) que es continuo en la forma. La figura 1 muestra la distribución espectral de la energía de la luz natural que cae sobre una superficie horizontal con el Sol a 30° en un día despejado. El nivel de luz está indicado en  $W/m^2$ . La escala de las longitudes de onda indica el rango de lo que es visible.

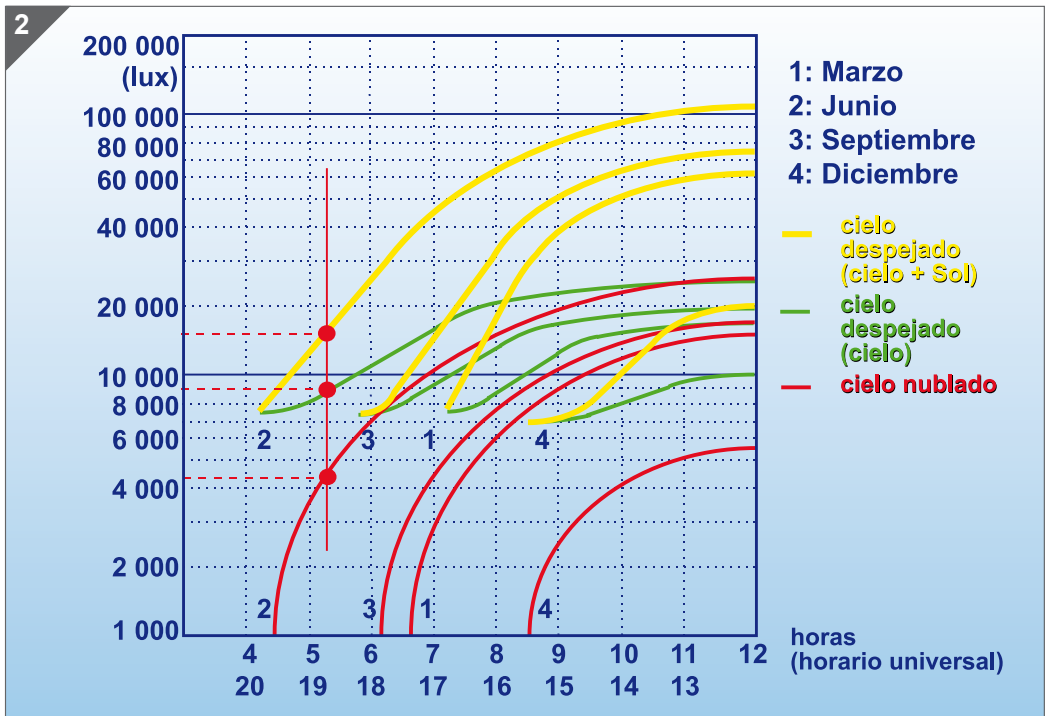
La cantidad de luz que se da en un lugar determinado varía según el día y el tiempo. También se ve afectada por las condiciones meteorológicas y los niveles de contaminación del aire. La luz natural, en un día despejado, en un espacio abierto, se define como la suma de la luz procedente del cielo y el Sol, lo que llamamos iluminación total. En verano, la proporción de luz procedente del cielo es del 20% al mediodía, 25% con el Sol a 30°, con la posibilidad de alcanzar el 50% con el Sol a 10° y pudiendo llegar al 100%, cuando el Sol está por debajo de 2°. Con un cielo promedio, esta proporción es del 50%, mientras que con un cielo nublado, es del 100%.

La gran variación en la luminancia de la luz natural (medida en lux) se obtiene mediante el análisis de la iluminación natural de los edificios en condiciones de luz mínimas. La figura 2 muestra la variación promedio por hora en la luminancia observada en Bélgica sobre una superficie horizontal con un cielo claro y con uno nublado en un período de cuatro meses. El gráfico utiliza una escala vertical logarítmica (una muy amplia gama de luminancia: de 1 a 200) que representa la luminancia en lux. El eje horizontal representa los diferentes momentos del día. Por la mañana temprano, la luminancia es igual a  $\pm 4.500$  lux con un cielo nublado (segunda curva roja) y a  $\pm 15.000$  lux con un cielo despejado (segunda curva amarilla). La segunda curva verde muestra un valor intermedio utilizado para calcular la iluminación del cielo únicamente.

La luminancia de la luz natural es un factor climático que varía durante el año. La luz natural se compone de la luz procedente del cielo y del Sol.



Distribución espectral de la energía procedente de luz natural en un día despejado.



Variación promedio por hora en la luminancia observada en Bélgica sobre una superficie horizontal durante un periodo de cuatro meses.

El paisaje influye en las variaciones de temperatura, la cantidad de luz del Sol, los cambios climáticos y los sistemas eólicos. El paisaje afecta a las temperaturas tanto por las variaciones inducidas por la radiación durante el día (en función de su orientación e inclinación) como por su influencia en los sistemas eólicos. Las laderas más expuestas al viento son más frías que las que se encuentran aisladas y el paisaje puede tanto proteger estas zonas como sobreexponerlas.

La figura 1 pretende mostrar variaciones típicas de temperatura externa durante 24 horas en un paisaje de montaña. Puede observarse que, durante el día, hace más calor en los valles que en las cumbres de montaña. Por el contrario, durante la noche, al desaparecer el Sol, el aire se enfría y se acumula en el fondo del valle y en las zonas más bajas. En consecuencia, se crea una notable diferencia térmica, ya que entra en contacto directo con lo que se conoce como el "cinturón cálido". En los grandes valles, este fenómeno tiende a crear un movimiento longitudinal del aire que es aún más poderoso cuanto mayor sea el valle y más alta sea la temperatura.

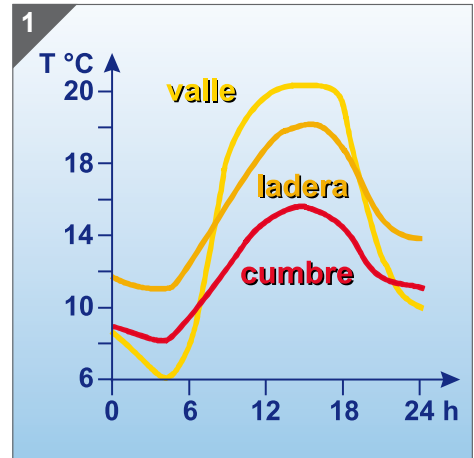
La altitud también influye en las temperaturas. Al caer la presión con la altitud, el aire se expande y se enfría. Este descenso de la temperatura es de 0,7°C por cada 100 m. La figura 2 muestra una vez más los problemas relacionados con la orientación (al sur y al norte), la proyección de sombras y el cinturón cálido.

La topografía puede conducir a la ausencia del sol en invierno, riesgo que sufren los valles orientados de este a oeste. Por ello, en el norte de Europa, se construyen edificios en las laderas lo suficientemente altos para que puedan beneficiarse del sol incluso en invierno.

Las variaciones en la cantidad de sol conducen a una variación de temperatura entre la parte inferior y superior de un valle. Esta situación provoca fluctuaciones de presión y movimientos de aire. Aparecen brisas a lo largo de los valles durante el día, mientras que las cumbres se benefician de un mayor grado de sol y calor.

La figura 2 también ilustra el fenómeno "foehn" (palabra alemana del viento del norte de los Alpes), por el que la temperatura del aire disminuye a medida que aumenta la altitud. En el punto de saturación, gran parte del agua se libera en forma de lluvia o nieve. En la otra vertiente, el aire saturado vuelve a bajar y se calienta a través de la compresión que, al llegar al pie de la montaña con una humedad relativa muy baja (a menudo menos del 30% de su nivel original), hace que el aire sea muy puro. Si este efecto foehn es bastante generalizado, puede causar que las temperaturas oscilen en 20°C en un mismo día.

El paisaje influye en las variaciones de temperatura, la cantidad de luz del Sol, los fenómenos nubosos y los sistemas eólicos.



Cambios en la temperatura en función del paisaje montañoso.



Influencia del paisaje: efecto foehn en las laderas norte y sur de una montaña.

La vegetación proporciona sombra a los edificios, funciona como escudos contra el viento, enfría el aire a través de la pérdida de agua y filtra el polvo de la atmósfera (figura 2).

La vegetación difiere de otros elementos por su aspecto potencialmente estacional (plantas de hoja caduca) y por el hecho de que su eficacia depende del crecimiento de plantas individuales. Además, sólo ofrece una protección parcial: filtra en vez de detener el sol (figura 1).

Si se utilizan las plantas para proporcionar sombra, deben ser variedades de hoja caduca con el fin de explotar el aporte solar en la temporada de invierno y proteger progresivamente zonas acristaladas cuando comienza la primavera. Pueden utilizarse plantas trepadoras y también aquellas con un denso follaje, ya que son la mejor opción para proporcionar la máxima protección en verano y, al tener pequeñas ramas, reducir la sombra al mínimo en invierno. Sin embargo, los estudios han demostrado que incluso en invierno la mayoría de los árboles mantienen una cantidad de sombra que corresponde a casi el 50% del total del verano.

Los árboles también son capaces de filtrar y retener el polvo, así como de absorber y producir vapor de agua. Una hectárea de bosque puede producir cerca de 5.000 toneladas de agua por año. Gracias a la fotosíntesis, los árboles renuevan el aire mediante la producción de oxígeno. En regiones muy frondosas, los árboles interceptan entre el 60 y el 90% de la radiación solar, evitando así un aumento de la temperatura del suelo. Este fenómeno puede ser permanente o estacional dependiendo de la variedad de hoja (caduca o perenne). En cambio, los árboles reducen la radiación nocturna: el follaje constituye una especie de "toldo" para el suelo, al pie de los árboles, y hace que su temperatura radiante sea mayor que la del ambiente. Por consiguiente, la caída de la temperatura por la noche se reduce. Además, en las regiones más frondosas, sólo se observan pequeñas variaciones en la temperatura del suelo.

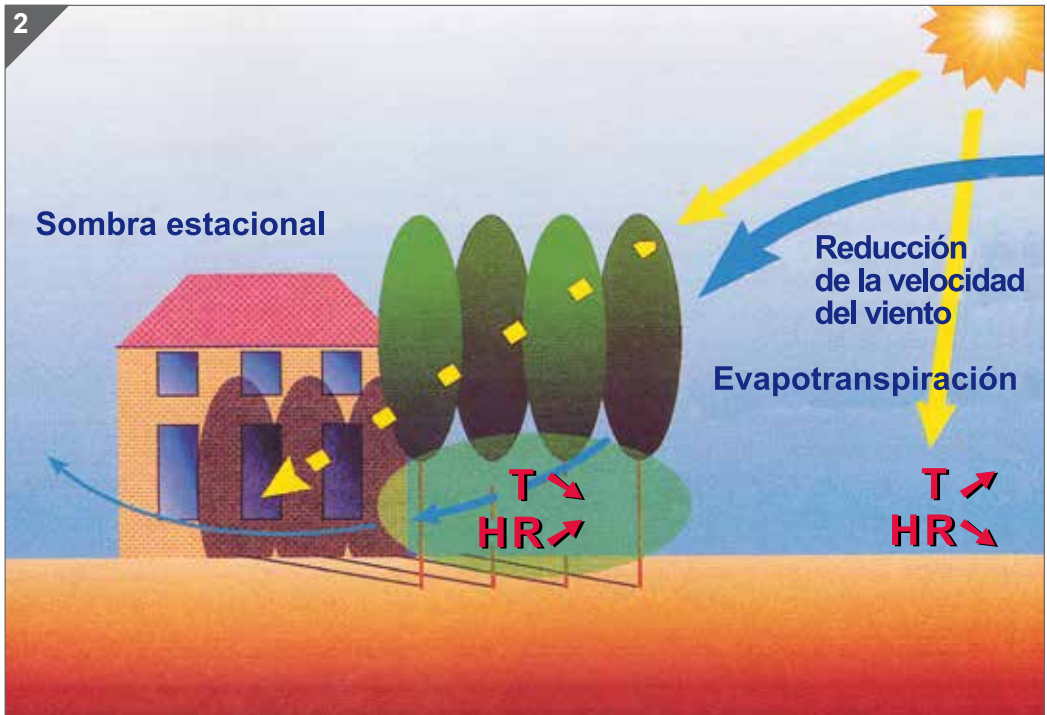
Puede apreciarse también una diferencia de 3,5°C entre la temperatura media del centro de una ciudad y la de unas zonas verdes de unos 50 o 100 metros de ancho. La convección horizontal desde las zonas frías (vegetación) hacia las zonas más cálidas (edificios cercanos) permite que surja este efecto de enfriamiento, lo que incrementa la humedad relativa en un 5%.

Por último, la vegetación protege de los fuertes vientos. Los arbustos, hileras de árboles y plantas trepadoras sirven para interrumpir el flujo de aire: la velocidad del viento se reduce y la pérdida de calor de los edificios por convección disminuye.

La vegetación proporciona sombra a los edificios, funciona como escudos contra el viento, enfría el aire a través de la pérdida de agua y filtra el polvo de la atmósfera.



Camino a la sombra gracias a plantas trepadoras en Anacapri (Isla de Capri).



La vegetación difiere de otros elementos por su aspecto estacional.

Los edificios proporcionan un escudo contra el sol y el viento, almacenan calor y aumentan la temperatura exterior. También pueden crear vientos y reflejar los rayos del sol.

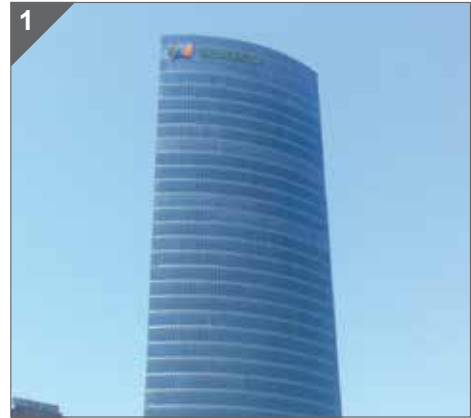
Los edificios constituyen pantallas fijas en sus alrededores. Su papel puede ser positivo si se necesita la protección del sol: es el caso de los pueblos mediterráneos tradicionales, en los que la estrechez de las calles y la altura de los edificios reducen considerablemente la radiación directa y proporcionan una agradable sombra.

Sin embargo, puede ser también negativo: si los edificios vecinos ocultan el sol cuando se desea ganar luz solar. En el caso de un diseño solar pasivo, es importante evaluar el impacto de este efecto. Las curvas de la trayectoria anual del Sol y el contorno de los edificios vecinos se pueden representar en un diagrama cilíndrico o estereográfico (figura 2). Si nos colocamos a la derecha de las ventanas de cada lado del edificio, se puede determinar el ángulo en el que los rayos directos del Sol desaparecen detrás de los edificios opuestos. Así, se pueden determinar fácilmente los periodos en los que el Sol está presente y se pueden calcular los factores que reducen los aportes solares.

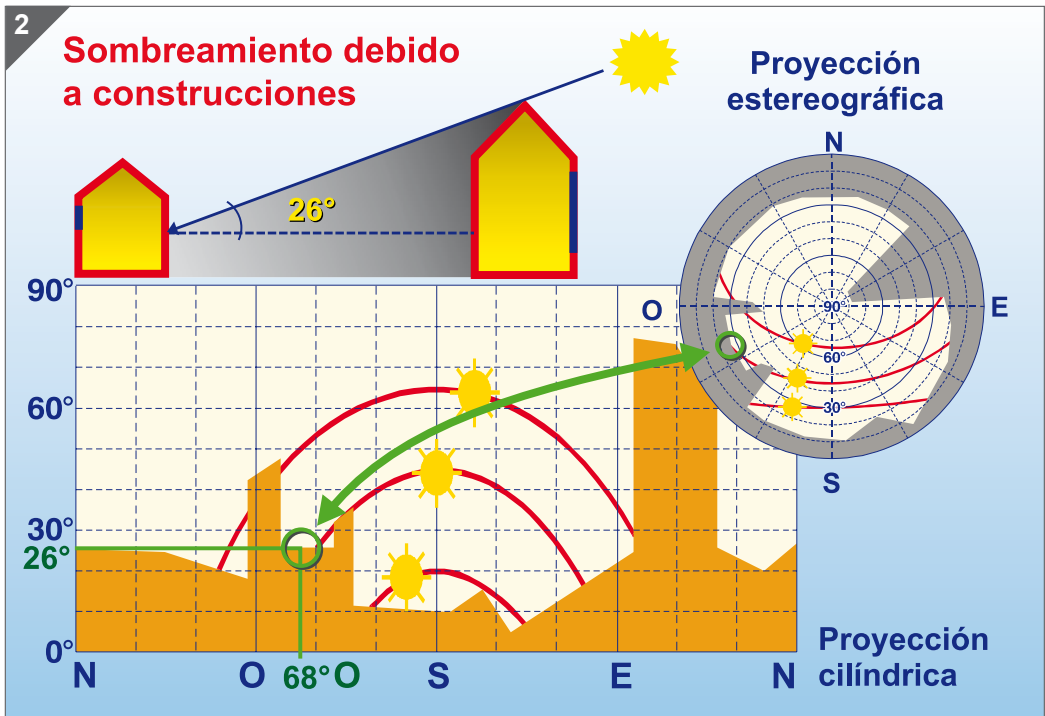
La naturaleza de las superficies de un edificio también influye en el microclima, ya que retienen el calor. En un entorno urbano, la temperatura media es un poco más alta que la temperatura media en campo abierto. Construir sobre tierra también evita que el agua se filtre y, además, los edificios pueden llegar a resultar paradójicos: reducen la velocidad media del viento pero éste, al verse obligado a girar a su alrededor, provoca que aumente la turbulencia. Ya se conoce que los edificios altos son propensos a generar ráfagas violentas de aire en su base.

El uso de materiales reflectantes (acristalamiento) también puede influir en la exposición real del edificio al sol (figura 1). Un edificio orientado al norte equipado con grandes ventanas transparentes para aprovechar al máximo la luz natural puede encontrarse en una posición orientada hacia el sur si el edificio de enfrente está construido con acristalamientos reflectantes específicos para protegerse del sol. Es evidente que, en el primer edificio, los factores de comodidad cambian de manera significativa gracias a los materiales de construcción del segundo.

Los edificios proporcionan un escudo contra el sol y el viento, almacenan calor y aumentan la temperatura exterior. También pueden crear vientos y reflejar los rayos del sol.



1 Torre Iberdrola. Bilbao. Los edificios acristalados pueden reflejar la radiación solar a los edificios colindantes.



Determinación del efecto del sombreado mediante proyección estereográfica y cilíndrica.



Todas las obras de arquitectura forman un microcosmos según el grado de cercanía con su entorno. El objetivo del diseño, la renovación y la construcción de un edificio es crear un microcosmos en óptima armonía con su entorno, y de ese modo, adaptar el clima correspondiente de ese lugar a los factores básicos utilizados por los arquitectos cada vez que el medio ambiente se ve alterado (figura 1). Así, la arquitectura debe tener en cuenta el clima: es lo que conocemos como arquitectura bioclimática.

La persona es el centro de la arquitectura sostenible (figura 2). El objetivo de la arquitectura sostenible es tratar de satisfacer la demanda de confort, es decir, se ocupa de los parámetros que afectan al bienestar de los inquilinos.

El comportamiento de los ocupantes determina el buen funcionamiento de una vivienda sostenible. Es importante que los inquilinos tomen conciencia de la importancia de su función y aprendan a vivir en simbiosis con su entorno según el paso de los días y las estaciones.

La noción de medio ambiente es un concepto de doble vertiente: define el clima, pero también, recíprocamente, la influencia del hombre en su entorno cercano. Vivir en simbiosis con el entorno significa adaptarse a él y saber respetarlo.

El clima es el aspecto más importante del concepto de arquitectura sostenible: variaciones en las horas de sol, variaciones en las temperaturas, sistemas de vientos y lluvias,... todo ello contribuye a la definición del entorno físico al que los arquitectos intentan dar respuesta.

Nuestros diferentes climas no proporcionan las condiciones climáticas necesarias para garantizar el confort térmico durante todo el año, de ahí la necesidad de utilizar la calefacción o la refrigeración de los edificios para corregir estos efectos del clima. Por tanto, el objetivo que se persigue es lograr la mejor interacción entre los climas, los edificios y el comportamiento de los ocupantes.

Las viviendas sostenibles aprovechan el clima con el fin de ofrecer a sus ocupantes el mayor confort posible. Nuestros climas templados, con sus variaciones en las horas de sol, las temperaturas y las precipitaciones, hacen que sea necesario establecer diversas estrategias de acuerdo a las diferencias estacionales: en invierno, es importante aprovechar al máximo la luz solar y protegernos del frío (estrategia de calefacción); en verano, necesitamos protección contra el sol y, a veces, refrescar nuestras casas (estrategia de enfriamiento).

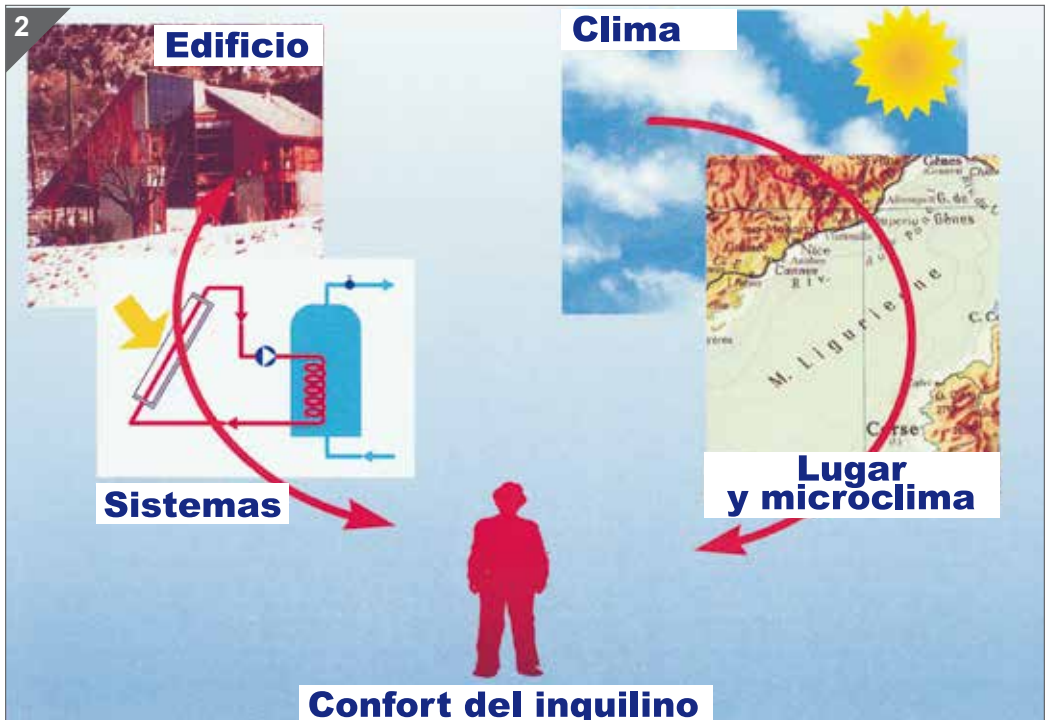
Por último, las viviendas sostenibles deben estar en sintonía con estos ritmos naturales mediante el aprovechamiento de la luz natural (estrategia de iluminación natural).

Al hacer referencia a la arquitectura sostenible no sólo hablamos pues de cuestiones de ahorro de energía y protección del medio ambiente, sino sobre todo de aquello que involucre a los inquilinos y a su bienestar.

La arquitectura sostenible restablece un enlace arquitectural entre el hombre (el inquilino) y el clima (entornos exteriores e interiores).



Un edificio que se adapta al clima asegura un mayor confort para sus ocupantes.



La arquitectura sostenible gira alrededor de las personas.

Las estrategias de iluminación natural tienen como objetivo mejorar la forma en la que se captura la luz natural y se deja penetrar en un edificio, para mejorar la manera en que la luz se difunde y se focaliza. También debe considerarse el control de la luz para evitar la incomodidad visual. El uso inteligente de la luz natural permite la reducción del consumo de electricidad para la iluminación.

- Captura de luz

Una gran cantidad de la luz del sol se transmite por las ventanas de los edificios. La cantidad de luz que se captura en una habitación depende de la naturaleza y el tipo de superficie del cristal, su aspereza, su grosor y lo limpio que se encuentre. Los marcos de las ventanas pueden crear también una barrera para la luz solar directa que entra en invierno o en verano, aunque permiten entrar luz difusa. Por el contrario, las superficies reflectantes en el suelo pueden contribuir a la captura de más luz.

- Penetración

La forma en la que la luz penetra en un edificio crea efectos muy diversos de iluminación no sólo en función de las condiciones externas (tipo de cielo, alteraciones atmosféricas, estación, hora del día y cómo sea de abierto el sitio), sino también en función de la posición, la orientación, el ángulo, el tamaño y el tipo de acristalamiento. La iluminación lateral proporciona una luz directa que resalta los contornos, pero es limitada en profundidad, a diferencia de la luz superior, que es más uniforme, pero sólo es posible en la planta superior de los edificios.

- Difusión

La luz es mucho mejor si se refleja por todas las superficies interiores de un edificio, si no se encuentra con ningún obstáculo creado por la geometría de la habitación o el mobiliario y si las superficies son brillantes. También se puede difundir por el mismo tipo de acristalamiento utilizado (translúcido) o por sistemas de reflectores que permiten que la luz penetre hasta el fondo de una habitación.

- Sombreamiento y control

El exceso de penetración de la luz natural puede provocar molestias visuales (deslumbramiento, fatiga ocular). Esto puede controlarse mediante la construcción de elementos arquitectónicos fijos (voladizos, luces de techo, estantes de luz, aleros de techo, etc.) y pantallas ajustables (toldos, persianas o lamas).

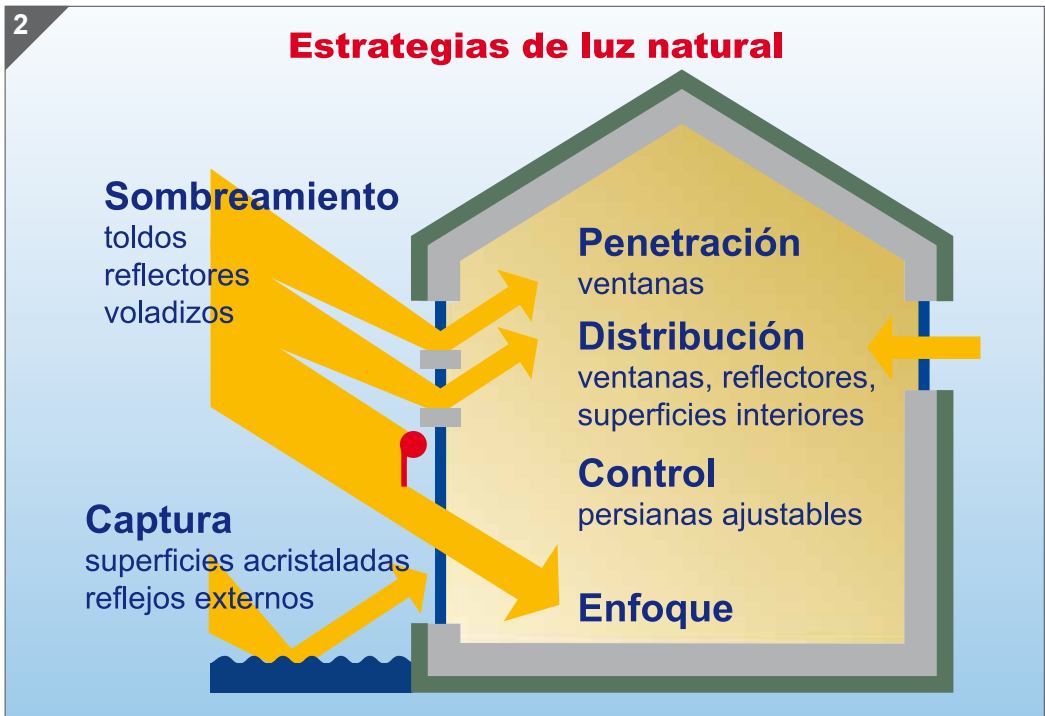
- Enfoque

En ocasiones es necesario enfocar algo de luz natural con el fin de mejorar la iluminación de un lugar o un objeto en particular. La iluminación superior o alta iluminación lateral crea un contraste significativo con la luz ambiental de baja potencia. Un atrio en el centro de un edificio permite que entre más luz natural en un edificio, creando así un espacio atractivo en el que moverse y relajarse. Los edificios altos y profundos pueden por tanto beneficiarse de la luz natural gracias a estos ejes de la luz.

Las estrategias de iluminación natural tienen como objetivo mejorar la forma en la que se captura la luz natural y se deja penetrar en un edificio, para mejorar la manera en que la luz se difunde y se focaliza. También debe considerarse el control de la luz para evitar la molestia visual.



El control de la luz mejora el ambiente.



Estrategias para el control de la luz natural.

Las estrategias de refrigeración son una respuesta a la necesidad de confort en verano: protegernos frente a la radiación solar y el calor, reducir al mínimo las fuentes de calor internas, disipar el exceso de calor y enfriar de manera natural.

- Sombreamiento

Para recurrir al sombreado del edificio y hacer frente a la luz directa del sol con el fin de limitar el aumento del contacto directo es necesario levantar protecciones solares, externas a ser posible, que lo protejan del sol. Estas protecciones solares pueden ser permanentes, móviles o temporales (plantas). Además, con el fin de evitar que las sólidas paredes verticales calienten el edificio, debe utilizarse un aislamiento que evite la acumulación de calor. En un clima cálido, debe evitarse que el calor entre a través de paredes y techos calentados por el sol. Esto se puede lograr mediante el aumento de su aislamiento o inercia, utilizando superficies reflectantes de cara al sol o bien mediante la reducción del aire caliente que entra en el edificio.

- Minimización de fuentes de calor internas

La minimización de fuentes de calor internas tiene por objetivo evitar el calor excesivo en los edificios debido a los inquilinos y equipos: iluminación artificial, equipo eléctrico, número de ocupantes, etc. Algunas fuentes pueden ser fácilmente minimizadas mediante la adopción, por ejemplo, de la iluminación natural.

- Disipación del exceso de calor

La disipación de exceso de calor se puede lograr a través de ventilación natural, mediante el uso de canales donde las diferencias de temperatura crean un efecto "chimenea". La presión del viento y la canalización de los flujos de aire también pueden ser útiles para la expulsión del aire caliente de un edificio.

- Refrigeración del edificio

La refrigeración del edificio puede conseguirse fácilmente por medios naturales. La primera solución es asegurar una buena ventilación (especialmente por la noche, con el fin de eliminar el calor almacenado durante el día) y aumentar la velocidad de circulación del aire (efecto Venturi, torres de viento, etc.). También se puede enfriar el aire por métodos naturales, tales como juegos de agua, fuentes, plantas, conductos subterráneos, etc.

La figura 1 muestra la multitud de sistemas de enfriamiento naturales desarrollados por arquitectos árabes en el siglo XIII: grandes pórticos, arcadas abiertas, fuentes y juegos de agua, abundante vegetación, etc.

Las estrategias de refrigeración son una respuesta a la necesidad de confort en verano: protegernos frente a la radiación solar y el calor, reducir al mínimo las fuentes de calor internas, disipar el exceso de calor y enfriar de manera natural.



Patio de la Acequia. Generalife, en Granada (España).



Procedimientos para alcanzar el confort en verano.

Las estrategias de calentamiento son una respuesta a la necesidad de confort en invierno: capturar el calor de la radiación solar, almacenarlo en el edificio, conservarlo mediante aislamiento y distribuirlo por todo el edificio.

- Captura de calor

La captura de calor consiste en obtener la energía solar y convertirla en calor. La radiación solar recibida por un edificio depende no sólo del clima y sus variaciones diarias y estacionales, sino también de la orientación del edificio, la naturaleza de sus superficies, los materiales utilizados, la topografía del lugar, la sombra, etc. La radiación solar sólo es útil cuando se da un ángulo recto respecto a las superficies de acristalamiento, mediante las que se transmite parcialmente la radiación hacia el interior, proporcionado así una ganancia de calor directa.

- Almacenamiento

La radiación solar a menudo produce calor cuando no se necesita. Por ello, es útil ser capaz de almacenar el calor hasta que se necesite. Este almacenamiento se lleva a cabo en el interior de todos los tipos de materiales en función de su capacidad para acumular calor, permitiendo así la absorción de calor que, debido a esta inercia, atenúa las variaciones de temperatura dentro de un edificio.

- Retención

En un clima frío o fresco, toda forma de calor debe conservarse, ya sea por el sol, fuentes de calor internas o de los sistemas de calefacción. La forma básica y la hermeticidad del exterior de un edificio, junto con las propiedades de aislamiento de sus paredes es lo que hace reducir la pérdida de calor. Dividir un edificio en diferentes espacios para crear zonas de temperaturas diferentes según su uso (para diferentes necesidades de calefacción o zonas de reserva), también permite que la calefacción se distribuya mejor.

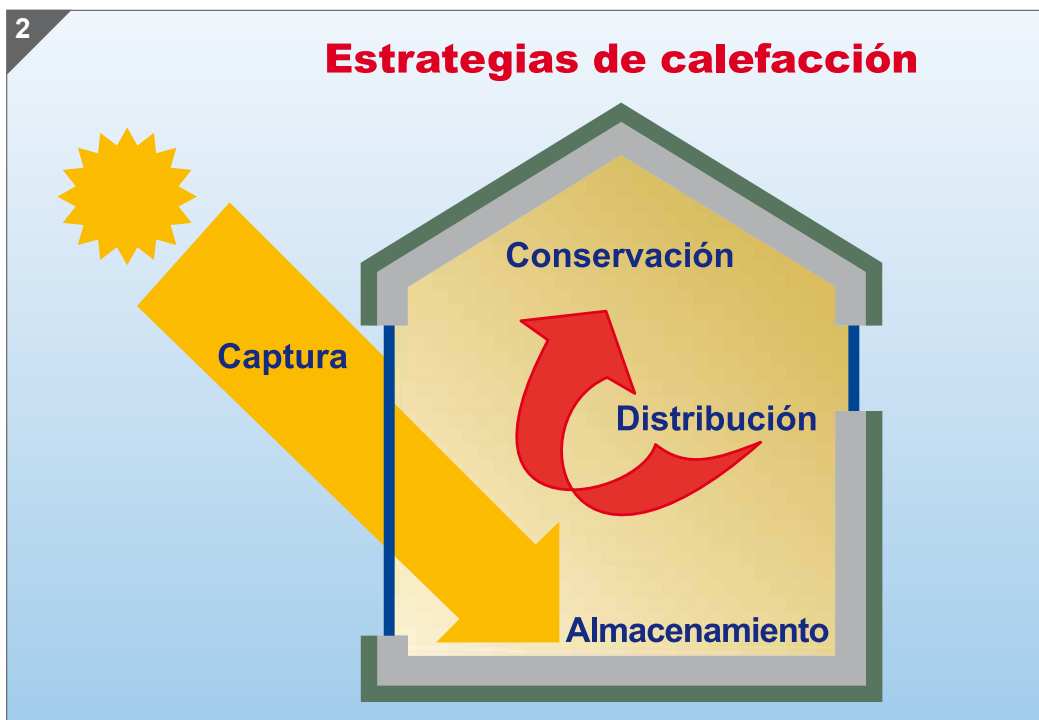
- Distribución

Distribuir y regular el calor por todo un edificio conlleva transmitirlo a los diferentes espacios a los que se desee. Esta distribución puede llevarse a cabo de manera natural cuando el calor acumulado en los materiales durante periodos de sol se libera de nuevo en el aire por radiación y convección. Otra forma de distribuir el calor es mediante la termocirculación del aire (movimiento ascendente del aire caliente). Por último, esta distribución también se puede realizar mediante un sistema de ventilación accionado. Este calor también debe ser regulado en función de los diferentes espacios y su uso.

Las estrategias de calentamiento son una respuesta a la necesidad de confort en invierno: capturar el calor de la radiación solar, almacenarlo en el edificio, conservarlo mediante aislamiento y distribuirlo por todo el edificio.



Vivienda expuesta al sol.



Procedimientos para alcanzar el confort en invierno.



La física moderna reconoce dos propiedades en la radiación electromagnética: la ondulatoria y la de partículas.

La propiedad ondulatoria se basa en la noción de la radiación monocromática, es decir, una onda sinusoidal que se caracteriza por su duración  $T$  (en segundos) y su frecuencia  $\nu = 1/T$  (en hercios).

En la práctica, es preferible hablar de longitud  $\lambda$  para representar la distancia recorrida por la onda durante un período de tiempo medido en nanómetros (figura 1). La longitud de onda está relacionada con la frecuencia de la velocidad  $c$  en la que viaja la onda:  $C = \lambda \cdot \nu$ , donde  $c$  sólo depende del medio a través del que viaja (alrededor de 300.000 km/s a través del aire).

La propiedad de partículas de luz queda manifiesta mediante la observación del hecho de que la emisión y absorción de luz es discontinua en la naturaleza. La radiación está compuesta de partículas (fotones) con una energía  $E = h \cdot \nu$ , en la que  $h$  es la constante de Planck y se expresa en electrovoltios (como en la teoría cuántica).

La luz natural o luz blanca (la única que permite al ojo distinguir los colores con precisión) consiste en la radiación electromagnética visible de varias longitudes de onda. Los diferentes colores de la luz natural que componen la radiación pueden apreciarse fácilmente cuando ésta se refracta a través de un prisma o gotas de agua (efecto arco iris). Ello nos permite definir un espectro continuo de la radiación de la luz natural (curva de color blanco en la figura 2).

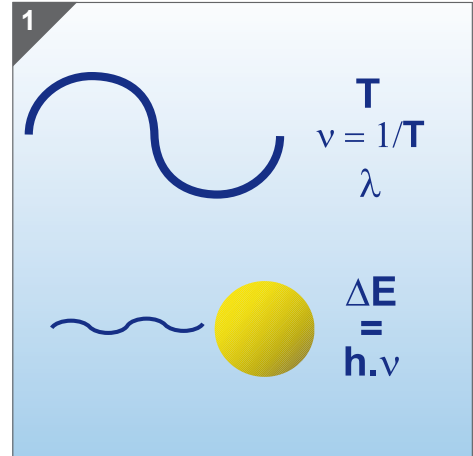
El ojo se ajusta de forma natural a la luz del día. En consecuencia, la luz emitida por las fuentes de luz artificial debe tener la misma composición espectral que la luz natural, con el fin de que la percepción de los colores no se distorsione. De hecho, cualquier objeto refleja de manera selectiva la radiación del color. Por ejemplo, si recibe luz roja únicamente, el objeto se presentará como rojo pero, si la luz incidente artificial no contiene ninguna radiación de intervalo rojo, el objeto parecerá de un color diferente. Este fenómeno es común con iluminación fluorescente, especialmente con los tonos de color rojo anaranjado en la luz natural.

Si se estudia una fuente de luz artificial y se establece su espectro de radiación, puede observarse que puede ser continua (figura 2, luz fluorescente o de tungsteno) o discontinua (figura 2, luz de sodio), es decir, la luz emitida no es luz blanca (natural). Cualquier espectro de luz que difiere del de la luz natural cambia de color un objeto.

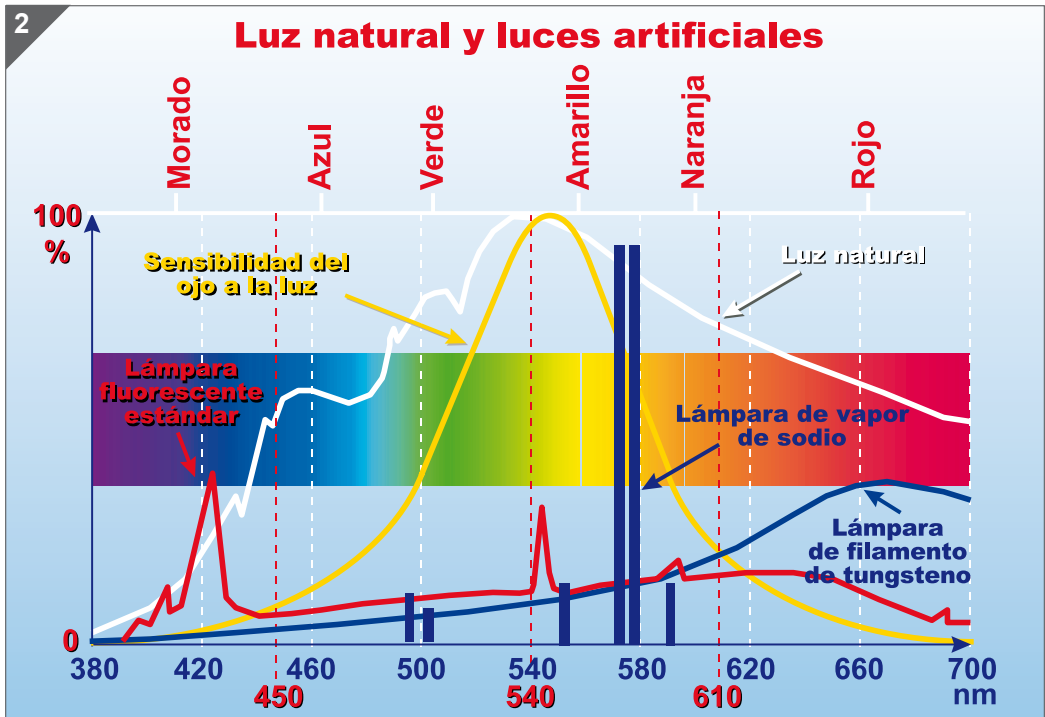
La figura 2 compara el espectro de la luz natural (curva de color blanco) con los de las diferentes formas de luz artificial. En los ejes de la gráfica, pueden observarse las frecuencias en nanómetros y en ordenadas, así como la energía relativa de emisión de las luces estudiadas (en %). La curva amarilla muestra la sensibilidad del ojo humano. Su máxima se representa en amarillo-verde (555 nm). Las longitudes de onda correspondientes a esta sensibilidad máxima son:

- Para el azul: 450 nm.
- Para el verde: 540 nm.
- Para el rojo: 610 nm.

La propiedad ondulatoria de la luz se caracteriza por su duración  $T$ , su frecuencia  $\nu$ , y su longitud de onda  $\lambda$ . La luz natural se conoce como luz blanca.



Propiedades ondulatoria y de partículas de la luz.



Comparación de la distribución espectral de la luz natural (curva blanca) y artificial.

El hombre está expuesto a una gran variedad de fuentes de energía natural y artificial que emiten radiación a través de varias bandas del espectro electromagnético. La radiación pasa a través del vacío a alta velocidad. Se puede considerar ya sea como ondas o partículas, pero que se desplaza en línea recta.

No toda la radiación electromagnética es visible a simple vista: los rayos X, los ultravioleta, los infrarrojos, las ondas de radio, etc. se encuentran fuera del espectro visible. El espectro visible al ojo sólo es posible con una longitud de onda entre 380-700 nanómetros. Algunos autores sitúan el límite superior en 700 nm: no se puede definir un límite exacto porque depende de la intensidad de la luz que incide sobre la retina y la agudeza visual del observador. Esta característica deriva de la estructura del ojo y, en particular, de la sensibilidad de las células receptoras de la retina, que varían en función de cada longitud de onda  $\lambda$ .

La figura 1 muestra una vez más la gama de colores que componen, por definición, la llamada luz blanca, esta vez con referencia a sus respectivas longitudes de onda. La luz natural es la única que permite al ojo apreciar los colores de los objetos y sus matices más delicados con gran precisión. Muy a menudo, los arquitectos tienden a concebir un proyecto en un entorno visual de tonos en blanco y negro. Es importante considerar el significado de los colores como una fuente adicional de información que permita al observador distinguir entre objetos que pueden ser idénticos en forma y tamaño. Además, el color afecta a muchas características humanas fisiológicas, como la presión arterial, el ritmo cardíaco, la respiración, etc.

La figura 2 repite la distribución espectral de la radiación electromagnética, es decir, la fuerza de la radiación en relación con su longitud de onda. El espectro visible, de 380 a 700 nanómetros, incluye longitudes de onda en las que la energía está en su punto más intenso.

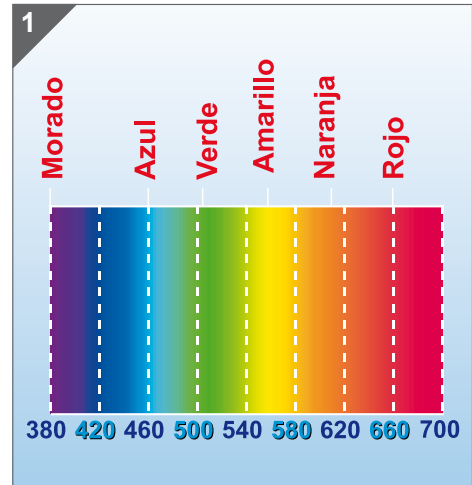
Los rayos X (XR) tienen una longitud de onda de 100 nm. La radiación ultravioleta se encuentra entre 200 y 380 nm. Esto tiene un efecto anti-bacterial (UV -C) entre 200 y 280 nm, quema la piel (UV -B) entre 280 y 315 nm y los ojos (UV- A) entre 315 y 380 nm.

La percepción del color depende de su longitud de onda. El espectro de colores percibido va de la gama del violeta al rojo en orden ascendente de longitud de onda. En el espectro visible, una longitud de onda de 555 nm corresponde a la mayor sensibilidad del ojo y para la zona de color amarillo-verde (sensibilidad relativa = 1).

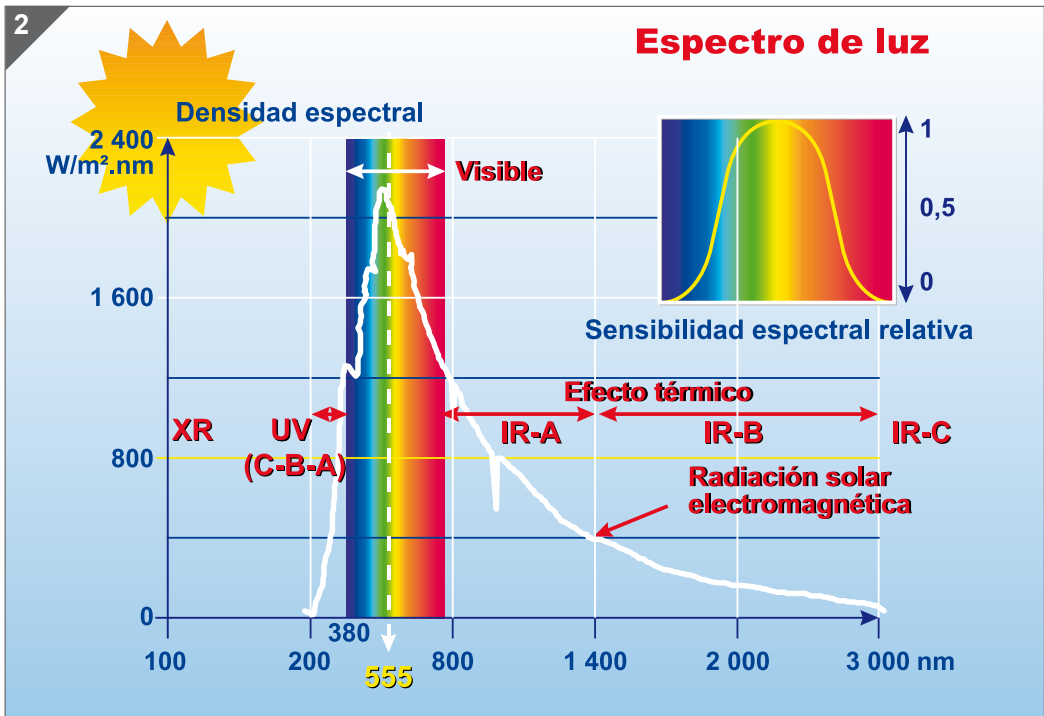
La sensibilidad del ojo a las tonalidades rojas, con una longitud de onda superior a 700 nm es pobre, ya que es color violeta con una longitud de onda inferior a 400 nm. El ojo no es sensible a longitudes de onda fuera del espectro visible (sensibilidad relativa = 0). Por tanto, la curva que muestra la sensibilidad espectral relativa (en amarillo) refleja el filtrado realizado por el ojo, y asigna una ponderación (de 0 a 1) para cada longitud de onda según la estimulación visual.

En la zona de longitudes de onda más largas, los infrarrojos IR-A (de 760 a 1400 nm), IR-B (de 1400 a 3000nm) e IR-C (más de 3000nm) sólo tienen un efecto térmico.

No toda la radiación electromagnética es visible a simple vista: sólo longitudes de onda en el rango nanométrico de 380 a 700 proporcionan un estímulo de luz.



Colores del espectro de luz.



Posición del espectro visible de la radiación electromagnética.  
Sensibilidad espectral relativa.

La iluminación es el efecto producido por el flujo luminoso que incide sobre una superficie determinada y que emana directamente o indirectamente de una fuente de luz artificial o natural (el cielo o el sol). Se expresa en lux (símbolo lx).

La iluminancia se describe como el flujo luminoso emitido por una superficie dentro de un campo de visión y dirigido hacia el ojo de un observador (figura 1). Se define como la proporción de luz visible sobre una superficie y se expresa en candelas por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). La iluminación de una superficie es mayor cuando la luz que recibe es más brillante y su índice de refracción es cercano a 1.

La iluminancia es la medición fotométrica que mejor se corresponde con la percepción visual de la luminosidad de una superficie. El ojo humano percibe los niveles de iluminancia que van desde  $0.001 \text{ cd}/\text{m}^2$  (visión nocturna en la que no se pueden apreciar los colores) a  $10.000 \text{ cd}/\text{m}^2$ . Sin embargo, el ojo no puede distinguir variaciones en la iluminancia de menos del 20%: sólo puede comparar en vez de medir la percepción de la luz.

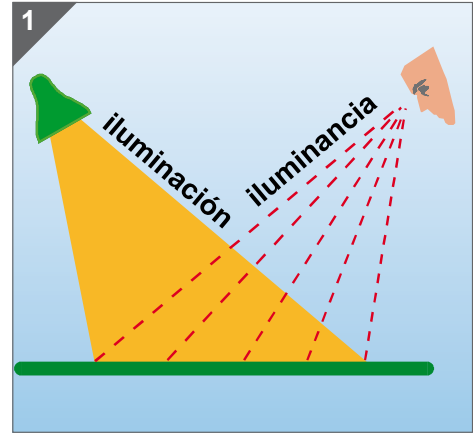
El factor principal para distinguir un objeto es el contraste en la iluminación y los colores del objeto y su entorno. Leer un texto de color negro sobre un fondo blanco es más fácil que leer un texto de color negro sobre un fondo gris. El contraste en la iluminancia es en este caso igual a la proporción de índices de refracción de la tinta negra y el papel, es decir, 20-1 en el primer caso y de 10-1 a 2-1 en el segundo, dependiendo de la tonalidad de gris.

El deslumbramiento es el efecto visual por el que una persona ve los objetos de manera menos clara debido a una iluminación excesiva o a un contraste de la iluminancia en términos de espacio o de tiempo. Con luz natural, el deslumbramiento puede producirse por mirar directamente al Sol, por una iluminación excesiva del cielo vista a través de una ventana o porque la luz natural se refleja demasiado en las paredes, lo que crea una excesiva diferencia frente a otras superficies cercanas. Con luz artificial, el deslumbramiento puede producirse por mirar directamente a una fuente de luz o a su reflejo en el cristal pulido de una lámpara o en otras superficies u objetos de una habitación.

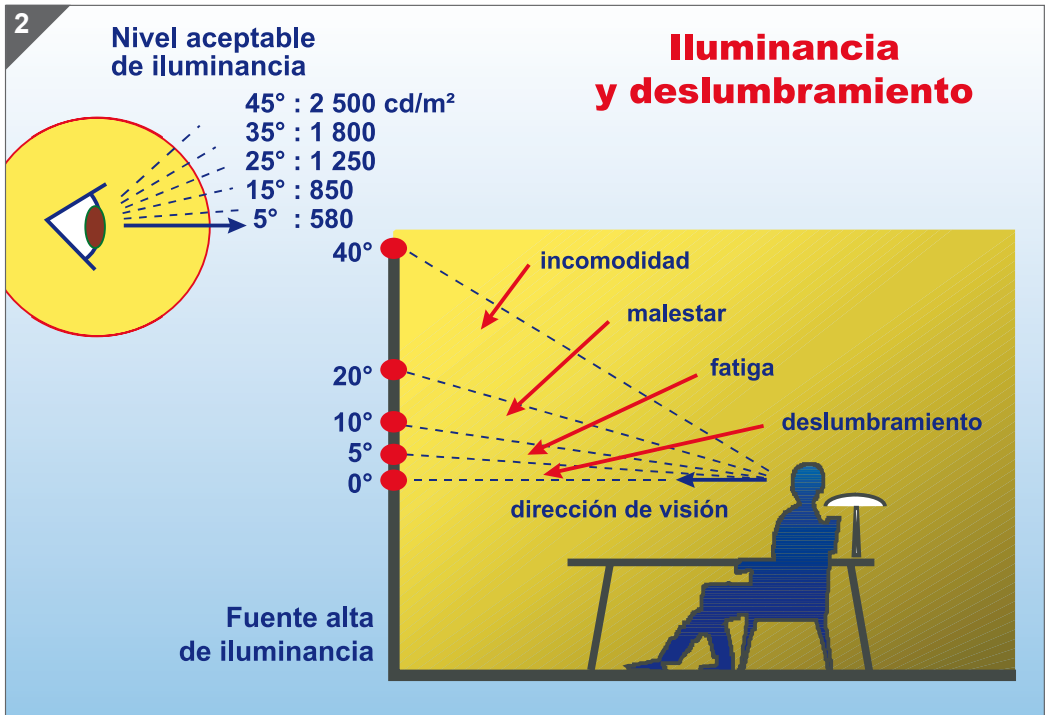
La posición de las fuentes de luz también puede provocar deslumbramiento (figura 2). Cuando una importante fuente de iluminación está en el campo de visión, puede causar malestar o distracción, dependiendo de su posición. Para evitar este tipo de problema, la fuente debe ser posicionada de tal manera que el ángulo que se forma entre el espectador y el objeto sea mayor de  $30^\circ$ .

La iluminancia de una superficie es difícil de calcular. Como es directamente proporcional a la luz recibida y al índice de refracción de la superficie, la cantidad de luz recomendada para cualquier tarea se expresa en términos de iluminación. El nivel de iluminación requerido varía según el tamaño y el contraste de la iluminancia entre el objeto y el fondo.

La iluminancia es la medida que mejor se corresponde con la percepción visual de la luminosidad de una superficie. La iluminancia es la proporción de luz visible sobre una superficie:  $I = I / \text{visa}$ .



La percepción de la iluminancia depende de la iluminación y del índice de refracción de una superficie.



Confort: niveles aceptables de iluminancia y posición de la fuente de luz.

Para la iluminación natural, los requisitos de iluminación no se expresan en lux, pero se pueden expresar en términos de factor de luz (FL). Este factor es la proporción de iluminación interna recibida en un punto particular (generalmente el suelo o superficie de trabajo) con respecto a la iluminancia externa sin obstáculos sobre una superficie horizontal. Se expresa en porcentaje.

En condiciones de nubosidad, los valores de FL son los mismos, independientemente de la estación, el tiempo o la orientación de los ventanales. Por tanto, proporcionan una medida de la capacidad intrínseca del edificio para captar la luz natural. Por ello, se recomiendan valores de referencia mínimos del FL para cualquier edificio en función de su uso, con el cielo despejado (cielo "medio", cuya iluminación es igual a 5000 lux). Los valores de FL recomendados para espacios interiores son:

- Fábricas: 5%
- Oficinas: 2%
- Aulas: 2%
- Hospitales: 1%

Con la iluminación exterior de 5000 lux bajo un cielo nublado, el nivel de iluminación interior obtenido dentro de oficinas debe de ser de un mínimo de 100 lux.

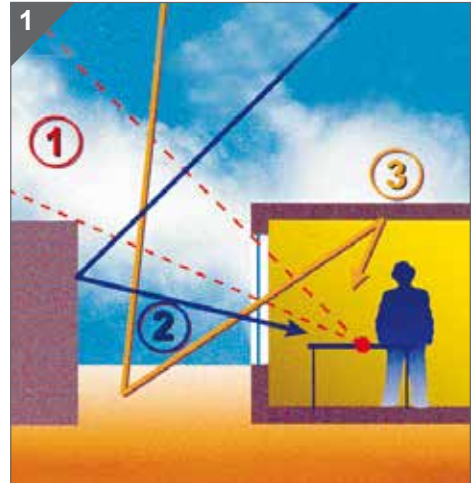
La luz recurre a una infinita variedad de caminos para llegar a un punto específico. La iluminación interior natural incluye tres componentes (figura 1 y 2):

1. El componente de luz natural, es decir, la iluminación que alcanza un punto determinado de la parte visible del cielo.
2. El componente exterior reflectante de luz, es decir, la iluminación que alcanza un punto determinado por la luz que se refleja en las superficies exteriores.
3. El componente interior reflectante de luz, es decir, la iluminación que alcanza un punto determinado por la luz que se refleja en las superficies interiores.

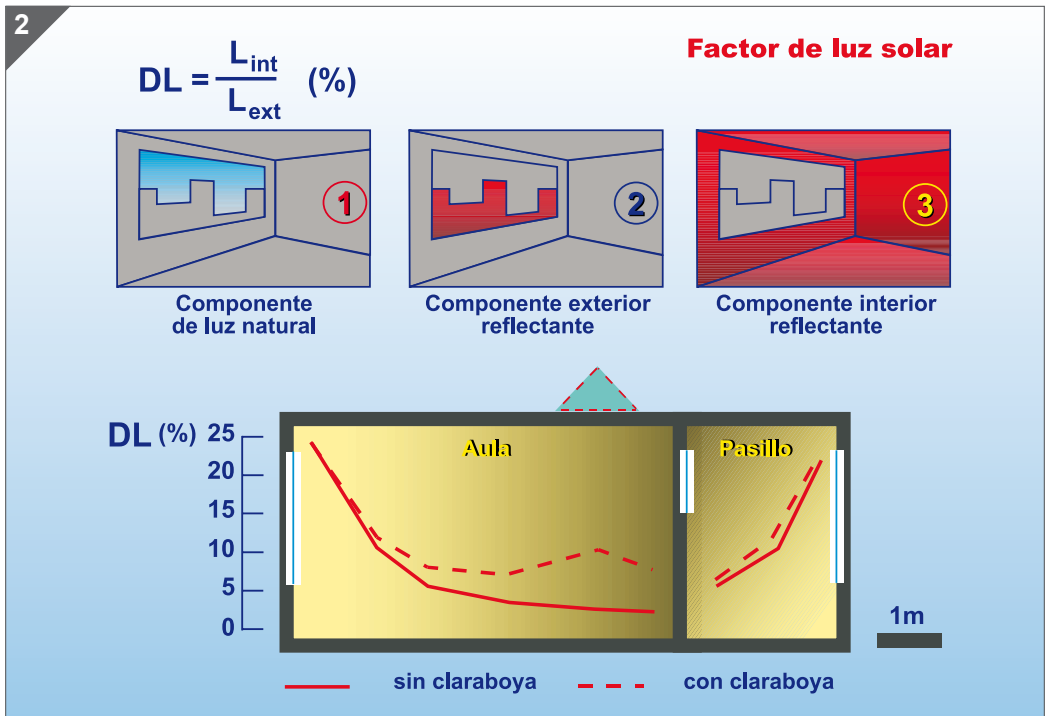
La figura 2 describe estos componentes. También muestra las variaciones en FL dentro de un salón de 6 metros de profundidad por 3 metros de altura, que da a un pasillo con una segunda ventana. La curva roja representa la variación FL sin claraboya, mientras que la curva de línea discontinua muestra el efecto de la iluminación con claraboya en la parte posterior de un aula. Cabe destacar que las curvas del FL son válidas para una configuración de ventana en particular (en este caso una cúpula de cristal de 15 m<sup>2</sup> con la longitud total de la sala, es decir, 8 metros). Por lo tanto, queda claro que los niveles de luz en un punto dado varían en función de su posición y la de las ventanas.

Con el fin de aumentar el FL, el componente de luz natural puede aumentar mediante el uso de superficies acristaladas. El componente de la luz exterior puede también aumentar mediante el uso de diferentes tipos de superficies externas reflectantes, así como el componente de luz interior, mediante el uso de diferentes tipos de superficies internas reflectantes.

El factor de luz solar (FL) es la proporción de iluminación interna recibida en un punto particular con respecto a la iluminancia externa sin obstáculos que se da sobre una superficie horizontal. Se compone de tres elementos y se expresa en porcentaje.



Los tres elementos del FL.



Valores típicos del FL de un aula.



Algunos cuerpos irradian luz, otros no lo hacen. La luz, ya sea emitida por fuentes naturales (sol, fuego) o artificiales (lámparas), está considerada como luz directa. Los objetos no luminosos reflejan parte de la luz que incide sobre ellos. En este sentido, contribuyen a la distribución y difusión de la luz. Estas son las llamadas fuentes de luz indirecta.

De hecho, la luz sólo es visible cuando se refleja en un objeto sólido. Es por eso que los arquitectos tienen que determinar la naturaleza y el nivel de luz natural y artificial que desean instalar.

La figura 1 muestra la importancia de la regulación de la luz directa e indirecta. El Museo de Arte Kimbell en Texas, del arquitecto L. Kahn, es un ejemplo notable de la gestión de la luz natural: techos curvos largos que se abren para permitir que la luz entre. Un sistema de filtrado/reflejo redirige la luz hacia los techos abovedados. La luz directa se convierte en iluminación indirecta.

En arquitectura, la luz natural llega a nosotros a través de ventanas o después de ser reflejada por las paredes. El tamaño de la ventana determina la cantidad de luz recibida. Su posición (alta, muy abajo, etc.) y su forma (vertical, horizontal, etc.) influye en cómo la luz se difunde y se distribuye, al igual que el tipo de superficie de pared (color, brillo, etc.) En consecuencia, el tipo de luz percibida por el ser humano está directamente relacionado con su entorno arquitectónico.

La figura 2 muestra las diferentes formas de mejorar el uso de luz natural, de acuerdo a la clasificación desarrollada en la obra La luz del día en la arquitectura (Baker-Franchiotti-Steemers). Basada en un análisis de la arquitectura, se distingue entre los espacios que aportan luz adicional, los componentes que permiten la entrada de luz y los sistemas para regularla:

- Los espacios que aportan luz adicional pueden ser espacios intermedios (galerías, porches, invernaderos) o espacios de luz internos (patios interiores, atrios, conductos de luz) (figura 2-1).
- Los componentes que permiten que la luz entre en un edificio pueden ser laterales (ventanas, muros cortina, paredes translúcidas), superiores (paneles claros, tragaluces, techos translúcidos, tragaluces tubulares; figura 2-3) o de ambos tipos (laterales y superiores).
- Por último, la posibilidad de regular la luz natural filtrándola (vidrio translúcido, ladrillos de vidrio, vitrales, pantallas solares, pantallas, persianas de lamas, etc.) (figura 2-4).

La luz natural puede iluminar un espacio directa o indirectamente, lateralmente o por la parte superior. También se puede regular y filtrar.



Regulación de la luz directa e indirecta del Museo de Arte Kimbell en Fort Worth, Texas (arquitecto L. Kahn).



1. Atrio (arquitecto: J. Bouillot); 2. Iluminación lateral (arquitecto:F. Nicolás);  
3. Iluminación superior (arquitecto: A. Gaudí); 4. Filtrado (arquitecto: Bermond y Porchon).

La transmisión lumínica (TL) se refiere al porcentaje de luz transmitida a través de un panel de acristalamiento en una habitación. En consecuencia, cuanto mayor sea la LT, mayor es la cantidad de luz que entra en un edificio y se necesita menos iluminación eléctrica durante el día.

Al igual que el factor solar, es posible definir la transmisión de luz mediante tres tipos de cristal: transparentes, absorbentes y reflectantes. La figura 2 resume las características de TL de acristalamiento simple con estos tres tipos de vidrio. Con acristalamiento transparente, se transmite el 90% de la luz, el 8% se refleja y el 2% se descompone en calor dentro del material.

- El acristalamiento transparente se caracteriza por su excelente capacidad para transmitir la luz.

Acristalamiento transparente simple:  $TL = 0,90$  (figura 2)

Acristalamiento transparente doble: (6-12-6):  $0,78 <LT < 0,8$

- El acristalamiento absorbente permite que el cristal reduzca la proporción de la energía solar:

Radiación transmitida mediante el aumento de la parte que se absorbe.

Acristalamiento absorbente simple:  $TL = 0,41$  (figura 2)

Acristalamiento absorbente doble: (6-12-6):  $0,36 <LT < 0,65$

- El acristalamiento reflectante se caracteriza por un aumento en la cantidad de radiación reflejada y por una reducción en la cantidad transmitida.

Acristalamiento reflectante simple:  $TL = 0,32$  (figura 2)

Acristalamiento reflectante doble: (6-12-6):  $0,07 <LT < 0,66$

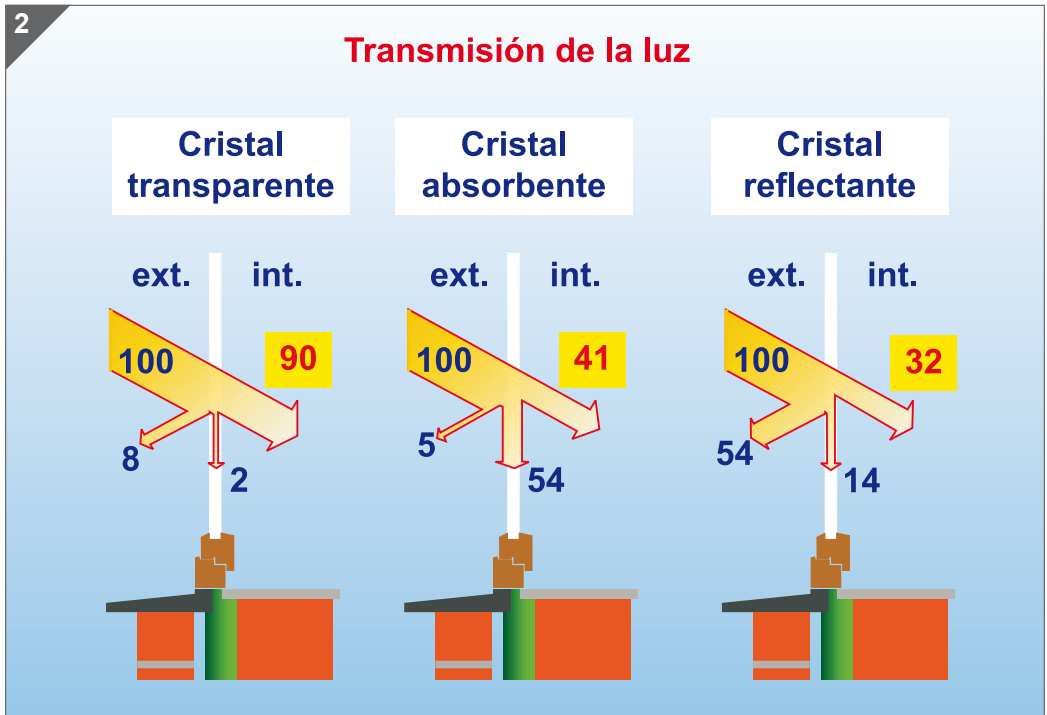
No debe olvidarse que la elección del acristalamiento reflectante puede también afectar las inmediateces del edificio: deslumbrar a los ocupantes de los edificios y los transeúntes cercanos o calentar de forma excesiva la tierra o incluso los edificios afectados por la luz reflejada (figura 1).

La elección del factor TL depende del nivel de luz deseado dentro de un edificio. Cabe señalar que el nivel de luz natural disponible varía constantemente: desde 5000 lux con un cielo nublado a casi 10.000 lux con sol en pleno verano (es decir, una proporción de 1 a 20). El riesgo de deslumbramiento es mayor debido a las condiciones cambiantes de las nubes. Un factor de baja transmisión de la luz (0,50) modifica ligeramente la iluminación con un cielo nublado pero puede ayudar de manera significativa a reducir el malestar visual frente a la luz solar directa.

La transmisión de la luz (TL) se refiere al porcentaje de luz transmitida a través de un panel de acristalamiento a una habitación.



La elección del cristal determina la cantidad de luz transmitida y reflejada hacia el exterior.



Transmisión de la luz en un acristalamiento simple.

Una buena iluminación debe garantizar que los ocupantes de un edificio puedan llevar a cabo sus actividades de la manera más eficaz posible (rendimiento visual) y que a la vez garantice su bienestar (confort visual) y proporcione cierto placer visual (luz natural).

El nivel deseado de rendimiento visual se determina por el tipo de trabajo que se desee hacer, y depende de los siguientes parámetros:

- El nivel de iluminación de la superficie (figura 2).
- El contraste de iluminación entre el objeto y el fondo.

La iluminación es el efecto producido por el flujo luminoso que cae sobre una superficie procedente de una fuente de luz natural o artificial. Se expresa en lux (lx).

La iluminancia describe el flujo luminoso dirigido desde una superficie hacia el ojo de un observador. Se expresa en candelas por metro cuadrado (figura 1).

La incomodidad visual está vinculada al deslumbramiento, es decir, a la presencia de un marcado contraste de iluminación dentro de un campo de visión. Hay dos tipos de deslumbramiento:

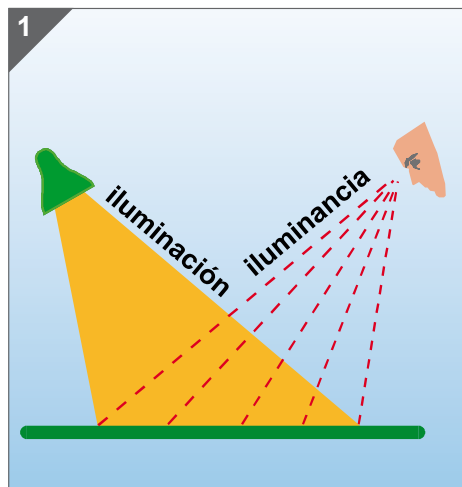
- Fisiológico: el velo del campo de visión hace imposible distinguir objetos.
- Psicológico: el deslumbramiento no afecta totalmente a la visión.

En la práctica, las ventanas y las instalaciones de iluminación inapropiadas son la causa más común de situaciones de incomodidad visual. La iluminación inadecuada provocada por una iluminación defectuosa causa fatiga ocular. Los rápidos cambios en los niveles de luz natural (de 5000 lux con un cielo nublado a 10.000 lux a pleno sol) pueden producir deslumbramiento.

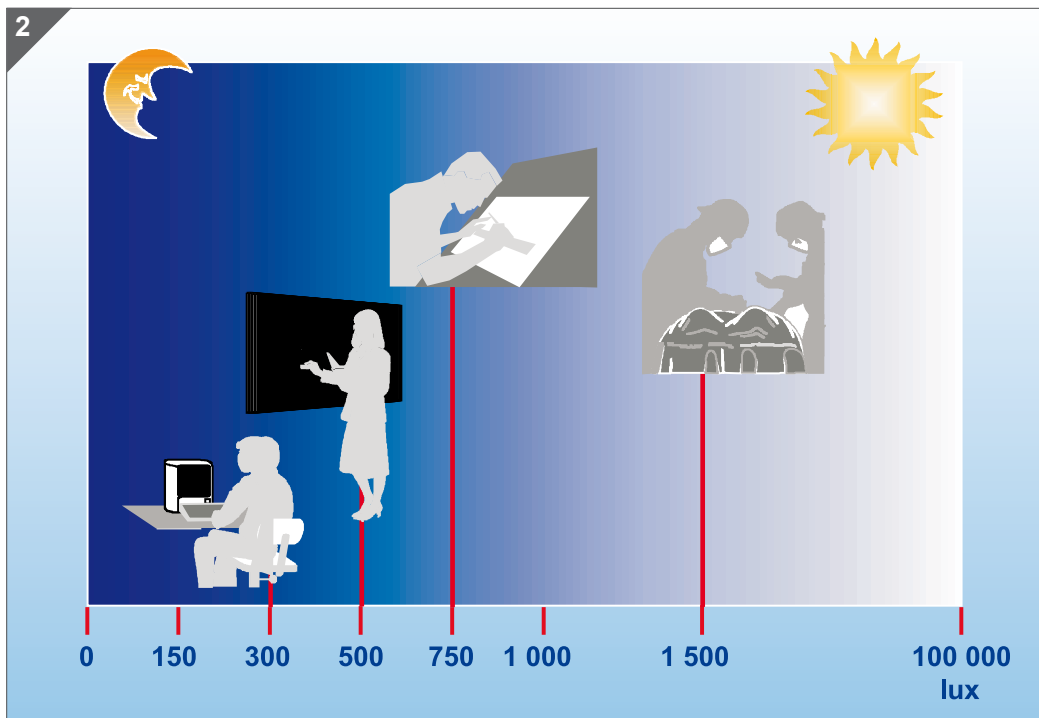
En lo que se refiere al confort visual, es un concepto subjetivo generalmente asociado con:

- La presencia de luz natural (interpretación del color).
- Las variaciones en la duración de esta luz.
- Ciertos efectos de iluminación artificial y colores armoniosos.

El entorno visual debe permitir a la gente ver claramente los objetos, sin esfuerzo, en un entorno agradable.



Iluminación e iluminancia.



Los niveles de referencia de iluminación se ajustan a cada tipo de actividad.

Nuestro entorno visual nos proporciona una sensación de confort si podemos ver los objetos con claridad y sin esfuerzo en un entorno agradable de decoración.

El entorno visual cómodo de una habitación mejora el bienestar de sus ocupantes. Por el contrario, una iluminación demasiado débil o demasiado fuerte, mal difundida por la habitación o con un espectro de luz mal adaptado a la capacidad del ojo para percibir los colores, tarde o temprano conduce a la fatiga visual o incluso a problemas de visión, junto con una sensación de malestar y disminución del rendimiento visual.

El confort visual depende de una combinación de parámetros físicos (iluminación, iluminancia, contraste, deslumbramiento y espectro de la luz), a la que se pueden agregar características específicas del medio ambiente y de la tarea visual a realizar tales como el tamaño de los elementos que se ven y el tiempo disponible para verlos. El confort visual también se basa en los factores fisiológicos o psicológicos de una persona, como su edad, su vista o ser capaz de mirar hacia el exterior.

Los parámetros de confort visual que juegan un papel dominante para los arquitectos son:

- Nivel de iluminación para tareas visuales
- Distribución armónica de la luz dentro de un espacio
- Proporciones de iluminación dentro de un edificio
- Ausencia de sombras no deseadas
- Puesta en relieve de las líneas y formas de los objetos
- Vista al exterior
- Buena reproducción del color
- Tonos agradables de la luz
- Ausencia de reflejos

Sin embargo, es muy difícil indicar los valores ideales que estos parámetros deben tener: no hay ninguna solución universal para el problema del confort visual ya que éste está sujeto al tipo de tarea, la configuración del edificio y las preferencias personales. Por otra parte, el cómo consideramos la calidad de la luz está influenciado por factores personales, culturales e históricos.

El confort visual es un elemento subjetivo ligado a la cantidad, distribución y calidad de la luz.



Lugar visualmente confortable.

2



**a** Nivel de iluminación para tareas visuales



**b** Buena reproducción del color



**c** Equilibrio de brillos y distribución armónica de la luz dentro de un espacio



**d** Ausencia de sombras no deseadas



**e** Puesta en relieve de las líneas y formas de los objetos



**f** Vista al exterior y agradable sombra a la luz



**g** Ausencia de reflejos y deslumbramientos



**h** Ausencia de reflejos y deslumbramientos

Parámetros del confort visual.



El nivel medio de iluminación recomendado se define generalmente según el uso de las estancias y el grado de precisión que requieren las tareas visuales que se pretenda realizar. El nivel de iluminación elegido para una oficina puede llegar a ser desastroso si se utiliza en una habitación con un propósito totalmente diferente, como el vestíbulo de un teatro o la sala de estar de un hogar.

Las recomendaciones se hacen a menudo en términos de iluminación, en lugar de la iluminancia, ya que es más fácil de calcular. A la hora de iluminar una superficie, debe tenerse en cuenta el índice de refracción ya que la impresión del brillo está mejor representada por la iluminancia. Cuanto más bajo es el índice o cuanto más oscuro es el color, más difícil es de ver y se necesita más iluminación.

Además, los niveles recomendados de iluminación deberán ajustarse según el contraste de iluminación entre el objeto y su fondo.

La ingeniería de la iluminación ha demostrado en la práctica que es importante, en términos de mantener el rendimiento visual, considerar las variaciones en la iluminación a través del tiempo. La figura 1 representa la variación en los niveles medios de iluminación de un edificio en función de la duración y la instalación utilizada. Esta ilustración muestra en detalle la noción de los niveles de iluminación "en funcionamiento", "mantenido" e "inicial". Para que el nivel sea eficaz, debe ser mayor al valor "mantenido".

El nivel de iluminación "en funcionamiento" es el nivel que se debe observar como punto medio entre dos operaciones de mantenimiento consecutivas.

El nivel de iluminación "mantenido" es el nivel de iluminación todavía aceptable antes de una operación de mantenimiento: limpieza de los apliques ya se hayan cambiado las bombillas o no.

La UNE 12464.1 es la Norma Europea sobre Iluminación para Interiores obligatoria desde 2003 y recogida en el CTE 2013. (Tabla 2)

Columna 1: Áreas interiores, tareas o actividades, para las que están dados los requisitos específicos.

Columna 2: La iluminancia mantenida en la superficie de referencia para el área interior, tarea o actividad.

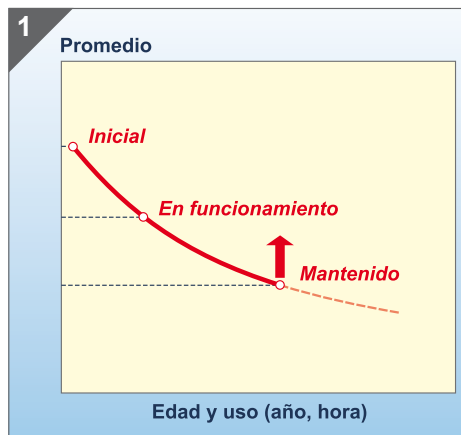
Columna 3: Límite de índice de Deslumbramiento Unificado o Unified Glare Rating (UGR). Es el índice que indica a qué deslumbramiento está sometido el ojo humano por las diferentes intensidades y fuentes de luz. En la tabla 1 se muestra la escala UGR que cuantifica el deslumbramiento molesto.

Denominación	Valor UGR
Imperceptible	10
Just perceptible	13
Perceptible	16
Just acceptable	19
Unacceptable	22
Just uncomfortable	25
Uncomfortable	28
Just intolerable	31

tabla 1

Columna 4: Índice de rendimiento de colores Ra o IRC se califica de 0 a 10. Describe como una fuente de luz hace que el color de un objeto aparezca a los ojos humanos y qué las variaciones sutiles en tonos de color son reveladas. Cuanto mayor sea el IRC o Ra, mejor es su capacidad de rendimiento de color.

Se necesitan niveles mínimos de iluminación para ver claramente y sin esfuerzos. Sin embargo, demasiada luz puede resultar incómoda.



Variaciones en los niveles promedio de iluminación según la antigüedad de una instalación.

2

Módulo docente				
Lugar/Actividad	En lux <sup>1)</sup>	UGL <sup>2)</sup>	UG <sup>3)</sup>	Observaciones
Aulas, Aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable.
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable.
Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable.
Puerta	500	19	80	Evitar reflexiones especulares.
Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux.
Aulas de arte	500	19	80	
Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	T <sub>a</sub> a 5.000 K.
Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
Aulas de manualidades	500	19	80	
Talleres de enseñanza	500	19	80	
Aulas de prácticas de música	300	19	80	
Aulas de prácticas de informática	300	19	80	
Laboratorios de lenguas	300	19	80	
Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
Halls de entrada	200	22	80	
Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
Escaleras	150	25	80	
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	

Biblioteca				
Lugar/Actividad	En lux <sup>1)</sup>	UGL <sup>2)</sup>	UG <sup>3)</sup>	Observaciones
Archivos, coleccionas, áreas de circulación	300	19	80	
Lectura, escrituras, mecanografía, proceso de datos	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización.
Dibujo Técnico	750	16	80	
Diseño asistido (CAD)	500	19	80	Acondicionar las pantallas de visualización.
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	
Puntos de recepción	300	22	80	
Almacenes	200	25	80	
Pasillos y vías de circulación	100	28	40	
Servicios y aseos	100	25	80	
Salas de descanso	100	22	80	

Restaurante y Bar				
Lugar/Actividad	En lux <sup>1)</sup>	UGL <sup>2)</sup>	UG <sup>3)</sup>	Observaciones
Recepción, caja, camarero, barra	280	22	80	
Cocinas	500	22	80	Debería haber una zona de transición entre cocina y restaurante.
Restaurante, comedores, salas de reuniones, etc.	—	—	80	El alumbrado debería ser diseñado para crear la atmósfera apropiada.
Restaurante Autoservicio	200	22	80	
Sala de conferencias	500	19	80	El alumbrado debería ser controlable.
Pasillos	100	25	80	

Norma Europea UNE 12461.1. Guía de iluminación eficiente. FENERCOM. 2006.

Se prefiere la iluminación natural frente a la iluminación artificial debido a su variabilidad y sus diferentes tonalidades. La variabilidad de la luz natural permite crear una armonía con el mundo exterior y un ambiente más cálido en el interior. Su carácter cíclico es un factor importante para nuestro equilibrio psicológico. La luz natural es indispensable para percibir correctamente la hora y el lugar en el que estamos.

Además, las propiedades espectrales de la luz natural garantizan una mejor visibilidad de objetos y colores. Si comparamos la distribución espectral de la luz natural con el gráfico de sensibilidad del ojo, podemos ver que el ojo humano se ajusta de manera natural a la luz natural (figura 1). Por lo tanto, la luz natural constituye el ambiente de iluminación por excelencia.

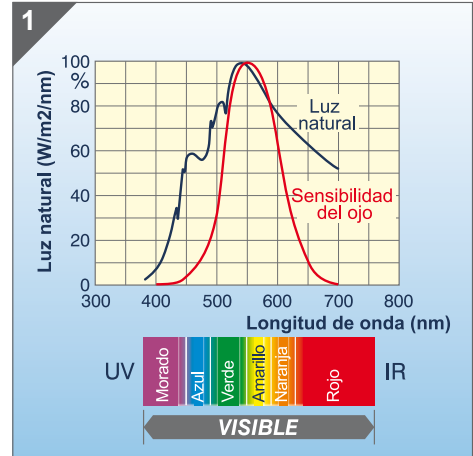
La iluminación natural es la más adecuada tanto a nivel fisiológico como psicológico, pero su variabilidad requiere en ocasiones la utilización de una iluminación artificial complementaria o el uso de cubiertas de ventana temporales. Por lo tanto, la iluminación artificial debe ser considerada como un complemento de la luz natural y se debe armonizar con ésta en la medida de lo posible, con su espectro de luz y sus variaciones mediante un sistema de control apropiado. Para la comodidad de los ocupantes de un edificio, la principal fuente de luz debe ser el sol.

Los ventanales, por donde entra la luz natural, ofrecen un doble beneficio ya que conectan con el exterior y, a la vez, proporcionan una visión distante para descansar los ojos.

Una vista a través de una ventana, incluso si lo que hay al otro lado no es particularmente atractivo, permite establecer una relación con uno mismo y el mundo exterior. La posibilidad de ver a través de una ventana proporciona tranquilidad, lo que es aún más esencial cuando se está realizando una tarea visual concreta.

Por último, el uso de ventanales juega un papel estético innegable ya que incorpora el paisaje externo al ambiente visual de un espacio determinado.

La luz natural es un elemento realmente necesario para el hombre ya que afecta a sus actividades diarias. Influye en el bienestar de los ocupantes de un edificio a nivel tanto físico como psicológico.



Curva de la sensibilidad espectral del ojo humano.



SUMO ARQUITECTOS. Vil·la Urania. Barcelona.

El deslumbramiento está causado por la existencia de una luz demasiado brillante sobre superficies situadas en la línea de visión o por un excesivo contraste luminoso entre las superficies vecinas, lo que pone a las personas en una situación de gran incomodidad visual.

Con luz natural, las principales fuentes de deslumbramiento son:

- Mirar directamente al sol
- Reflejo del sol sobre los edificios vecinos
- Contraste excesivo luminoso entre una ventana y la pared circundante
- Contraste excesivo luminoso entre una ventana y su marco
- Una superficie que es demasiado brillante en comparación con las de los alrededores

En el caso específico de las pantallas de ordenador, deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

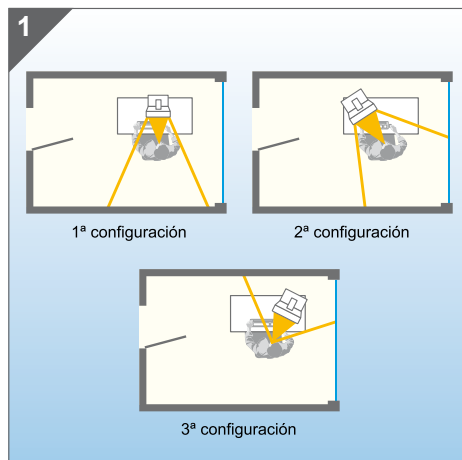
- No debe haber ventanas enfrente o detrás de la pantalla
- La línea principal de visión debe ser paralela a las ventanas
- Las ventanas de todas las fachadas deben estar equipadas con protección solar visual y deben poder ser controladas por los propios ocupantes.
- Las superficies junto a la pantalla deben ser mate y tener un índice de refracción de 0,2% a 0,5%
- La iluminancia de todas las áreas que rodean al usuario debe ser lo más baja y uniforme posible
- Reducir la diferencia de la iluminación entre el cielo y la pantalla (poner una fila de luces a lo largo de la ventana puede ser útil)
- Los reflejos sobre una pantalla con un fondo oscuro son más molestos que una sola luz. Si todas las otras medidas fallan, deben instalarse pantallas antirreflectantes, aunque generalmente no se recomiendan debido a la reducción de la visibilidad de la imagen en pantalla

La figura 1 muestra las diferentes posiciones para una pantalla en relación con una ventana con luz natural. La primera configuración es ideal, ya que permite un contraste reducido en la iluminancia dentro del campo de visión del usuario (la pantalla y el fondo).

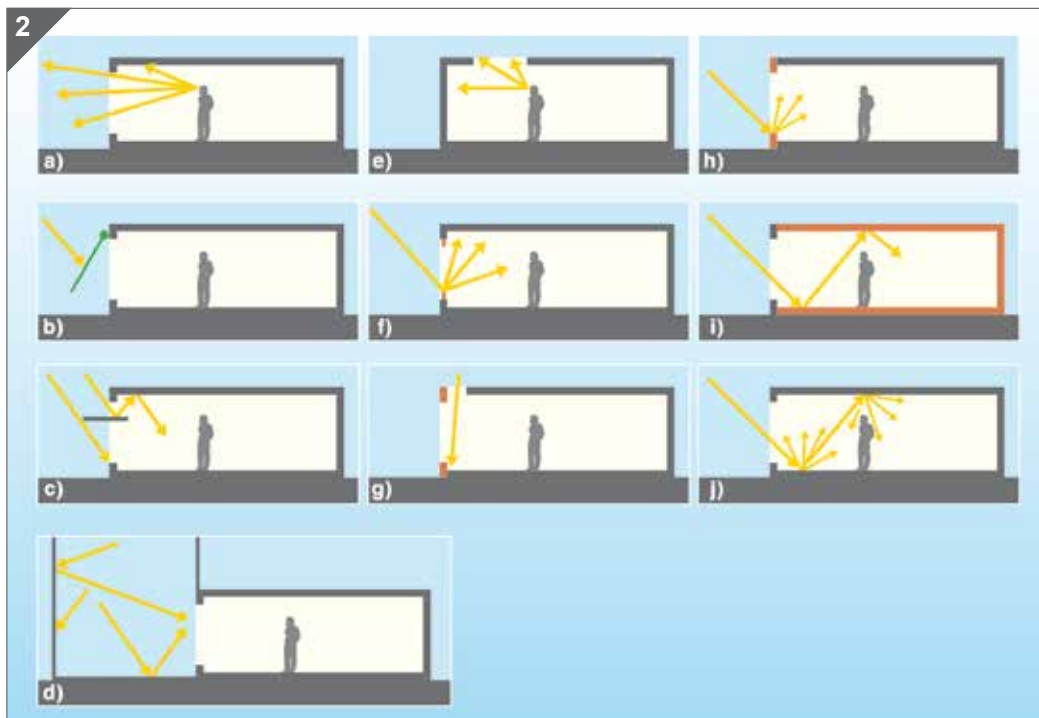
Deben tenerse en cuenta varias precauciones para reducir el riesgo de deslumbramiento por luz natural (figura 2):

- a) En la práctica, un gran hueco de luz natural provoca menos deslumbramiento que uno pequeño, ya que hace más fácil que los ojos se adapten y reduce tanto el contraste de la iluminación como las impresiones asociadas al deslumbramiento
- b) reducir la luz natural mediante el uso de protección solar
- c) reducir parcialmente la luz del sol que entra por la ventana con un dispositivo deflector (estantes de luz, partición, aleros, cortinas)
- d) reducir parcialmente la luz solar mediante la instalación de elementos externos que son menos brillantes que la luz del sol (atrio, patio interno)
- e) establecer aberturas altas (lucernarios, claraboyas) con el fin de reducir el deslumbramiento directo ya que la mayoría de las tareas visuales requieren una visión horizontal o inferior
- f) reducir el contraste entre la ventana y el marco aumentando el índice de refracción del marco por medio de la luz y colores mate
- g) reducir el contraste entre la pared y la ventana mediante la iluminación de la pared donde se ubica la ventana
- h) reducir el contraste entre la pared y la ventana mediante el aumento del índice de refracción de la pared
- i) reducir el contraste entre la pared y la ventana mediante el aumento de la proporción de luz natural indirecta mediante paredes muy claras
- j) fomentar el uso de superficies mates, ya que difunden la luz.

El deslumbramiento es el efecto visual por el que las personas están sometidas a una disminución de la capacidad para percibir los objetos, incluso llega a provocar ceguera momentánea.



Posiciones de la pantalla de un ordenador en relación a las ventanas.



Reducción del deslumbramiento gracias a la luz natural.

Los proyectos de Edificios de Consumo Casi Nulo (en escuelas, oficinas, viviendas) hicieron hincapié en la luz natural muy pronto, por varias razones:

- Económicamente es atractiva por el ahorro en el consumo eléctrico que supone. Algunos estudios europeos muestran una mejora del 30% en el consumo de electricidad que se utiliza para la iluminación de edificios públicos actuales. Este ahorro también contribuye a la reducción de las ganancias de calor interno mediante iluminación artificial, lo que reduce los requisitos de refrigeración.
- Ambientalmente es atractiva por la reducción de los diversos contaminantes producidos por la generación de energía y equipos eléctricos (residuos radiactivos, gases de efecto invernadero, residuos peligrosos de los tubos de neón).
- Psicológica y fisiológicamente es atractiva por la función germicida de la luz natural y la forma en que varía en diferentes momentos del día. Combinando temperaturas cálidas con un espectro visible continuo, su rendimiento es inigualable, incluso por la iluminación artificial de más alta calidad. Este aspecto es particularmente importante en el diseño de oficinas, en las que las malas condiciones visuales provocan fatiga visual, pérdida de atención, dolores de cabeza, mala postura ... En términos generales, si se controla la luz natural en espacios interiores, se mejora la comodidad visual de los usuarios del edificio.

En este contexto, un diseñador utiliza principalmente el método de factor de luz simplificado. En él, se definen los valores de factor de luz diurna sobre una superficie de trabajo en un día nublado, es decir, la relación entre la iluminación interior recibida en un punto determinado de la superficie de trabajo y la iluminación externa simultánea sobre una superficie horizontal en un día nublado. (Figura 1)

$$FL = I_{\text{interior}} / I_{\text{exterior}} (\%)$$

Esta ecuación funciona descomponiendo el factor de luz en tres variables: el componente directo de la luz solar, el componente externo reflejado y el componente interno reflejado. El resultado no depende de la orientación del edificio, la hora, el día o los años. Tiene en cuenta un cielo estándar definido por la Comisión Internacional de la Iluminación (conocida como CIE) y caracterizada por la iluminación cenital y horizontal. La CIE propone utilizar un nivel de luz de 5000 lux en una superficie horizontal con un cielo nublado como base práctica para calcular la iluminación natural en los inmuebles. (Figura 2)

Conceptos cualitativos, tales como los de iluminación uniforme o de contrastes, siguen siendo poco utilizados.

**El factor de luz (FL) indica la relación entre los niveles de luz del día disponible al aire libre bajo un cielo nublado y la luz natural recibida en un punto determinado de una superficie de trabajo en interior.**



Diferentes componentes de la luz natural.

2	Factor de luz	Menos del 1% Muy baja	Del 1 al 2% Baja	Del 2 al 4% Moderada	Del 4 al 7% Media	Del 7 al 12% Alta	Más del 12% Muy alta
Zona considerada		Zona alejada de las ventanas (distancia mayor a tres veces el alto de la ventana)			Zona cercana a las ventanas o bajo luz natural		
Impacto luminoso		De oscura a tenue		De tenue a clara		De clara a muy clara	
Comentarios		Adecuada para pasillos de circulación, almacenamiento, etc		Adecuada para zonas de trabajo		Cuidado con el deslumbramiento y el brillo	
Impacto visual		Esta zona...		...está separada...		...de esta zona	
Entorno		Habitación cerrada al interior			Habitación abierta al exterior		

Variaciones en los impactos visuales de claridad y comodidad en función del FL (AFE - Association Française de l'Eclairage).



El área de la ventana que más contribuye a la iluminación natural es la parte superior. Las zonas acristaladas situadas por debajo del nivel de las superficies de trabajo no son de interés en términos de iluminación natural. Por lo tanto, no es útil acristalar la totalidad de una fachada.

En las oficinas, es de interés aumentar la reflexión de la luz natural mediante el uso de paredes del color más claro posible y mediante la colocación de los muebles con el fin de minimizar las obstrucciones.

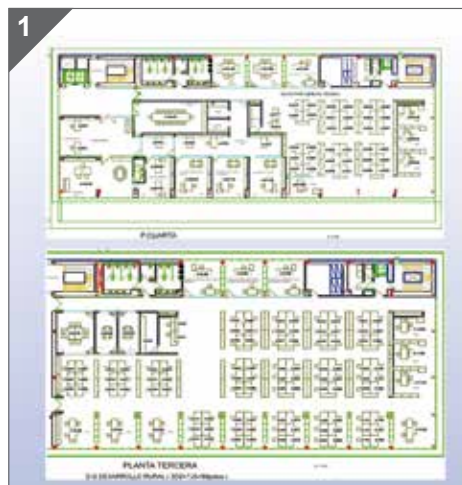
Es esencial adaptar el sombreado solar en los lados sur, este y oeste. En ciertos casos, las paredes que dan al norte también pueden requerirlo. La situación ideal, desde un punto de vista visual y térmico, es combinar el sombreado solar exterior e interior de modo que se ajuste a las estaciones.

En cuanto a la iluminación natural, el diseño de los locales de oficinas depende del tipo de oficina. De hecho, el término "oficina" abarca diferentes tipos de locales (figura 1):

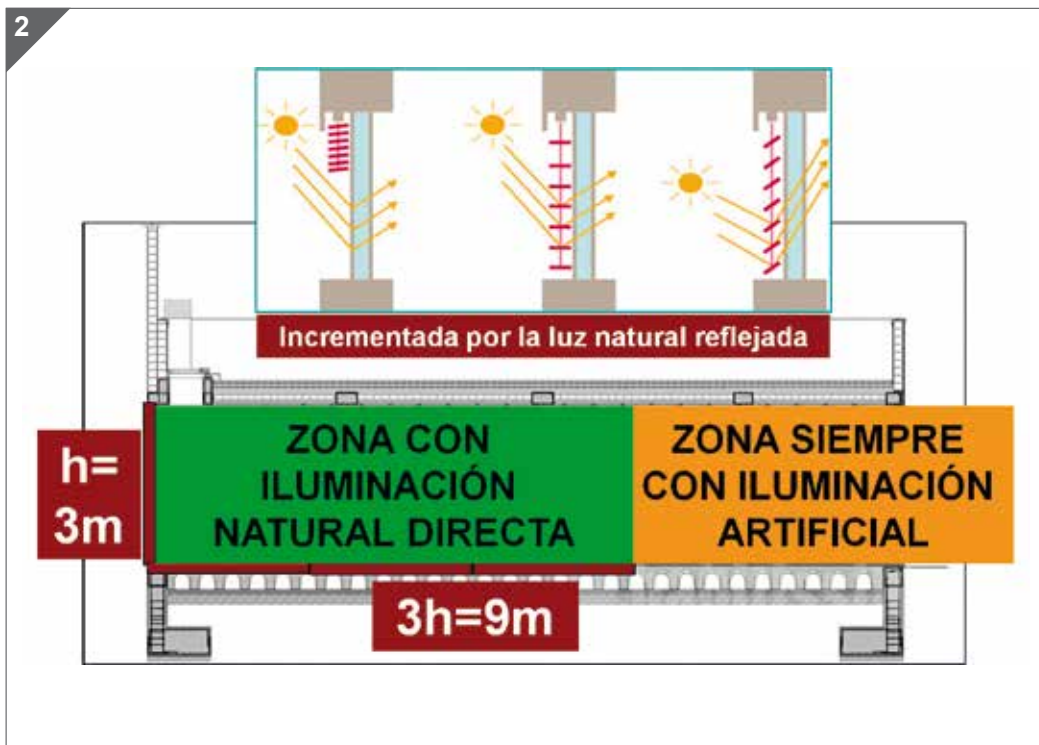
- Las oficinas individuales generalmente no son muy profundas. Sus ocupantes disfrutan de altos niveles de disponibilidad de luz natural. Los escritorios, por lo tanto, deben ser colocados en ángulo recto con las ventanas y lo más cerca posible a ellas.
- Las oficinas compartidas albergan de 5 a 10 personas. Por ello, los escritorios pueden ser alineados en ángulo recto respecto a las ventanas para que la luz provenga de la izquierda con la mano derecha o desde la derecha para los zurdos.
- Las oficinas de equipo son una respuesta a la necesidad de contacto, comunicación y flexibilidad entre los miembros del equipo. Es difícil asegurar una iluminación de alta calidad para todo el mundo, ya que la línea de visión y la cantidad de luz natural disponible difiere para cada individuo. La mayor dificultad es evitar problemas con los reflejos de iluminación natural o artificial.
- Las oficinas abiertas son por lo general muy profundas. Deben, por lo tanto, ser iluminadas desde varias direcciones y los muebles deben colocarse con el fin de crear los menos obstáculos posibles. También es apropiado agrupar las actividades de acuerdo con las necesidades de iluminación. Asimismo, es vital dividir la luz en zonas con el fin de administrar el consumo de energía eléctrica.

Existe una relación directa entre la altura de la ventana y la profundidad a la que llega la luz natural dentro de los edificios o viviendas. Aproximadamente es 3 veces la altura. Por lo tanto, con ventanas estándares en viviendas de 2,1 metros de altura, la profundidad de luz natural puede iluminar hasta 6 metros dentro de la estancia. A partir de dicha distancia respecto de la fachada habrá que encender la luz artificial. En los edificios en que hay huecos de 3 metros de altura, la distancia puede llegar a los 9 metros dentro del espacio interior. Para poder disponer de luz natural siempre en los edificios la profundidad máxima no debería sobrepasar los 9 metros para que gran parte del día podamos utilizar el edificio sólo con luz natural. (Figura 2). Los patios de luces interiores son una óptima opción de incrementar la luz natural, ya usados en la arquitectura tradicional para iluminar las zonas interiores de los edificios y viviendas. Con los patios interiores podemos construir espacios sólo iluminados con luz natural además de ayudar en la ventilación natural lo que reduce las temperaturas interiores de los espacios.

Es esencial limitar la profundidad de los edificios de oficinas y asegurar que las paredes son brillantes y los muebles estén bien posicionados.



Plano de oficinas abiertas.



La profundidad de la luz natural en un edificio.

Integrar la luz natural en los hogares tiene un propósito diferente que en las oficinas. En las oficinas, se desea una iluminación funcional y eficiente. En los hogares, la iluminación natural contribuye al ambiente general y puede variar en función de los estados de ánimo de los ocupantes. Sin embargo, es importante diseñar el bloque de la casa o apartamento de tal manera que todas las zonas de estar se encuentren cerca de las ventanas. Se presentan a continuación algunos consejos generales que pueden servir para mejorar la disponibilidad de luz natural en el hogar. (Figura 1)

Las cocinas, comedores y salones deben ser lo más abiertos posible. Estas son las áreas más vivas de la casa, en las que pasamos el 80% de nuestro tiempo durante el día (1).

Es muy importante contar con un espacio bien iluminado en cada habitación con el fin de fomentar el desarrollo de los niños. Desde los primeros juegos de un niño pequeño hasta aprender a leer o hacer los deberes, la luz natural debe acompañar el desarrollo psicomotor de los niños (2).

Debe fomentarse la iluminación bilateral todo lo posible. La presencia de ventanas/huecos en fachadas opuestas proporciona una iluminación equilibrada y atenúa las sombras (3).

Del mismo modo, el uso de puertas o claraboyas vidriadas sirve para aprovechar al máximo el potencial de luz secundaria (4).

Las habitaciones del piso superior pueden iluminarse desde el techo, pero la importancia de una visión directa hacia el exterior (y no sólo del cielo) no debe pasarse por alto. La iluminación superior puede ser combinada con huecos laterales siempre y cuando sea posible (5).

Los conductos de luz son soluciones muy atractivas para la iluminación de áreas centrales dentro de una casa que, por lo general, se utilizan como salas funcionales (6).

Debe considerarse también la iluminación natural para áticos y sótanos: la creación de huecos, aunque sean pequeños, implica que la gente pueda ver y moverse alrededor de estas áreas con seguridad.

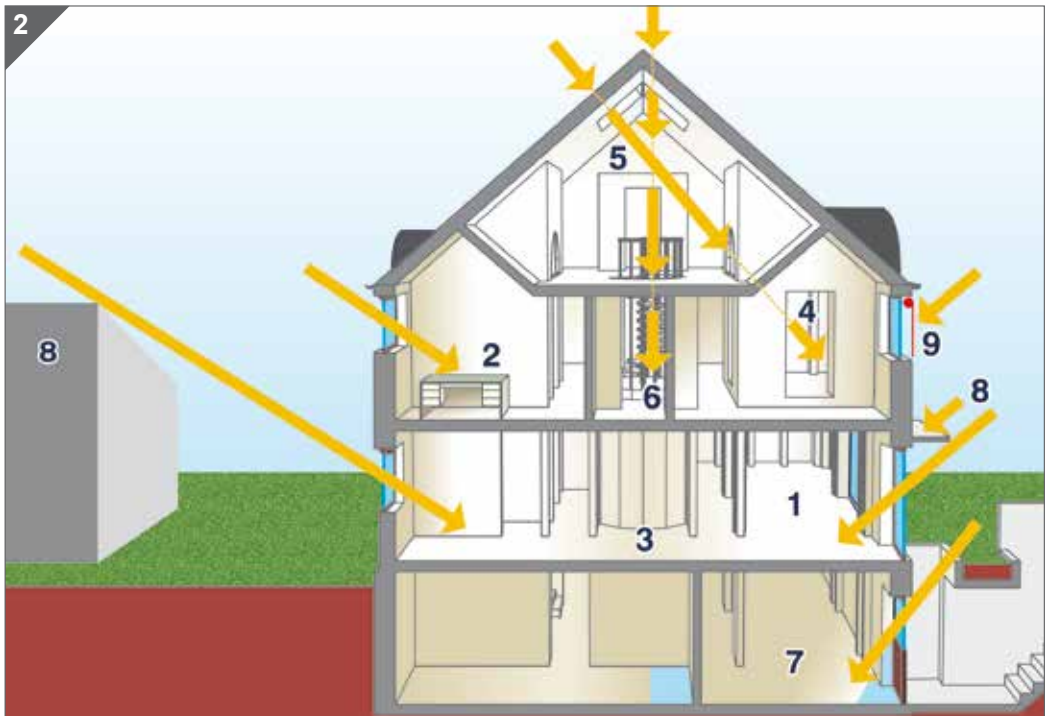
También hay que tener en cuenta los ambientes externos: los aleros y balcones, así como los edificios vecinos pueden reducir en gran medida la cantidad de luz natural que entra (8).

Es importante aprovechar la orientación de cada fachada y planificar la protección solar en el diseño de la construcción (9). (Figura 2)

El brillo, los espacios de luz, el juego de colores e incluso la intimidad creada por las sombras deben ser parte y mejorar nuestras diferentes actividades del día a día.



Vivienda unifamiliar. Segovia.  
Ba arquitectos.



Conceptos de iluminación natural para una vivienda unifamiliar.

El uso de luz natural en los hospitales, especialmente en las habitaciones y en las unidades de cuidados intensivos, es vital. Aunque el impacto de la iluminación natural en la salud aún no es cuantificable, los investigadores coinciden en que es positivo.

Los estudios científicos han demostrado también que una vista al exterior puede tener un efecto positivo en la salud de los pacientes. Más en concreto, para los pacientes que se recuperan de una operación, parece que ser capaz de ver el mundo natural exterior es particularmente beneficioso. No obstante, eso no significa que una vista a los jardines sea siempre la mejor: otros tipos de pacientes o vistas pueden ser posiblemente más gratificantes.

Las ventanas deben tener unas dimensiones que permitan una vista desde la cama del hospital, desde una posición acostada. Debe también utilizarse un sistema de sombreamiento eficaz para que los pacientes no sufran deslumbramiento todo el tiempo pero a la vez no renuncien a la iluminación natural. También necesita instalarse un sistema de persianas con el fin de garantizar la privacidad de los pacientes.

La iluminación natural no debe utilizarse en lugares donde la iluminación general debe ser constante, como en laboratorios especializados, quirófanos o radiología.

El uso de la iluminación natural en los pasillos también es atractivo y permite una reducción significativa del consumo de energía, ya que tendrían que iluminarse de manera artificial si no se beneficiaran de la luz natural.

Los efectos  
beneficiosos que la  
luz natural y la visión  
externa pueden tener  
sobre la salud  
de los pacientes  
están fomentando  
la adopción de la  
iluminación natural  
en los hospitales.



Proporcionar luz natural es esencial  
en los hospitales y residencias  
de ancianos.

2



a: Clínica Diagonal (Barcelona). Arquitectos: JF Arquitectes.

b: Sistema de sombreado para pacientes y empleados contra el deslumbramiento.

Muchos estudios han demostrado la importancia de la iluminación natural para el desarrollo y la salud de los niños, así como su éxito en la escuela. Los dos puntos más importantes relacionados con la iluminación natural en los colegios son los siguientes:

- Deben instalarse grandes superficies acristaladas para permitir que entre suficiente luz natural con el fin de garantizar niveles aceptables de iluminación y que la distribución de la luz sea uniforme.
- También debe prestarse atención a los problemas de deslumbramiento

En general, como la mayoría de los alumnos son diestros, deben colocarse ventanas/huecos en el lado izquierdo de las aulas, con el fin de evitar que la proyección de sombras moleste mientras los niños están escribiendo. La solución ideal es utilizar iluminación predominantemente multilateral para que los niños que se sienten más lejos de las ventanas no estén en desventaja.

La iluminación de la pizarra, ya sea natural o artificial, es esencial. No debe colocarse demasiado cerca de las ventanas/huecos para así reducir los reflejos, ya que los escritorios en la primera fila del lado opuesto a las ventanas son más propensos a este fenómeno.

Además de utilizar protección solar para prevenir el deslumbramiento, debe existir la opción de cubrir completamente las ventanas. Es aconsejable que exista un número suficiente de zonas de pared sólidas para su uso como paneles de visualización.

#### Estrategias en función del tipo de edificio

Hay muchos tipos diferentes de escuelas y la manera de capturar la luz natural variará en consecuencia.

Los edificios con aulas profundas (vista en planta) deben adoptar el uso de claraboyas y conductos de luz. Este tipo de construcción puede no funcionar si tiene varios niveles.

Los edificios con un patio interior son una alternativa atractiva para los edificios con habitaciones profundas porque promueven el uso de la iluminación multilateral. Los materiales transparentes o translúcidos pueden utilizarse para todo el techo o parte del patio con el fin de crear una zona de ocio.

Los edificios escolares de diseño alargado tienen la gran ventaja de estar orientados a lo largo de un eje este-oeste. Las mayores fachadas son, pues, al norte y al sur, orientaciones que facilitan la protección contra el deslumbramiento y el sobrecalentamiento en verano.

Las escuelas de diseño 'compuesto' deben adoptar los mismos principios que los descritos anteriormente: se debe dar preferencia a las orientaciones norte y sur, utilizar lucernarios o patios y atrios con el fin de proporcionar luz en los espacios menos accesibles.

Con el fin de aprovechar al máximo la energía gracias a la iluminación natural, debe regularse la iluminación artificial. Los temporizadores y detectores de movimiento son muy útiles en este tipo de edificios.

Tener en cuenta  
la luz natural  
a la hora de  
diseñar un colegio  
es fundamental.



La luz natural afecta al desarrollo  
y salud de los niños así como a su  
rendimiento escolar.



- a: Escola Virolai (Barcelona) (arquitecto: Francesc Escudero y Ribot).  
b: Escuela de Forester en Lyss (Suiza) (arquitectos: Itten y Brechbühl).  
c: Escuela de Forester en Lyss (Suiza) (arquitectos: Itten y Brechbühl).



La iluminación de las zonas deportivas es difícil de diseñar. Las pelotas y balones pequeños necesitan ser vistos a medida que viajan a gran velocidad. Para los deportes que requieren movimientos rápidos, la iluminación uniforme es importante ya que los ojos no tienen tiempo para adaptarse a los diferentes niveles de luz en diferentes partes de la sala. El deslumbramiento es también un problema importante, ya que las fuentes de luz intensas pueden provocar que un objeto que viaja delante de ellos se pierda de vista. En casos extremos, pueden incluso causar molestias.

La Tabla 1, facilitada por la Comisión Internacional de la Iluminación (conocida como la CIE), muestra los valores de iluminación que se deben alcanzar (a 1m por encima del nivel del suelo), dependiendo del tipo de deporte y si es durante el entrenamiento o durante eventos competitivos. De acuerdo con la CIE, las ventanas/aberturas deben proporcionar estos valores de iluminación durante una proporción significativa del tiempo que la sala esté en uso.

En eventos deportivos, es esencial evitar la luz directa del sol con el fin de evitar problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento. Por lo tanto, se prefieren ventanas orientadas al norte con protección solar. Debe también utilizarse iluminación multilateral para así proporcionar una iluminación uniforme dentro de la sala: este último punto es crucial.

El contacto visual con el exterior es deseable y puede lograrse utilizando ventanas laterales. Sus alféizares no deben ser de más de un metro sobre el suelo y la parte superior de la ventana no debe ser superior a 2,50 m del suelo.

El pabellón de deportes de Vrin (Suiza), diseñado por Gion A. Caminada, es un ejemplo interesante de iluminación natural (figuras 2a y 2b). La luz entra en esta sala desde ambos lados a través de las ventanas situadas en la parte superior, lo que permite el uso de grandes superficies en las paredes para barras o instalaciones de almacenamiento. De hecho, se han instalado en las paredes laterales. El edificio está orientado a lo largo de un eje este-oeste. Las ventanas que dan a la parte exterior se encuentran en la fachada orientada al oeste. Todas las ventanas cuentan con protección solar interna.

El diagrama 2c muestra el pabellón de deportes de la escuela Brune Park, diseñado por los arquitectos Jackson Greenen Up & Partner. La luz entra en esta sala a través de dos lucernarios lineales por debajo de los que se ha suspendido una cubierta difusora de luz, dando así a la sala una iluminación muy uniforme. Se ha colocado también iluminación artificial entre la cubierta y el techo de la sala.

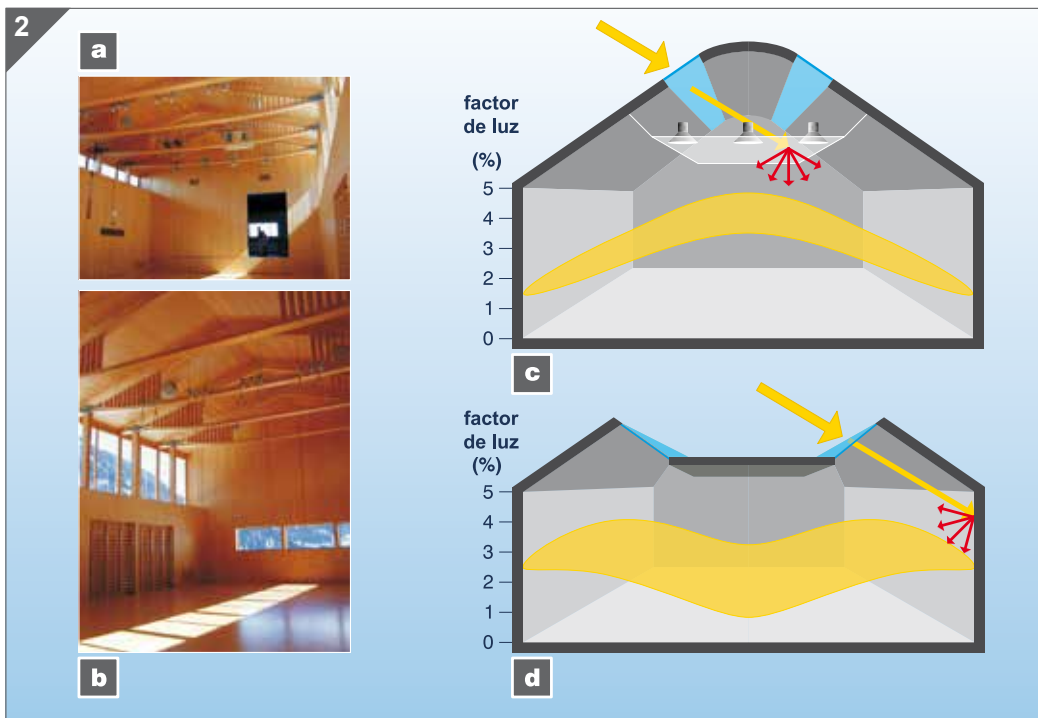
El diagrama 2d, por su parte, muestra el pabellón de deportes de la escuela Mountbatten (arquitectos Jackson Greenen Up & Partner y Sr. D. Poole), que está iluminado desde el techo con claraboyas en ángulo y utiliza paredes de color blanco mate.

**ESTRATEGIAS DE ILUMINACIÓN NATURAL**  
**Construir utilizando luz natural y artificial**  
 En zonas deportivas

**Integrar de una manera inteligente la iluminación natural en instalaciones deportivas permite una reducción significativa en el uso de iluminación artificial y a la vez protege a los usuarios de posibles problemas de deslumbramiento.**

1	Tipo de deporte	Ocio/ Entrenamiento $E_h$ en lux	Competición $E_h$ en lux
	Baloncesto, fútbol, acrobacia, gimnasia, judo, balonmano, baile, ciclismo, esquí, voleibol	300	500
	Bádminton, tenis, esgrima, tenis de mesa	500	750
	Boxeo, lucha	300	1500 - 3000

Niveles de iluminación necesarios en función del tipo de deporte, durante entrenamiento y competición (CIE).



a y b: Pabellón de deportes de Vrin, Suiza (arquitecto: Gion A. Caminada).  
 c: Escuela Brune Park (arquitecto: Jackson Greenen Up & Partner).  
 d: Pabellón de deportes de la escuela Mountbatten (arq.: Jackson Greenen Up & Partner).

Los procedimientos de control de calidad e inspección requieren que el ojo humano detecte pequeñas variaciones en el color y la textura. Para ello, la calidad de la luz natural y su capacidad para reproducir los colores es muy útil.

Los talleres son en general muy amplios y profundos, y tienen dos características principales que hacen de ellos algo diferente en términos de iluminación natural: a menudo tienen techos muy altos y por lo general son sólo de un piso.

Este tipo de edificios, por tanto, requiere la utilización de luz superior natural o ventanas altas. Los tragaluces, de hecho, tienen muchas ventajas cuando las paredes exteriores del edificio tienen que utilizarse, cuando las ventanas/aberturas laterales sean inapropiadas por razones de seguridad, cuando la vista exterior es inapropiada o cuando las variaciones de luz en la línea de visión de los usuarios puedan causar problemas o incluso accidentes. En general, no se recomienda luz directa, para evitar así el deslumbramiento directo y posibles reflejos en superficies metálicas que reduzcan la productividad y pongan a los trabajadores en situación de riesgo (sobre todo si se trabaja con máquinas). Se recomienda luz difusa y evitar las sombras, de nuevo, por razones de seguridad.

Las ventanas/aberturas que dan al norte en cubiertas en forma de diente de sierra son útiles en este tipo de instalaciones, ya que permiten que la luz natural difusa entre y al mismo tiempo proteja el edificio contra el sobrecalentamiento de la luz solar directa.

La figura 2a muestra la distribución de luz en locales provistos de un techo de diente de sierra. Las tres curvas corresponden a un día claro y soleado, cuando el sol está de frente a la abertura (curva 1), a un día nublado (curva 2) y a un día claro y soleado, cuando el sol está en el lado opuesto a la abertura (curva 3).

La figura 2b muestra el impacto de la densidad del área de acristalamiento en niveles de iluminación y distribución del edificio. Lógicamente, cuantas más aberturas haya, más superficie acristalada y, por lo tanto, mayor el nivel de iluminación. La luz es también más uniforme cuantas más aberturas haya.

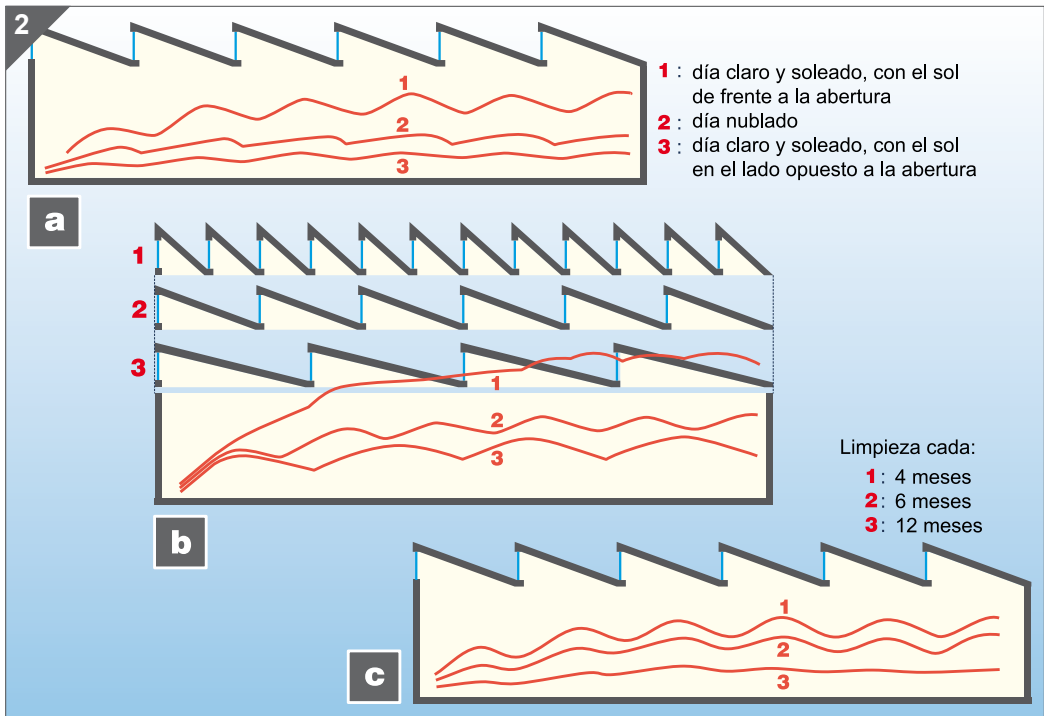
Debido al entorno interior y exterior, los talleres industriales están sometidos generalmente a condiciones más duras que las de los edificios de oficinas. Por ejemplo, las ventanas se ensucian más rápidamente. La figura 2c muestra el impacto de los niveles de suciedad sobre los niveles de iluminación de un edificio. La curva 1 corresponde a un intervalo de limpieza de ventanas de 4 meses, la curva 2 corresponde a la limpieza de cada 6 meses y la curva 3, cada 12 meses.

En el caso de claraboyas horizontales, la limpieza de los cristales tiene una influencia aún mayor porque se ensucian mucho más rápido.

Las tareas industriales son muchas y variadas. La iluminación natural es particularmente importante para algunas de ellas, especialmente en las industrias de producción de alimentos y textiles.



La iluminación natural en el sector industrial puede ser a través de lucernarios en cubierta.



a: Distribución de la luz en función de las condiciones de nubosidad.  
b: Impacto de la frecuencia de aberturas sobre la iluminación interior.  
c: Impacto de la suciedad en ventanas sobre la iluminación interior.

La radiación solar real que llega a la Tierra depende del clima local (más en concreto de la cobertura de nubes) y su intensidad varía en función de la orientación y la inclinación de la pared a la que llega.

El sol puede ayudar a calentar edificios en invierno mediante el efecto invernadero a través de las superficies acristaladas o por el calentamiento de las paredes sólidas. Dicho esto, cabe señalar que el aporte solar no siempre es útil, ya que en verano es preferible protegerse de él. Además, en ciertos tipos de construcción (escuelas, oficinas, etc.) el calor producido internamente es tan grande que la ganancia de calor solar adicional sólo puede dar lugar a un sobrecalentamiento.

La figura 1 muestra una vez más cómo la radiación solar llega a nosotros de manera directa o difusa. El diagrama representa la energía media que cae sobre una superficie horizontal en Bruselas. En el norte de Francia y en Bélgica, la proporción de energía solar difusa (alrededor del 55%) es mayor que la radiación directa, incluso durante los meses de verano (debido a la cobertura de nubes). Se puede observar que, en Bélgica, sólo durante los meses de agosto y septiembre tienen más luz directa que difusa.

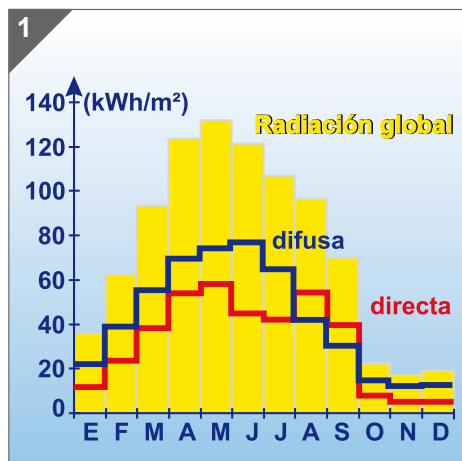
Cuando los rayos solares caen sobre materiales transparentes, se reflejan, absorben y transmiten luz y calor parcialmente. La fracción que se absorbe se re-emite posteriormente mediante la radiación de longitud de onda, siempre a ambos lados de la superficie transparente. Con un acristalamiento prácticamente opaco a la radiación con longitudes de onda superiores a 2,5 micras, la radiación solar re-emitada dentro de la zona climatizada será atrapada por el efecto de transformación en longitudes de onda largas. Esta trampa de calor tiene un nombre: el efecto invernadero.

En el caso de una pared sólida, parte de la energía radiada es absorbida mientras que el resto se refleja: por lo tanto, no hay transmisión directa. Parte de la energía solar absorbida se difunde al otro lado de la pared después de cierto tiempo, siempre que la temperatura del aire interior sea menor que la temperatura exterior que, en nuestras regiones, a veces sucede en verano. Esta transferencia de calor en el interior es, sin embargo, sólo posible si la pared no está aislada.

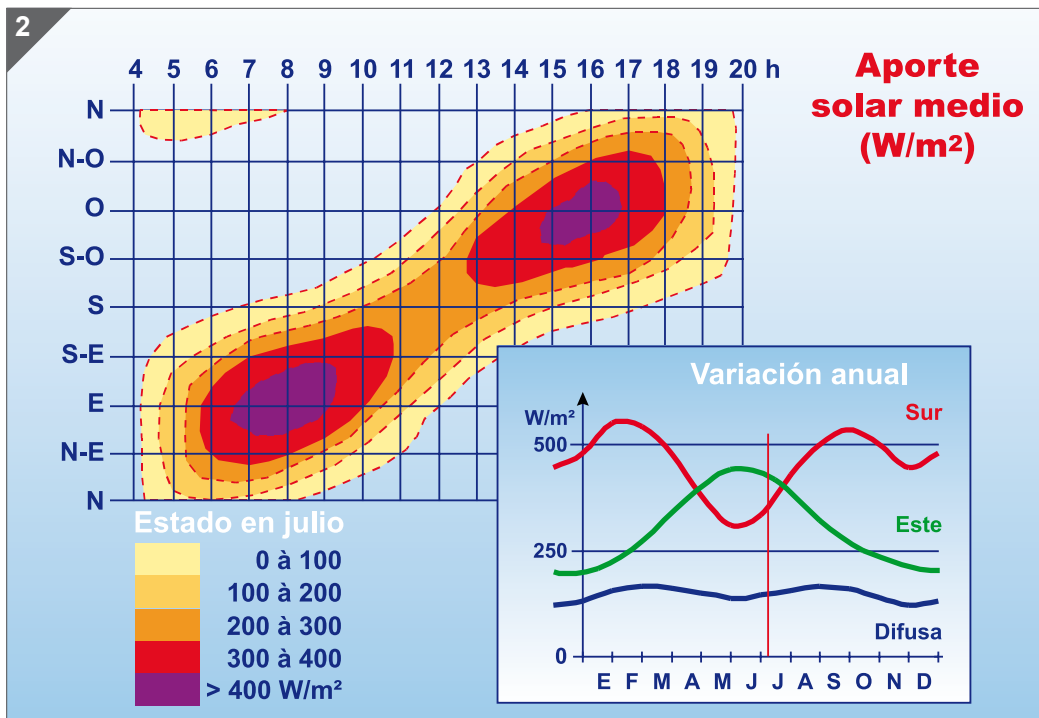
Sin embargo, el sol que brilla sobre las paredes sólidas tiene una influencia en la transferencia de calor. De hecho, dejar que la superficie exterior de la pared se caliente reduce la pérdida de calor del edificio, ya que ésta es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie interior y exterior.

La figura 2 ilustra las variaciones en el aporte solar en un día de julio. El aporte solar alcanza un máximo ( $> 400\text{W/m}^2$ ) en las paredes orientadas al este por la mañana temprano o al oeste hacia las 4 de la tarde (con riesgo de sobrecalentamiento). Por otra parte, las curvas que relacionan las variaciones en el aporte solar anual muestran que las paredes orientadas al sur capturan relativamente poca energía solar en verano (debido a la elevación del Sol en el cielo) y más en invierno. Por lo tanto, los huecos verticales orientados al sur tienen una mejor capacidad para regular el calor pasivo.

El aporte solar se transmite principalmente a través de las ventanas. Varía en función de la posición y orientación relativa del Sol y de la inclinación de la pared a la que alcanza.



Energía promedio recibida sobre una superficie horizontal en Bruselas.



Energía promedio recibida sobre una superficie vertical en Carpentras (Francia).

La huella de la energía de un edificio tiene en cuenta la pérdida de calor a través de las paredes y debido a la ventilación, así como las ganancias de calor. Estas ganancias de calor pueden ser externas (aporte solar) o internas (fuentes de calor relacionadas con el ambiente interno, proveniente de sus ocupantes, de la iluminación, de equipos eléctricos o de la evaporación del agua).

Es muy raro que las ganancias de calor internas sean simultáneas o que lleguen a un máximo al mismo tiempo. Por lo tanto, constituyen una fuente de calor difuso en el edificio. Por otro lado, si las sumamos a otras fuentes de calor (sistema de calefacción, radiación solar directa) puede llevar a un aumento excesivo e incómodo de la temperatura.

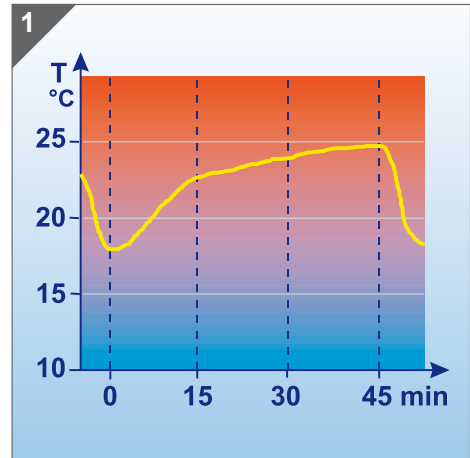
- La presencia de la gente va acompañada del calor y la humedad que producen. Este calor se elimina continuamente por convección (35%), radiación (35%) y evaporación (25%), dependiendo de las actividades que realicen las personas y de las condiciones de temperatura y humedad. La figura 1 muestra los cambios de temperatura en el aula durante una clase de 45 minutos. El espacio se calienta a una temperatura de 18°C y la iluminación constituye una ganancia de calor interno adicional constante. El aumento de la temperatura a 25°C se debe puramente a la presencia de los niños.

- Los equipos eléctricos, debido a la forma en que funcionan, emiten cierta cantidad de calor a la atmósfera. Los equipos de oficina tienen una emisión equivalente a la media de entrada de energía eléctrica y los motores eléctricos caloríficos emiten diferentes niveles de calor en función de su rendimiento en términos de conversión de la energía eléctrica en energía mecánica. Los equipos que funcionan con gasolina generan calor y producen humedad.

- La iluminación también contribuye a la huella global. Toda la energía eléctrica utilizada se considera que está totalmente convertida en calor, y luego difundida por convección en el ambiente o por radiación hacia las paredes y materiales cercanos. La energía irradiada por una luz incandescente corresponde al 80% de esta energía convertida, en comparación con el 50% de la luz fluorescente. Después de un tiempo, la capacidad de almacenar calor alcanza la saturación y la temperatura de los edificios aumenta.

Las tablas de la figura 2 reúnen algunos datos relativos a la producción de calor y humedad por los ocupantes y equipos. La tabla de actividades de los ocupantes utiliza vatios y gramos de agua por persona/hora. La tabla de equipos utiliza vatios y gramos de agua por hora. Cabe señalar que la duración de uso de dichos equipos es muy variable. El cuadro relativo a la iluminación muestra de nuevo el consumo medio de iluminación de las luces incandescentes y fluorescentes en W/m<sup>2</sup>.

Las fuentes de calor relacionadas con el ambiente interno son: los ocupantes, la iluminación, los aparatos eléctricos o de gas, y la evaporación del agua.



Variaciones de temperatura debido a la presencia humana en un aula.

**2**

Por persona:	W	g/h
en descanso sentado	114	37
en descanso de pie	128	46
trabajo moderado sentado	145	61
trabajo ligero de pie	174	99
trabajo moderado	197	116
trabajo activo	232	141
trabajo intenso	290	213
trabajo duro	406	319

	W/m <sup>2</sup>	inc. fluo.
hogares	10	
colegios	25	12
oficinas	30	16

	W	g/h
horno eléctricos	3000	880
tostadora	500	140
nevera	100	-
lavadora (5 kg.)	6000	4320
plancha	500	400
secador	500	230
ordenador	200	-
máquina de escribir	100	-

**Estimación de contribuciones internas**

Ganancia calorífica interna estimada: calor procedente de personas y equipos.



El factor solar (G) hace referencia al porcentaje de energía solar incidente transmitida a un edificio a través de una superficie acristalada. La elección del factor solar afecta a la conservación de la energía, ya que cuanto más reduzca la radiación hacia el interior de los cristales, más bajos serán los costes de aire acondicionado y el riesgo de sobrecalentamiento.

Por el contrario, se reducirá el beneficio de aporte solar en invierno. La transmisión de energía solar total, y por lo tanto el aporte solar a través de un medio transparente, es proporcional al ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre el cristal. Los parámetros más importantes son: la latitud y la época del año (en relación con la posición del Sol); la orientación y el ángulo de la superficie (en relación con la geometría de la construcción y las propiedades del acristalamiento utilizado).

La figura 1 muestra la rápida reducción del factor solar debido a una incidencia mayor de 60°, independientemente del tipo de cristales utilizados (simple, doble o triple).

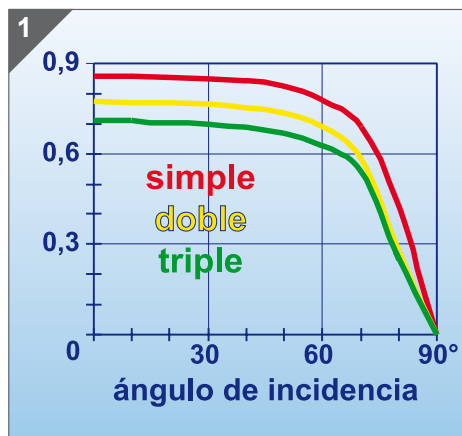
La figura 2 resume las características del factor solar (G) para tres tipos diferentes de cristal: vidrio transparente, absorbente y reflectante. Los valores indicados sólo se refieren a un determinado ángulo de incidencia. Para el acristalamiento transparente simple: el 84% de la energía se transmite directamente al interior; el 8% se refleja y el 8% se absorbe, de los cuales el 6% se libera hacia el exterior y el 2% hacia el interior. El factor solar corresponde a la suma de las fracciones de transmisión directa y liberadas hacia el interior, por lo que suman 86%.

- El acristalamiento transparente es conocido por su excelente capacidad para dejar pasar la luz. Se produce a partir de silicio, cal y sosa, mezclados entre sí y fundidos. El vidrio fundido se vierte en un baño de estaño fundido. Los dos ingredientes no se combinan y sus superficies de contacto son perfectamente lisas y planas. Para el acristalamiento simple donde el valor  $G = 0,86$  (figura 2) y para el doble acristalamiento (6 cm - 12 cm - 6 cm), el factor solar varía entre 0,65 y 0,76.

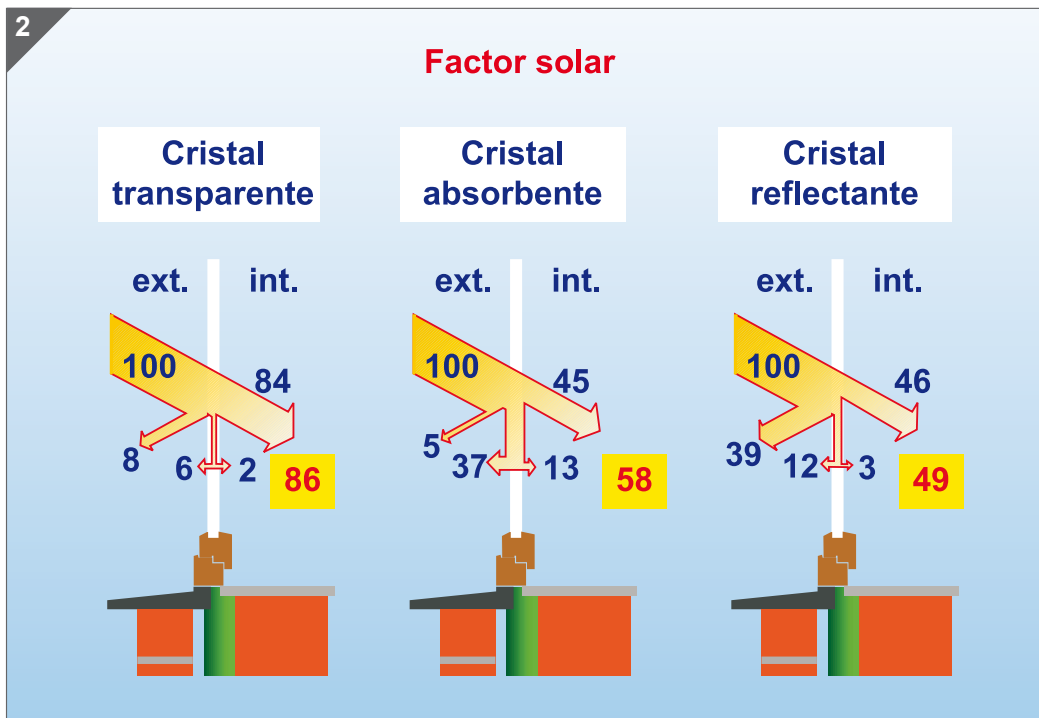
- El acristalamiento absorbente se tinta utilizando óxidos metálicos. Estos permiten que el cristal reduzca la fracción de radiación solar transmitida mientras que aumenta la fracción que se absorbe. La energía absorbida se libera a continuación en forma de infrarrojos en ambos lados del acristalamiento, según una relación que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura interiores y exteriores. Por consiguiente, la reducción real de la energía solar transmitida se relaciona con la fracción de infrarrojos emitidos hacia el exterior. La fracción transmitida directamente añadida a la fracción liberada hacia el interior crean la transmisión global G. Para el acristalamiento simple, se obtiene un valor  $G = 0,58$  (figura 2) y para el doble acristalamiento (6-12-6). El factor solar oscila entre 0,46 y 0,67.

- El acristalamiento reflectante se caracteriza por la presencia de una película transparente, metálica, reflectante y muy fina, que aumenta la proporción de la radiación solar que se refleja y reduce así la proporción de transmisión. La elección de los metales o de óxidos determina el matiz del acristalamiento: azul, verde, oro, etc. Estos diferentes tipos de vidrio se utilizan para reducir los aportes solares no deseados, especialmente en edificios de oficinas. Para el acristalamiento simple, se obtiene un valor  $G = 0,49$  (figura 2) y para el doble acristalamiento (6-12-6). El factor solar oscila entre 0,10 y 0,63.

El factor solar (G) hace referencia al porcentaje de energía solar incidente transmitida a un edificio a través de una superficie acristalada.



Variaciones en el factor solar en función del ángulo de incidencia de los rayos de Sol.



Factores solares para acristalamientos simples y ángulos de incidencia específicos.

El acristalamiento representa el punto débil en el aislamiento térmico de un edificio, pero su rendimiento mejora continuamente. Gracias a las diferentes combinaciones y tipos de vidrio disponibles actualmente, los acristalamientos pueden desempeñar un mejor papel para asegurar un buen aislamiento térmico y acústico, así como para garantizar la seguridad de los bienes y las personas.

Cuanto mejor sea el aislamiento del acristalamiento utilizado (bajo factor U), menor calor se pierde a través de él en invierno y más cálido será el interior. De ello se deduce que la temperatura del aire ambiental debe ser menor con el fin de garantizar la comodidad de los ocupantes (la definición de confort térmico percibido).

La figura 2 muestra los factores de pérdida de calor U con cristal transparente: acristalamiento simple, doble acristalamiento y doble acristalamiento de baja emisividad, así como las proporciones de energía absorbida, transmitida y reflejada que permiten calcular el factor solar (G).

Diferentes métodos se han utilizado para reducir la conductancia térmica a través del acristalamiento. La primera fue utilizar un excelente aislante transparente libre entre los paneles: aire inerte y seco. De hecho, el aire ofrece una buena rotura de puente térmico siempre que se eviten las corrientes de convección. Las propiedades aislantes de este acristalamiento dependen de la anchura de la separación de aire: cuanto más amplio sea, mejor aislado estará el acristalamiento (por encima de 20 mm, se producen corrientes de convección y se pierde aislamiento). Los valores U de esta gama de cristales van de 2,76 a 3,59.

En la misma línea, se inventó el triple acristalamiento. Los valores de U van desde 1,90 hasta 2,61.

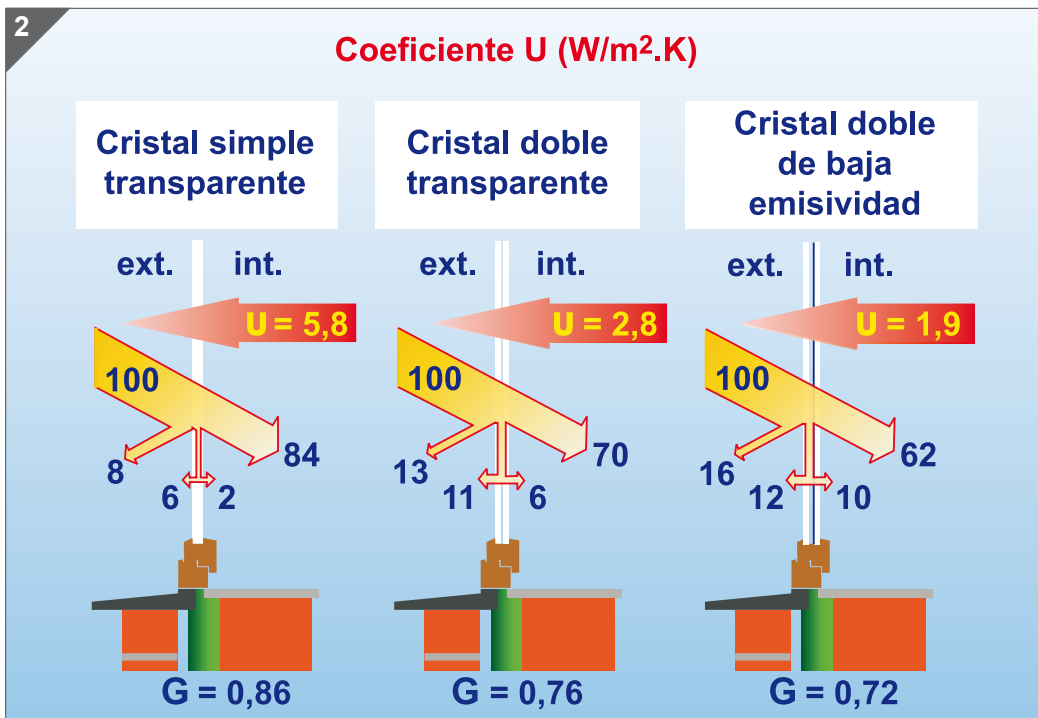
Otro enfoque consiste en cambiar las características de la superficie del cristal. Los cristales de baja emisividad se cubren con una capa fina de óxido de metal transparente que permite una reducción en la liberación hacia el exterior de rayos infrarrojos. El acristalamiento puede tener uno o dos revestimientos de baja emisividad y el espacio de aire puede ser sustituido también por un gas noble (argón, criptón) cuya conductancia térmica es menor que la del aire. Estos gases no son tóxicos ni inflamables. Los valores U de esta gama de cristales van de 1,13 a 2,40.

Muchos materiales experimentales permiten valores U de entre 0,3 y 0,7, comparables con los de las paredes aisladas. Para el registro, cabe destacar las "superventanas" (de baja emisividad y gas noble con triple tratamiento), las "ventanas de vacío" (con un vacío entre los dos paneles), ventanas con aerogel (espuma aislante transparente microporosa) y las "ventanas inteligentes". Estas últimas consisten en una película de cristal líquido colocada entre los cristales. Se utiliza un campo eléctrico para alinear los cristales de manera que la ventana se vuelve transparente (figura 1).

El acristalamiento representa el punto débil en el aislamiento térmico de un edificio, pero su rendimiento mejora continuamente.



Vidrios inteligentes: se coloca una película de cristal líquido entre los cristales.



Comportamiento térmico de los diferentes tipos de acristalamiento.

En condiciones normales, una persona mantiene su temperatura corporal alrededor de 36,7°C. Esta temperatura es casi siempre superior a la temperatura ambiente, por lo que se necesita encontrar un equilibrio para garantizar el bienestar del individuo.

La figura 1 describe la sensación de confort térmico según lo expresado por las personas en cuestión. Se trata de porcentajes predecibles de personas insatisfechas (PPD), que se muestran en el eje vertical, para personas que se sientan a descansar o hacen un trabajo ligero. Es imposible definir una temperatura que se adapte a todo el mundo: al menos el 5% de las personas estarán insatisfechas. La curva que representa el trabajo ligero se desliza hacia abajo, hacia las bajas temperaturas: las personas que pierden más calor prefieren temperaturas más bajas. Por el contrario, la curva para las personas que descansan es más ajustada: estas personas son más sensibles a pequeñas variaciones de temperatura.

El calor corporal se disipa de varias formas en el aire ambiente: más del 50% de la pérdida de calor del cuerpo humano es a través de la convección con el aire ambiente (convección y evaporación a través de la respiración o de la superficie de la piel). El calor intercambiado por la radiación de la superficie de la piel representa hasta el 35% del total, mientras que las pérdidas debidas al contacto (conductancia) son insignificantes (menos del 1%). El cuerpo también pierde un 6% de su calor en la digestión de los alimentos.

El confort térmico se compone de 6 parámetros (figura 2):

1. La tasa metabólica es la producción de calor en el cuerpo, lo que le permite permanecer en torno a los 36,7°C. La tasa metabólica, mientras se trabaja en una tarea en particular, está en el máximo de la tasa de metabolismo basal del cuerpo en reposo.

2. La ropa proporciona una resistencia térmica contra los intercambios de calor entre la superficie de la piel y el aire que le rodea.

3. La temperatura del aire ambiental ( $T_a$ ).

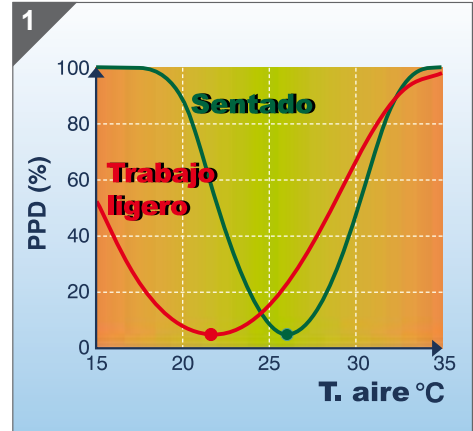
4. La temperatura de la pared ( $T_w$ ). La temperatura de confort térmico percibido (también conocido como temperatura operativa) se puede definir como:  
 $T_o = (T_a + T_w) / 2$

5. La humedad relativa del aire (HR) es la relación entre la cantidad de vapor de agua de la temperatura del aire ( $T_a$ ) y la cantidad de vapor de agua saturado a la misma temperatura, expresado en porcentaje.

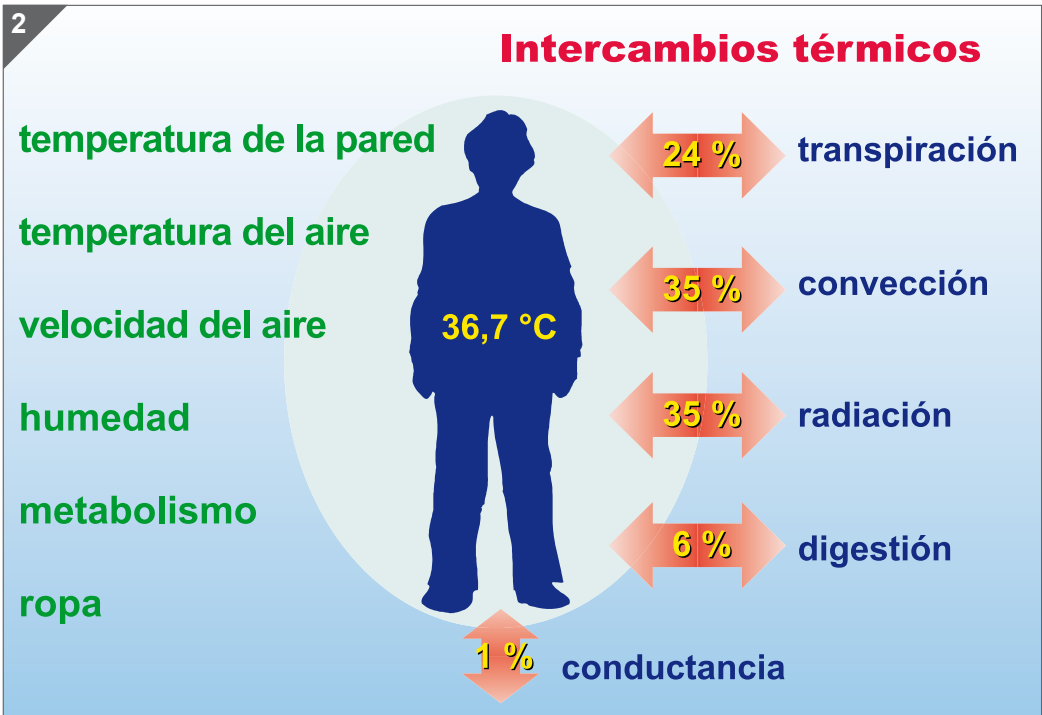
6. El movimiento del aire afecta al intercambio de calor por convección. En interiores, los movimientos de aire por lo general no superan los 0,2 m/s.

Los mecanismos de autorregulación del cuerpo humano revelan un área en la que el confort térmico varía poco: se trata de la zona de confort.

El confort térmico se define como un sentimiento de satisfacción con el ambiente térmico. Esto se determina por el equilibrio dinámico que resulta de los intercambios de calor entre el cuerpo y su entorno.



Porcentajes previsibles de personas insatisfechas: temperaturas de confort térmico para dos actividades diferentes.



La pérdida de calor en el cuerpo humano depende de 6 parámetros físicos.

La temperatura de la pared ( $T_w$ ) afecta al intercambio de calor por radiación. La distribución de temperaturas cuando hay más de una pared es un fenómeno complejo, pero se acepta que  $T_w$  es igual a la media de las temperaturas de las paredes de alrededor y sus áreas de superficie.

Para simplificar, la temperatura de confort térmico percibido, también conocida como la temperatura operativa o de bulbo seco, se puede definir como:

$$T_o = (T_a + T_w) / 2$$

$T_a$  representa la temperatura del aire o la temperatura de bulbo seco, medido por un termómetro ordinario.

Los mecanismos de autorregulación del cuerpo humano revelan un área en la que el confort térmico varía poco: se trata de la zona de confort. Por lo tanto, para una situación dada, la temperatura operativa puede variar alrededor del punto de confort térmico ( $T_o$ ) sin afectar al nivel de comodidad de un individuo.

La figura 1 reitera las temperaturas de confort térmico para diferentes actividades, medidas en función del calor metabólico producido, en base a la ropa interior de invierno (pantalones, camisa, jersey de manga larga, calcetines y zapatos gruesos), con una velocidad del aire de 0,4 m/s, y una humedad del 50%.

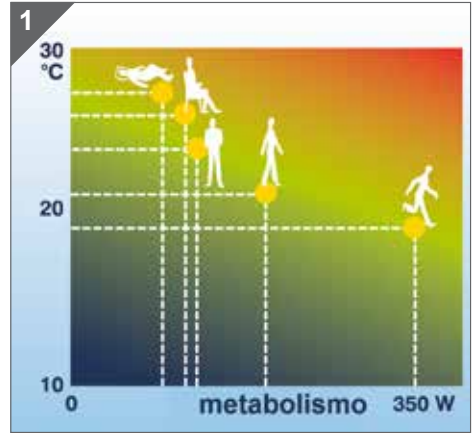
Varios estudios han proporcionado una base científica para las directrices que regulan la zona de confort en el trabajo. Por ejemplo, las regulaciones de la Protection du Travail (Protección del Trabajo) especifican las temperaturas mínimas y máximas del aire de acuerdo con el tipo de trabajo llevado a cabo, la tasa metabólica y una humedad relativa que varía de 40% a 70%.

La figura 2 muestra el concepto de temperatura de bulbo seco (temperatura de confort térmico) como se definió anteriormente. Para una pared sin aislamiento (a la izquierda), la temperatura de la superficie es baja: 12 °C. Con una temperatura ambiente de 20 °C, la temperatura de funcionamiento es de 16°C, es decir, un nivel incómodo: es el efecto de "pared fría". El cuerpo pierde calor en la dirección de las zonas frías.

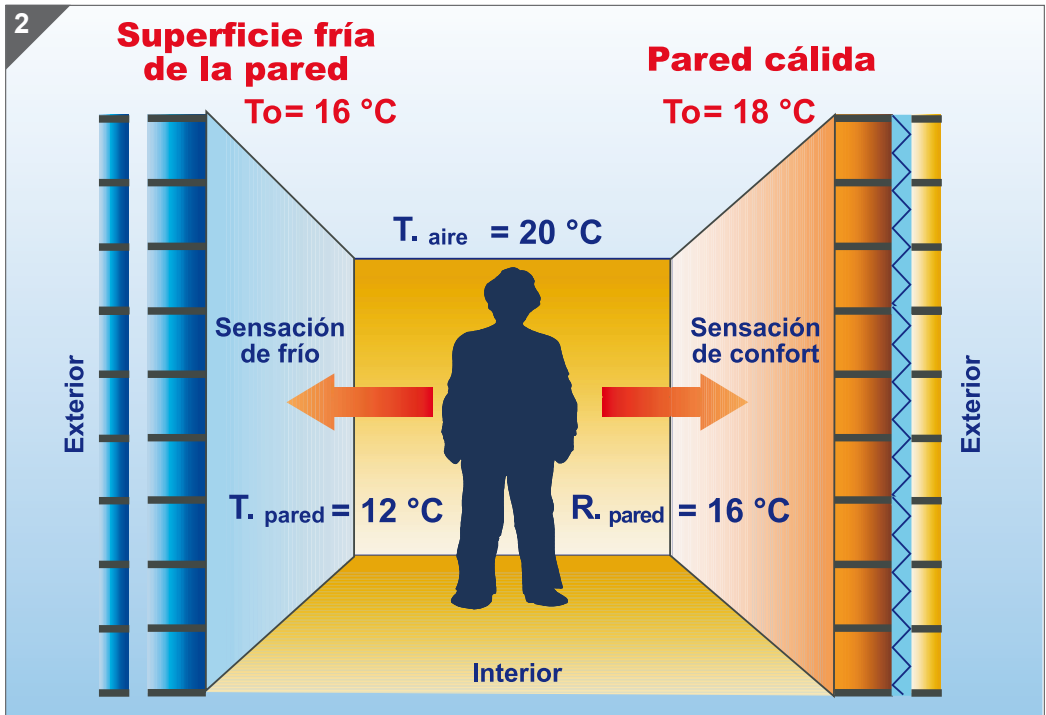
Para una pared aislada (a la derecha), la temperatura de la superficie es igual a 16°C y la temperatura de trabajo se eleva a 18°C. La temperatura de la pared es todavía más baja que la temperatura del cuerpo, que continua perdiendo calor, pero una cantidad más pequeña, permitiendo lograr así una sensación de comodidad.

En una situación dada, las temperaturas pueden variar alrededor del punto de confort térmico ( $T_o$ ) sin afectar el confort térmico individual de una persona.

$$T_o = (T_a + T_w) / 2$$



Temperaturas del confort térmico para diferentes actividades (basado en O. Fanger).



La temperatura del confort térmico depende de la temperatura del aire y las paredes.



La carga máxima interna de calor por radiación recomendable en cada uno de los espacios estudiados debería ser de 120W/m<sup>2</sup>. Siendo 75W/m<sup>2</sup> un valor muy bueno de confort térmico y 150W/m<sup>2</sup> un valor demasiado elevado que se debería rebajar para conseguir un espacio óptimo de confort térmico.

Fue P.O. Fanger (Thermal Comfort, McGraw-Hill, 1973) quién elaboró un procedimiento que contemplaba las diferentes variables que influyen en la valoración del ambiente térmico en un entorno laboral. El método de Fanger considera el nivel de actividad, las características de la ropa, la temperatura seca, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. Todas estas variables influyen en los intercambios térmicos hombre-entorno, afectando a la sensación de confort.

El método de Fanger, en la actualidad uno de los más extendidos para la estimación del confort térmico, calcula dos índices denominados Voto medio estimado (PMV - predicted mean vote) y Porcentaje de personas insatisfechas (PPD - predicted percentage dissatisfied), que indican la sensación térmica media de un entorno y el porcentaje de personas que se sentirán inconfortables en un ambiente determinado. El Voto medio estimado es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto a una situación dada en una escala de sensación térmica de 7 niveles (frio, fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso, muy caluroso), basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano (la diferencia entre la producción interna de calor del cuerpo y su pérdida hacia el ambiente).

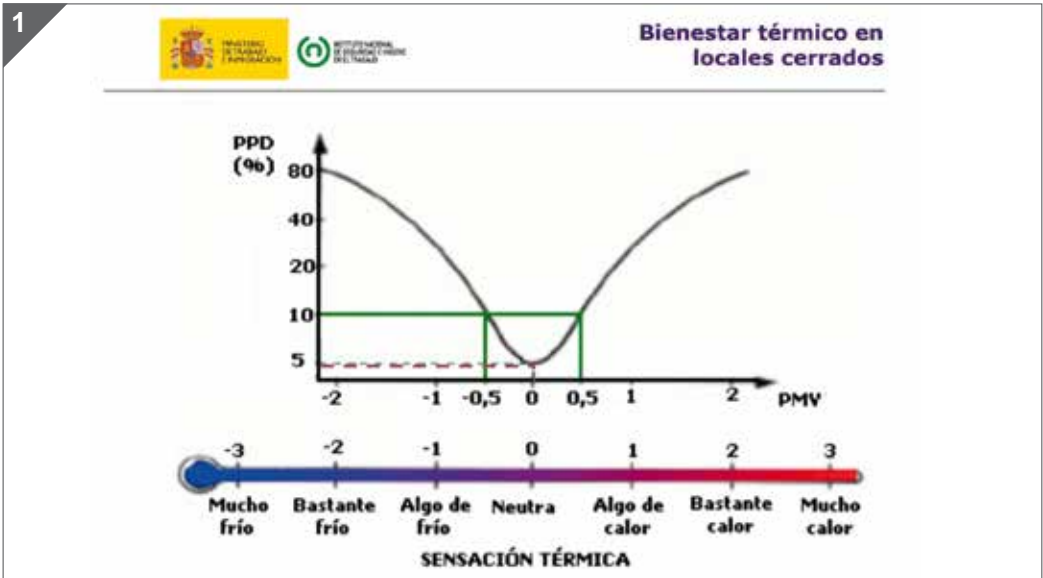
Si el valor del voto medio estimado (PMV) está en el rango de valores comprendidos entre -0,5 y 0,5 la situación térmica es satisfactoria y confortable para la mayoría de las personas. En otro caso la situación se considerará inadecuada y por tanto deberían implantarse medidas correctoras para mejora la sensación térmica. (Figura 1)

Valores del porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de hasta 10% reflejarán una situación satisfactoria para la mayoría de las personas (90% satisfechos), mientras que valores superiores indicarán una situación de inconfort térmico. Dicho valor del PPD (10%) se corresponde con los límites -0,5 y 0,5 indicados para el PMV. El mejor valor del porcentaje de personas insatisfechas que se puede obtener es de un 5%, correspondiente a una situación de neutralidad térmica, o lo que es lo mismo, con un valor cero del voto medio estimado.

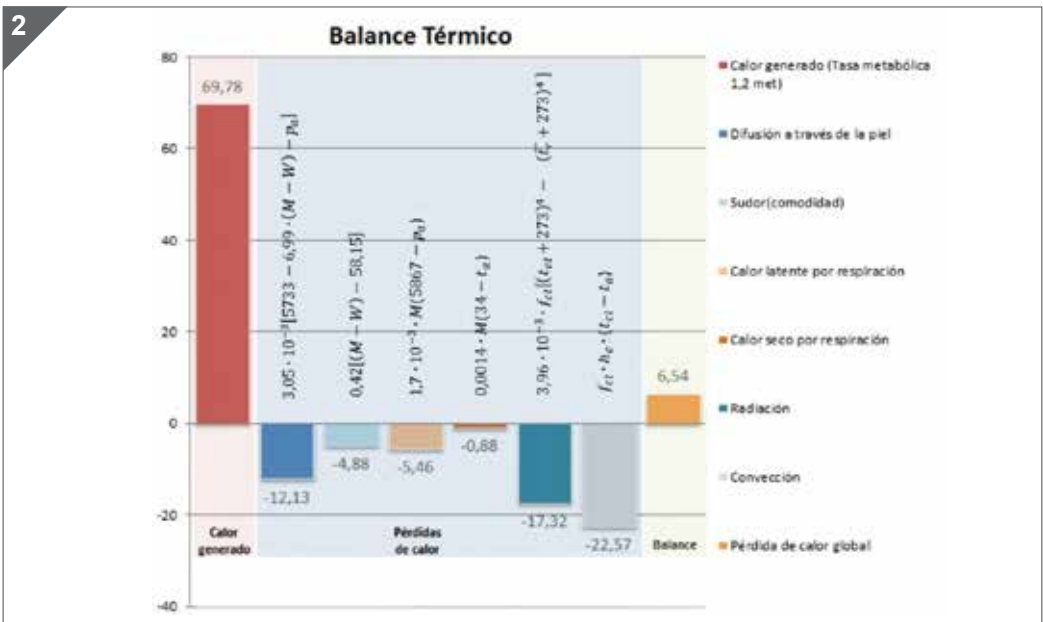
Por ejemplo, en la Figura 2 se muestra una representación gráfica de cada uno de los términos de la ecuación de balance térmico para una situación en la que el valor del PMV es -0,7. El balance muestra que existe pérdida de calor global (6.54 W/m<sup>2</sup>) y la cantidad que es transferida al ambiente por cada mecanismo fisiológico.

El cálculo del voto medio estimado y del porcentaje de personas insatisfechas permite identificar situaciones de incomodidad térmica percibidas por el cuerpo en su conjunto, sin embargo existen una serie de factores tales como las corrientes de aire, la diferencia de temperatura vertical, la existencia de techos, paredes o suelos fríos o calientes (asimetría de la temperatura radiante), que pueden provocar incomodidad al trabajador aun cuando la situación global haya sido valorada como satisfactoria por el método Fanger. Así pues, en tales casos debería completarse la evaluación con el estudio de la llamada "incomodidad térmica local".

Fuente del texto: Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación Del Confort Térmico Con El Método De Fanger. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Disponible online: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php>



Pilar Armendáriz Pérez de Ciriza.  
 Evaluación del bienestar térmico en locales de trabajo cerrado.



Diego-Mas, José Antonio. Evaluación del confort térmico con el método de Fanger.

Uno de los conceptos fundamentales de la arquitectura sostenible en climas cálidos es el control solar de las ventanas de los rayos del sol. Los materiales aislantes, revestimientos reflectantes y las pantallas de sombra representan diferentes tipos de sistemas de protección.

En el hemisferio sur, es la fachada norte la que recibe el sol. En el trópico, el sol brilla alternativamente en la fachada norte o sur, dependiendo de la época del año.

En regiones cálidas cercanas al ecuador, se prefiere una orientación este-oeste. El sol es más alto por encima de las paredes que dan al norte o al sur. Las fachadas que dan al oeste-este están iluminadas por un sol bajo durante la mañana y la tarde. Los dispositivos de control solar varían dependiendo de la orientación y la superficie de la sombra.

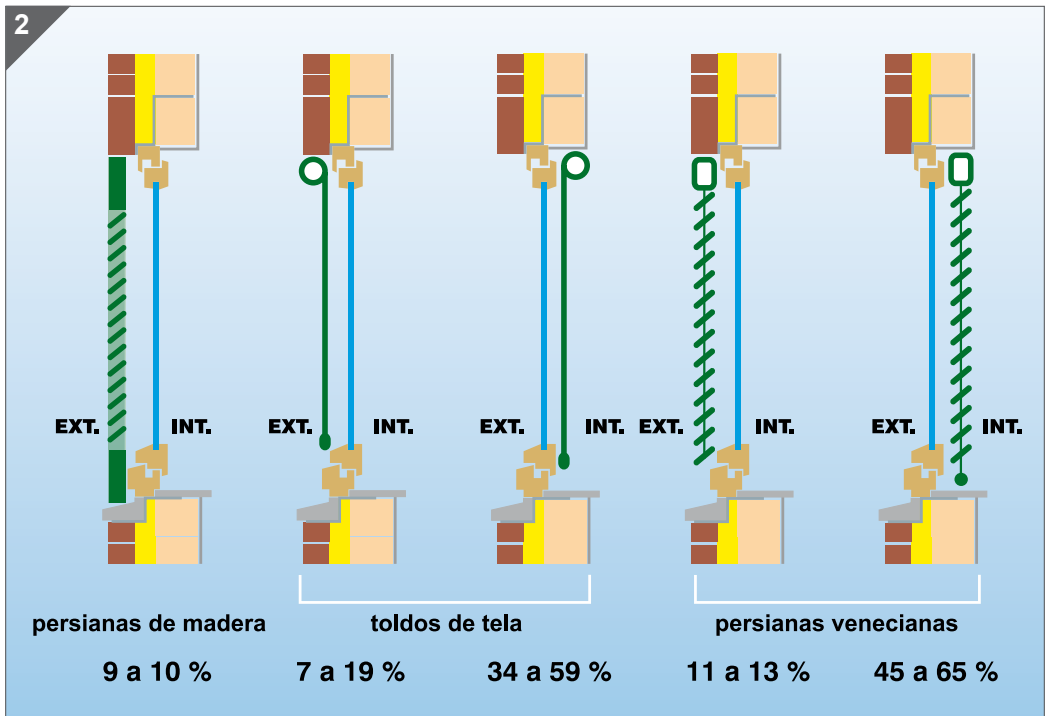
Los diferentes tipos de pantallas permiten bloquear, reflejar o cortar los rayos del sol. En las fachadas norte o sur, los aleros y la creación de espacios intermedios atenúan la incidencia de los rayos del sol. En los lados este y oeste, las proyecciones verticales bloquean el sol bajo por la mañana y por la tarde. La vegetación exterior también contribuye a la protección solar, a la que se puede añadir el uso de sistemas de control solar ajustables: persianas, estores o persianas de láminas.

La elevación del Sol y su acimut varían según el día y la hora. Lo mismo ocurre con las sombras. Así, con el fin de analizar el control solar de las paredes de un edificio y los huecos de los rayos del sol, es fundamental conocer la ubicación exacta y la ruta visible del Sol durante todas las horas del día y la época del año. El análisis de la insolación y en particular de las sombras, se ha simplificado mediante el uso de diagramas "Sunpath". La eficacia de este sistema dependerá de la elección apropiada y el dimensionamiento correcto del dispositivo de acuerdo a la orientación de la superficie a la sombra.

El factor solar es la proporción entre el aporte solar a través de una ventana sombreada y la ganancia a través de una ventana sin sombreadamiento.



Nueva Sede Central del Banco Popular (ahora Santander).



Factores solares para diferentes tipos de protección solar con acristalamiento simple.

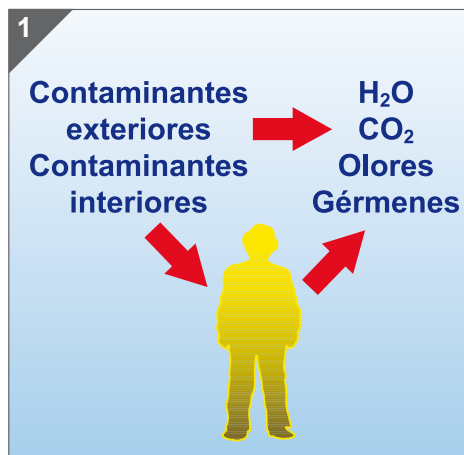
El aire que se respira en un espacio cerrado puede tener un impacto en la comodidad y la salud, que va desde ser simplemente desagradable (olores, somnolencia, irritación de ojos y piel) hasta incluso dar lugar a enfermedades, como las alergias respiratorias. La calidad del aire interno, abandonada por muchos años, es hoy en día un tema de preocupación para las autoridades de la salud y uno de los criterios para conseguir un entorno de calidad. Muchos contaminantes se concentran efectivamente en el aire en el interior, procedentes de las actividades que realizamos, los productos que utilizamos y los materiales de construcción (figura 1). La fuente principal de contaminación es todavía el monóxido de carbono (CO), seguido por el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los alérgenos de animales, los ácaros, los hongos, los compuestos orgánicos volátiles (COV) (incluyendo el grupo de los formaldehidos), el óxido de nitrógeno (Nox) y las fibras minerales artificiales.

Dependiendo de su grado de concentración, el monóxido de carbono puede causar enfermedades, mareos e incluso envenenamiento. Puede producirse por los fuegos (gas, petróleo, madera, etc.) que se utilizan o están mal conectados a un conducto de evacuación, por los gases que expulsan los vehículos o por el humo del tabaco (cada cigarrillo fumado emite 50 mg de CO). En lo que se refiere a los formaldehidos, son irritantes al respirar. Están presentes en muchos productos: espuma aislante, pintura, pegamento, barniz, productos de uso doméstico y los pesticidas. La mayoría de los productos de madera compuesta y laminados también lo contienen. Como último ejemplo, los niveles excesivos de humedad en una habitación conducen a sensaciones de malestar y al crecimiento de moho, que a su vez es responsable de los malos olores, irritaciones y reacciones alérgicas.

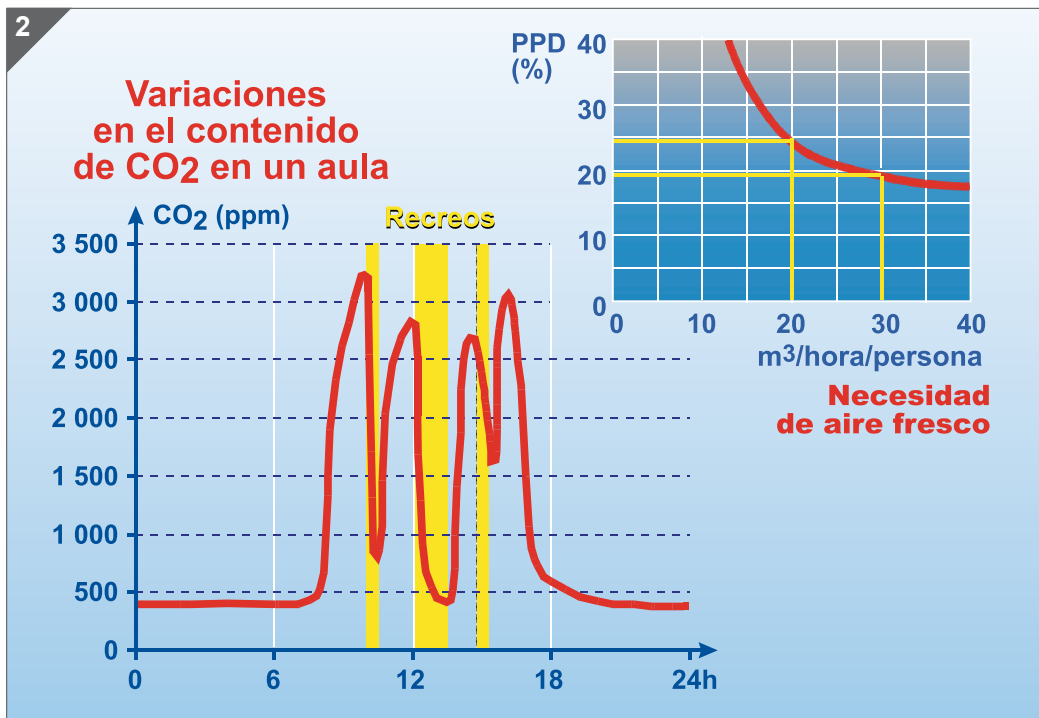
Las casas bien aisladas están a menudo herméticas. El aire no se renueva lo suficiente y es común observar que la contaminación del aire interior es peor que en el exterior. El mejor remedio para lo que acabamos de mencionar es ventilar la habitación e intentar reducir la contaminación. La existencia de una ventilación continua es importante (apertura de ventanas, sistema de ventilación centralizado), especialmente durante actividades como cocinar, bricolaje o tareas del hogar, con el fin de expulsar el aire viciado. Además, elegir materiales de construcción naturales, limitar el uso de productos de limpieza y desodorantes, evitar expulsar el humo del cigarrillo en el interior, etc. permiten que la emisión de contaminantes se reduzca. Con un poco de determinación, hoy día es posible encontrar madera a base de boro en las tiendas, disolventes a base de fruta, agua y resina natural, pinturas hechas a base de aceite, barnices sin disolventes ni pegamentos y también productos de limpieza a base de aceites esenciales.

En los primeros años de este siglo, las encuestas de calidad del aire realizados por el Observatorio francés sobre la calidad del aire interior ([www.air-interieur.org](http://www.air-interieur.org)) mostraron que las tasas de renovación del aire interior en los hogares y las escuelas no eran satisfactorias. Las mediciones variaron en los hogares, pero eran en su mayoría entre 11 y 31 m<sup>3</sup>/h por persona. En las escuelas, tales tasas eran muy bajas, con niveles de hasta 7,7 m<sup>3</sup>/h por persona, muy por debajo de la tasa mínima de 15 m<sup>3</sup>/h por persona especificada en la legislación francesa.

Una buena calidad del aire interior es importante para los procesos metabólicos y la salud de todos. Se recomienda una buena ventilación y reducción de contaminantes para una mayor comodidad y una mejor salud respiratoria.



Diferentes parámetros que afectan a la calidad del aire.



Variaciones en los niveles de CO<sub>2</sub> en un aula. Flujos de aire fresco y porcentajes predecibles de personas insatisfechas.

Un olor es una mezcla en el aire de compuestos químicos que nuestro sentido del olfato detecta, analiza y decodifica hasta llegar a un juicio cualitativo sobre la calidad del aire. Si el análisis de olores posibilita que sus moléculas y su intensidad sean identificados, no hay información clara que pueda derivarse de la naturaleza del aroma de una mezcla dada. Algunos olores desagradables pueden ser detectados inmediatamente. Otros sólo se convierten en una molestia cuando su intensidad va más allá de un determinado umbral. Y otros permanecen sin ser detectados por nuestros sentidos. Varían en función de la sensibilidad del individuo, de su entorno socio-cultural, su fisiología y su capacidad de adaptación (acostumbrarse a un olor).

En los edificios, los olores pueden provenir de una variedad de fuentes:

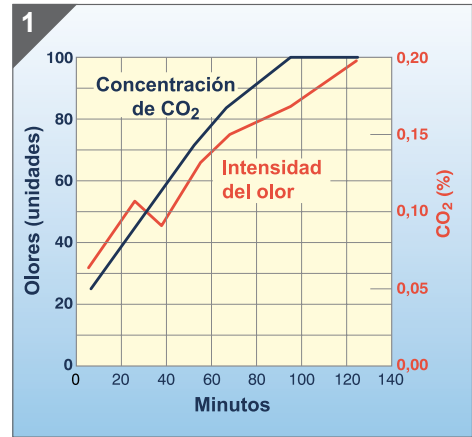
- Materiales de construcción (moldes, compuestos orgánicos volátiles, formaldehidos)
- Equipo de tratamiento de aire (humedad, polvo, ozono)
- Usuarios (humo de cigarrillo, de cocina, de metabolismo)

Excepto en los edificios de nueva construcción o rehabilitados, los olores provienen principalmente de los metabolismos de los ocupantes. Sin embargo, el humo de los cigarrillos sigue siendo una de las principales fuentes asociadas a la percepción de olores desagradables.

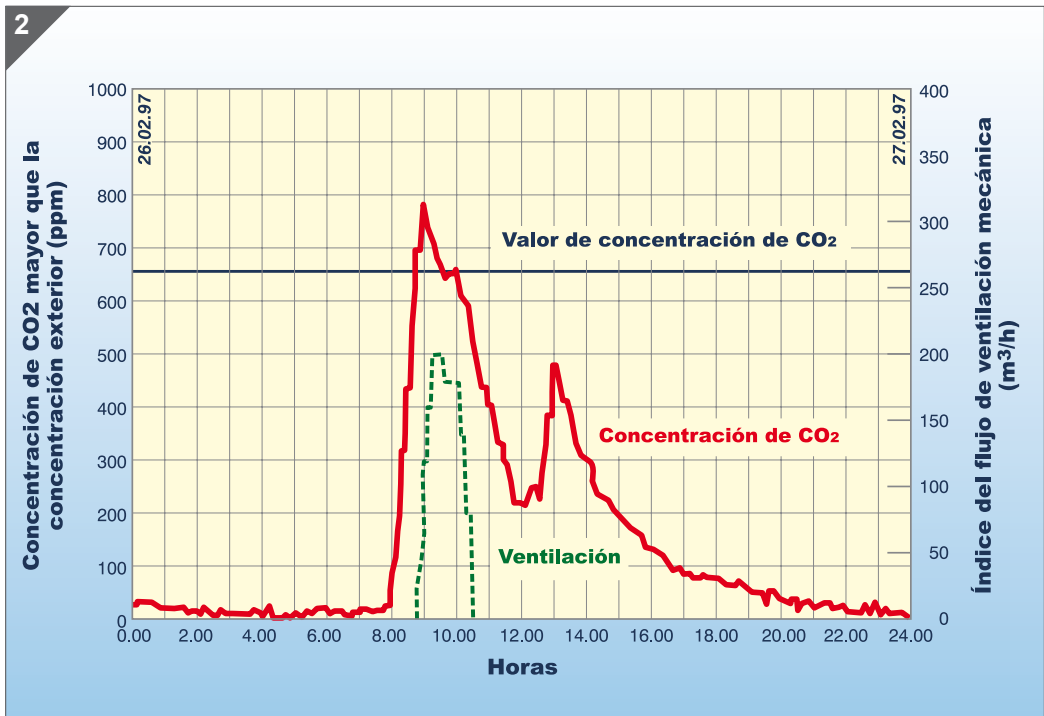
Aunque no existen reglas o normas relativas a la frescura del aire (excepto las relativas a la prohibición de fumar en lugares públicos), los arquitectos son responsables de garantizar la calidad del aire. Una ventilación eficaz en un edificio permite a menudo que el riesgo de una mala calidad del aire se reduzca. Aunque es prácticamente imposible medir olores y estimar los niveles máximos, O. Fanger ha sido capaz de establecer una conexión entre el porcentaje de personas insatisfechas, la intensidad de los olores y los niveles de CO<sub>2</sub>. La figura 1 muestra que una alta concentración de gases de carbono (expresado en ppm) está estrechamente relacionada con la intensidad de ciertos olores. Su investigación nos permite distinguir el aire viciado en el interior del aire fresco del exterior, cuando el contenido de CO<sub>2</sub> supera el 0,15%. Una concentración de CO<sub>2</sub> de más de 0,15% corresponde a una tasa de renovación del aire de 20m<sup>3</sup>/h por persona, es decir, un porcentaje predecible de personas insatisfechas del 25%. Las normas internacionales proponen que más del 20% de insatisfechos no es aceptable, por lo que se puede lograr una tasa de renovación del aire de 30 m<sup>3</sup>/h por persona. En instalaciones con propósitos especiales, estos niveles de referencia pueden aumentar. Así, en una habitación de hospital, es apropiado que la tasa de renovación del aire sea de 50 m<sup>3</sup>/h por persona.

Para reducir el riesgo de mala calidad del aire, pueden utilizarse sensores de COV o de CO<sub>2</sub>, lo que permite que el rendimiento de ventilación se regule de acuerdo con los niveles medidos realmente. De acuerdo con estudios realizados por Costic, los sensores COV o de calidad del aire son más sensibles en interiores altamente contaminados por cosas como el humo del tabaco. Los sensores de CO<sub>2</sub>, por otro lado, sólo detectan la presencia de CO<sub>2</sub> correspondiente al número de los ocupantes en cuestión.

Un olor es una mezcla en el aire de compuestos químicos que nuestro sentido del olfato detecta, analiza y decodifica.



Incremento paralelo de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y la intensidad de los olores.



Ventilación de la demanda sobre la base de la medición de los niveles de CO<sub>2</sub> en una sala de reuniones (CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction).



El confort térmico se define por una gama de temperaturas, el movimiento y la velocidad del aire y los niveles de humedad que no incomoden a los ocupantes del edificio. Es esencialmente una función de intercambio de calor entre el cuerpo humano y su ambiente. Estos intercambios son provocados por los siguientes mecanismos:

- El calentamiento o enfriamiento de la piel por convección de aire, dependiendo de si la temperatura del aire ambiente es menor o mayor que la de la piel.
- El enfriamiento de la piel por evaporación de la transpiración.
- El calentamiento de la piel por la radiación solar directa o indirecta. Esta es la radiación de longitud de onda corta.
- El calentamiento o enfriamiento de la piel por la radiación de las paredes de una habitación, dependiendo de si su temperatura es mayor o menor que la de la piel. Esta es la radiación de longitud de onda larga.
- La presencia de máquinas o de otras personas en el edificio puede ser una fuente de calor. El aumento de la temperatura en este caso induce el calentamiento de la piel por convección.

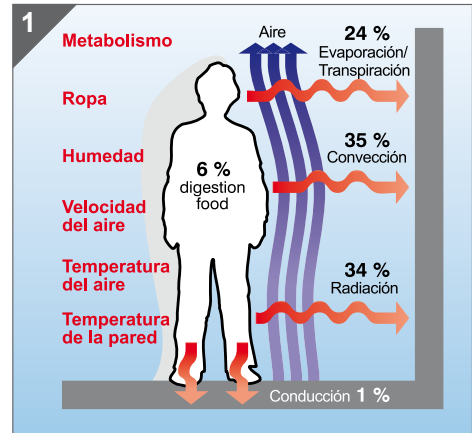
En un clima cálido y seco, la temperatura del aire es a menudo mayor que la de la piel. Es esencial elegir diseños de construcción con una alta inercia térmica para mantener la sangre fría durante la noche con el fin de liberarla durante el día. Los bajos niveles de humedad conllevan que la evaporación del agua pueda utilizarse para enfriar el aire. La presencia de plantas también ayuda a satisfacer la demanda de confort.

En un clima cálido y húmedo, la temperatura del aire es normalmente menor que la de la piel, pero supera el umbral de comodidad. Los niveles de humedad impiden cualquier enfriamiento del aire por evaporación del agua. Una de las formas de alcanzar el nivel de confort es aumentar la velocidad del aire. Esto aumenta el intercambio de calor a través de convección y reduce la temperatura de la piel. La evaporación a través del sudor atenúa la sensación de humedad.

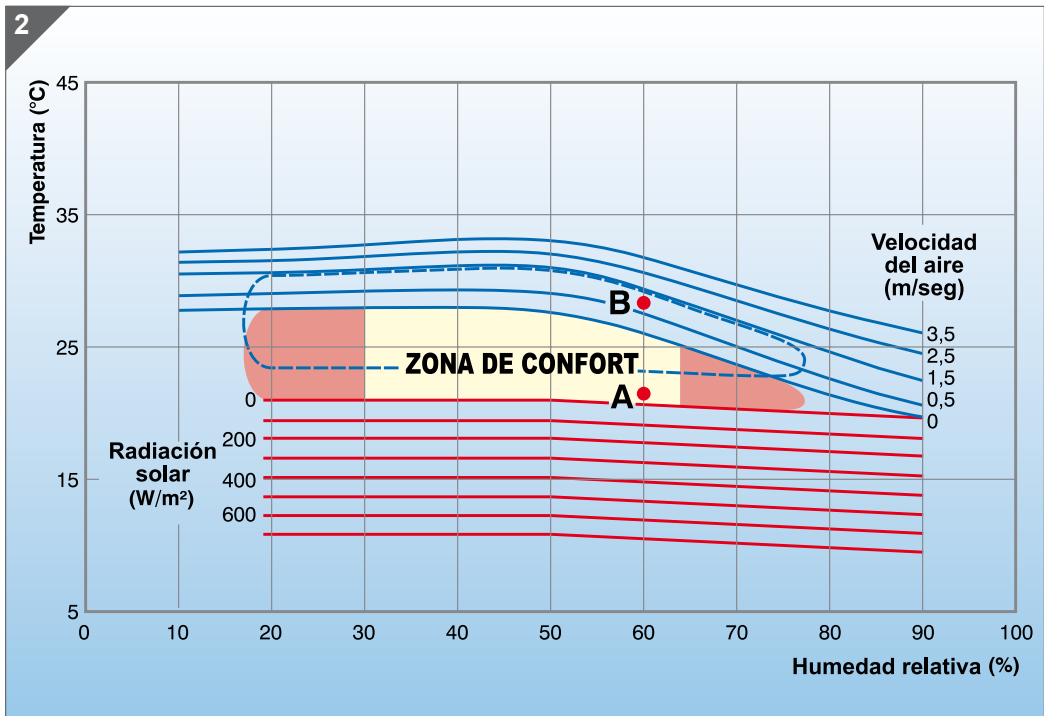
La gráfica 2 muestra la temperatura de confort térmico en relación con la humedad relativa y la velocidad del aire. Este diagrama indica que en un clima seco, una temperatura más alta es aceptable que en uno húmedo. La evaporación de la transpiración de la piel es más efectiva cuando la humedad relativa es baja. Al aumentar la velocidad del aire con ciertos límites, la zona de confort se mueve más arriba en el gráfico.

**VENTILACIÓN NATURAL**  
 Ventilación natural y confort de los usuarios  
 Confort termal en climas cálidos

La sensación de confort térmico se obtiene mediante la disipación de calor desde el cuerpo. El movimiento del aire aumenta la pérdida de calor por convección y facilita la evaporación de la humedad de la superficie de la piel.



La pérdida de calor del cuerpo humano depende de 6 parámetros físicos, incluyendo la velocidad del aire.



Las zonas de confort termal dependen de la velocidad del aire (basado en V. Olgay).

La renovación y ventilación del aire están dirigidas a mantener la calidad del aire interior de los edificios. La ventilación, en un sentido más estricto, es también una herramienta para combatir el sobrecalentamiento.

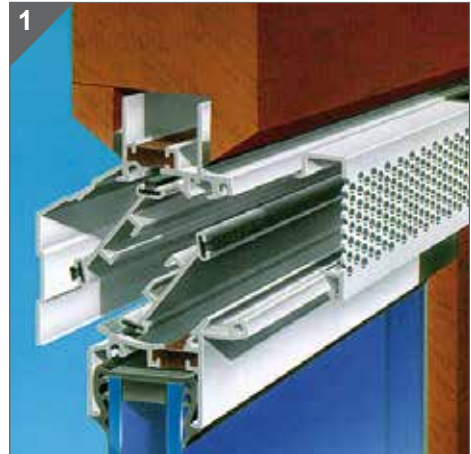
La calidad del aire está asegurada por la regulación del flujo de aire dentro y fuera de los edificios. La circulación del aire se debe planificar con entradas de aire fresco y salidas de aire viciado. Si la renovación es natural, se debe reaccionar a las diferencias de presión. En general, la expulsión del aire a través de la chimenea es una salida natural: el aire caliente se eleva de forma natural y se escapa a través de la chimenea, mientras que el aire fresco del exterior entra en el edificio a través de sus aberturas. Esta diferencia de presión puede ser garantizada por una diferencia de temperatura entre el aire en una fachada expuesta al sol y el aire en una fachada a la sombra. El interior del edificio debe, sin embargo, permitir que el aire circule libremente. Puede mantenerse una tasa de renovación mínima del aire mediante el uso de salidas de aire fijas integradas en las ventanas (figura 1).

Incluso si un edificio está a la sombra, las temperaturas de verano en interiores pueden moverse fuera de la zona de confort. En los climas cálidos y húmedos, la cuestión de la ventilación es un tema fundamental porque sólo forzando el aire a circular se libera el calor almacenado en la estructura del edificio y se consigue alguna sensación de frescor. La figura 2 ilustra este punto con una fotografía del Instituto Indio de Gestión, en la India, donde el arquitecto L.Kahn ha dado a los edificios una orientación norte-este (la dirección predominante del viento) y construyó una fachada profunda para reducir la cantidad de luz solar en las ventanas y además de ventilación natural en la azotea para liberar el calor acumulado durante el día y permitir dormir a los ocupantes por la noche.

Para promover la ventilación natural, los arquitectos también deben estudiar las direcciones del viento en un ámbito local. Los vientos son inherentemente variables, pero siempre hay un viento predominante en un sitio determinado. Cuando golpea un edificio, el viento crea zonas de alta y baja presión a lo largo de la fachada y en su interior. Si un edificio ofrece un ángulo de 45° con respecto al viento, estas altas y bajas presiones se maximizan y promueven la ventilación. Pueden construirse deflectores en el edificio para alterar los efectos del viento a nivel local y crear así áreas de baja presión que faciliten el flujo de salida del aire viciado. Usando el efecto Venturi, puede crearse un aumento en la velocidad del aire que también estimula el flujo de aire hacia el exterior.

En un clima cálido y seco, una buena manera de tratar de enfriar una casa es mediante el aumento del nivel de humedad en el aire. Varios sistemas se utilizan en todo el Mediterráneo, tales como las torres de viento (figura 2), que obligan a los vientos secos a absorber la humedad a medida que pasan sobre los frascos de agua antes de la ventilación y el enfriamiento de la casa. De hecho, un viento seco pierde parte de su calor al tomar el agua mediante su transformación de un líquido a un vapor.

La regulación de la renovación del aire permite mantener la calidad del aire y enfriar el edificio.



Equipo de ventilación integrada en el marco de una ventana. (doc. Aralco).

2

Instituto Indio de Gestión Ahmedabad (arquitecto Kahn)

Terrazas de ventilación (eliminador de calor durante la noche)

**Renovación del aire y ventilación natural**

Diagrama de una torre de viento (Irán)

habitación refrigerada

entrada de aire

cántaro de barro

piezas sueltas de yeso

The complex block contains a photograph of the Indian Institute of Management Ahmedabad building, a brick structure with terraces. To the right is a diagram of a wind tower (Ab-Anbar) from Iran. The diagram shows a vertical shaft with a windcatcher at the top. Air enters through the windcatcher, passes through a cooling chamber containing earthenware jars (cántaros) and loose pieces of gypsum (yeso), and then flows down into a refrigerated room (habitación refrigerada). Labels in Spanish identify the 'entrada de aire' (air intake), 'cántaro de barro' (earthenware jar), 'piezas sueltas de yeso' (loose pieces of gypsum), and 'habitación refrigerada' (refrigerated room).

Alojamiento en el Instituto Indio de Gestión (India) y diagrama de una torre de viento (Irán).

A diferencia de la arquitectura con climas severos en las regiones frías y templadas, la de los climas cálidos necesita evitar la ganancia de calor solar. Existen dos enfoques complementarios para limitar los aumentos de temperatura. La primera consiste en sombrear las salas de estar sujetas a la radiación solar. El segundo consiste en implementar flujos de aire para liberar las ganancias de calor internas, así como las solares.

Las salidas de aire permiten la liberación del calor de un edificio causado por aparatos eléctricos, iluminación y sus ocupantes. Los edificios autóctonos en muchas regiones están diseñados para explotar los fenómenos climáticos con el fin de alcanzar niveles adecuados de temperatura, humedad y velocidad del viento. La combinación de estos factores físicos contribuye a la sensación de frío.

Como se explica en el diagrama 2, la ventilación natural es siempre el resultado de una diferencia en la presión. Esta variación se debe al viento o a una diferencia de temperatura.

Varios enfoques pueden ser utilizados para optimizar la ventilación natural:

- Evaluar el potencial del sitio con respecto a la ventilación
- Ubicar las fachadas hacia el viento predominante durante los meses más calurosos
- Colocar la estructura con una distancia entre los obstáculos y el flujo de aire
- Sombrear la estructura afectada por la radiación solar
- Utilizar aberturas y sistemas para promover el flujo de aire desde el interior del edificio
- Planificar la distribución interior de tal manera que la circulación de aire se realice con una fricción mínima

En un clima cálido y seco, también es posible:

- Humidificar y enfriar el aire a través de la evapo-transpiración
- Explotar el enfriamiento durante la noche gracias a la inercia de un edificio

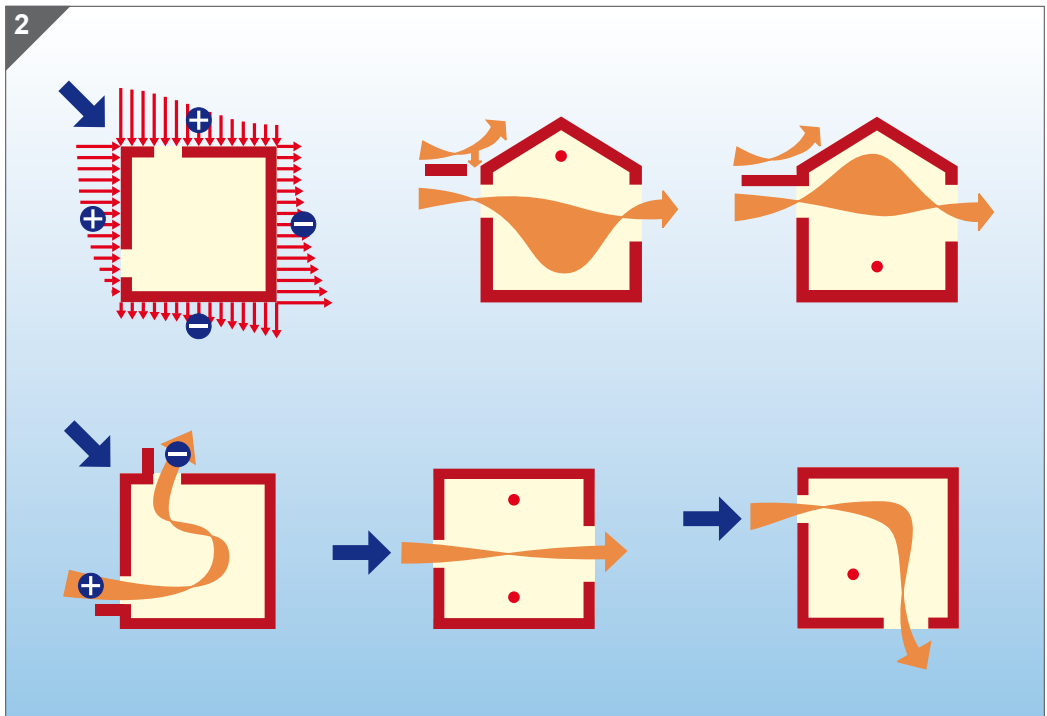
La arquitectura autóctona ofrece espontáneamente tipos de edificios que se adaptan a los rigores de climas cálidos. Para climas cálidos y húmedos, Malasia proporciona ejemplos de edificios levantados por encima del nivel del suelo. Edificios altos y estrechos con múltiples aberturas, lamas horizontales en las paredes, aleros,... son todas características que mejoran la comodidad. Los materiales utilizados tienen una baja inercia térmica. Los grandes espacios entre las casas permiten que el viento pase a través de los obstáculos. Las partes orientadas al sur y al norte se elevan para permitir la ventilación de flujo cruzado.

En un clima cálido y seco, las cuatro fachadas de casas con patios sombrean el patio central durante el día y permiten que el calor se libere por la noche.

La ventilación natural es el resultado de una diferencia de temperatura o de presión entre las diferentes fachadas de un edificio. Esto permite expulsar las ganancias de calor internas y solares del edificio.



Casa Régis - Fort de France (Martinique)  
(arquitecto: Chiatello/Dabilly).



La ventilación natural es siempre debido a una diferencia de presión, causada por el viento, o por una diferencia de temperatura.

La orientación de un edificio depende de su uso final: los requisitos de luz natural, el aprovechamiento de la radiación solar para calentar el edificio o, por el contrario, la necesidad de proporcionar sombra para evitar el sobrecalentamiento, la presencia de vientos que hacen que el edificio sea frío en invierno o fresco en verano,... son todos parámetros importantes a la hora de decidir la orientación.

Si bien a veces es agradable en verano, el viento es siempre una fuente de molestias en invierno. En consecuencia, la protección de las fachadas de los vientos fríos es siempre deseable, de hecho, es una prioridad, con el fin de minimizar los costes de calefacción.

El sol juega un papel en la aportación de luz y calor. Adaptar la orientación para que encaje con las necesidades de construcción permite una reducción en la necesidad de calefacción e iluminación. La figura 1 ilustra este punto mediante la comparación de los requisitos anuales de calefacción de un edificio en función de la orientación y las proporciones de sus ventanas (la relación de superficies acristaladas y la de toda la fachada). Una reducción perceptible de las necesidades de calefacción con una orientación sur contrasta con las necesidades cada vez mayores en el norte. La ampliación progresiva de las curvas refleja el rendimiento térmico de las ventanas: mientras se captura el calor si están orientadas hacia el sur, las mismas superficies pierden calor cuando están orientadas al norte.

La figura 2 recapitula las normas básicas que rigen la orientación de las habitaciones. Una proyección cilíndrica de la trayectoria del Sol, visto desde la latitud de París proporciona un vínculo entre la orientación y elevación solar a través de las estaciones. El acimut es dado por los puntos cardinales y la elevación solar se mide usando círculos concéntricos. Un porcentaje indica la fracción de la radiación solar disponible en comparación con el sur (se considera igual al 100%) con respecto a las 8 orientaciones principales.

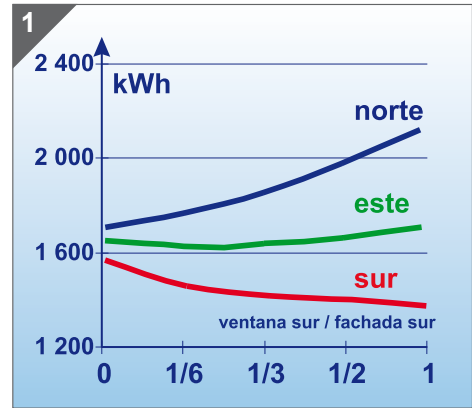
Las habitaciones orientadas al norte se benefician de una radiación solar difusa todo el año. En verano, es posible que haya luz solar directa por la mañana temprano y por la noche, porque el sol está bajo y sus rayos causan deslumbramiento.

Las habitaciones orientadas al este se benefician del sol de la mañana, pero la luz es difícil de regular debido a que los rayos del sol son más bajos en el horizonte. La insolación es baja en invierno, pero en verano, es más alta para una orientación sur, lo que no es útil.

Las habitaciones orientadas al oeste tienen características idénticas: potencial de incomodidad visual debido al deslumbramiento y sol excesivo en verano. Además, en verano, estas habitaciones están expuestas a la intensa radiación solar que, además de las altas temperaturas hacia el final del día, hace que sea difícil evitar el sobrecalentamiento.

Las habitaciones orientadas al sur se benefician de una luz más manejable y de una máxima luz solar en invierno, pero mínima en verano. De hecho, el sol es bajo en invierno ( $\pm 17^\circ$ ) mientras que en verano, la elevación solar es mayor ( $\pm 60^\circ$ ) y el sol penetra menos en el interior. La orientación sur es la que permite la mejor regulación pasiva de la luz solar. La ganancia de calor solar en una superficie vertical (una ventana) es también mucho más baja en el lado sur, ya que se reduce en un factor igual al coseno del ángulo de incidencia.

Cada habitación está orientada según su función.  
 Las habitaciones orientadas al sur aprovechan más la radiación solar cuando se necesita para el funcionamiento térmico del edificio.



Variaciones en las necesidades anuales de calefacción de las casas en función de la orientación y la proporción de las superficies acristaladas.



Orientación de los edificios en relación al Sol y al viento.



El sombreado de espacios es un factor esencial de confort térmico. Para incorporar el sombreado en el diseño de un edificio, es necesario comprender las características geométricas y de energía de la radiación solar global. Esta última puede dividirse en radiación directa, difusa y reflejada.

La intensidad de la radiación solar directa incidental que golpea el exterior de un edificio depende de la orientación de las diversas superficies exteriores, de la latitud, y de la trayectoria del Sol. Hay diferentes maneras de evaluar estas variables. Los ingenieros generalmente usan coordenadas polares, tablas cilíndricas de ruta de proyección de rayos ultravioletas o gráficos mensuales de sombras proyectadas en el suelo por un objeto. El software (Somfy Shadow Management) puede simular las sombras proyectadas por los edificios en diferentes momentos del día, en diferentes épocas del año y en diferentes latitudes. Estas herramientas proporcionan una valiosa ayuda durante el diseño.

La radiación difusa proviene de la radiación solar reflejada por las partículas contenidas en la atmósfera. La cantidad de radiación difusa es mayor en las nubes (sobre todo en climas húmedos) y menor con cielos muy despejados. La difusión sobre una superficie horizontal bajo un cielo despejado es de alrededor del 10% de la radiación directa.

La radiación reflejada proviene de la radiación directa y difusa reflejada por el medio ambiente. Depende principalmente de los tipos de superficie. La reflectancia de la arena, por ejemplo, se describe como que varía del 10 al 40%, dependiendo de la época del año y de la latitud.

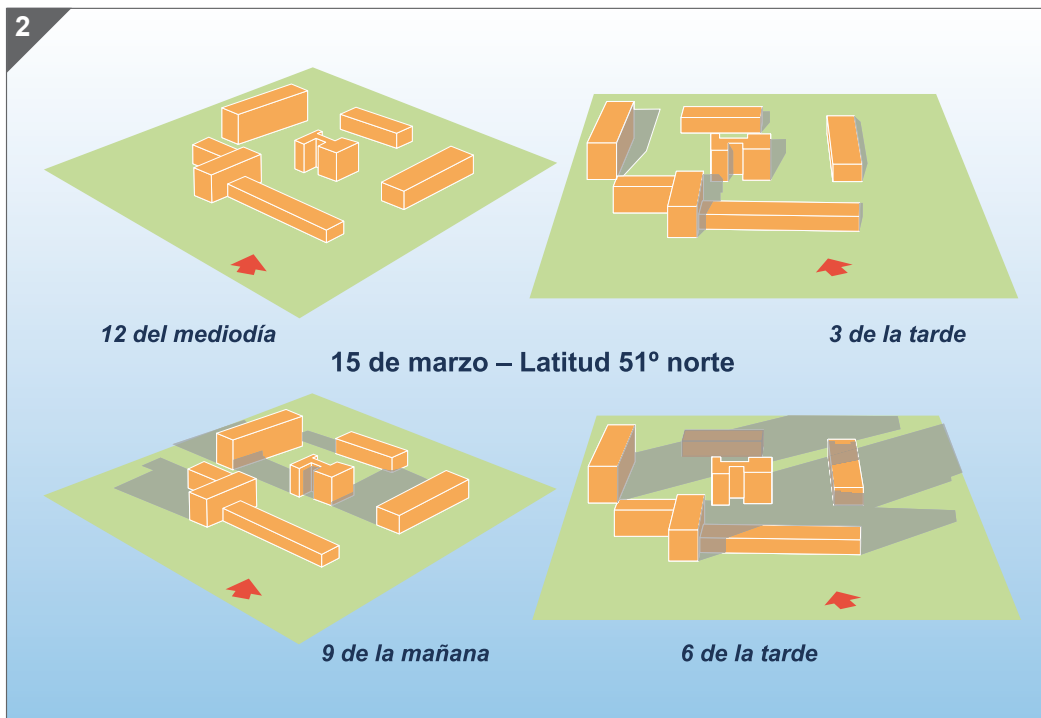
Los métodos simplificados más comunes para medir la radiación solar global media son los diagramas de medición de energía solar universales. Estos permiten medir la intensidad del flujo solar que incide sobre una superficie. Dependiendo de la volumetría de un edificio, este método puede ser más o menos eficaz.

Las herramientas de software que simulan la radiación solar global alrededor de los edificios ofrecen un enfoque más adecuado a la arquitectura urbana. Estos proporcionan una simulación física de los resultados, lo que no sería posible utilizando cálculos manuales al comienzo del diseño.

Para el correcto diseño exterior de un edificio, es necesario saber la cantidad de energía solar que recibe realmente en un momento dado.



La forma y geometría del edificio incide directamente en la energía solar que recibe en su interior.



Los programas informáticos que simulan la radiación solar pueden ser una herramienta de apoyo al diseño. (Software OPTI –Somfy Sun Tracking & Somfy Shadow Management).

Los huecos y ventanas juegan un papel importante en la relación de los edificios y sus ocupantes con su entorno. De hecho, el intercambio, la pérdida y las ganancias de calor, así como el aporte solar, provienen principalmente de estos huecos. Establecen el contacto entre el interior y el exterior y actúan así para mejorar el bienestar de los ocupantes. Los huecos, y en particular las ventanas, por lo tanto, son un componente importante de cualquier edificio y siempre han sido un foco particular de atención para los arquitectos (figura 1).

Desde un punto de vista térmico, incluso las ventanas mejor aisladas, muestran una mayor pérdida de calor coeficiente 'K' que las paredes aisladas. Son, por tanto, una de las principales fuentes de pérdida de calor en los edificios. Esta pérdida de calor se puede reducir mediante persianas o cortinas aislantes.

En invierno, el sol que entra por las ventanas asegura la conservación del calor. En verano, puede tener el efecto contrario si es necesario el enfriamiento de la casa. La orientación, el ángulo y el diseño de los huecos son elementos clave en el diseño de un proyecto. Desde el punto de vista energético, si la orientación es sur, es lo mejor en invierno (luz directa del sol) y en verano (menos luz directa del sol, lo que reduce el sobrecalentamiento). El ángulo más eficaz es entre 45° y 90°.

La figura 2 muestra los detalles de una casa de 150 m<sup>2</sup> construidos en Wolfhausen (Alemania), que nos ofrece una vista en sección de la forma en la que las ventanas funcionan en relación con la luz del sol de verano e invierno. Todo está diseñado para dejar entrar los rayos del sol en invierno y para protegerla en verano: la altura de las ventanas, la profundidad de las habitaciones, el ancho de los balcones y la longitud de aleros. La ligera altura extra de la habitación en el lado sur permite que entre más el sol en el salón, mientras que una gran ventana permite que la luz entre en el segundo dormitorio desde dos lados. Un porche permite que haya luz natural en el sótano. El balcón al sur también actúa como un protector solar en verano. Un sistema de persianas con aislamiento ajustable permite el control no sólo de la pérdida de calor en invierno, sino también del potencial de sobrecalentamiento en verano.

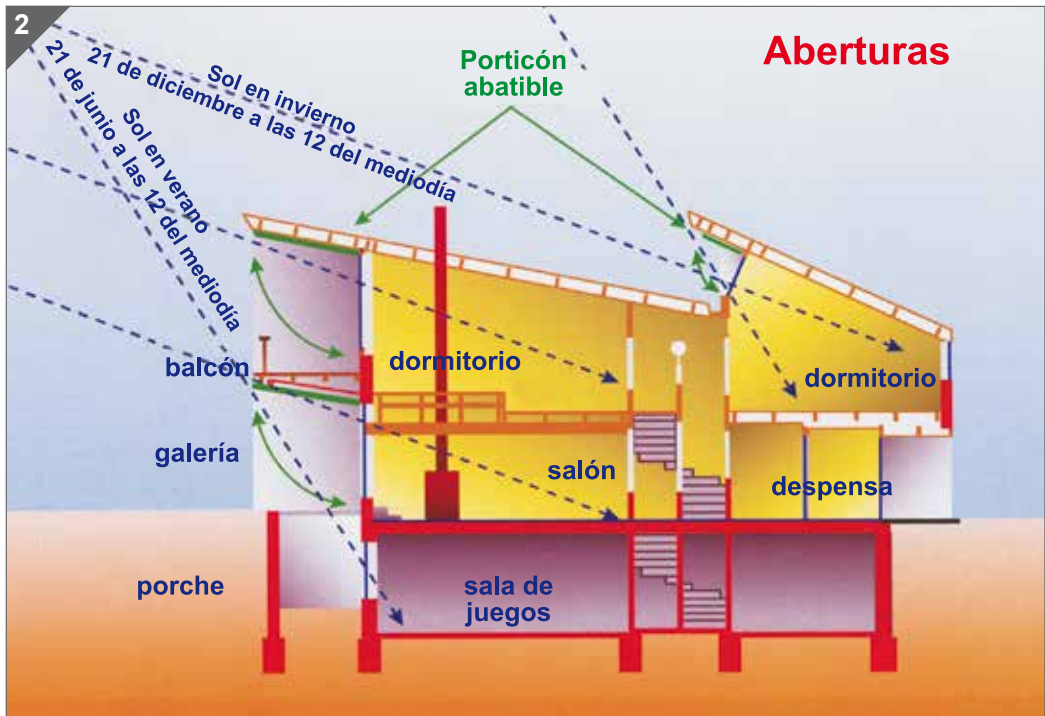
Es importante tener en cuenta que si las ventanas son verticales y orientadas al sur pueden taparse efectivamente en verano con protecciones solares, tales como toldos o aleros. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el caso de ventanas que dan a otras orientaciones o que tengan otros ángulos.

Además de esto, también es necesario tener en cuenta el hecho de que el uso de protecciones solares fijas o móviles, pantallas solares, vidrios reflectantes, etc.) conlleva tanto la reducción de la cantidad de luz natural como de la captación solar en invierno.

Los huecos son la forma de comunicación en un edificio: sus posiciones, sus dimensiones y sus proporciones regulan la entrada del aire, la luz y la energía solar.



Una ventana es la unión de un edificio con su entorno. Villa Poiano, Palladio (Italia).



El estudio de una sección transversal de los huecos de un edificio permite determinar los niveles y el calendario de la luz del día y el aporte solar. (arquitecto: H. Bolliger).

Las ventanas son una parte indispensable de los edificios:

- ¿Qué partes del paisaje debemos mirar u ocultar?
- ¿Qué orientación? ¿En qué ángulo? ¿Qué factor solar y que coeficiente K se debe seleccionar? ¿Qué propiedades de transmisión de luz?
- ¿Cuál es el papel de la ventana en el sistema de ventilación del edificio? ¿Qué protección solar debe utilizarse?

La figura 1 muestra una ventana cuyos componentes muestran diferentes características térmicas y de luz: en la parte superior, un panel fijo está protegido por un toldo exterior ajustable; en el medio, la carpintería de los huecos usa doble acristalamiento transparente; las ventanas inferiores están cubiertas en el exterior con aislamiento translúcido, lo que mejora el rendimiento térmico del acristalamiento y con ello se prescinde de algo de luz adicional.

La figura 2 resume los criterios de calidad que permiten determinar la elección de los componentes de la ventana e identificar los factores que reducen los aportes solares. Por último, los tamaños de hueco (relación del área de ventana y el área de la superficie), dependiendo de la orientación, se dan para edificios residenciales construidos en nuestros climas.

Los rayos del sol pasan a través de las zonas acristaladas directamente hacia las salas utilizadas para vivir o trabajar. A continuación, se acumulan en forma de calor en las partes sólidas del edificio. La protección solar exterior se utiliza para prevenir el exceso de sol que entra y se utilizan también persianas interiores para evitar el deslumbramiento, ya que desvían la luz hacia el techo. El rendimiento térmico es bueno para las ventanas que tienen ciertas propiedades ligadas a la superficie de la pérdida de calor (coeficiente K), el factor solar (F) y el factor de transmisión de luz (LT), si su orientación es buena (entre el sureste y suroeste). Pueden estar orientadas de manera diferente, pero su rendimiento térmico será menos eficiente. Por el contrario, las ventanas tienen cualidades pobres de retención de calor (1 o 2 días sin sol) y la pérdida de calor por la noche es significativa, así como con mal tiempo.

Las ventanas reúnen numerosos componentes: acristalamiento, marcos, revestimientos externos, cortinas, etc. Estos componentes pueden ser considerados como obstáculos, ya que reducen perceptiblemente el aporte solar sin tener ningún impacto apreciable sobre la pérdida de calor. El espacio que ocupan es muy a menudo subestimado, tanto en el cálculo del aporte solar como en el cálculo de la luz natural (factor de luz: DF). Se estima que el nivel real de la energía solar pasiva capturado es de aproximadamente del 33%.

Además, la reducción de la superficie de la zona de las ventanas orientadas al norte debe evitarse (problemas de uso excesivo de iluminación artificial) y las ventanas que den al oeste no deben ser demasiado grandes (riesgo de sobrecalentamiento).

Las ventanas son los dispositivos receptores más simples y comunes: llevan la luz y el calor y proporcionan el potencial para almacenar el calor.



El dintel de la ventana, las jambas y los travesaños proporcionan un aspecto diferente.

2
**Ventanas**

**Criterio de calidad:**

- $U_{\text{cristal}} < 3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $U_{\text{marco}} < 3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- F
- LT
- sombreamiento solar
- presión del viento
- ventilación integrada
- absorción acústica

**ventana sur/  
superficie sur:**

sur: 10 - 35 %

este-oeste: 15 - 25 %

norte: 10 - 15 %

**Reducción del aporte solar:**

- sombra de la ventana 0 to 100 %
- sombra del marco 20 to 40 %
- sombras 10 to 20 %
- cortinas 0 to 30 %
- absorción de reflejos 10 to 60 %
- limpieza 0 to 50 %

Aportes solares efectivos entre 0 y 50% de luz natural disponible

Elección de los componentes y la lista de criterios que intervienen en el rendimiento térmico de las ventanas.

La luz que llega a una ventana es transmitida, absorbida y reflejada en proporciones variables dependiendo principalmente del tipo de acristalamiento utilizado. La elección del acristalamiento afecta no sólo a la luz transmitida, sino también a la ganancia de calor solar y la pérdida de calor a través de la ventana. La transmisión de la luz y las cualidades térmicas del cristal se pueden definir mediante tres parámetros: el factor de transmisión de la luz, el factor solar y el coeficiente de pérdida de calor.

Un acristalamiento simple transparente de 6 mm de espesor tiene un factor de transmisión de luz del 89%, un factor solar de 82% y un valor U de 5,7 W/m<sup>2</sup>K. Este bajo valor U animó a los fabricantes de vidrio a desarrollar vidrios dobles a partir de 1965. En la actualidad, los problemas térmicos en los edificios tienen más que ver con el sobrecalentamiento, por lo menos en los edificios comerciales. Los últimos desarrollos en acristalamiento han sido un intento de resolver este problema mediante el avance hacia el desarrollo del acristalamiento selectivo, es decir acristalamiento que permite la transmisión de sólo una parte del espectro solar, en general, de la parte visible, reflejando al mismo tiempo el resto.

En la actualidad, hay tres enfoques básicos diferentes para la mejora de la eficiencia energética del acristalamiento:

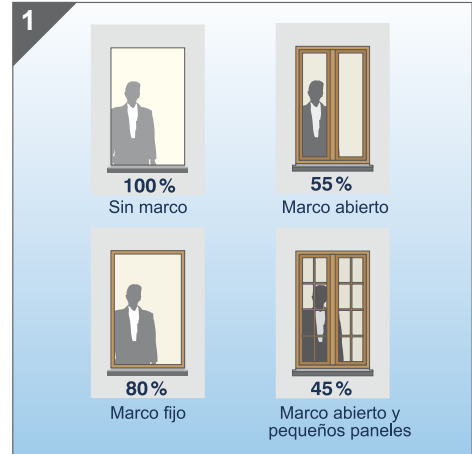
1. Modificar el propio vidrio cambiando su composición química o sus características físicas. Este es el caso del cristal tintado, por ejemplo.
2. La aplicación de una capa fina sobre la superficie del acristalamiento. Se han desarrollado recubrimientos y películas reflectantes para reducir las ganancias de calor y el deslumbramiento y, más recientemente, se han desarrollado revestimientos de baja emisividad o espectralmente selectivos como respuesta a las condiciones específicas de climas fríos o cálidos.
3. Montaje de varios paneles y explotar las propiedades de los espacios entre los paneles.

La alteración del factor de transmisión de luz de una ventana:

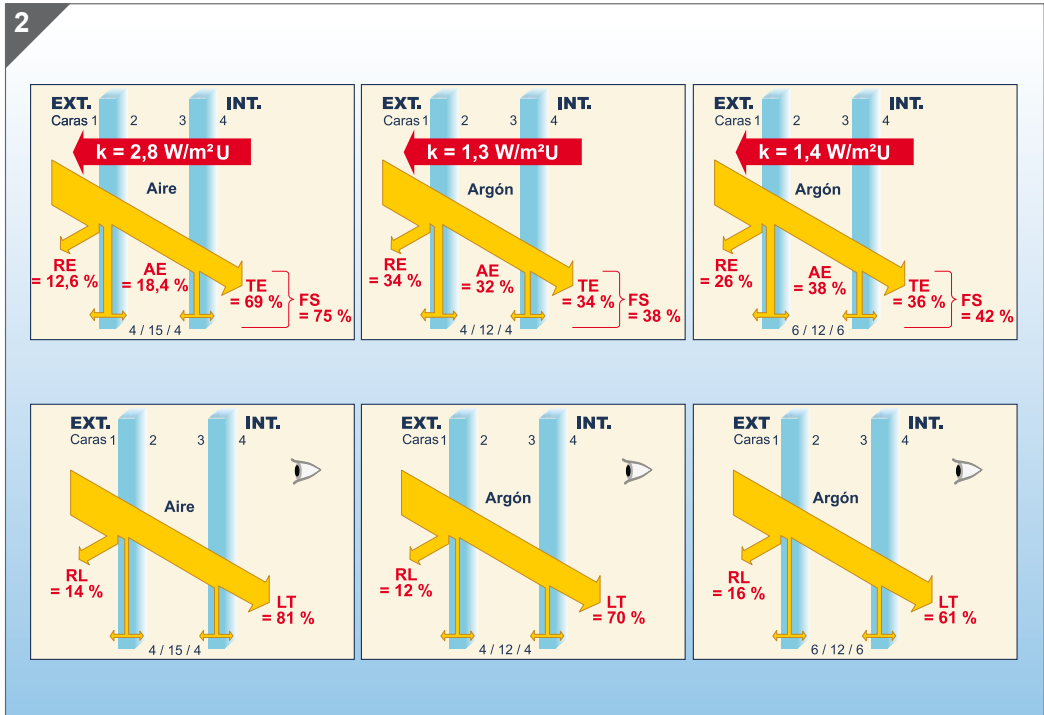
Si un acristalamiento simple transparente de 6 mm de espesor tiene un factor de transmisión de luz del 89%, la combinación de dos paneles en doble acristalamiento, dará lugar a un factor de transmisión de luz del  $89\% \times 89\% = 79\%$ .

A la hora de estudiar una ventana al completo, se debe ser consciente de que el marco de la ventana reduce en gran medida la transmisión de luz de la ventana. La figura 1 muestra el porcentaje de la superficie total de una ventana oscurecida por el marco de la ventana. Se puede observar que el área de superficie oscurecida por una ventana de apertura es de 45% y que lo divide en pequeños cristales, lo que reduce la superficie acristalada neta un 10% más.

La cantidad y calidad de la luz transmitida a un edificio dependen del tipo de superficie acristalada, su planicidad, su grosor, el número de paneles utilizados y lo limpia que esté.



Impacto del marco de una ventana sobre la superficie de la misma.



Características de las ventanas de doble acristamiento tradicional, doble acristamiento de espectro selectivo y doble acristamiento reflexivo.



#### Acrisolamiento absorbente o tintado

El acrisolamiento tintado es un vidrio al que se le ha añadido un aditivo químico que modifica su color y por lo tanto, sus propiedades físicas. Está especialmente diseñado para maximizar la absorción de la totalidad o parte del espectro solar. El uso de vidrios polarizados cambia la apariencia de una ventana y puede mejorar la privacidad dentro de un edificio durante el día. Sin embargo, este efecto se invierte por la noche, por lo que es más difícil ver desde el interior. Desde el interior, los vidrios polarizados conservan su transparencia. Los colores más comunes son gris liso, bronce, y azul-verde, colores que no afectan demasiado y tienden a armonizar con otros colores que se utilizan actualmente en la arquitectura. Hay dos categorías de vidrios polarizados: vidrios polarizados tradicionales que reducen la cantidad de luz y las ganancias de calor solar, y el acrisolamiento selectivo que reduce las ganancias de calor y permite que la luz penetre más que con el acrisolamiento tintado tradicional. Este vidrio, de color verde o azul claro, tiene un factor de mayor transmisión de la luz que el acrisolamiento tradicional de color bronce o gris, y tiene un factor de ganancia de calor solar menor que el segundo. Por lo tanto el acrisolamiento tintado permite una reducción en el factor de ganancia de calor solar, pero, como resultado, el factor de transmisión de la luz cae rápidamente. El acrisolamiento tintado no puede, en ningún caso, reducir el factor de ganancia de calor solar más allá de un cierto límite.

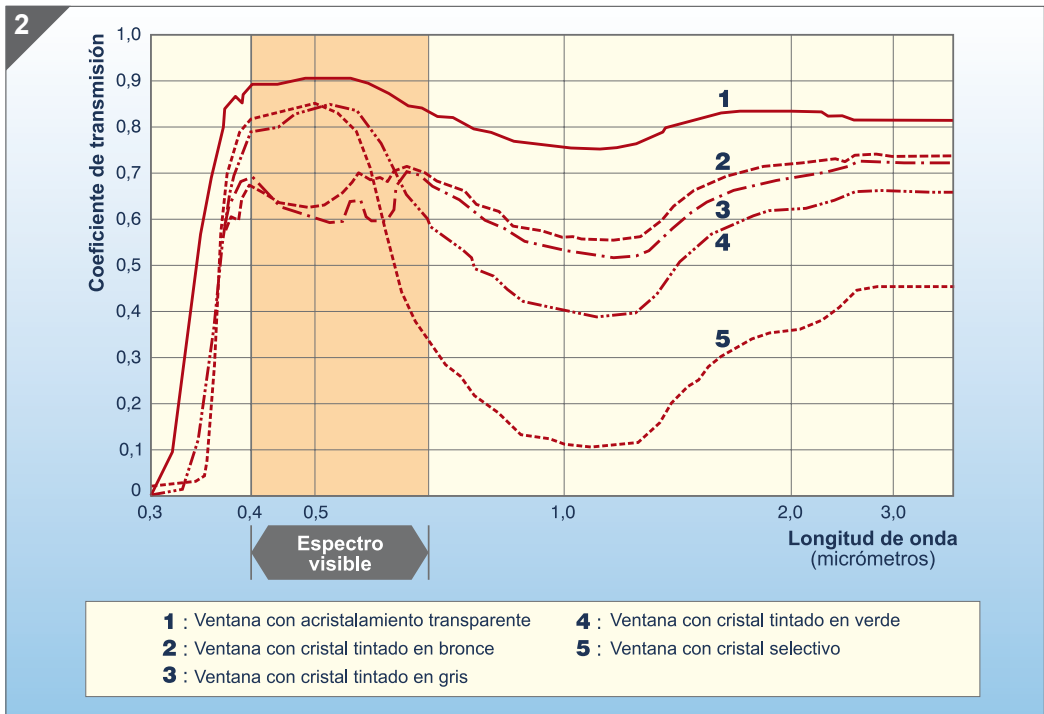
#### Acrisolamiento reflectante

Si se requiere un factor de ganancia de calor solar menor que el alcanzado mediante el uso de acrisolamiento tintado, una capa reflectante puede aplicarse al acrisolamiento, lo que aumenta su coeficiente de reflexión. En general, estos recubrimientos se componen de capas metálicas muy finas que existen en diferentes colores (plata, oro y bronce) y que se pueden aplicar para borrar el tintado del vidrio. El factor de ganancia de calor solar del acrisolamiento puede ser ligera o significativamente reducido en función del espesor y el coeficiente de reflexión de la capa y su posición en la ventana. Cuando se decide utilizar vidrio reflectante, uno debe ser consciente de que la luz va a reaccionar como si fuera un espejo y que los problemas de deslumbramiento pueden provocar que afecte a los peatones, conductores o incluso a personas de edificios cercanos. Además, es importante recordar que el vidrio reflectante se comporta como un espejo en el lado expuesto a la luz. Por lo tanto, produce un efecto de espejo en el exterior durante el día, aunque este efecto espejo se invierte y aparece en el interior del edificio por la noche, por lo que es difícil ver hacia fuera.

Las características físicas de un acristalamiento pueden cambiarse por el tintado o cubrirlo con una capa que refleje la totalidad o parte del espectro solar.



El acristalamiento reflectante actúa como un espejo reflejando sobre los edificios cercanos.



Curvas que representan la transmisión de la luz espectral de varios acristalamientos tintados.

Los acristalamientos electrocrómicos y gasocrómicos son acristalamientos dinámicos que se pueden hacer alternativamente opacos o transparentes de manera continua bajo los efectos, respectivamente, de una carga de baja tensión o la introducción de gas. Sus características ópticas y térmicas de este modo se pueden variar de acuerdo a las condiciones climáticas. En verano, la transmitancia se reduce con el fin de evitar el sobrecalentamiento, mientras que durante los periodos fríos, la transmitancia se incrementa con el fin de obtener el máximo beneficio de la iluminación natural y la ganancia de calor solar. La oscuridad de los cristales también puede cambiar todos los días, en respuesta a la posición del sol.

#### Acristalamiento electrocrómico

Cada transición entre un estado coloreado y uno blanqueado está causado por la aplicación de una carga electrónica e iónica a través de dos capas delgadas usando un electrolito. La transmitancia de este tipo de acristalamiento sigue siendo la misma hasta que se aplica una nueva carga. Mediante la inversión de la polaridad, se vuelve al estado inicial de la transparencia y de transmisión de la luz.

El material electrocrómico más utilizado es el óxido de tungsteno que se vuelve azul oscuro. Este sistema cuenta con una transmisión de la luz que se puede ajustar entre 50% (estado blanqueado) y 15 % (estado de color), en función de la cantidad de iones intercambiados. Al mismo tiempo, el factor del aporte de calor solar del acristalamiento puede variar de 12% a 45%. Este tipo de acristalamientos existen en laboratorio y están empezando a estar disponibles comercialmente en tamaños de hasta 1 m<sup>2</sup>. Sin embargo, siguen teniendo varias dificultades: la homogeneidad, la durabilidad durante muchos ciclos y las aplicaciones de fomento específico en la resistencia UV del sistema.

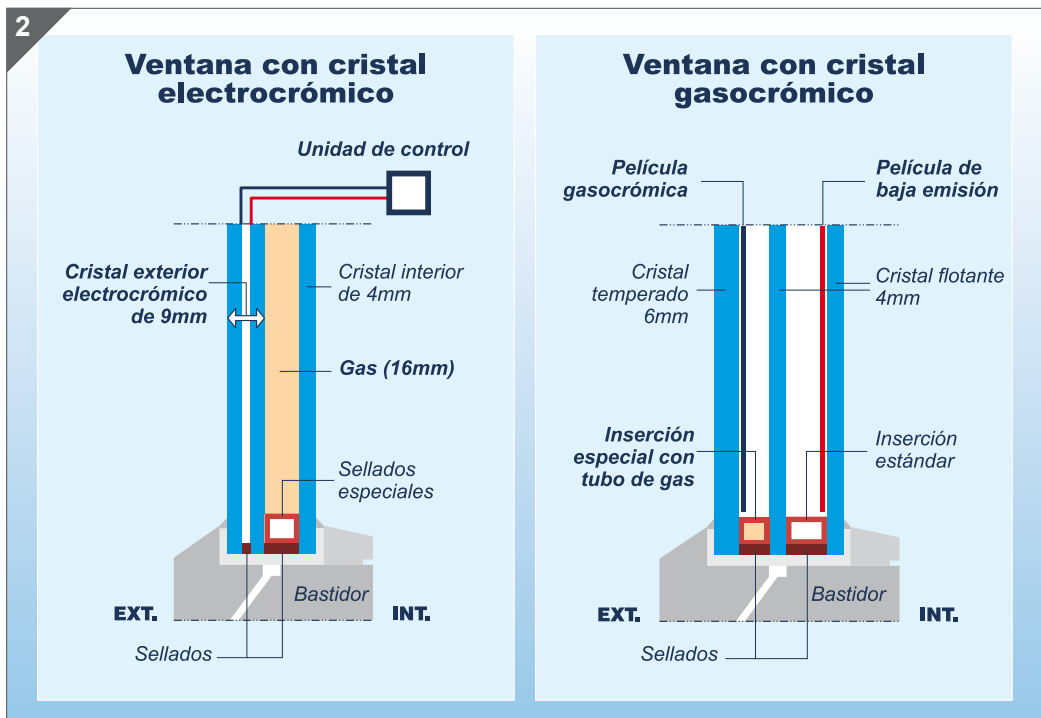
#### Acristalamiento gasocrómico

Una unidad de gasocrómico se compone de acristalamiento aislante gasocrómico, una unidad de suministro de gas y una unidad de control. El componente activo de un sistema gasocrómico es, como en el acristalamiento electrocrómico, una película de óxido de tungsteno (WO<sub>3</sub>). Este se encuentra en el lado interior de la luna de triple acristalamiento exterior. Cuando esta película gasocrómica se expone a una baja concentración de hidrógeno en un gas portador (argón o nitrógeno), se vuelve azul. Cuando se expone a oxígeno, resulta más ligero y vuelve a su estado inicial transparente. La mezcla de gas se introduce en el espacio entre el panel exterior y el del medio. La unidad de suministro de gas consta de un electrolizador y una bomba, que está conectada a la ventana por tubos que forman un bucle cerrado. Idealmente, la unidad de gas debe incorporarse en la fachada. Una unidad de gas produce gas suficiente para abastecer a 10 m<sup>2</sup> de acristalamiento gasocrómico. La transición desde el estado blanqueado al de color (y viceversa) tarda entre 2 y 10 minutos.

El acristalamiento electrocrómico es aquel cuyas propiedades físicas varían en diversas ocasiones.



El acristalamiento electrocrómico varía del estado color (a la derecha) al blanqueado (izquierda).



a: Funcionamiento del acristalamiento electrocrómico.  
b: Funcionamiento del acristalamiento gasocrómico.

#### 1. Reducción del deslumbramiento

Los problemas con el deslumbramiento son frecuentes cuando el sol está bajo en el horizonte: por la mañana, en las ventanas orientadas al este y por la noche, en las ventanas orientadas al oeste. En nuestras latitudes, el problema de los huecos sombreados orientados al norte no debe pasarse por alto. De hecho, a mediados de verano, el sol naciente en el noreste y el ajuste en el noroeste pueden causar problemas de deslumbramiento al inicio y al final del día a través de estos huecos. Además, mirar directamente a un cielo demasiado brillante puede ser incómodo cualquiera que sea la orientación de la ventana.

Es importante distinguir si la principal causa de deslumbramiento es la radiación solar directa o simplemente difusa. Para bloquear la radiación solar directa, el sombreado solar opaco o casi opaco es indispensable. Los materiales translúcidos como el cristal tintado, pálido, persianas delgadas o cortinas finas, pueden convertirse en fuentes de luz secundarias y crear reflejos con la radiación solar directa sobre ellos mientras que resultan suficientes para bloquear el deslumbramiento del cielo.

#### 2. Reducción del sobrecalentamiento

El montaje de una buena protección solar puede, en algunos casos, eliminar la necesidad de instalar un aire acondicionado o, al menos, reducir su uso, lo que conduce a consecuencias positivas en términos de ahorro de energía y medio ambiente.

#### 3. Eliminación de la radiación directa

Un aumento en la temperatura ambiente de una habitación no es la única fuente de discomfort térmico para sus ocupantes. De hecho, a pesar de que la temperatura ambiente sea soportable, el calor irradiado por las ventanas y la radiación solar directa en una parte del cuerpo pueden convertirse en algo incómodo para los ocupantes. Por lo tanto, debe ser posible eliminar la radiación directa.

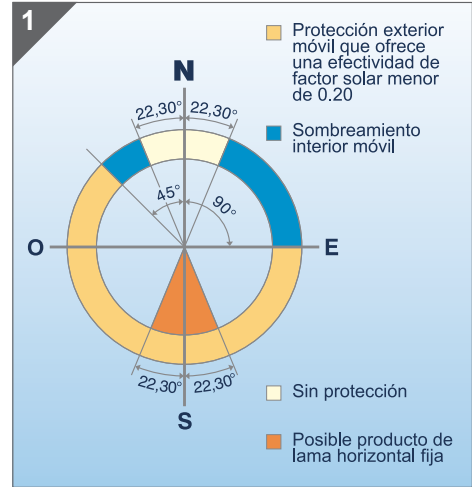
#### 4. Mejorar la privacidad del interior de los edificios

La protección solar es una capa más en la fachada para mejorar la privacidad del interior respecto del exterior. Evitar la visión directa del interior para preservar la intimidad de las personas es una de las características de una cortina interior que realiza esta función de filtro de la luz natural e intimidad.

#### 5. Evitar la decoloración de materiales y mobiliario.

La radiación solar directa sobre mobiliario, pavimento y cerramientos interiores puede provocar una disminución de la intensidad del color. Dicha radiación directa provoca diferentes tonalidades de un mismo material de una misma estancia generando un envejecimiento prematuro de mobiliario y materiales interiores como los pavimentos de madera. El control solar interior evita dicha radiación contribuyendo a una mejor y más larga duración de los colores y mobiliario en las estancias.

**El sombreado solar se puede utilizar para diversos fines en función de las diferentes situaciones. La elección de un determinado tipo de sombreado dependerá de la prioridad que se dé a cada uno de ellos basado en las necesidades de los usuarios.**



Fijo y móvil (basado en E. Dufrasnes).

2

Limitación del deslumbramiento /brillo

Decrece el sobrecalentamiento

Eliminación de la insolación directa

Aumenta la capacidad de aislamiento de una ventana

Asegurar la privacidad de los ocupantes

Prevenir que los materiales se dañen

Decorar la ventana

Diferentes propuestas de protección solar.

El tipo ideal de control y protección solar para un proyecto específico depende de un número de factores, tales como la latitud del lugar en cuestión, la orientación de las ventanas, el tipo deseado de contacto con el exterior y el tipo de uso que se va a hacer de la sala. Otros criterios a añadir que afectan a la elección de la sombra son su resistencia mecánica, su coste, el mantenimiento o la capacidad de abrir las ventanas para crear una ventilación natural del edificio.

#### Posicionamiento de la protección solar:

Ya sea en el interior, el exterior o integrada en el vidrio, la misma protección solar proporcionará exactamente el mismo control sobre el nivel de la luz. Sin embargo, siempre será más eficaz en la prevención de sobrecalentamiento si está instalado fuera de la ventana. Por lo tanto, la elección de la posición de la protección solar es principalmente una cuestión de consideraciones térmicas, de mantenimiento y estéticas.

La principal ventaja del sombreado externo reside en el hecho de que bloquea la radiación solar antes de que alcance las ventanas. El sombreado solar es eficaz contra el sobrecalentamiento en los siguientes casos:

- si es externo. En este caso, bloquea los rayos del sol antes de llegar a la ventana.
- si es interno, siempre que repela los rayos del sol, después de pasar a través de la ventana. Para ello, debe ser no absorbente y reflectante.

El sombreado externo, sin embargo, tiene tres limitaciones: es más voluminoso, debe ser resistente a la intemperie y es más difícil de limpiar y de mantener.

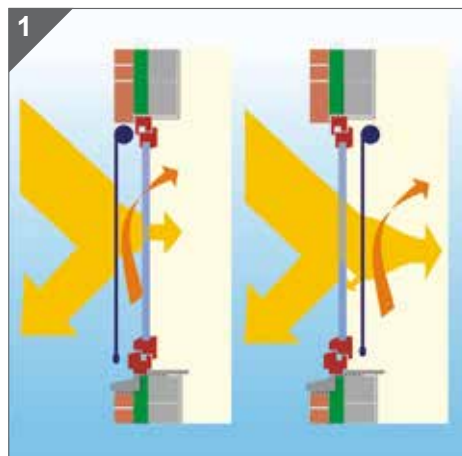
#### Protección solar automático

El sombreado fijo o pasivo (laminas fijas verticales u horizontales) es un sistema que ofrece el mismo nivel de sombreado independientemente de la hora, del día o de año y de las necesidades de los usuarios. También otros ejemplos de protección solar fija se incluyen las láminas adhesivas para ventanas o vidrios especiales. El sombreado fijo no cambia, independientemente de los cambios climatológicos o cambios internos en los edificios.

El control solar automático se puede ajustar y modificar en función de la posición del sol o las necesidades de los ocupantes. El uso de control solar automático permite que la luz natural y radiación solar se adapte a las necesidades reales de los usuarios. La ganancia solar, por lo tanto, puede ser controlada con la retirada parcial o completa del control solar o inclinando sus laminas.

El control solar manual o no automatizado nunca será utilizado de manera eficiente, debido a que el servicio de mantenimiento o los propios usuarios deberían estar pendiente de los cambios climáticos y manualmente optimizar las protecciones solares para conseguir los objetivos de confort visual y el ahorro energético. El control solar automático permite a los usuarios de forma puntual modificar la orientación de las laminas o posición del tejido en casos excepcionales.

Las dos categorías principales de protección solar se basan en su posición en relación a la ventana y en su capacidad de ajuste.



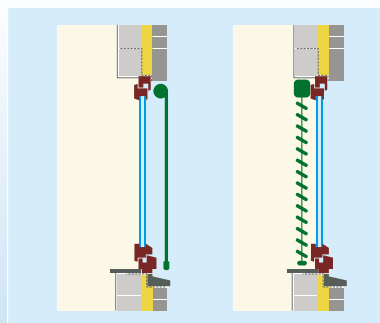
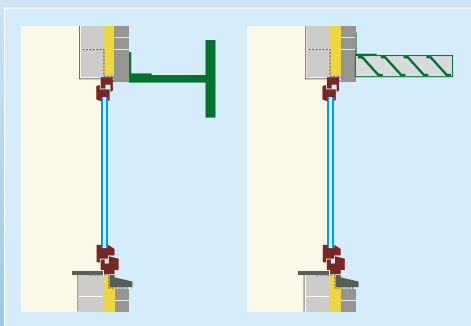
Comportamiento del sombreado solar en relación al calor, según su posición.

2



Arquitecto: M. Van der Rohe

a



b



- a: Sombreamiento fijo.
- b: Sombreamiento móvil.



#### Sombreado relacionado con el entorno

La vegetación puede utilizarse eficazmente para reducir la exposición de las ventanas al sol. Las plantas deben ser elegidas cuidadosamente, teniendo en cuenta su tamaño y tipo, ya que esta elección influye en la forma en que la sombra se desarrollará en verano y en invierno. Los edificios vecinos pueden proporcionar una imagen fija. Pueden jugar un papel positivo si se necesita la protección del sol: este es el caso de las ciudades mediterráneas tradicionales, donde la estrechez de las calles y la altura de los edificios reduce significativamente la luz solar directa y proporciona una agradable sombra.

#### Características arquitectónicas

La forma de un edificio puede proyectar sombras en algunas de sus paredes. El propio edificio proyecta sombras sobre sus fachadas. Muchas partes de la fachada que contribuyen al diseño arquitectónico de un edificio pueden constituir elementos de sombra. Debemos mencionar aleros, salientes, retranqueos, terrazas, balcones y soportales para optimizar su diseño.

#### Control solar exterior

El control solar automático son de 3 tipos: Persianas, lamas y toldos.

Las persianas son dispositivos externos o internos formados por pantallas de listones colocados por toda la abertura de la ventana. Estos bloquean la luz solar directa y permiten la ventilación natural garantizando la privacidad de una habitación.

La persiana de lamas es una evolución donde el ajuste del nivel de la protección solar es la principal característica. Este ajuste de cantidad de radiación solar o luz natural se realiza por medio ya sea de cierre o inclinando las lamas. Un ejemplo son los porticones de librilla o mallorquinas.

Los toldos enrollables con tejidos técnicos son flexibles y ajustables a los huecos de las ventanas o para cubrir una superficie. Dichos tejidos evitan la visión exterior además de permitir la visión desde el interior. Proporcionan una sombra a las ventanas para optimizar la luz natural mientras que permiten una vista a través.

Hay diferentes tipos de protección solar: sombreado vinculado al entorno, características arquitectónicas, sombreado añadido posteriormente y acristalamiento de protección.



Control Solar Automático exterior.  
Centro I+D. Málaga.



La Llotja, Palacio de Congressos (Lleida) (arquitecto: Mecanoo)

El tejido técnico del toldo exterior ha evolucionado notablemente estos últimos años dejando atrás la imagen de la tela o lona opaca de rayas verdes y blancas con faldones ondulados. Los nuevos tejidos técnicos micro-perforados son una solución muy adecuada a las necesidades de control solar, control lumínico y ahorro energético.

Características técnicas del tejido técnico:

1. Resistencia. Los tejidos técnicos con fibra mineral o PVC tienen una gran solidez y alta tenacidad, evitando su rotura o deshilachado y le confiere un aspecto más firme aumentando su resistencia. Es importante la buena elección del soporte y la forma de accionamiento del toldo. Se recomienda el acabado en polyester para exterior por su mayor resistencia a la intemperie.

2. Deformación. Los tejidos deberán garantizarán estabilidad dimensional, con alta resistencia a la tracción, al alargamiento y al desgarro. Esta característica es imprescindible en soluciones tensadas, como toldos, velas o pérgolas, para evitar deformaciones y forme el desagradable efecto 'teja'.

3. Limpieza. Si es posible la superficie del tejido será extremadamente plana que no solo evitan que la suciedad se incruste, permitiendo alargar los periodos de mantenimiento. Los tejidos son más fáciles de limpiar si son más lisos sólo con un paño húmedo y jabón neutro.

4. Tratamiento fungicida. Dicho tratamiento permite enrollar el tejido aun estando mojado sin correr el riesgo de que aparezcan manchas debidos a los hongos y la intensidad de color, para no encontrarnos con una decoloración indeseada en un corto espacio de tiempo.

5. Olores. El tejido garantizará una buena calidad del aire interior si decidimos instalar la solución dentro de nuestro edificio o vivienda, no solo para garantizar la ausencia de malos olores, sino para evitar respirar sustancias no saludables para nuestro organismo.

6. Grado de abertura o Transmitancia Visual. El grado de abertura varía entre un 1% (mínimo) y un 10% (máximo) Siendo un 3% del grado de abertura más utilizado. Según las orientaciones del edificio estos son los grados de abertura del tejido técnico.

El grado de abertura no es el mismo cada una de las diferentes orientaciones de un edificio. Debido a la diferente intensidad de la radiación solar y para mantener un confort térmico y lumínico lo más homogéneo posible en el interior del edificio cada orientación tendrá una transmitancia visual diferente. De esta forma también se incrementa el ahorro energético al controlar la radiación solar:

. Fachada Oeste:	Grado de Abertura: 1%
. Fachada Sur:	Grado de Abertura: 3%
. Fachada Oeste:	Grado de Abertura: 5%
. Fachada Oeste:	Grado de Abertura: 10%

Los tejidos técnicos realizan un control lumínico y térmico de las superficies acristaladas de las fachadas de los edificios.



Control solar con tejido técnico enrollable exterior motorizado de color oscuro.

2



Porcentaje (%) de apertura del tejido textil. (Vertisol)

El color es una parte fundamental del diseño del control solar del tejido técnico micro-perforado en el toldo vertical. la elección del grado de abertura de una fachada noreste y una fachada oeste no será el mismo. También es importante el tipo de actividad de los usuarios en el edificio así como el color del tejido escogido.

Un tejido de color blanco o claro deja pasar el 21% de la radiación solar al interior del edificio, pero en cambio un tejido de color negro u oscuro exterior sólo dejará pasar el 4%, debido a la gran absorción del color negro. Por lo tanto, es mucho más eficiente un tejido negro exterior micro-perforado que uno blanco. Es importante que la elección de los colores en los tejidos de los toldos exterior para conseguir el máximo confort térmico-lumínico y ahorro energético del edificio.

Otro elemento de gran importancia a tener en cuenta es la visibilidad hacia el exterior que es fundamental para el confort lumínico, luz natural para poder realizar las actividades dentro del edificio. Y evitar el efecto cueva: Si hay una fuerte incidencia de radiación solar con una persiana enrollable puede evitar y bloquear la entrada de radiación solar, pero produce con el efecto cueva. Es decir, aunque sean las 16h, 17h o 18h de la tarde, y aún es de día en el exterior, dentro deberemos encender la iluminación artificial debido a la ausencia de luz natural provocada por el bloqueo de las persianas. Las persianas impiden tanto la entrada de radiación solar como de luz natural. se bajan las persianas debido a la alta radiación solar, entonces hay que encender la luz artificial, aunque sea de día.

En la Escola Virolai (Figura 1) se puede comprobar cuando baja el toldo vertical se mejora la visibilidad desde el interior además de impedir la radiación solar dentro del edificio. De esta forma con el control solar automático del toldo vertical se pueden optimizar la iluminación de las aulas para clases con ordenador, proyector, pizarra o ahorro energético cuando la clase está vacía.

Control Solar automático mediante un toldo vertical enrollable con guía lateral permite la visión a través del tejido técnico micro-perforado, además evita la entrada de radiación solar en un 95-90% el interior del edificio. Por lo tanto, conseguimos las ventajas de la luz natural y vistas evitando la radiación solar. (Figura 2)

Una protección solar exterior permite conservar una temperatura mucho más uniforme durante todo el día, el confort de vida y atmósfera son significativamente mejorados. Esta temperatura ambiente constante también ayuda a reducir los equipos de aire acondicionado, contribuyendo así a reducir los gastos de funcionamiento del edificio.

1



Toldo exterior negro micro-perforado y automatizado. 50% bajado.



Toldo exterior negro micro-perforado y automatizado. 75% bajado.



Visión desde el interior con un 50% de toldo bajado.



Visión desde el interior en un 100% de toldo bajado.

Escola Virolai. Barcelona.

Los edificios de oficinas con un elevado acristalamiento ofrecen transparencia, acceso a la luz natural y un sentido de conexión entre los ambientes interiores y el aire libre, lo cual es superior a la proporcionada por los edificios convencionales (donde las ventanas por lo general conforman aproximadamente el 30% de la superficie de la pared externa). A pesar de las cuestiones energéticas, esta tendencia está en aumento en todo el mundo, especialmente en los edificios de oficinas. Su popularidad se puede explicar por:

- El diseño de los arquitectos de ofrecer vistas a (y desde) el exterior y proporcionar toda la luz natural posible (incluso si se utiliza vidrio tintado)
- La idea de una mayor superficie acristalada, relacionándolo con una mejor vista de la parte exterior y un ambiente interior más agradable para los usuarios
- La preferencia de los ocupantes por la imagen corporativa y distintiva proporcionada por una oficina de vidrio (por ejemplo, en términos de transparencia o apertura).

La eficiencia energética de edificios de gran acristalamiento es, sin embargo, a menudo cuestionada. Las fachadas totalmente acristaladas pueden ser un gran desafío en términos de la combinación de consumo de energía con el confort térmico. La transmitancia térmica del acristalamiento es mayor que la de las paredes aisladas, independientemente del tipo de ventana. En los edificios con fachadas acristaladas, muy expuestas a dirigir y reflejar la radiación solar, también es un desafío asegurar el confort visual de los ocupantes. El uso de protección solar móvil es una forma esencial de facilitar el confort visual en edificios con un elevado acristalamiento.

El principal reto con los edificios con un gran acristalamiento radica sobre todo en su capacidad para responder y adaptarse rápidamente al entorno externo de acuerdo a las necesidades de los ocupantes durante todo el año. Esto es factible por medio de sofisticados sistemas para el control de la temperatura, la luz y la ventilación. La estimación y la definición de las características de acristalamiento incluyendo los sistemas de control solar deben llevarse a cabo durante las primeras etapas de un proyecto. Existen varias herramientas de software disponibles que permiten a los diseñadores evaluar la eficiencia energética de la totalidad o una parte de un edificio que se desea simular.

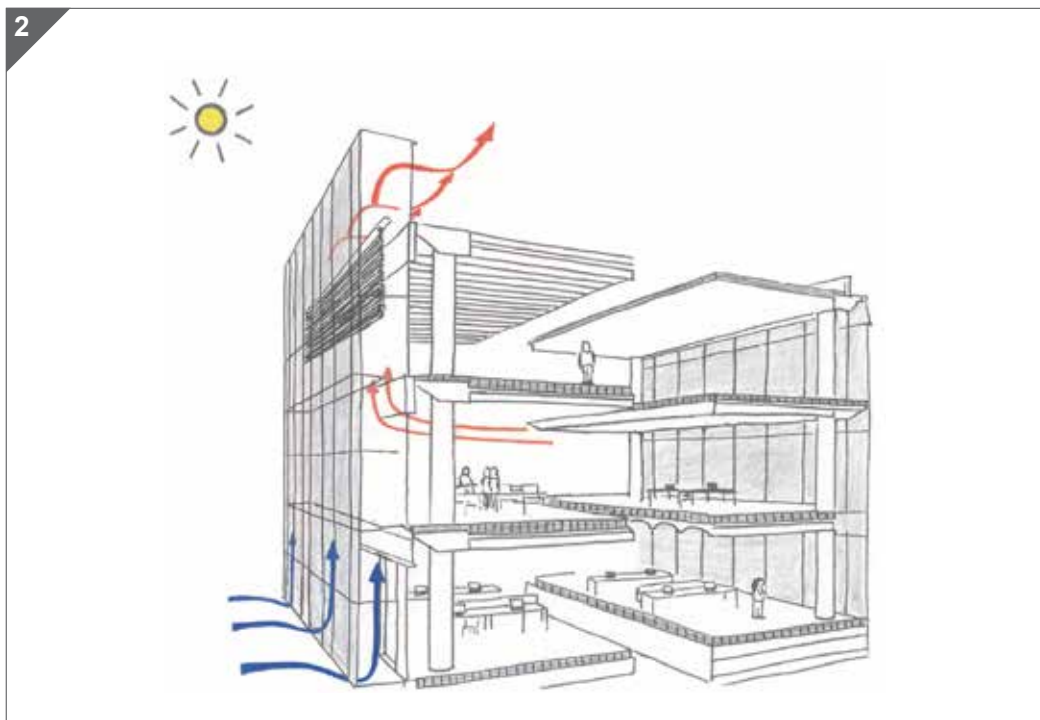
Hay dos tipos de fachadas con un gran acristalamiento: fachadas de doble piel y ventanas de flujo de aire, sistemas formados por dos capas de vidrio (en que cada piel es acristalamiento simple o doble) dispuestas con una cavidad intermedia ventilada. Para las fachadas de doble piel, el acristalamiento aislante (barrera térmica) es por lo general la piel interior, mientras que para las ventanas de flujo de aire el acristalamiento aislante es la piel exterior. La distancia entre las dos pieles varía típicamente desde 0,2 m hasta 2,0 m, dependiendo del concepto y el sistema. Los dispositivos de protección solar se encuentran dentro de la cavidad entre las dos pieles.

Los beneficios potenciales de este tipo de fachadas incluyen el aislamiento acústico, la protección solar del entorno exterior y la prestación de la ventilación natural de los espacios de oficina, incluso en condiciones de viento.

Las fachadas con un acristalamiento elevado ofrecen transparencia, acceso a la luz diurna y conexión con el exterior. Presentan, no obstante, cuestiones energéticas.



Edificio de oficinas con gran acristalamiento.



Parámetros de rendimiento clave: aire, luz y sombra.



Los controles son un medio esencial para mejorar el rendimiento de un edificio en términos de consumo de energía y confort de los ocupantes. Los sistemas de control deben tratar de mantener el rango de temperatura deseado para los ocupantes, el suficiente aire fresco y los niveles y calidad de la luz natural (y artificial) en el edificio. La calefacción, la refrigeración y los sistemas de iluminación, junto con el control y los mecanismos de protección solar, constituyen los sistemas de regulación de la fachada.

Cuatro principios básicos para los sistemas de control son de particular interés cuando se hace referencia a los "sistemas de control":

- Los ocupantes deben ser capaces de cambiar manualmente los controles dentro de los límites establecidos
- El ahorro de energía puede lograrse cuando los sistemas de control aprovechan las condiciones ambientales exteriores antes de cambiar a los modos controlados mecánicamente
- Se centran en la prestación de los niveles de confort requeridos con el consumo de energía más bajo posible
- Durante los períodos de no ocupación, se centran en el ahorro de energía

Un ejemplo de sistemas de regulación de la fachada es el control automático de las protecciones solares.

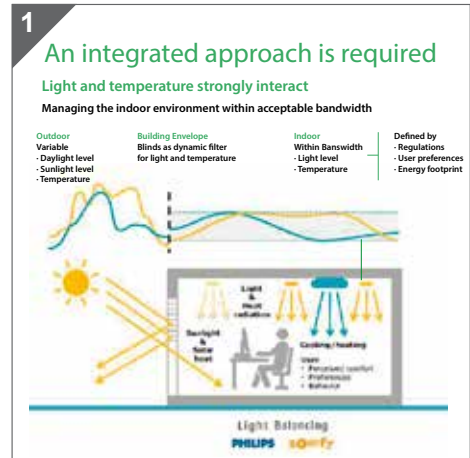
El estudio térmico que se muestra en la figura 2 se llevó a cabo en julio, es decir, durante el periodo de reflexión, en un edificio de oficinas situado en el hemisferio norte. La fachada en cuestión está orientada al sur. Una temperatura de confort térmico se define para las oficinas situadas a lo largo de la fachada.

La línea horizontal indica un valor umbral definido por la capacidad del sistema de refrigeración. Las curvas muestran las cargas sensibles, debido a los aportes solares para diferentes configuraciones del dispositivo de sombreado. Los ángulos denotan la posición de las lamas de las persianas venecianas, con 0° por ser horizontal. Este ejemplo muestra claramente que, para una parte del día, el sistema de refrigeración existente no puede hacer frente a las ganancias de calor solar adicionales. Para ello, es esencial proporcionar protección solar adecuada durante la parte más calurosa del día.

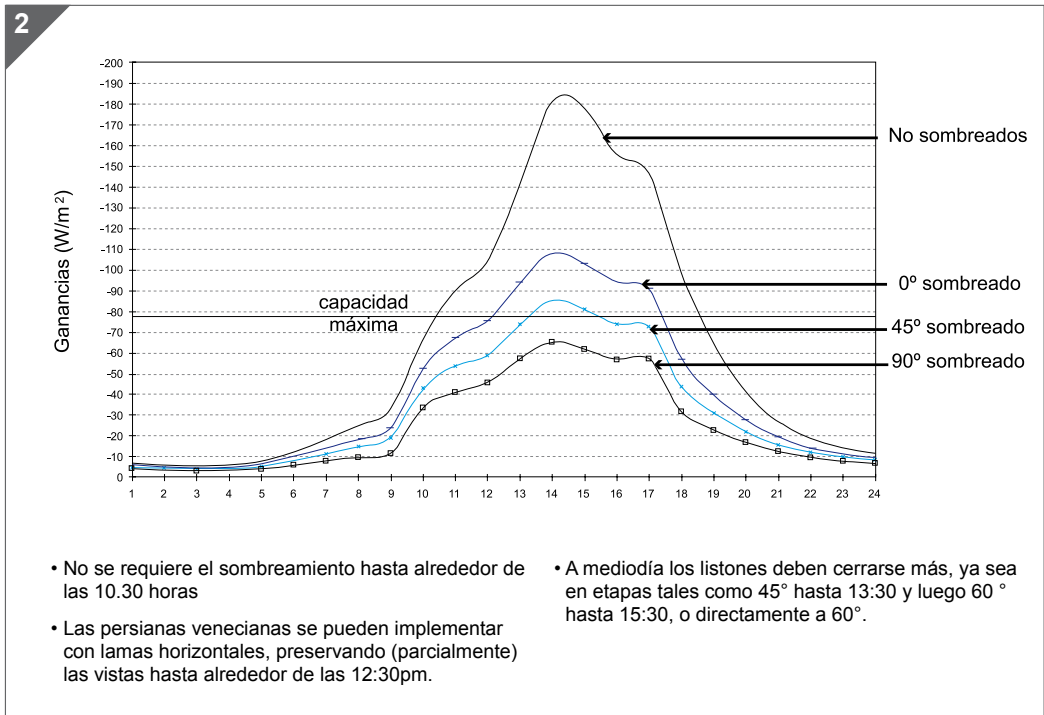
El estudio pone de relieve el hecho de que, mediante el ajuste del ángulo de las lamas en función de la hora del día, los ocupantes son capaces de beneficiarse de una vista hacia el exterior (aunque parcial), con un mismo nivel de confort térmico garantizado durante todo el día.

Los gráficos de este tipo, por lo tanto, pueden proporcionar a los arquitectos datos útiles para elegir la estrategia de control de sombreado, incluyendo la definición de las posiciones de las lamas, los parámetros del sensor y de posicionamiento, etc.

**La calefacción, la refrigeración y los sistemas de iluminación, junto con la protección solar constituyen los sistemas de regulación de la fachada.**



Light Balancing. Philips - Somfy.



Impacto del sombreado automático en el rendimiento del edificio.

Fuente: Harris Poirazis, PhD y Mikkel Kragh, PhD - Arup, Reino Unido.

El sistema de gestión en los edificios o Building Management System (BMS)

Los actuales edificios han ido incorporando cada vez más instalaciones que mejoran la iluminación, climatización, alarmas, control de accesos, control solar, etc. Las instalaciones tienen una parte de cableado eléctrico y otra de cableado BUS o de gestión. Los sistemas de gestión pueden ser de 2 tipos: Abiertos, es decir, pueden interactuar y coordinarse con otros sistemas de otras marcas y Cerrados o Propietarios, que tienen su propio protocolo y actúan de forma autónoma.

Las directivas europeas y españolas ya regulan que en 2020 los edificios serán de Consumo Casi Nulo. Para conseguir este importante reto es necesario que las instalaciones trabajen en equipo para conseguir reducir el consumo, aumentar el ahorro de energía, mejorar el confort térmico y lumínico. Y para conseguir este importante reto la gestión en una instalación es parte fundamental en la arquitectura de las instalaciones de un edificio. Pero si cada una de las instalaciones sólo pudiera gestionarse con su protocolo cerrado ocurriría como en la Torre de Babel: no se podrían integrar con el resto de instalaciones del edificio y cada instalación actuaría de forma independiente duplicando cableado y equipos además de perder eficacia y eficiencia respecto del grupo. Todas las instalaciones deben tener el mismo protocolo o idioma para poder comunicarse y coordinarse entre las diferentes instalaciones.

### **¿Qué es necesario incorporar en los edificios nuevos o reformados para la gestión de las instalaciones?**

Para conseguirlo es necesario un *Mayordomo* en el edificio. Una persona que ni limpia ni cocina, pero ordena cuando se cocina y se limpia para conseguir que los usuarios tengan las comodidades con una eficiencia y óptimo coste. En los edificios es igual: los sistemas de gestión generales integran las instalaciones optimizando sus recursos en función de las necesidades del edificio.

Hay 2 tipos de *Mayordomos*: KNX y LON.

El sistema europeo KNX para edificios de hasta 10.000 m<sup>2</sup> es muy flexible, y el sistema LON es para grandes edificios de más de 10.000 m<sup>2</sup> y más estructurado. Ambos sistemas son abiertos y permiten que cada una de las instalaciones actúe de forma coordinada e integrada. Ejemplo: el mismo sensor de presencia es válido para iluminación, alarmas y control solar. Y sólo es necesario un sensor para 3 instalaciones. Si el sistema es cerrado o con un protocolo propietario de una sola marca harán falta 3 sensores, con su correspondiente instalación de cable, pero sin la gestión de integración entre las 3 instalaciones.

De ahí la importancia de fijar o proponer el *Mayordomo* al principio del proyecto para que cada una de las posibles marcas que intervendrán en el edificio sean compatibles y se vaya realizando el proyecto de integración. Cada instalación debería especificar qué funciones realiza para evitar duplicidades y que sea el integrador del proyecto con los requerimientos de la propiedad y arquitectura quien pueda fijar las funciones de cada instalación. Una vez fijado el *Mayordomo* KNX o LON, se realiza el proyecto de integración para que las instalaciones puedan estar coordinadas para conseguir un edificio de consumo casi nulo mejorando los parámetros de confort térmico y lumínico además del respeto por el medio ambiente.

La Fachada Dinámica Somfy tiene el sistema de gestión Animeo. El sistema Animeo es un protocolo abierto que proporciona una amplia variedad de funcionalidades de control solar automático con equipos y controladores compatibles con los protocolos de KNX y LON. Es decir, la integración es directa debido a que no hay pasarelas.



Esquema del sistema integrador de un edificio.

2

selección de gama animeo

tamaño del edificio	Tecnología propia				Estándares abiertos	
	IB	IB+	IP/lo	IP/RS485	KNX	LON
Grande						
Mediano						
Pequeño						
Número de operadores	1 - 800	1 - 6400	0 - 200	0 - 2000	> 2400	> 6400
Número de zonas	1 - 2	1 - 16	sin límite	sin límite	> 16	> 16

Opciones de gestión según la superficie del edificio.

Los nuevos edificios basados en la Directriz Europea 2010/31/UE tienen un objetivo muy claro: “El edificio debe generar toda la energía necesaria para su funcionamiento” (figura 1). En Europa los estudios de arquitectura ya están trabajando en un proyecto de energía denominado Nearly Zero Energy Building, nZEB o Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN) (figura 1 y 2) tanto en los edificios nuevos como rehabilitados. El nZEB es un proyecto que incluye de forma global el proyecto energético en el ámbito de la sostenibilidad, eficiencia energética, ecología, certificación energética, ISO 14.001 y 50.001, etc. unificando todos los conceptos en un “único” proyecto energético para conseguir que la arquitectura “integre la energía” como parte del diseño desde la fase inicial del proyecto hasta su derribo. (De la cuna a la tumba).

Los edificios deben seguir un orden para ser rehabilitados energéticamente:

- Reducir la demanda y limitar el consumo.
- Gestionar y coordinar todas las instalaciones.
- Incorporar las energías renovables.
- Almacenar, vender la energía sobrante.

En Europa la energía ya es un valor añadido y diferencial en los nuevos proyectos arquitectónicos con el respaldo de la Directiva Europea 2010/31/UE donde exige que los edificios sean “de consumo casi nulo” para el 2020. Los edificios deberán dar una respuesta energética óptima en tiempo real a las necesidades del usuario en función de las condiciones climáticas externas mediante la utilización de la tecnología que optimiza y combina los sistemas innovadores y soluciones tradicionales.

Con la aprobación en septiembre de 2013 del nuevo código técnico de la edificación y DB HE los nuevos edificios de oficinas deberán tener calificación energética B para uso de oficina o terciario con consumos entre 50-70 kWh/m<sup>2</sup>. Para conseguir ese objetivo las fachadas deberán ser el primer control energético del edificio aportando confort lumínico, térmico, acústico, seguridad y ahorro energético. Siempre podemos mejorar las fachadas para conseguir los Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN).

La fachada tradicional siempre ha tenido diferentes y variados filtros que proporcionaban un nivel personalizado de intimidad y privacidad, tamizando y ajustando la intensidad de la luz natural. Todas estas necesidades de los usuarios se realizaban con cortinas, persianas, porticones, toldos y otros elementos de protección solar que permitían un control solar dentro de la arquitectura del sur de Europa.

Resumen de los aspectos fundamentales que los edificios nuevos o rehabilitados deberían aportar:

**La calidad de vida de las personas que utilizan los edificios:**

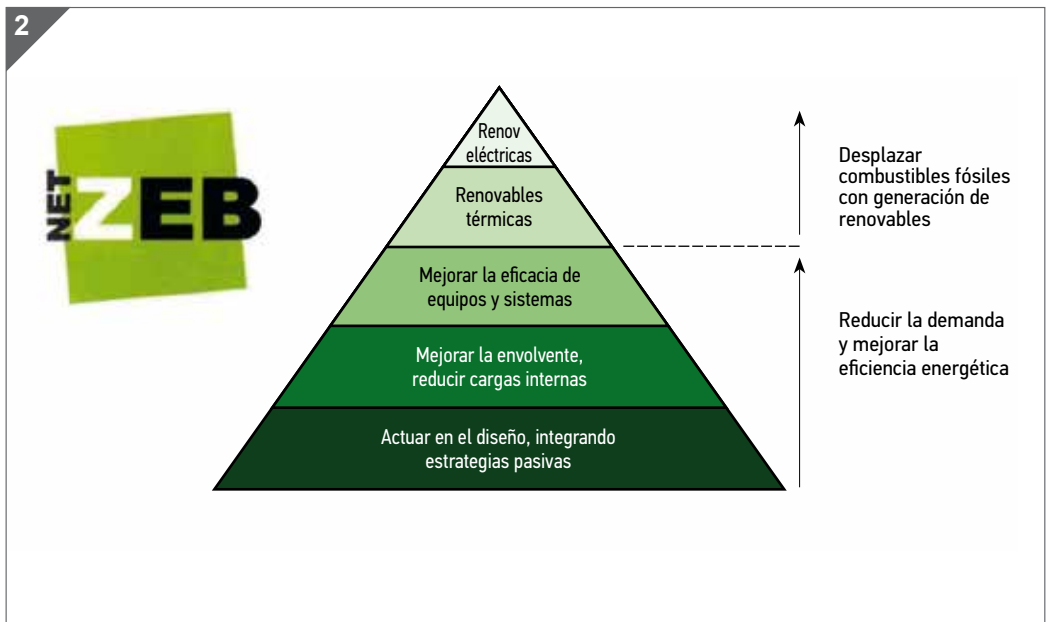
- Confort térmico (evitar contrastes de radiación solar directa y flujo de aire acondicionado)
- Confort lumínico (luz natural y evitar deslumbramientos)
- Confort acústico
- Privacidad e intimidad
- Espacios saludables

**En el ámbito general de la edificación como son:**

- Calificación energética. (Mínimo letra B en edificios terciarios)
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Reducción del consumo de energía. (50-70 kWh/m<sup>2</sup>)
- Mejorar la huella de carbono (de la cuna a la tumba)
- DAP (Documento Medioambiental de Producto) o EPD (Environment Product Declaration) o versión nacional donde se certifica la sostenibilidad de cada producto utilizado en el edificio.



Hoja de ruta en edificios de consumo casi nulo (EECN).



nZEB. Nearly Zero Energy Building.

El factor solar modificado en el hueco  $F_H$  o en el lucernario  $F_L$  se determinará utilizando la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [(1-F_M) \cdot g^{\perp} + F_M \cdot 0,004 \cdot U_m] \quad (\text{CTE. DA-DB HE1. E.11})$$

Siendo

- **F<sub>s</sub>**: el factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas E.11 a E.15 en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. En caso de que no se justifique adecuadamente el valor de  $F_s$  se debe considerar igual a la unidad;
- **F<sub>M</sub>**: la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas;
- **g<sup>⊥</sup>**: el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal. El factor solar puede ser obtenido por el método descrito en la norma UNE EN 410:1998;
- **U<sub>m</sub>**: la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/m<sup>2</sup> K];
- la absorptividad del marco obtenida de la tabla E.10 en función de su color

- **Emisividad**: capacidad relativa de una superficie para radiar calor. Los factores de emisividad están entre 0,0 (0%) y 1,0 (100%).

- **Factor de sombra**: es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

- **Factor solar**: es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente.

- **Factor solar modificado**: producto del factor solar por el factor de sombra.

**Ejemplo de cálculo del factor de sombra.** (figura 1) En la tabla siguiente la absorptividad  $a = 0,75$  al ser la carpintería de un color marrón medio y el factor solar de la parte semitransparente del hueco a incidencia normal  $g = 0,85$ . Procedemos a calcular el factor de sombra de los huecos producido por el obstáculo que crea el retranqueo de la carpintería en referencia a la fachada. También se dispone en sus fachadas orientadas en este caso al sudoeste (SE), ya que afecta directamente, de ahí que la fachada con orientación norte no se tenga en consideración por su nula incidencia solar directa.

Los rayos del sol pasan a través de las zonas vidrio directamente hacia las salas interiores y también se acumulan en forma de calor en las partes sólidas del edificio. La protección solar exterior tiene la función de controlar el exceso de radiación solar y también evitar el deslumbramiento de las zonas de trabajo optimizando la luz natural. Con la opción de colocar en las nuevas ventanas el triple vidrio (en Alemania es obligatorio) mejoramos la transmitancia térmica y acústica de la fachada pero el factor solar no mejora. Seguimos teniendo excesiva radiación aunque tengamos triple vidrio, lo que incrementa notablemente el coste de la ventana.

En el cuadro compartivo (figura 2) podemos comparar los diferentes tipos de vidrio (simple, doble o triple) y cómo se puede mejorar el factor solar. Podemos comprobar que el aumento de números de vidrios mejora el aislamiento térmico y acústico pero no mejora el factor solar. Por lo tanto, el vidrio necesita un control solar externo para poder llegar a valores de factor solar por debajo de 0,4%. El valor de un edificio de EECN deberá ser máximo de 0,2%.

**EDIFICIOS DE ENERGIA CASI NULA (EECN)**  
**Código Técnico de la Edificación (CTE. DA-DB HE1. E.2.)**  
 Factor solar modificado de huecos y lucernarios

1

Fachada SE									
Tipo de hueco	Factor de sombra Hueco $F_s$	FM	Factor solar vidrio $g_{\perp}$	Transmitancia térmica $U_m$ (W/m <sup>2</sup> °K)	Absortividad del marco $\alpha$	Factor solar de Hueco $F_H$	Superficie del Hueco $A_h$	$A_h F_h$	Factor solar de Hueco medio $F_{Hm}$
V1	0,6	0,595	0,85	2,380952	0,75	0,23205	1,44	0,33415	
V2	0,6	0,595	0,85	2,380952	0,75	0,23205	1,44	0,33415	
V3	0,74	0,44071	0,85	2,380952	0,75	0,37509	1,88	0,63014	
V4	0,82	0,40224	0,85	2,380952	0,75	0,4402	1,96	0,86278	
V8	0,82	0,40224	0,85	2,380952	0,75	0,4402	3,92	1,72557	
V9	0,79	0,35187	0,85	2,380952	0,75	0,45507	15,12	6,8807	
V10	0,81	0,16102	0,85	2,380952	0,75	0,58695	5,28	3,09911	
P1	0,9	0,2994	0,85	2,380952	0,75	0,55521	3,75	2,08202	
P2	0,81	0,32319	0,85	2,380952	0,75	0,48468	2,16	1,04691	
							36,75	16,9955	0,4625

Ejemplo de fachada SE. Cuadro con el cálculo del factor solar modificado.

2

ALBERTO LOPEZ  
ARQ. 12.12.12

**VIDRIOS** →  $F_{SHIN} = 0,4$  \*

TIPO	$V$ TRANS. TERM.	Factor solar $F_s$	$T_L$	$D_b$ $A_{usb}$	$D_b$
SIMPLE	5,8	0,86	0,9	29	
DOBLE	2,9	0,76	0,81	35	
TRIPLE	0,6	0,60	0,78	45	
IDEAL	0	0	1	60-70	

Comparativa de los diferentes tipos de vidrios y su mejora en el factor solar modificado.



En el diseño de las ventanas son datos fundamentales los tamaños de apertura (relación del área de ventana y el área de la superficie), también la orientación y ubicación dependiendo de cada región climática, así como los componentes de la ventana y el control solar. El rendimiento térmico mejora si las ventanas tienen mejores propiedades que van asociadas a los coeficientes de transmitancia térmica, U, factor solar modificado Fs y transmisión lumínica TL.

En resumen, las ventanas con control y protección solar deben cumplir según el Código Técnico de la Edificación con 3 coeficientes para mejorar los valores de los nuevos EECN (figura 1):

**U: Transmitancia térmica:** cantidad de calor o frío que entra por el hueco de la fachada. 1,5 a 2 W / m<sup>2</sup> °K. (Valor nZEB: 1,4 a 1,6 W / m<sup>2</sup> °K.)  
Elementos por orden de importancia: Vidrio + Carpintería + Protección solar

**F: Factor solar modificado:** cantidad de radiación solar que entra por el hueco de la fachada. 0 a 1% (Valor nZEB: 0,1 a 0,2%)  
Elementos por orden de importancia: Protección solar + Vidrio

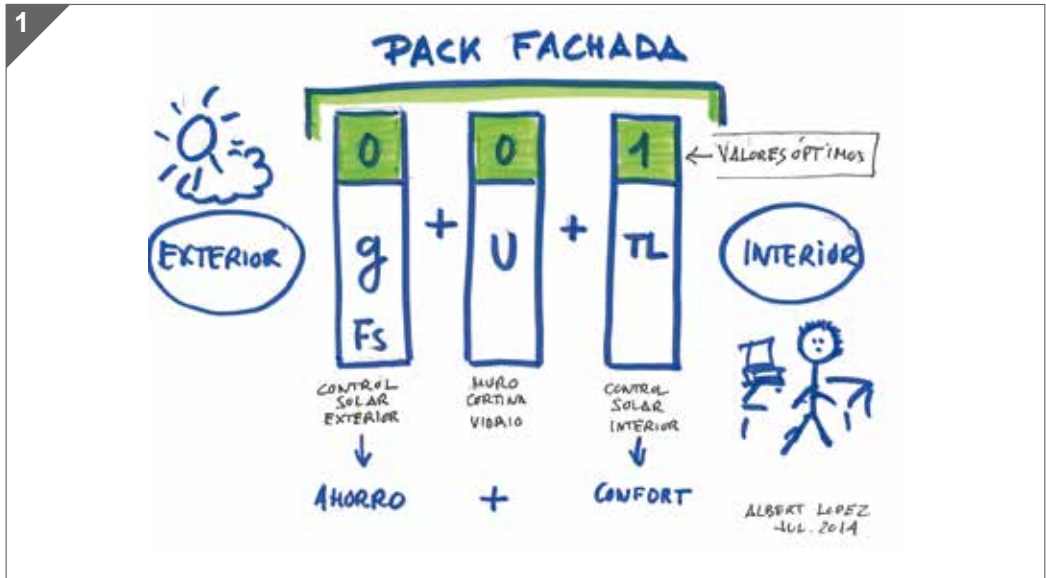
**TL: Transmitancia lumínica:** cantidad de luz natural que entra por el hueco de la fachada. 0 a 100% (Valor nZEB: 90 a 100%)  
Elementos por orden de importancia: Vidrio + Protección solar

Una premisa básica: si no se calienta el interior del edificio no es necesario enfriarlo. Enfriar una sala es 3 veces más costoso, tanto energética como económicamente, que calentarla. El control de la radiación solar es fundamental para el ahorro además de la importancia de evitar la radiación solar con un factor solar bajo. En este caso, a medida que disminuye el factor solar la demanda de refrigeración disminuye. Si se representa mediante un ajuste por mínimos cuadrados la demanda energética total respecto al factor solar obtenemos la siguiente gráfica. (figura 2)

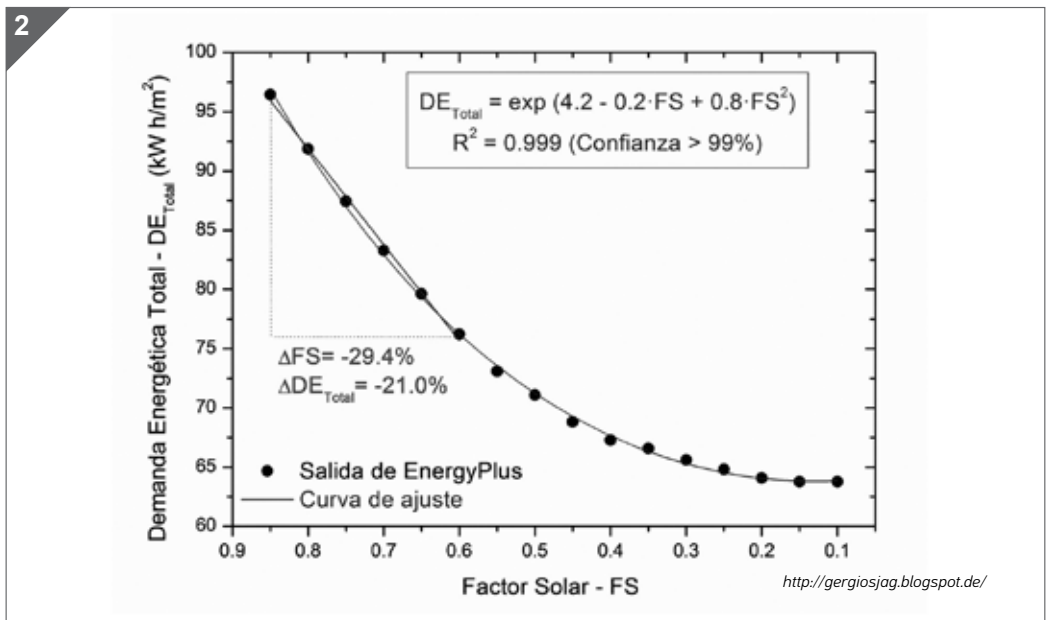
Se observa que la demanda total de energía y el factor solar de los cristales, presentan una fuerte correlación exponencial de segundo orden. Para valores altos del factor solar (entre 0,85 y 0,6) hay una correspondencia lineal por lo que una disminución del 30% del factor solar implica una disminución del 21% de la demanda energética del edificio. Mientras que para valores inferiores del factor solar la demanda se reduce muy poco; por tanto, será preferible utilizar control solar externo que proporciona sombra, que seguir disminuyendo el factor solar del propio vidrio. Si un cristal debe reducir el factor solar y dejar pasar la luz natural, éste es un equilibrio complicado, debido a que si deja pasar la luz natural con un TL sobre el 90%, el factor solar no superará el 50%. Por lo tanto, tendremos mucha radiación solar en el interior de la sala. Y si aumentamos el factor solar hasta el 30%, deberemos oscurecer el vidrio reduciendo la luz natural y cambiando la temperatura de color. Con el control solar conjuntamente con el vidrio podemos conseguir un valor de factor solar externo de 0,1 sin alterar la luz natural.

El CE3X es un programa de cálculo reconocido para la Certificación Energética de Edificios Nuevos, Pequeño Terciario y Existentes". El programa es propiedad de IDAE y su distribución es gratuita. La versión actual es CE3Xv2.3. Mediante este programa se puede certificar energéticamente de una forma simplificada cualquier tipo de edificio: residencial, pequeño terciario o gran terciario, pudiéndose obtener cualquier calificación desde "A" hasta "G" según los requisitos indicados en las secciones HE0 y HE1 del CTE.

El Complemento de SOMFY ya está disponible y adaptado a la versión 2.3 del CE3X que permite calcular el ahorro energético del control solar automático en las fachadas en la web de SOMFY o EFINOVATIC.



3 elementos fundamentales de la fachada a nivel energético.



Relación entre el factor solar y el ahorro energético en consumo de refrigeración.

Las protecciones solares son todos aquellos sistemas capaces de controlar y optimizar la entrada de la radiación solar e iluminación natural en los edificios. Esta solución está complementada con el vidrio y la carpintería. El control y protección solar están integrados en la fachada con la arquitectura del edificio adaptándose a la climatología y entorno urbanístico de la zona. El control solar también puede integrarse con el resto de sistemas de iluminación, climatización, etc. para conseguir un sistema conjunto de gestión en el edificio.

En la fachada se puede situar la protección solar en:

- Exterior.
- Intermedia o fachada dinámica ventilada. (Sólo rehabilitación integral)
- Interior.

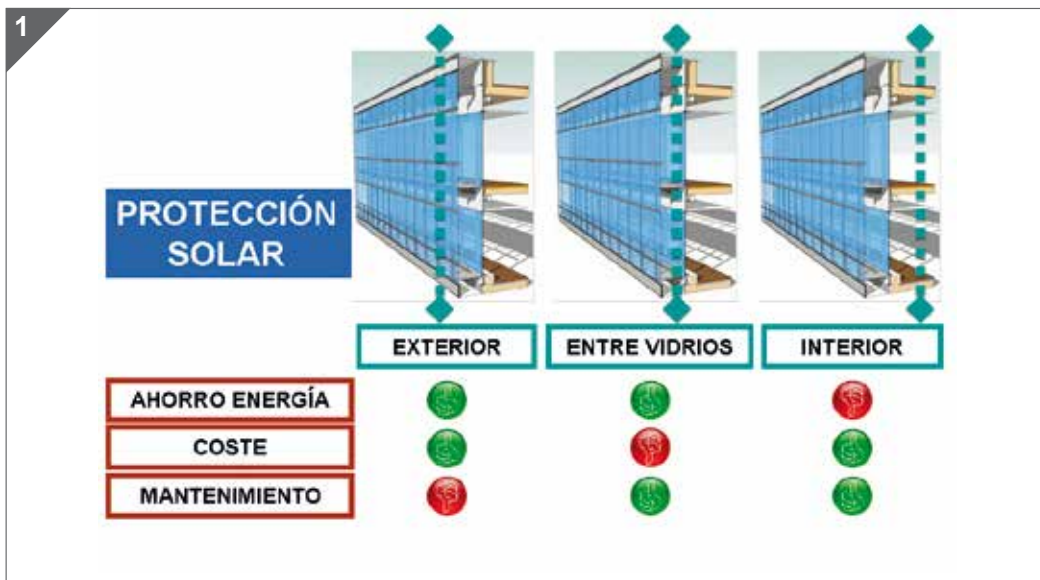
La situación de la protección solar (figura 1) es fundamental para conseguir los objetivos de ahorro energético, coste y mantenimiento. Adjuntamos un cuadro con las ventajas y desventajas de la protección solar en función de la situación en la fachada. Cuanto más exterior es su posición más ahorro energético tendremos. Adjuntamos la imagen con la comparativa de ahorro energético, coste y mantenimiento en función de la situación.

Cuando no podemos poner control solar exterior debido a que la envolvente es un muro cortina perfectamente liso o edificio catalogado existe la opción de actuar por el interior de la fachada. Los nuevos tejidos interiores de doble color ofrecen una óptima protección térmica y lumínica evitando los excesos de deslumbramiento en los interiores de los edificios. La cara del tejido de color blanco en la zona del vidrio y la cara de color oscuro en la zona de la oficina proporciona que la cara blanca del tejido que se encuentra más cercana al cristal refleje hacia el exterior parte de esa radiación y que el resto del calor que se acumula entre el tejido y vidrio pueda ser conducido hacia el retorno de climatización situado en el falso techo o suelo. Es necesario un espacio entre el tejido y el vidrio para disipar el calor absorbido. Esta mejora térmica y lumínica se optimiza con el color oscuro del tejido situado en la cara más cercana a la oficina lo que proporciona confort lumínico (no deslumbra) y deja ver parcialmente la vista a través del tejido. También ayuda bajar la temperatura interior entre 2-3°C ahorrando sobre todo en refrigeración. Además con esta solución podemos recuperar esos 2 metros de perímetro en los que en muchas oficinas no se puede trabajar debido a la radiación solar intensa cerca del vidrio perimetral de fachada. (figura 2)

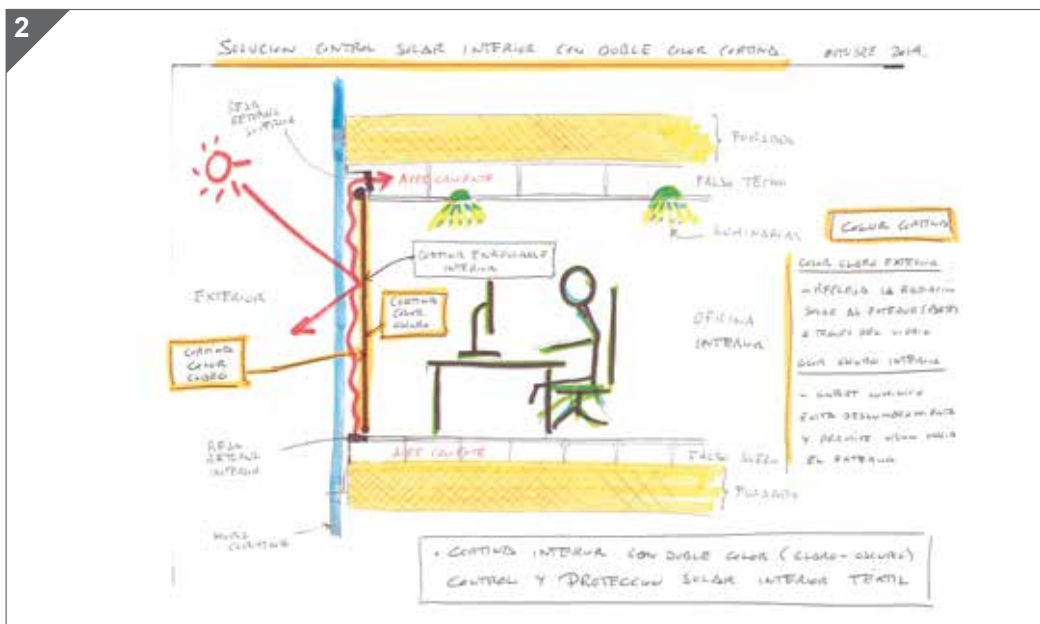
Las protecciones solares móviles tienen diferentes materiales y acabados para dar una respuesta a cada una de las necesidades de los usuarios. En las protecciones solares exteriores el color tiene una importancia fundamental para el ahorro energético y también para el control térmico y lumínico del edificio.

- En la protección solar con lama de aluminio, es preferible el color claro y metálico para mejorar la reflexión de la radiación solar y evitar la entrada del calor dentro del edificio.
- En la protección solar textil, el color recomendable para el exterior es el color oscuro debido a que un textil color oscuro absorbe el 96% de la radiación solar. Con textil color blanco se bloquea sólo el 79% de la radiación solar. El color oscuro es un 17% más eficiente en la absorción de radiación solar, y además el color claro tiene un efecto amplificador de la luminosidad que favorece el deslumbramiento del interior de la sala.

Las protecciones solares de las fachadas y los sistemas de control solar integrados son piezas indispensables para conseguir edificios de consumo cero conjuntamente con una racionalidad del uso del edificio y un programa de mantenimiento.



La situación de la protección solar en la fachada.



Opción de control solar automático con tejido técnico en el interior del edificio.

El programa CE3X se utiliza para la elaboración del certificado energético de viviendas e inmuebles en base al Código Técnico de la Edificación. Es un programa informático creado para calcular la calificación energética de un edificio de manera simplificada. CE3X es un programa reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y de Fomento y su distribución es gratuita desde la web del (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Actualmente es el programa para el cálculo de la certificación energética de cualquier edificio, tanto nuevo como existente, más utilizado por los técnicos certificadores y obligatorio como documento contractual en la venta o alquiler de edificios en España. (Figura 1)

El complemento Somfy permite incluir el control solar automático en el cálculo de la calificación energética en edificios nuevos y para reformar, además de las posibles soluciones que se pueden adoptar en la rehabilitación. El complemento Somfy es compatible con la versión actual del CE3x, nos permite incluir diferentes soluciones de protección solar motorizada, tanto interior como exterior que, gestionándola de forma automática, aportan una reducción del consumo energético de los sistemas de climatización e iluminación y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Al seleccionar una de las opciones de protección solar (exterior o interior) se estimará la inversión necesaria, el ahorro energético y económico anual, dando como resultado una mejora en la certificación energética de la vivienda implementándolo como una medida de mejora en la propuesta como edificación existente o como solución existente en un proyecto de obra nueva. Además, el técnico podrá emitir un informe complementario con toda la información de las soluciones para entregar al propietario del inmueble. (Figura 2)

Con el complemento Somfy se pueden calcular los ahorros energéticos y mejora de la calificación energética de los edificios nuevos y existentes. En el informe oficial generado por la certificación energética ya se incluyen las soluciones de control solar automático Somfy con un coste aproximado y descripción detallada de los equipos para su implementación. Ya se puede instalar el complemento Somfy desde abril de 2018 en el programa oficial del Ministerio de Industria y Energía (CE3X) de forma gratuita desde el siguiente enlace: <https://www.efinovatic.es/complementos/somfy/>



El complemento Somfy es compatible con la versión actual del CE3X y se descarga desde el propio programa.

2

Selección del complemento Somfy

Medida de mejora	Dde Cil.	Dde Ref.	Emis. Cil.	Emis. Ref.	Emis. ACS	Emis. Globales	Ahorro
CASO BASE	1.44	38.8 P	0.8 A	6.4 D	8.4 D	35.4 D	-
Control Solar Somfy	1.44	38.8 P	0.8 A	3.0 B	1.1 G	12.9 D	21.2%

El técnico podrá emitir un informe complementario con toda la información de las soluciones del control solar automático para entregar al propietario del inmueble.

Los sistemas de control solar móviles pueden mejorar aún más su eficiencia para conseguir un edificio nZEB. Con un sistema automático, aunque la casa o edificio no esté ocupado, la protección solar siempre estará en la posición óptima de ahorro energético, o si está ocupado en la posición de confort térmico y lumínico. El control solar móvil se puede ajustar de acuerdo a la posición del sol o las necesidades de los ocupantes.

Los aleros, salientes, voladizo son protecciones solares fijas que funcionan bien en verano. Pero en invierno necesitamos más luz natural interior y estas protecciones solares fijas nos penalizan la entrada de luz natural. El control automático (figura 1) proporciona en cada momento el control de la radiación solar y prioriza la entrada de luz natural con un factor solar constante todo el año (365 días) de entre 0,1 y 0,2%.

Para la instalación de un sistema de control solar automático sólo es necesario conducir la corriente eléctrica de 230V desde el motor a la caja de derivación eléctrica. El sensor y mandos son equipos que se conectan sin cables o vía radiofrecuencia. (figura 2)

El control solar automático de las protecciones solares está formado por sólo 3 elementos: protecciones solares motorizadas, sensores y mandos a distancia:

- **Motores.** Los motores son los operadores eléctricos que proporcionan el movimiento a las protecciones solares. Habitualmente van insertados dentro del tubo o eje de enrollamiento de la persiana o cortina y por tanto su instalación no implica ninguna alteración estética del hueco de fachada.

- **Sensores** Dispositivo que "lee" las condiciones ambientales, tales como, intensidad de luz, temperatura, etc., porque las protecciones solares actuarán en consecuencia según la programación prefijada. Los sensores más habituales pueden ser de sol, viento, temperatura interior y de presencia.

- **Mando a distancia o Smartphone.** Son comandos de gestión que permiten gestionar una instalación de motores con el mando a distancia o desde la pared con pulsador.

El control de la vivienda desde el smartphone o tablet conectado a Internet para mover la casa desde cualquier lugar del mundo. La futura interacción entre usuario y vivienda se realiza mediante el smartphone utilizando las diferentes aplicaciones y sistemas. La nueva generación de móviles permite interactuar en un sistema global denominado "Internet of Things" (IoT). Es un nuevo concepto que permite controlar desde la nube (iCloud) y con un único móvil todo lo que esté conectado. Pasaremos de la conexión bidireccional (móvil – vivienda) a la conexión en nube debido a que la información está accesible desde el móvil, vivienda, coche, trabajo o cualquier dispositivo con acceso a internet.

**1**

**Confort visual y térmico**

**Usuario controla de forma local la protección solar**

**Protección solar automática**

**El sistema controla de forma automática la protección solar**

Control automático del control solar.

**2**

**PRE – INSTALACIÓN PERSIANA MOTORIZADA CON SENSOR Y MANDO**

- 1 PERSIANA**  
Elemento de protección solar incorporado a la ventana. Para motorizar la persiana es necesario una estructura mínima de fuste de persiana de 40cm.
- 2 MOTOR**  
Operador eléctrico de forma tubular dentro del eje y que permite el enrollamiento automático de la persiana.
- 3 TUBO CORRUGADO**  
Elemento a prueba de PVC para la conducción y protección del cableado eléctrico. Diámetro de 10mm.
- 4 CAJA DE DERIVACIÓN ELÉCTRICA 230V. AC**  
Elemento empotrado o de superficie existente (ubicados en pared) que contiene las derivaciones eléctricas.
- 5 TAHOMA**  
Dispositivo que se conecta al router de internet y a la corriente eléctrica (230V) para la gestión de la persiana a través del Smartphone. (10x10 cm)
- 6 MÓVIL SMARTPHONE**  
Dispositivo móvil con el que controlamos nuestra casa (ejemplo: subir o bajar las persianas)
- 7 SENSOR**  
Dispositivo no cableado que mide la luz y la temperatura. y actúa de forma automática subiendo y bajando las persianas. (5x5 cm)

Para que el usuario pueda controlar sus persianas desde cualquier lugar del mundo, únicamente es necesario instalar un **motor** (1) y conectarlo a la **caja de derivación eléctrica 230V** (4). Una vez instalado, a través del dispositivo **TaHoma** y de su APP (5), de descarga gratuita, ya se podrá controlar y gestionar desde el **Smartphone** (6).

**OPCIÓN LOCAL:** Únicamente se controlan las persianas desde el interior de la vivienda y a través de un mando local.

**5 MANDO A DISTANCIA**  
Dispositivo que se comunica por radiofrecuencia con el motor para ejecutar las funciones de subida y bajada que le ordena el usuario.

Pre-instalación de sistema automático del control solar.



### **Luz natural**

La luz juega un papel vital en nuestra vida. Ilumina nuestro entorno, levanta nuestro ánimo, aporta energía adicional e incluso equilibra nuestro organismo biológico. La luz natural es fundamental en nuestro hogar y lugar de trabajo. La tendencia en el diseño de Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN) o Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) es crear espacios sostenibles que aporten calidad de vida sin desperdiciar recursos. Las personas prefieren trabajar en espacios iluminados con luz natural con vistas al exterior para mantenerse en contacto con el entorno. La luz natural es una fuente de iluminación totalmente gratuita, pero también tiene sus desventajas debido a que la radiación solar puede provocar reflejos no deseados en las pantallas de ordenador además de incrementar el deslumbramiento por excesiva iluminación, y también aumentar las temperaturas que reducen los niveles de confort.

Los sistemas de control y protección solar son todos aquellos sistemas capaces de controlar y aprovechar de forma óptima la entrada de la radiación solar y de la luz natural. En verano se bloquea la radiación solar para ahorrar en el consumo de energía necesaria para la refrigeración y en invierno se aprovecha la energía gratuita del sol para ahorrar en calefacción. El control solar es un factor esencial para el confort térmico y lumínico del edificio o vivienda.

La radiación solar tiene una incidencia notable en la transmisión lumínica. La transmisión lumínica es la cantidad de luz natural que pasa a través del vidrio. Por tanto, el objetivo es optimizar la luz natural con la mínima radiación solar para evitar el sobrecalentamiento de la sala. El vidrio requiere un control con protección solar externo o interno para poder garantizar un factor solar y transmisión lumínica óptimas. (figura 1)

En verano, la oficina está inundada de luz y de calor generados por la incidencia excesiva de la radiación solar en el interior del edificio. La consecuencia es el notable aumento de la temperatura ambiental de hasta 9°C respecto de una estancia en sombra. No sólo durante los meses de verano hay un aumento de las temperaturas; también empieza ya en primavera y se alarga durante parte del otoño. Para mantener el edificio en unas condiciones óptimas de luz natural y temperatura pero evitando la radiación excesiva necesitamos un control solar mediante protecciones solares (laminas, persianas, toldos, cortinas, etc.) que actúen como un filtro dinámico para conseguir la luz natural óptima y reducir la radiación para bajar la temperatura interior. Controlando y gestionando las laminas o persianas se controla la radiación solar dejando sólo pasar la luz natural que necesitamos. La iluminación artificial sólo será necesaria cuando la luz natural ya no sea suficiente y se irá incrementando de forma automática. También el sistema de climatización se regulará en función de la temperatura, manteniendo los niveles de luz y temperatura en equilibrio.



La luz natural controlada de forma automática por el control solar.

### Control del deslumbramiento

Conseguir un buen confort lumínico con una luminosidad óptima para el uso de la estancia es fundamental para poder trabajar, descansar o realizar otro tipo de tareas. Cada uso requiere diferente luminosidad en el plano o mesa de trabajo, siendo 200 luxes el mínimo y 2.000 luxes el máximo para un quirófano. Entre estos dos valores estará el valor óptimo en función del uso y necesidades del usuario. Consideramos que también en cada hora del día pueden variar las necesidades y por lo tanto el usuario debería poder ajustar la cantidad de luz de forma manual o automática según los requisitos. En realidad, los ojos del observador no perciben la luz que incide sobre una superficie sino la luz que está reflejada en su dirección, cuya medida es conocida con el nombre de luminancia. Las diferencias de luminancias de diferentes superficies u objetos son las que nos permiten distinguir visualmente unos de otros. El nivel de iluminación no es suficiente para asegurar el confort visual de una tarea. Además, es preciso mantener un equilibrio entre la luminancia del objeto y las correspondientes a las diferentes superficies incluidas dentro del campo visual.

Deberían evitarse:

- Luminancias demasiado elevadas producen deslumbramientos.
- Contrastes de luminancia demasiado altos causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos.
- Luminancias demasiado bajas producen ambiente de trabajo monótono y no estimulante.

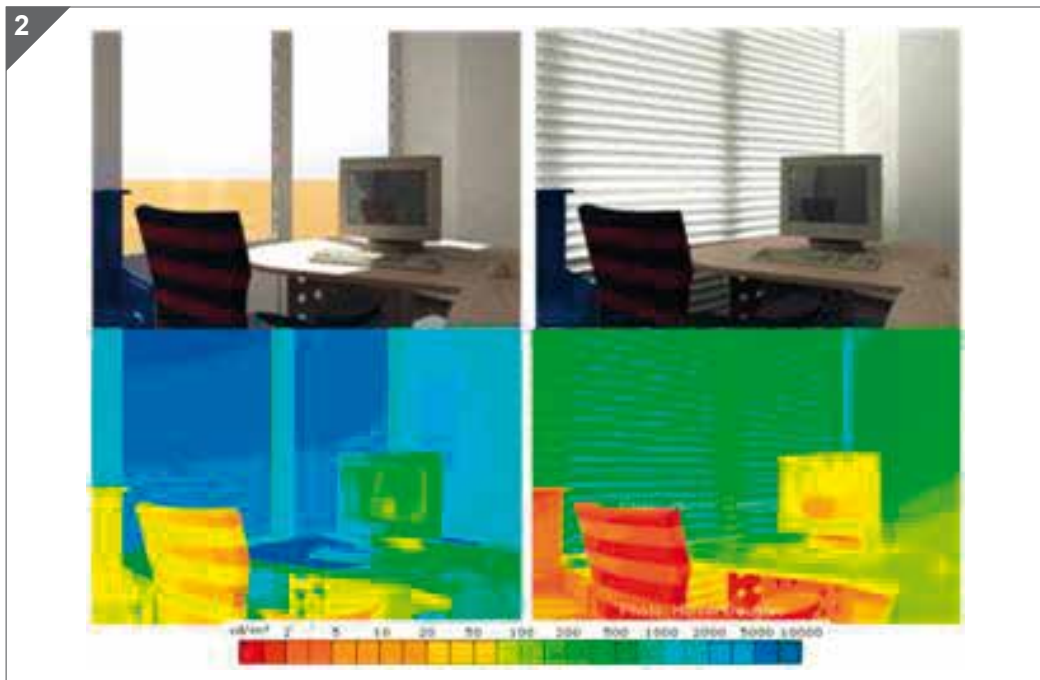
Se consideran aceptables las relaciones entre el plano de trabajo y los alrededores inmediatos recomendadas por la normativa (UNE-EN 12462). El confort lumínico está relacionado con el control del deslumbramiento o excesiva entrada de radiación solar dentro de la estancia. Es tan importante tener luz natural como no tener radiación solar en el lugar de trabajo. Para poder evaluar este factor es importante conocer la regla de distribución del confort visual 1-3-10 recogida en la UNE-EN 12462 (figura 1). Es la proporción de luz que hay que tener en las tres partes fundamentales de una estancia. Es decir, si tenemos 500 luxes en el plano de trabajo, en el ambiente no debería haber más de 1.500 luxes y en el plano de ventana 5.000 luxes. La iluminación del sol sobre un plano de trabajo es de 100.000 luxes. La iluminación se puede medir en varias unidades pero hemos de saber qué dato queremos conseguir para poder dimensionar la iluminación de la estancia. Hay diferentes unidades y cada una de ellas tiene una función para saber el grado de intensidad de la luz que recibimos si es en los ojos o plano de trabajo.

Mesa de trabajo.	Proporción 1.	Ejemplo 500 luxes
Zona de trabajo (Ambiental)	Proporción 3.	Ejemplo 1.500 luxes
Plano de Ventana (Fachada)	Proporción 10.	Ejemplo 5.000 luxes

Respecto a la regla de control de deslumbramiento la empresa Hunter Douglas realizó un estudio donde se puede comprobar la luminancia que reciben nuestros ojos en  $cd/m^2$ . En los lugares de trabajo o en viviendas con ventanas cerca deberíamos controlar la distribución de la luminancia para evitar deslumbramientos y fatigas visuales. Hunter Douglas publicó esta termografía visual donde se puede comprobar la diferencia entre instalar control solar o no instalarlo en las ventanas. Sin control solar podemos llegar hasta las  $10.000 cd/m^2$  y con control solar estamos en  $500 cd/m^2$ . De ahí la importancia de, cuando dispongamos de datos, saber en qué unidades estamos comparando. (figura 2)



Regla 1-3-10 para evitar deslumbramiento y cambios bruscos de niveles de iluminación en la sala.



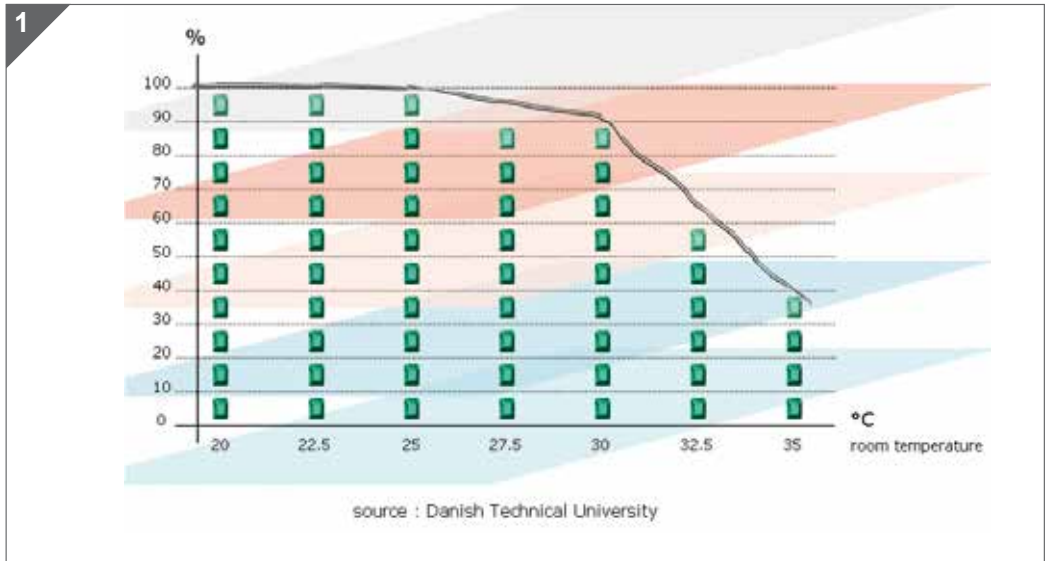
Escáner de intensidad lumínica en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

### **La productividad**

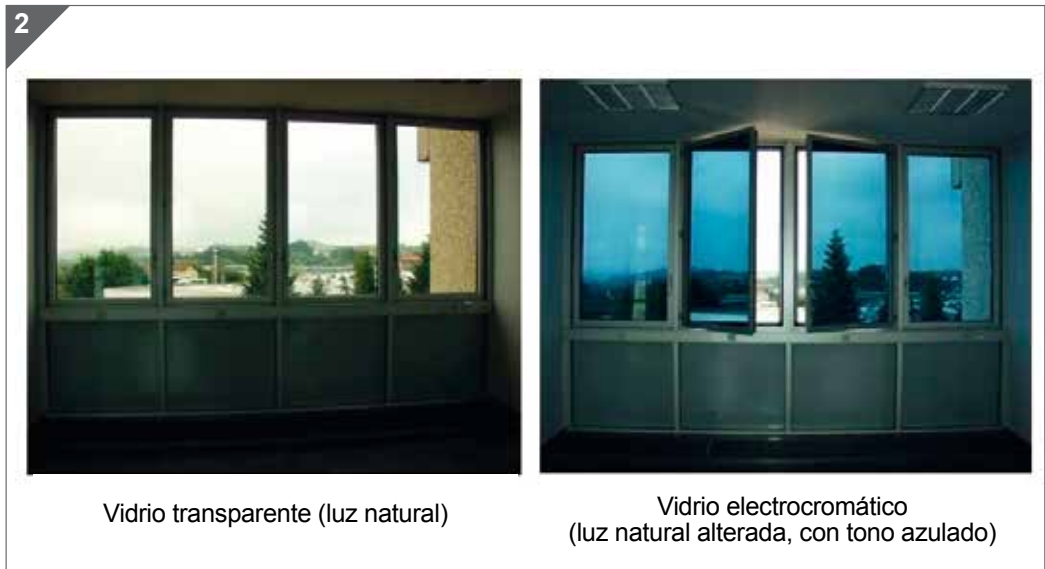
Una mejor iluminación natural mejora el rendimiento, aumenta la circulación sanguínea de los órganos, mejora la concentración e incluso notablemente el estado anímico de las personas. Añadiendo la gestión y los controles automáticos para optimizar la luz natural aún mejoramos más la calidad de vida y el rendimiento de la personas. Según un reciente estudio realizado en la Universidad Northwestern de Chicago (USA), las empresas iluminadas con luz natural cuentan con empleados mucho más activos, que duermen mejor, rinden más y tienen mejor calidad de vida que el resto; consecuentemente, la productividad de estas empresas se ve incrementada. La Danish Technical University realiza una gráfica de la relación entre la temperatura interior y la productividad. A partir de 25°C la productividad comienza a bajar y pasados los 32°C baja hasta un 50% (figura 1). Por lo tanto los edificios deberían mantenerse con una temperatura de entre 21 y 26°C donde está el mayor confort térmico que coincide con el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios) y con la máxima productividad de las personas. La mayoría de las empresas no miden la mejora de la productividad de los empleados en unas condiciones óptimas de confort térmico y luz natural. Las empresas deberían diseñar sus oficinas teniendo en cuenta que los empleados tengan luz natural en el puesto de trabajo para garantizar una actitud activa y positiva en el desempeño de sus funciones y, de la misma forma, mejorar su calidad de vida.

### **Calidad y color de la luz natural**

La European Solar Shading Organisation (ESSO) realizó en mayo de 2015 un informe titulado *Soluciones eficientes de protección solar de alta eficacia en edificios*. Es un estudio del tipo de vidrio, posibilidades de los cristales cromáticos y la alternativa de la fachada dinámica como control solar. La ventana electrocromática, muestra serias desventajas en comparación con el control y protección solar dinámicos. El vidrio tiene unas limitaciones con su rendimiento por lo que hay que intentar respetar las temperaturas y reproducción del color de la luz natural. Los cristales, para mejorar el factor solar, deben incorporar capas intermedias para lograr reducir la radiación solar, pero estas capas limitan la entrada de luz natural además de alterar el color de entrada de la luz natural. El vidrio de color azul o a ventana electrocromática, tienen serias desventajas en comparación con la protección solar dinámica, donde el rendimiento se ve comprometido en el respeto a las temperaturas en superficie del vidrio y la reproducción del color. La protección solar dinámica permite la utilización de cristales transparentes que no alteran el color. A medida que colocamos capas de cristales estos van aumentando el color verdoso del vidrio de ventana. (figura 2) Cuantas más capas de vidrio, más color azul o verde tendrá el color conjunto del vidrio. El color del cristal altera el color de la luz natural que entra en la sala. El impacto de la protección solar en la reproducción de los colores de la luz transmitida permite que no se alteren debido a que varía el aspecto cromático de la luz.



Relación entre la productividad y la temperatura interior.



Diferencia de visión entre vidrios.

El proyecto de rehabilitación energética es una solución de control solar exterior mediante la solución de lama orientable replegada, motorizada y automatizada con un sistema de gestión de la protección solar (La Fachada Dinámica).

El Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra agrupó todos los departamentos en un nuevo edificio reubicando las dispersas oficinas que este departamento tenía en distintos lugares de Pamplona.

El solar tiene forma rectangular y está situado en la C/ González Tablas, nº 9 de Pamplona. El edificio tiene cinco plantas de altura (PB + 4) con una superficie total construida de 6.043 m<sup>2</sup> de oficinas, un aparcamiento subterráneo de 240 plazas vecinales y una zona ajardinada de uso público en pleno centro de la ciudad de 1.500 m<sup>2</sup>. La longitud de las fachadas de las plantas es de 50 x 22 ml. La planta tipo del edificio está distribuida con dos núcleos de comunicación vertical (escaleras y ascensores) en cada lado de la planta y un núcleo de lavabos formando una franja horizontal de servicios en la fachada norte del edificio.

El resto es una distribución estándar de despachos, zonas abiertas de trabajo y salas de reuniones. Todas las salas tienen luz natural en todas sus fachadas ya que el edificio está aislado. El conjunto tiene un alto grado de TL (transmitancia lumínica) permitiendo una gran entrada de luz natural con un alero en voladizo en cada una de las plantas.

La fachada está compuesta por un módulo vertical de 100 mm de anchura con una altura de 275 mm. El grueso de carpintería tiene un grueso total de 28 mm con una distribución de vidrio exterior de 4+4 mm + cámara de aire de 12 mm + vidrio interior de 8 mm.

El actual sistema de gestión del edificio controla las instalaciones de climatización, iluminación y alarmas pero no había ningún sistema de control solar en la fachada. La solución propuesta es implementar el sistema de Fachada Dinámica en la actual fachada minimizando su visión exterior y optimizando su eficiencia energética.

El Gobierno de Navarra en 2011 y después de un año de funcionamiento busca una solución a las reclamaciones enviadas por parte de los usuarios sobre el confort térmico y lumínico en el interior de las oficinas:

- La luminosidad interior es excesiva produciéndose deslumbramientos en las pantallas de ordenador y radiación directa en los puestos de trabajo.
- Si la radiación solar es excesiva, se produce un discomfort lumínico además de incrementar la temperatura interior entre 6-8°C.
- Consumo alto de climatización con picos en los consumos eléctricos debido a que la temperatura interior es muy alta y es necesario toda la máxima potencia de las máquinas de aire acondicionado para reducirla. Y no se consigue.
- Quejas diarias de los usuarios y servicios de limpieza por el calor interior de las oficinas al no poder abrir las ventanas para ventilación.



Fachada Dinámica. Ejemplo de rehabilitación energética con lama orientable motorizada.



Se propone un control solar mediante una fachada dinámica.

Se instalarán por la parte exterior de la carpintería de vidrio unas lamas horizontales orientables-replegables motorizadas y automatizadas. Las lamas se mueven y orientan siguiendo los parámetros de confort fijados por el cliente en el interior de la oficina, que eran 21°C en invierno y 26°C en verano con una iluminación media en la mesa de trabajo de 400 luxes. Dichas lamas están conectadas al sistema de gestión Somfy Animeo que en función de la presencia o no en las oficinas y en función de las condiciones climatológicas exteriores suben, bajan y orientan las lamas en tiempo real para conseguir los parámetros de confort del usuario. La fachada es el primer control energético del edificio que mejora el confort lumínico y térmico de los usuarios al incrementar la iluminación natural reduciendo el consumo de luz artificial y climatización. Con el control solar reducimos el consumo de energía en el edificio y mejoramos el respeto por el medio ambiente contribuyendo a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> para conseguir edificios de Consumo Casi Nulo.

### **Sun Tracking**

Con este sistema se garantiza el aprovechamiento máximo de la luz natural, se controlan los reflejos molestos y se evita la entrada directa de la radiación solar. El sistema permite el control solar del hueco de la fachada mediante el movimiento automático de la protección solar (lama o toldo) en función de la posición del sol y la situación geográfica del edificio. La función Sun Tracking calcula la posición del sol en cada momento con los datos recogidos por el Building Controller que posiciona la protección solar en el punto óptimo para conseguir de forma automática la máxima luz natural en los edificios. El sistema intenta conseguir los 300-500 luxes en caso de una oficina y 21°C en invierno y 26°C en verano con presencia. Cuando el edificio está sin ocupar la protección solar se ubica en la posición de ahorro energético. Todos estos movimientos se realizan de forma automática debido a que una estación meteorológica calcula la temperatura interior y exterior, radiación solar, viento, etc. A partir de la ocupación y las necesidades de confort y ahorro energético la fachada dinámica ofrecerá la mejor opción. Periódicamente la información se verifica y se actualiza la posición de la lama orientable para conseguir la mejor opción de confort y ahorro energético.

### **Shadow Management**

El sistema nos permite el control de las protecciones solares en función de las sombras proyectadas en las fachadas. El sistema de gestión de sombras, Shadow Management, se basa en la modelización del entorno y del propio edificio en 3D, para simular la influencia del sol y sombra en cada una de las ventanas de las diferentes fachadas.

Para realizar el modelo 3D se debe tener en cuenta:

- La arquitectura del edificio.
- La localización geográfica del mismo.
- El número y posición de las ventanas.
- La posición de los edificios próximos.
- La trayectoria del sol por el edificio.
- La información recopilada se traspasa a una base de datos que permite integrarla al sistema de gestión del Edificio BMS (Building Management System).

**1**

### Sun Tracking: función Seguimiento del Sol

Permite optimizar la luz natural mediante una orientación automática de las lamas de las persianas en función del movimiento y altura del Sol.

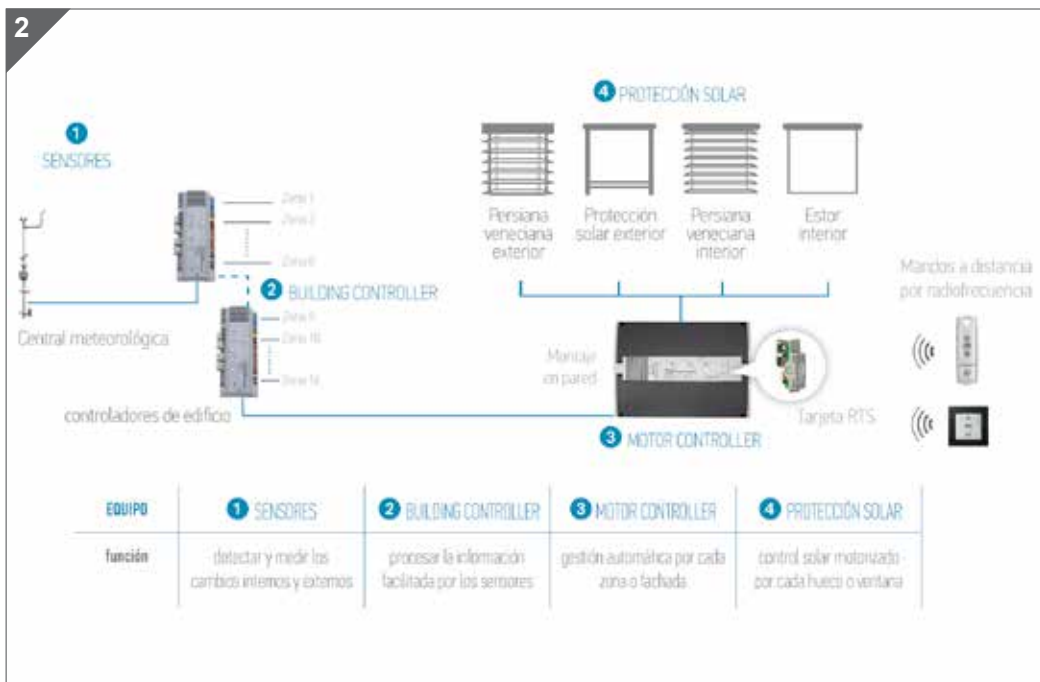


### Shadow Management: función Gestión de sombras

Permite incrementar la luz natural mediante la gestión de las sombras teniendo en cuenta las sombras proyectadas que arrojan tanto los edificios colindantes como el propio edificio en parte de los huecos de la fachada.



Sistemas automáticos de control solar en fachadas: Sun Tracking y Shadow Management.



Sun Tracking en 4 pasos: 1 Sensores. 2. BuCo, 3 MoCo, 4 Protección Solar

Las partes del sistema de gestión son: la estación meteorológica que se instala en la azotea del edificio y que detecta las condiciones climatológicas exteriores (sol, viento, lluvia y temperatura) y conjuntamente con el sensor interior (iluminación y temperatura) de la planta procesa ambas informaciones en el Building Controller (Sistema de gestión del edificio). El Building Controller envía la orden al Motor Controller a partir de la ocupación y las necesidades de confort y ahorro energético. Entonces la fachada dinámica actuará situando la protección solar en la posición óptima. Cada cierto tiempo la información se verifica y se actualiza la posición de la lama orientable para conseguir la mejor opción de confort y ahorro energético.

Desde la instalación de la fachada dinámica se registran 6°C menos de temperatura en el interior del edificio, mejorando el confort del usuario y el ahorro energético en climatización. La mayoría de edificios construidos tienen una envolvente correcta de transmitancia térmica (U) pero deficiente frente a la radiación solar (g o factor solar). Sobre todo las fachadas sur y oeste. El coste de una fachada nueva o carpintería exterior está sobre los 800-900 €/m<sup>2</sup> de superficie de vidrio. La rehabilitación integral de una fachada de carpintería, vidrio y partes opacas puede estar en torno a los 500-600 €/m<sup>2</sup> de superficie de vidrio de en función del grado de actuación. Según las empresas de Facility Management y Empresas de Servicios Energéticos (ESE) es muy costoso reformar las fachadas actuales y su amortización supera los 10 años.

Proponemos no reformar la fachada de forma integral sino añadir o complementar con un control solar (g) exterior, intermedio o interior para reducir el consumo de climatización e iluminación y mejorar el confort visual-térmico.

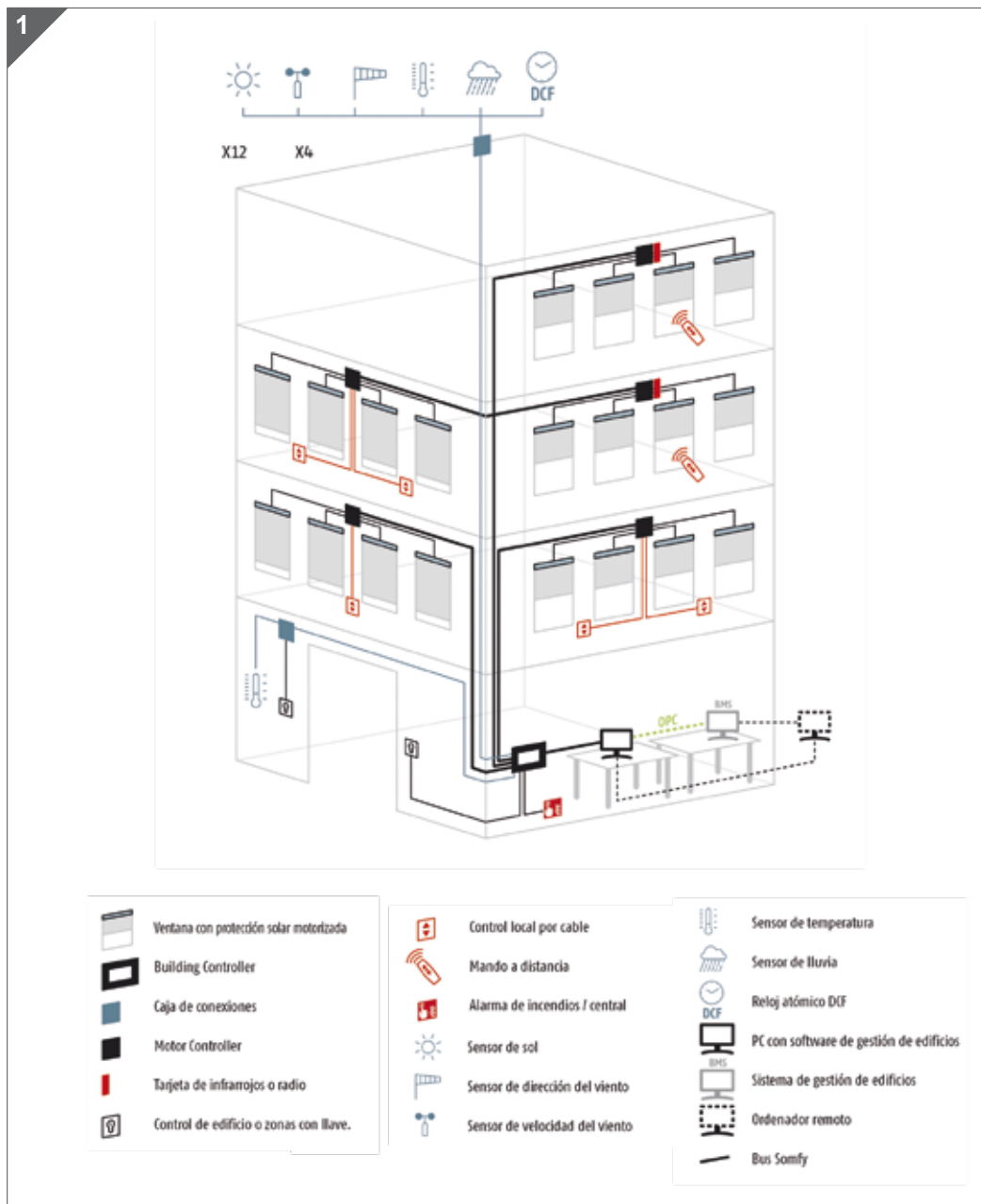
Sistema Gestión Somfy ANIMEO	15 €/m <sup>2</sup> de fachada
Protección Solar	110 €/m <sup>2</sup> de fachada
<b>TOTAL FACHADA DINÁMICA</b>	<b>125 €/m<sup>2</sup> de fachada</b>

Dicho coste es muy interesante ya que tiene retornos de inversión de 3-4 años en fachadas con orientación Sur y Oeste para el actual coste de la energía en 2015.

También hay otros factores, además del ahorro, energético a tener en cuenta como:

- **Confort lumínico**
- **Confort térmico**
- **Sostenibilidad**

El control solar permite una reducción notable del consumo energía y por lo tanto también reducimos las emisiones de gases de CO<sub>2</sub> y el impacto de la huella de carbono. El control solar puede estar integrado con los sistemas de captación de energía sostenible para reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Es el compromiso de respeto por el medio ambiente mejorando la sostenibilidad de la edificación y logrando edificios de Consumo Casi Nulo. EECN.



La Fachada Dinámica. Esquema de funcionamiento.

El sistema Shadow Management es capaz de controlar individualmente cada una de las protecciones solares instaladas en cada ventana en función de las sombras proyectadas en las fachadas del edificio. El sistema de gestión de sombras, Shadow Management, se basa en la modelización del entorno y del propio edificio en 3D, para simular la influencia del sol y sombra en cada una de las ventanas de las diferentes fachadas. La información recopilada, se traspa a una base de datos que nos permite integrarla al sistema de gestión del Edificio BMS (Building Management System).

Garantiza que las sombras arrojadas o proyectadas por los edificios o el mismo edificio no impidan la entrada de luz natural en nuestro edificio. El sistema permite el Control Solar del hueco respecto la sombra que proyecta los edificios próximos (incluso el propio) mediante el movimiento personalizado de la protección solar (lama o toldo) de cada hueco de la fachada. Dependiendo de la hora del día, época del año y de su localización, Un edificio puede verse afectado por las sombras que se le proyectan, ya sean por las edificaciones o estructuras colindantes, el propio edificio e incluso, elementos naturales, montañas.

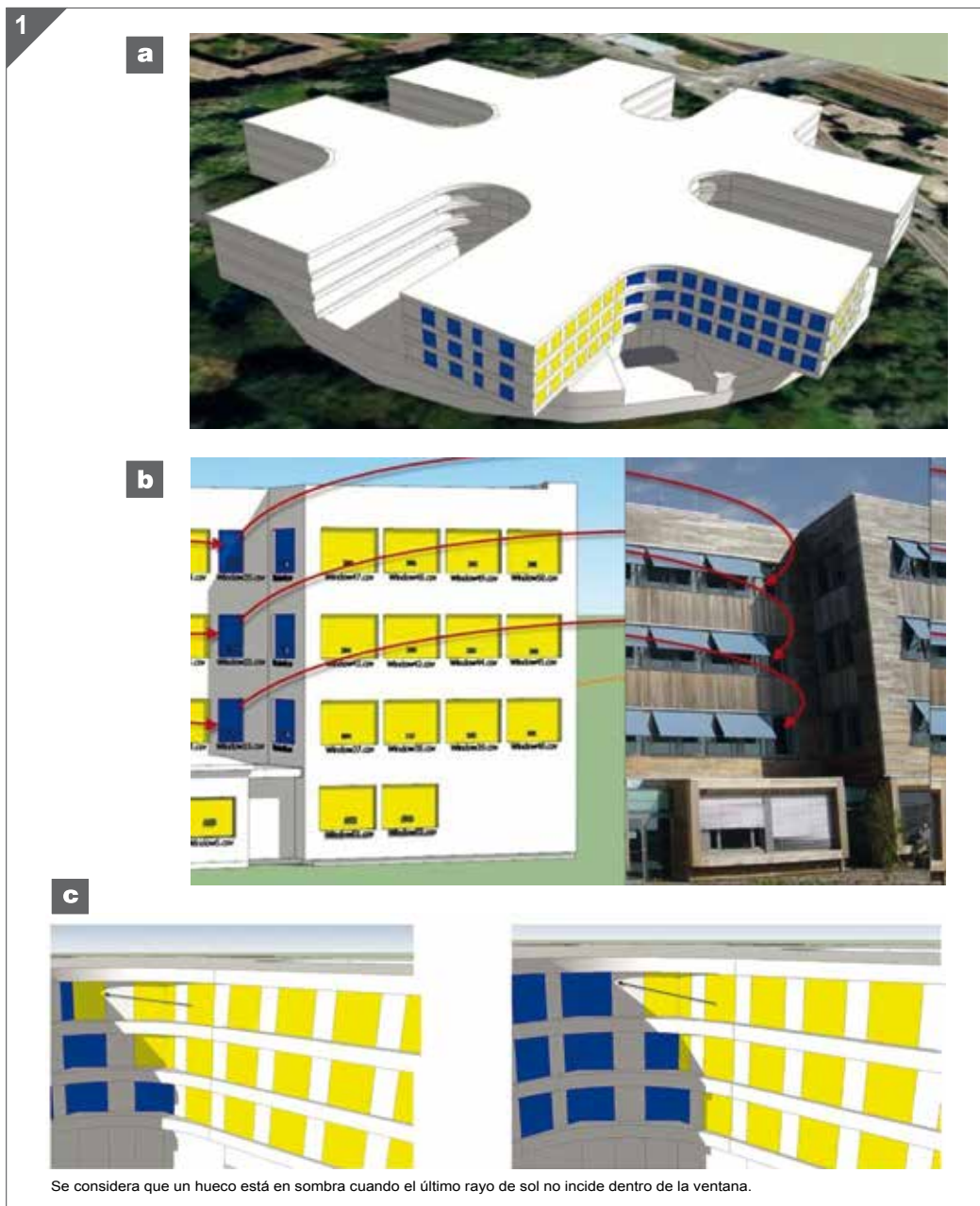
La gestión del control solar automático se puede optimizar como si cada ventana fuera un elemento que tuviera la opción de subir y bajar la protección solar en función de la radiación solar. Para lograr dicha precisión habría que un colocar un sensor de sol detrás de cada abertura. (Figura a). Dicha opción es muy costosa en términos de equipos y cableado. Con el sistema Shadow Management no es necesario colocar un sensor detrás de cada ventana, sino que por la geolocalización del edificio y la modelización en 3D es capaz de realizar con gran precisión (error máximo de 5 cm) el control solar automático ventana por ventana.

Control Solar automático PERSONALIZADO: sólo ventanas / zonas expuestas a la radiación solar tienen su protección solar bajada si fuera necesario.

La progresión de las sombras en la fachada se determina mediante el cálculo teniendo en cuenta la ubicación geográfica del edificio, su configuración y su entorno (presencia de árboles o edificios cercanos). Estos detalles se compilan y se registran en una base de datos que se proporciona a continuación al proyecto de integración y se conecta a la instalación de Building Management System (BMS). Figura b

Los resultados de este cálculo se integran en una base de datos mediante el software que controla la posición e intensidad del Sol, la orientación y en base a la presencia en el interior. Esta función se basa en el modelado 3D del edificio y su entorno permitiendo así la simulación de cada ventana y su radiación solar. El archivo de configuración creado (figura c) informa así el sistema de automatización del edificio si la ventana o hueco son objeto de la radiación del sol. La función se “comporta” como si el edificio estaba equipado con un sensor de sol en cada una ventana. Y cuando el último rayo de sol deja una ventana las protecciones solares regresan automáticamente a su posición de recogida optimizando la luz natural.

El primer edificio en España donde se ha implementado el sistema Shadow Management Somfy es en la Sede Central de BBVA (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria) en Madrid en 2016.



- a. Edificio modelizado en 3D.
- b. Ejemplo de fachada real y modelo 3D asociado.
- c. Según cambia la radiación solar las protecciones solares van subiendo y bajando.

Conseguir un óptimo aprovechamiento de la luz natural con una reducción notable en los consumos de energía además de conseguir una clasificación medioambiental HQE de nivel 10 en el rendimiento para el confort visual. Este riguroso control automático de la luz natural y artificial garantiza un confort visual en los lugares de trabajo, evitando los reflejos en las pantallas de los ordenadores, mejorando las diferencias de iluminancia entre los diferentes lugares de trabajo, lo que disminuye la fatiga visual.

Según la Administración de la Energía de los Estados Unidos de América (EIA) [www.eia.doe.gov/consumption](http://www.eia.doe.gov/consumption) el 75% del consumo de energía en un edificio se emplea en iluminación y calefacción/refrigeración. Además de los datos energéticos, son más importantes los datos de confort térmico y visual responsables del bienestar en el lugar de trabajo y la notable repercusión de la luz en el estado de ánimo, salud y rendimiento en el trabajo. (figura 1).

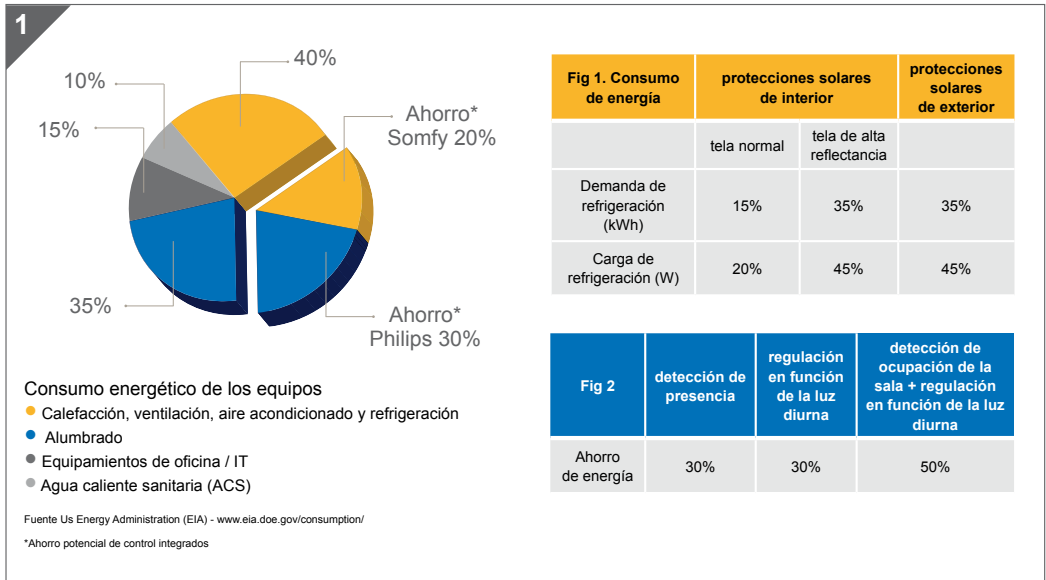
Este objetivo ha sido la premisa para desarrollar y aplicar desde 2011 el sistema común Philips – Somfy denominado Light Balancing Building (LBB). Este sistema de gestión conjunto prioriza la luz natural e integra el control solar automático de la fachada con el control de la iluminación artificial. El reto es que los edificios estén iluminados el máximo tiempo posible con luz natural, teniendo apagadas las luminarias y evitando la entrada de la radiación solar. Además, conseguimos mejorar el ánimo, ambiente y la productividad de los usuarios en la oficina.

Enunciaremos 2 edificios como ejemplo de la aplicación del sistema LBB:

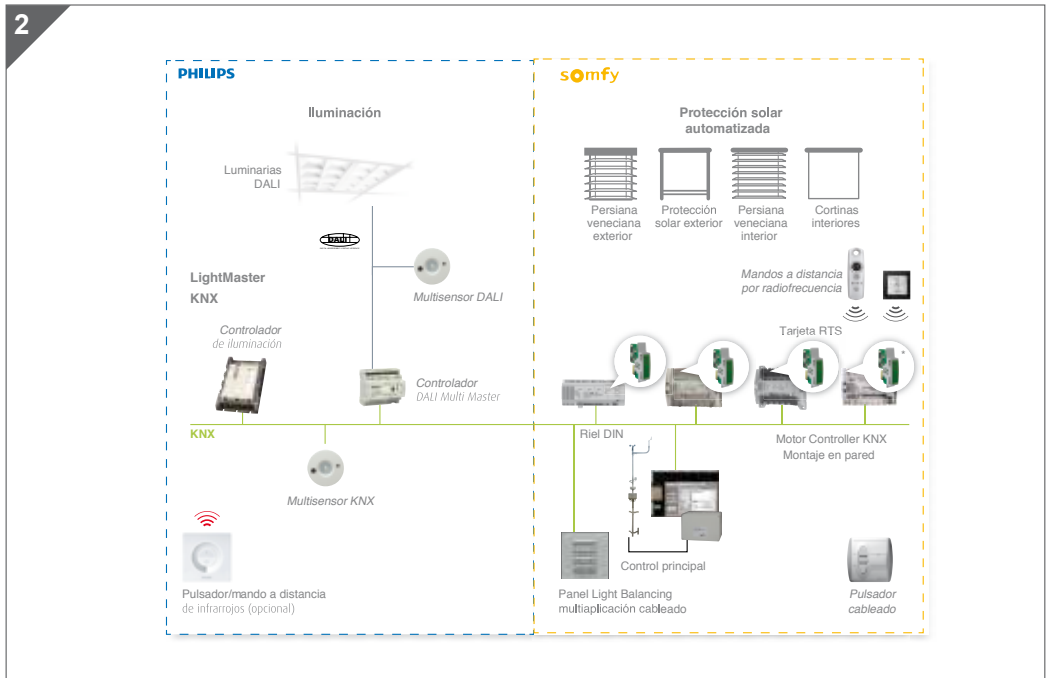
- Torre Sequana, en Isse les Moulineaux en Francia
- Sede Central del BBVA en Madrid, España.

Light Balancing Building es un sistema con protocolo abierto para poderse controlar con KNX o LON. El sistema es gestionado en el ámbito del edificio y admite un número ilimitado de formatos de instalaciones para un ajuste óptimo del rendimiento térmico y visual del edificio. Este es un ejemplo de gestión entre marcas como Somfy y Philips que comparten la instalación de cableado y gestión del edificio para optimizar los equipos y reducir los costes. Es un ejemplo de cómo las empresas con soluciones innovadoras coordinadas podemos colaborar para facilitar al integrador su trabajo debido a que cuantas más soluciones innovadoras estén previamente integradas, más fácil será la gestión global del edificio. (Figura 2). El Light Balancing Building como ejemplo de combinación de soluciones innovadoras de iluminación y control solar automático.

**REFERENCIA NACIONAL**  
**Rehabilitación energética en edificio terciario**  
**Solución fachada dinámica - iluminación artificial**



Consumo energético de los equipos y ahorro potencial.



Mejora del confort en los edificios combinando sistemas de control de iluminación Philips y protección solar automatizada Somfy.



Las ventanas han ido evolucionando a lo largo de la historia adaptándose a las nuevas necesidades de cada época. Las ventanas han ido incorporando, modificando y sustituyendo elementos para mejorar y optimizar la entrada de luz natural, disfrutar de las vistas hacia el exterior aunque manteniendo la privacidad interior, evitar la entrada de radiación solar en verano y permitiendo la entrada de calor en invierno. La ventana es un elemento imprescindible en la composición arquitectónica del conjunto de la fachada y del edificio. Desde la época romana, las ventanas se han ido enriqueciendo arquitectónicamente hasta llegar al año 1950 donde se han globalizado simplificando su diseño a una composición simple de hueco con persiana o bien un vidrio minimalista de altas prestaciones. Las fachadas de vidrio (muro cortina) de los edificios construidos en los últimos 40 años tienen un diseño similar aunque los usos y las orientaciones son diferentes para cada edificio.

Las antiguas construcciones como iglús o cabañas eran sostenibles y sin consumo de energía debido a que sus necesidades eran diferentes de las actuales, ya que su arquitectura buscaba mejorar las condiciones interiores respecto de la climatología exterior. Las viviendas, una vez superadas las prioridades básicas de supervivencia y seguridad frente a la intemperie o intrusión, han ido incorporando mejoras en el confort añadiendo nuevas fuentes de energía. Al principio fueron las hogueras y chimeneas, y después hemos mejorado el confort incorporando la calefacción, aire acondicionado, etc. El reto en nuestros hogares en 2020 está en el equilibrio entre el confort, seguridad, ahorro energético y respeto por el medio ambiente (sostenibilidad).

Ahora tenemos la oportunidad de reincorporar elementos eliminados anteriormente y añadir nuevas tecnologías para adaptarnos a las nuevas necesidades requeridas con la aprobación del RD 235/2013 sobre certificación energética de edificios existentes. Aparte de combinar la composición arquitectónica con el entorno también a fecha de hoy se les exigirá un comportamiento energético sostenible según el uso y orientación de la fachada del edificio. ¿Cómo es posible que un elemento fundamental como la ventana en nuestra vivienda actualmente aún actúe de forma aislada e independiente? Una ventana, dos ventanas, tres ventanas, cuatro ventanas... muchas ventanas por separado en una fachada no aseguran un comportamiento energético óptimo y sostenible. La ventana de la habitación, del comedor, del salón... cada ventana a fecha de hoy es un elemento aislado y pasivo de una casa y actualmente hacen lo que pueden a nivel energético. No interactúan con los cambios climáticos exteriores. La tecnología conseguirá combinar las características de los elementos de la fachada mejorando la iluminación natural, temperatura de confort y ahorro energético en nuestra vivienda o edificio.



Con el nuevo RD 235/2013 la fachada será el primer control energético de nuestra vivienda ya que ésta controla la luz natural, radiación solar, ventilación natural, ruido exterior, etc. Hoy en día, en una vivienda tenemos una suma de equipos donde cada uno actúa independientemente sin interactuar entre sí para buscar el bien común. Es necesario que las ventanas actúen todas a la vez y de forma conjunta como una orquesta en función de los parámetros de confort, seguridad y ahorro energético de cada una de nuestras casas.



Evolución de la ventana.

2

### ¿CUÁNTO CONSUME?

 <b>COCHE</b>	 <b>EDIFICIO</b>	
20 litros / 100 km	ALTO	300 kWh/m2
10 litros / 100 km	MEDIO	150 kWh/m2
5 litros / 100 km	BAJO	50 kWh/m2
<b>2020. BALANCE NETO 0 kWh/m2</b>		

This section compares the energy consumption of a car and a building. It shows a car (COCHE) with consumption levels of 20, 10, and 5 liters per 100 km, and a building (EDIFICIO) with consumption levels of 300, 150, and 50 kWh/m2. A goal for 2020 is set at a net zero kWh/m2.

Relación entre el consumo de un coche y un edificio.

La ventana es hoy una de las asignaturas pendientes sobre todo en las viviendas. La ventana es un elemento muy difícil de instalar y certificar a nivel térmico, acústico y de estanqueidad. La ventana en su proceso de fabricación es una suma de productos que han sido certificados cada uno por separado con el marcado CE como garantía. Además del certificado de fabricación cada ventana necesita el certificado de instalación.

En el proceso tradicional de instalación de una vivienda primero el contratista coloca el pre-marco de la fachada, y luego el carpintero coloca los marcos y perfiles. El cristalero incluye el vidrio adecuado, después el instalador coloca el cajón de persiana. Más tarde van el motor, el sensor y el mando para accionar la persiana. Y si hay domótica, está el integrador para gestionar las persianas. En total seis proveedores para una simple ventana. Demasiados industriales para que, al final, todas las partes de la ventana queden bien instaladas y hagan su correcta función en la fachada de la vivienda.

Actualmente, la industria ya ha incorporado en sus productos unos procesos de industrialización y prefabricación que incluyen la mecanización y automatización en sus fábricas. Pero todavía seguimos fabricando las ventanas de forma artesanal. Les propongo una idea... Imagínense que la ventana pudiera ser como un electrodoméstico, y si pudiera escoger, me gustaría que las características de mi ventana fueran:


- Doble vidrio (35 db para el ruido y para el frío o calor  $U: 1,5-2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Oscilo-batiente (para ventilación sin corrientes de aire)
- Transmisión lumínica (máxima luz natural. TL: 1 o 100%)
- Perfiles con rotura de puente térmico ( $U: 1,5-2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Persiana o toldo vertical (protección solar en verano con factor solar FS: 0%)
- Motorización + mando + sensor (todo sin cables excepto motor a 230V)

En un futuro los técnicos y usuarios podremos comparar las ventanas con sus características y escoger la que mejor se adapte a nuestras necesidades. La ventana ideal debería ser igual que un electrodoméstico: la ventana se escoge, se instala en obra, se enchufa y funciona. Sólo habría que prever el hueco arquitectónico y un enchufe de 230V. El hueco para instalar la ventana será un rectángulo donde poder instalarla sin prever agujeros para el bombo de la persiana o de la cinta, etc. asegurando así que queda perfectamente integrada en la fachada. Así, la ventana sería suministrada e instalada asegurando y certificando la calidad prescrita por el técnico.

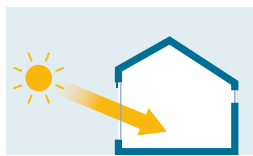
La ventana es el primer control energético conjuntamente con la pared de la fachada. Proponemos una sencilla tecnología en nuestra casa enchufando la ventana para que todas las características antes descritas estén fabricadas de serie en nuestros hogares. Es la mínima tecnología que debe tener nuestro hogar y que nos hará la vida más fácil, más confortable, más segura, más sostenible y económica. Los tiempos están cambiando y todas las viviendas deberían evolucionar incorporando la tecnología en nuestro hogar de forma sencilla y disfrutando de sus ventajas. En resumen, mejorar nuestra calidad de vida.

**1**

**En invierno**



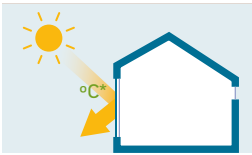
Bajar los cerramientos al caer la noche para evitar pérdidas de calor a través de las ventanas.




Subir cerramientos y protecciones solares durante el día para aprovechar el calor del sol.

+ Hasta un 10% de ahorro en calefacción.

---



Proteger del sol.



Utilizar la inercia térmica del edificio para mantener el frescor interior.

= Confort en verano: la temperatura dentro de casa baja hasta 9°C.

**En verano**

Control y gestión de la radiación, luz natural y ventilación en invierno y verano.

**2**

- 230 V  
- Internet



**2** Conectamos taHoma

Iluminación  
Cámaras  
Persianas  
Sensores  
...



**3** Localiza conectados

**1** Casa actual



3 minutos



**4** Hogar Conectado



Hogar conectado en 4 pasos.

La innovación y los sistemas son los que se tienen que adaptar a las nuevas necesidades del hogar dando una solución flexible para cada casa, dando respuesta a las nuevas necesidades de reducción de la demanda y consumo energético. Como las viviendas no tienen las mismas necesidades, es necesaria una solución personalizada de confort y seguridad. Con el sistema TaHoma cada vivienda puede personalizar qué quiere controlar y gestionar.

¿Qué es un sistema de control solar automático? En las viviendas podemos controlar de forma sencilla y a distancia persianas, toldos, cortinas, luces, puerta de acceso y garaje, etc. Todos los elementos de la casa motorizados con Somfy pueden controlarse fácilmente desde una aplicación para móvil, tableta u ordenador con el nuevo sistema TaHoma®. Sistema sencillo, sin cables, para ofrecer mayor confort, seguridad y ahorro de energía a los usuarios. Las soluciones sin cables (inalámbricas o vía radio) no requieren costosos cableados, ni centralita, ni obras de redecoración tras su instalación. Una instalación sencilla y rápida para mayor confort del usuario e ideal para proyectos de reformas. No es necesario automatizarlo todo al mismo tiempo, se puede ir paso a paso según las necesidades de los usuarios, sin costes añadidos. Podemos ahorrar energía en el hogar en verano: los toldos y persianas bajan cuando el sol incide en la fachada, manteniendo fresca la casa sin consumir excesivo aire acondicionado. En invierno, las persianas suben por la mañana para aprovechar el calor del sol y bajan al atardecer para preservar la temperatura interior. Una solución sencilla y eficaz que ya hacía nuestra abuela para reducir el consumo energético de la casa.

El producto confirma todas las acciones que se hagan. Si cierras una persiana a distancia, devuelve una señal al móvil que confirma que la persiana está bien cerrada o bien si hay algún problema porque no se puede cerrar. Es un sistema adicional de seguridad para la vivienda. También incorpora nuevas opciones de seguridad, como detectores de humo, agua, de apertura o cámaras que pueden enviar un correo al activarse. El sistema TaHoma® trabaja en equipo con otras marcas de sistemas para el hogar: iluminación, seguridad, calefacción, ventanas de techo, etc. Todo desde el Smartphone o tablet. Simplificar. No es necesario aprender a manejar nuevos mandos debido a que el mando ya lo tenemos en el bolsillo: mi Smartphone.

Para conseguir que los sistemas de control y gestión de las viviendas puedan implementarse en el mundo de la construcción es necesario que sus tres actores principales estén coordinados: Administración, técnicos y empresas. La Administración aporta la legislación y normas para impulsar los proyectos donde se regule cómo implementar los sistemas de gestión en los nuevos edificios y viviendas. Los técnicos diseñan los nuevos edificios de consumo casi nulo donde se incorporan las innovaciones en los sistemas de control. Las empresas aportan I+D+i con la innovación en los nuevos sistemas de control, como Somfy TaHoma®, para poder mejorar cada día y avanzar en el mundo de la construcción con nuevas soluciones. Pero es necesario que las tres partes estén implicadas y coordinadas para dar respuesta a las necesidades de la sociedad. Las empresas han de buscar alianzas para dar una respuesta global a un cliente cada vez más exigente en el mercado de la rehabilitación energética.



Seguridad, confort y ahorro energético en tu hogar.



La gestión de una vivienda desde una tablet o un Smartphone.

Nuestra abuela era muy eficiente ya que apagaba y encendía las luces, vigilaba la casa, subía y bajaba las persianas, movía las cortinas, apagaba las luces, etc. pero siempre estaba en casa. Con una estrategia sencilla las abuelas no gastaban tanta energía ya que aprovechaban la energía gratuita del exterior y del interior. Los tiempos han cambiado y nuestras casas también. Y lo hacemos igual que hace 50 años en nuestra vivienda lo hacía nuestra abuela. Ahora no hay nadie en casa durante el día y la "nueva abuela" Somfy mueve tu hogar para recuperar esa eficiencia de antaño.

Una de las prioridades en el futuro de las viviendas es que todas las personas puedan utilizar dicha tecnología con la misma sencillez y comodidad con que se conduce un coche. Es importante y necesario simplificar la tecnología en la vivienda para todos los públicos. La tecnología ha de ser:

- Sencilla. Sin esfuerzo. Cuando uno compra una televisión nadie lee el libro de instrucciones. Se enchufa y va. Ese es el concepto. Mi persiana se debería controlar, subir y bajar de forma sencilla y automática para aprovechar la energía del exterior, tanto si estoy o no en mi casa.

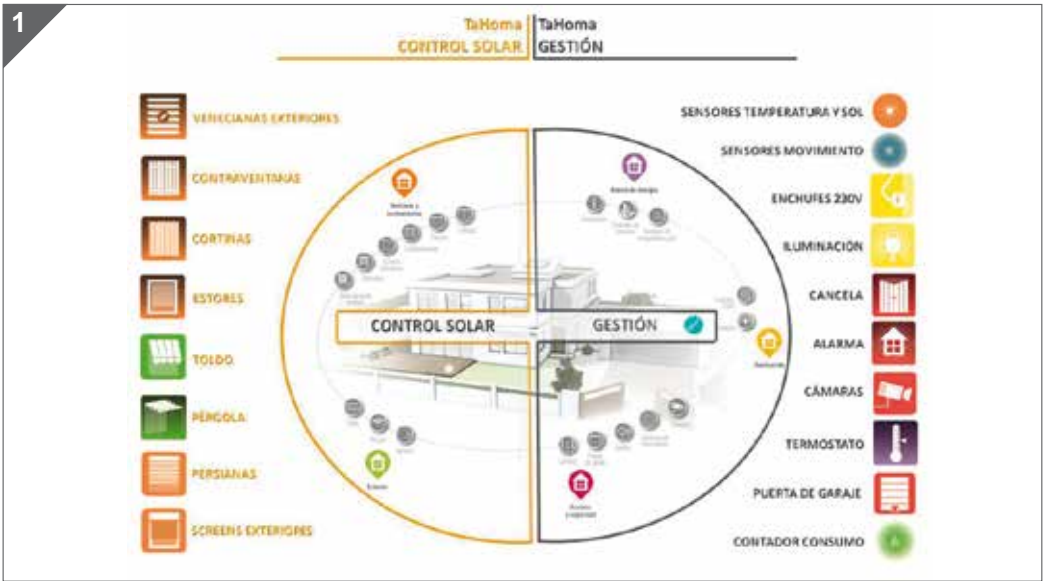
- Modular. La tecnología la voy instalando poco a poco en mi casa, incluso ventana a ventana. Por partes y en el orden que realmente necesito.

- Sostenible. La calificación energética de mi vivienda dará un valor añadido a mi inmueble y producirá una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> respetando el medio ambiente.

La nueva tecnología TaHoma® aprovecha los elementos existentes en tu casa como la persiana, cortina, luces, puertas, toldo, etc. Para incorporar esta tecnología sólo debes añadir tres elementos: el mando a distancia que nos proporciona confort, el sensor de temperatura-luminoso que nos proporciona el ahorro, y el motor que mueve la persiana, toldo, luz, etc. Recordar que no hay cables de señal entre sensor y mando ya que las conexiones entre ellos son vía radiofrecuencia y sólo el motor tiene corriente eléctrica a 230V. Por eso es una tecnología muy sencilla y apropiada para la rehabilitación.

La tecnología del coche y del móvil han mejorado nuestra calidad de vida. Somfy les da la oportunidad de hacerlo en su hogar tan solo enchufando la ventana. Las nuevas viviendas deberían incorporar la innovación que ya estamos utilizando en nuestros coches o móviles, pero utilizando la tecnología de forma sencilla e intuitiva. Además, esta tecnología debería ayudar notablemente a incorporar la eficiencia energética dentro de las viviendas para mejorar la calidad de vida, seguridad y conseguir viviendas de consumo casi nulo. La Unión Europea en su directiva 2010/31/UE normaliza que la vivienda de consumo casi nulo es el nuevo reto para el 2020 mediante la reducción del consumo de energía, optimización de las instalaciones, aumento de las energías renovables y el respeto por el medio ambiente.

El ahorro de una vivienda depende de cuatro factores: uso, orientación, zona climática y las soluciones constructivas. El consumo anual medio de una vivienda es de aproximadamente 150 kWh/m<sup>2</sup> o unos 20 €/m<sup>2</sup>. El reto es reducir los 150 kWh/m<sup>2</sup> a casi 0 en 2020. Las soluciones constructivas tradicionales e innovadoras se han de combinar e incorporar a las nuevas viviendas para conseguir los objetivos marcados por la UE y normalizarlos con la certificación energética en el RD 235/2013 del 5 de abril.



Tu hogar siempre conectado con Tahoma®.



La gestión de una vivienda desde una tablet o un Smartphone.



El Documento Básico DB-HE 2013 "Ahorro de Energía" del Código Técnico de la Edificación (CTE) es la normativa vigente desde el 13 de marzo de 2014 donde se introdujeron importantes modificaciones, como son la aparición de una nueva sección "HE-0 Limitación del consumo energético", una nueva redacción del "HE-1 Limitación de la demanda energética", y cambios importantes en la sección "H3: Instalaciones de iluminación".

En 2018 se publicará el nuevo CTE DB HE 2018 donde se incorporan las exigencias de la Directiva 2010/31/UE (DEEE) del Parlamento Europeo y Consejo Europeo donde se establecen las medidas para la reducción del consumo de energía y el nuevo CTE es una actualización de los requisitos mínimos de eficiencia energética, así como la definición de los Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB). Dicho documento estará coordinado con la Certificación energética de los edificios.

En el nuevo CTE DB HE 2018 se incorporan novedades como la definición de la calidad mínima de un edificio se base en:

- Transmitancia térmica envolvente
- Control solar
- Permeabilidad del aire

Se incorpora el indicador del control solar ( $Q_{sol:jul} / A_{util}$ ) en las fachadas de los edificios dentro de la normativa actual. Dicho indicador tiene como objetivo asegurar la capacidad de control efectivo de las ganancias solares, limitando el impacto de la radiación solar en la superficie acondicionada. El indicador se calcularía a partir del flujo medio diario de calor por ganancias solares para el mes de julio de cada hueco ( $Q_{sol:jul,k}$ ), la irradiancia media para la localidad y orientación del hueco ( $H_{sol:jul,k}$ ), magnitudes descritas en la UNE-EN ISO 13790:2008, y el área útil acondicionada del edificio ( $A_{util}$ ).

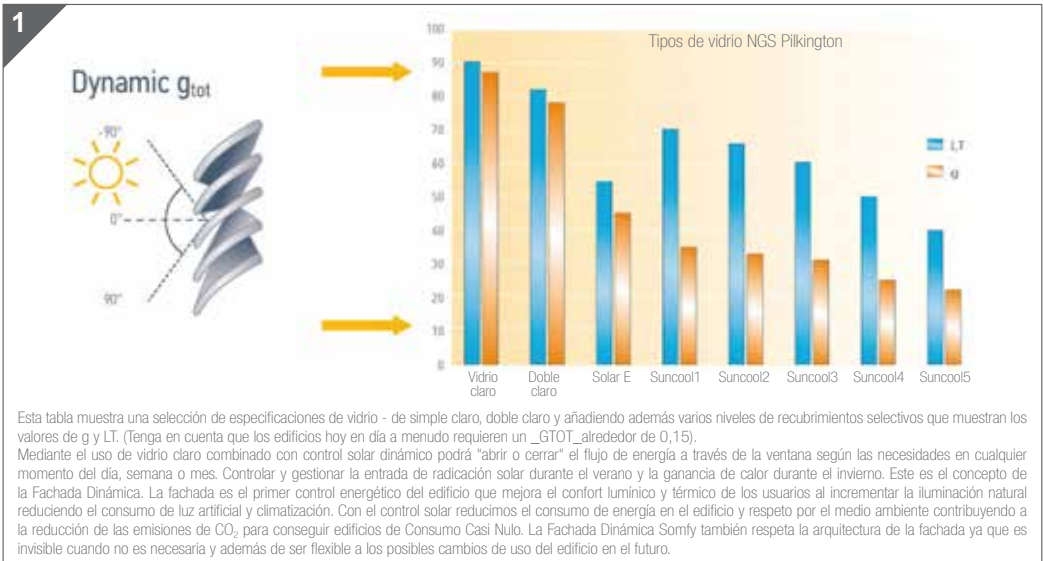
En España tenemos un gran número de edificios muy deficientes desde el punto de vista energético, en parte porque el 60% de su parque inmobiliario son anterior al 1970, es decir tienen más de 40 años. Vamos con retraso en la introducción de las soluciones energéticas debido a que hubo una gran demora con respecto a la aplicación de la legislación europea (aprobada en 2010), además de una lógica pérdida de competitividad. La rehabilitación energética tiene 2 áreas diferenciadas a nivel constructivo, aunque después actúan de forma conjunta.

1. La envolvente (cubierta y fachada).
2. Los sistemas, instalaciones o equipos dentro de la vivienda.

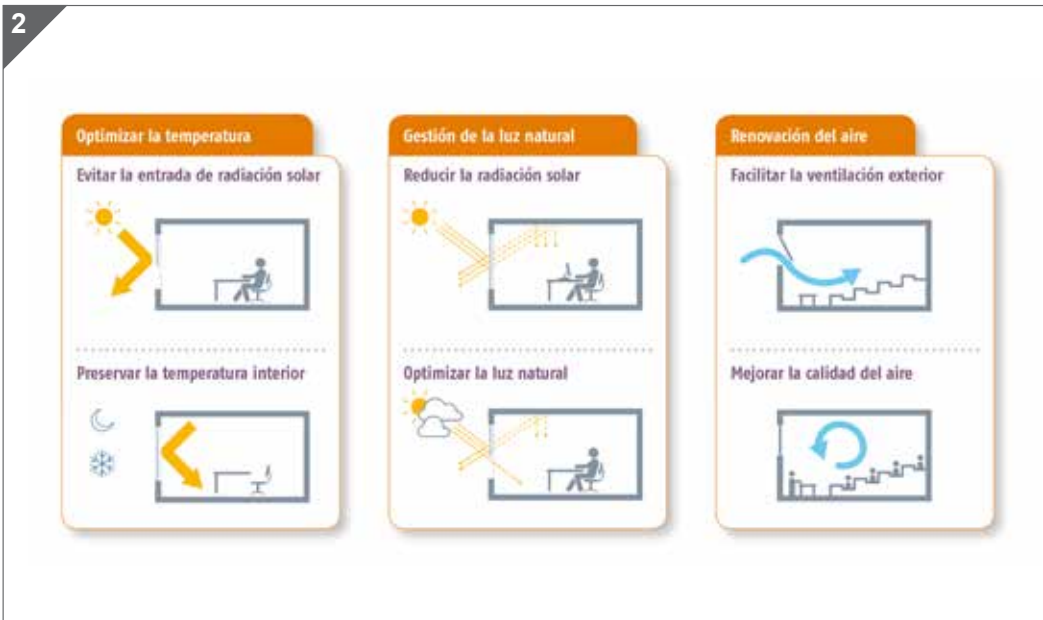
Es importante recordar el orden de actuación para ahorrar energía en un inmueble es siempre del exterior al interior. Deberíamos empezar la reforma por la fachada, que es el primer control energético del edificio: comprobar que la fachada realiza de forma óptima la función de aislamiento térmico y el control solar dinámico que favorece el aprovechamiento de la energía gratuita del sol en invierno y evita la entrada de calor en verano. Después, deberíamos comprobar que tenemos unos sistemas e instalaciones de calefacción (caldera y Agua Caliente Sanitaria), aire acondicionado, iluminación y unos equipos o electrodomésticos eficientes y adecuados.

Hoy, el Cambio Climático y la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> han creado unos nuevos objetivos en los edificios que tendrán un mayor impacto en las normas y código técnicos de la edificación. Además de respetar los nuevos objetivos de energía y sostenibilidad, los edificios también deberán mejorar la calidad de vida en su interior respetando también el entorno urbanístico.

Para conseguir estos objetivos la Administración, técnicos y empresas deben trabajar de forma conjunta e integrar las soluciones en los proyectos. En la fachada es donde la mayoría de cambios térmicos tienen lugar y es clave en este proceso. La fachada dinámica como solución puede ser una solución innovadora en las nuevas o reformadas fachadas.



Valores LT y g según los diferentes recubrimientos de vidrio de un edificio.



La fachada dinámica es una parte activa de los sistemas de climatización e iluminación.

Adjuntamos un resumen de estudios, datos y proyectos de la eficiencia y eficacia de la solución del control solar automático en fachadas:

**Fuente: IEA Technology Road Map Energy Efficient Building Envelopes, December 2013.**

*Programas de reformas para conseguir edificios eficientes o EEECC.*

*“Hoy estamos llevando a cabo todos los esfuerzos para construir y reformar los edificios a fin de conseguir edificios eficientes energéticamente. Pero sólo podemos contabilizar que se está realizando en una pequeña fracción del parque inmobiliario. (In EU 1-1,5% anuales). Para poder conseguir mejorar con un objetivo global debemos construir de forma eficiente además de rehabilitar los edificios existentes. In EU el 86% de las ventanas tienen simple o doble cristal. The international Energy Agency (IEA).”*

*Los edificios de oficinas deberían estar equipados con sistemas integrados en las fachadas que permitan:*

- **Optimizar la luz natural**
- **Minimizar los requerimientos energéticos Fuente: The Shard Building in London (gtot at 0.12). The 200 George Street Building, Sidney (gtot at 0,12)**

El factor solar (Fs o gtot) requerido en la mayoría de los actuales edificios es de 0,10 – 0,15.

*“Este valor de Fs entre 0,10 y 0,15% es muy reducido para que el vidrio por sí mismo pueda conseguir alcanzar dicho valor. Utilizando vidrios “súper transparentes” y combinados con el control solar dinámico se puede tener la flexibilidad de cambiar el factor solar hasta los valores de 0,10% dando una respuesta a las necesidades del usuario y siempre siendo capaces de mantener la Transmitancia Lumínica (TL) más alta posible”. (Figura 1)*

**Fuente: ESTIA STUDY Switzerland, 2014. Smart Lighting, IES, France 2016. Simulation of Integrated Systems. Sustentech. Brazil, 2015.**

El control solar automático puede conseguir ahorros energéticos anuales en climatización.

*“Siguiendo como norma de cálculo la ISO15099 y la ES-SO 2015 el estudio aporta varios ejemplos de ahorro potencial de energía en diferentes países de Europa. Los sistemas de control solar automático comparado con los sistemas manuales pueden conseguir mucho más ahorro en electricidad. Los sistemas manuales raramente son accionados por las personas, menos de dos veces por semana según un estudio de la ESTIA STUDY 2014. Los sistemas manuales pierden potencial de ahorro y confort, algo que un sistema automático puede gestionar, automatizar y controlar.”*

**35% ahorro en Suiza. 2 €/m<sup>2</sup> por año en Francia. Un 25% en Brasil.**

**Fuente: ES-SO Study. “High performance dynamic shading solutions for energy efficiency and comfort in buildigns, by sonnergy Ltd. UK 2015.**

El control solar automático puede ser una parte vital de un edificio sostenible

*“Eficiente y efectivo, el control solar automático es una de las mejores soluciones para dar respuesta a las necesidades en el diseño de los nuevos edificios. Sinergias e integración del control solar automático con otros sistemas como la gestión de la iluminación y climatización para conseguir un coste óptimo en las soluciones de ahorro energético con propuesta conjunta para el edificio.” (Figura 2)*

**Fuente: REHVA. Guidebook.Nº 12. "How to integrate solar shading in sustainable buildings"**

Las fachadas de alto rendimiento son capaces en la medida correcta de conseguir significativos ahorros en climatización.

*"El control solar automático es una parte activa de los sistemas de climatización desde la fachada con un positivo impacto en la dimensión de las máquinas y gastos anuales de consumo. Instalar un control solar automático permite un colocar un cristal súper transparente además de reducir los costes del propio vidrio. Si consideramos la reducción de los equipos de climatización y tipo de vidrio podemos tener un ROI inferior a 1 año con el control solar automático."*

**Fuente: World Green Building Council Report. Health Wellbeing & Production in Office 2014.**

El control solar automático con mandos locales contribuye al confort, bienestar y rendimiento o productividad.

*"La vista hacia el exterior y la luz natural en un edificio son importantes y positivos factores de satisfacción, productividad, mejorar la visión y concentración, reducir el absentismo laboral, desarrollo en el aprendizaje en escuelas y reducir los tiempos de recuperación en hospitales.*

*Aumentar la productividad de un 4,5 a 15%. Reducir el absentismo y errores en 1%*

**Fuente: EFINOVATIC. <http://www.efinovatic.es/complementos/somfy/> 9 abril 2018**

*El complemento de "Fachada dinámica" de Somfy permite conocer las ventajas de la automatización de persianas, lamas y toldos tanto en edificios nuevos como en edificios existentes. En los edificios nuevos, esta herramienta te ayudará cumplir el CTE-HE1 en los casos en los que se tienen problemas por la demanda de refrigeración. En los edificios existentes, la herramienta te ayudará a generar las medidas de mejora, incluyendo la evaluación económica.*

**Fuente: ASEFAVE. Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas: COMPLEMENTO SOMFY EN EL CE3X (cálculo de la certificación energética de edificios) 21 septiembre 2018**

*Desde abril de 2018 se puede instalar de forma gratuita el complemento Somfy en el programa oficial del Ministerio de Industria y Energía (CE3X). Con el complemento Somfy se pueden calcular los ahorros energéticos y mejora de la calificación energética de los edificios nuevos y existentes. En el informe oficial generado por la certificación energética ya se incluyen las soluciones de control solar automático Somfy con un coste aproximado y descripción detallada de los equipos para su implementación.*

 **Control Térmico y Lumínico**

El acristalamiento es el punto más débil en el rendimiento térmico y lumínico en general de un edificio y una importante fuente de pérdida de calor. El sombreado ayuda a la regulación térmica y lumínica de la envolvente transparente de un edificio.

 **Sobrecalentamiento**

El control solar dinámico evita el sobrecalentamiento. La ganancia solar o Factor solar(Gtot) con ventanas de doble acristalamiento se puede reducir de 0,85 a 0,015 con protección solar exterior automática. El valor de factor solar varía entre 1 y 0: Peor: 1 y Mejor: 0.

 **Amortización**


El control solar dinámico es un sistema que reduce el uso de climatización llegando incluso a mejorar sus periodos de amortización. Un análisis de los sistemas de Climatización en tres zonas climáticas: Estocolmo, Amsterdam y Madrid demostraron que el control solar dinámico se amortizaba en menos de un año en todos los escenarios.

 **Iluminación Artificial**

La iluminación artificial se puede reducir optimizando y limitando la cantidad de luz natural que penetra en el edificio. La mayoría de personas afirma que prefieren la luz natural a otras fuentes de iluminación.

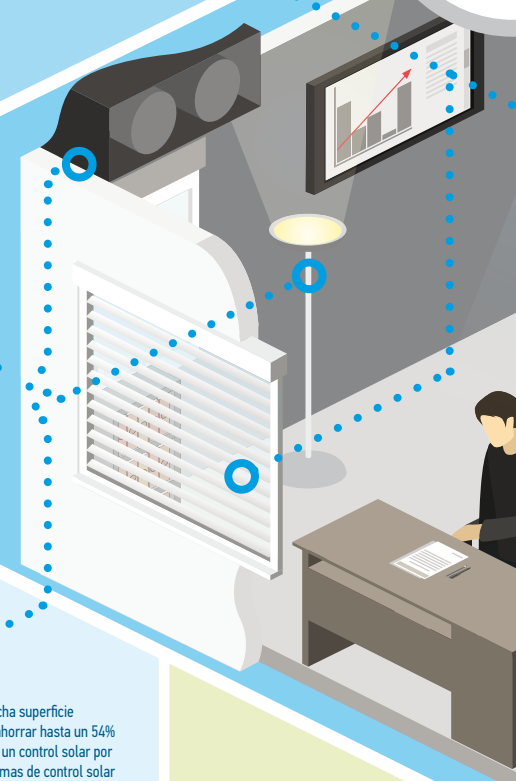
 **Reducción Climatización**

Las oficinas con mucha superficie acristalada pueden ahorrar hasta un 54% en climatización con un control solar por el exterior. Los sistemas de control solar automático no solo son beneficiosos para los periodos de verano, sino que también proporcionan ahorros energéticos relacionados con la calefacción en invierno.

 **Beneficios de la automatización**

La automatización ofrece un rendimiento óptimo y dinámico que reduce significativamente el riesgo de sobrecalentamiento y favorece de manera automática el uso de la luz natural y el aprovechamiento del calor generado por el Sol en épocas invernales.

 **Sostenibilidad**





### Intimidad

La protección solar dinámica interior ofrece privacidad bidireccional (ver sin ser visto) y puede proporcionar separación funcional y visual en edificios de uso mixto como filtro de la luz natural e intimidad.



### Confort Lumínico

La insuficiencia de luz natural afecta al rendimiento en el trabajo y puede causar trastornos visuales y fisiológicos, Ej: dolores de cabeza, vista cansada, depresión y falta de ánimo. Se ha descubierto que los trabajadores expuestos a la luz del día y al contacto con el mundo exterior duermen un promedio de 46 minutos más cada noche en comparación con aquellos en oficinas sin luz natural.



### Optimización luz natural

El control solar dinámico permite optimizar la luz natural, lo que mejora el confort lumínico, el bienestar de los ocupantes, además de ahorrar en iluminación artificial.



### Temperatura del color

La luz artificial y los vidrios electro-cromáticos (tintados de color) pueden ser causa de una reproducción inadecuada de la temperatura de color de la luz que percibimos con efectos perjudiciales para la salud, en términos de niveles de estrés y productividad.

### Control del deslumbramiento



La luz y el deslumbramiento se controlan eficazmente mediante el control solar dinámico. La protección solar es ajustable y puede regular la iluminación de manera eficiente de acuerdo con las diferentes necesidades de confort visual y/o térmico.

### Productividad



Los costes relacionados con el personal representan, aproximadamente, un 80-90% de los costos operativos totales de una empresa. El rendimiento laboral disminuye por debajo de 19-22°C y por encima de 23-24°C. Los sistemas de control solar automáticos pueden contribuir a un rendimiento laboral superior, una mayor concentración y bienestar en el lugar de trabajo.



### Confort térmico

Las personas en los países desarrollados pasan casi el 90% de su tiempo en el interior de algún edificio. El confort térmico, visual y acústico es esencial para el bienestar y desencadena una respuesta emocional, actitudinal y cognitiva positiva en un individuo. El contacto visual inadecuado con el mundo exterior tiene un impacto negativo en el sueño, las actividades físicas y la calidad de vida en general.

Las técnicas de enfriamiento pasivo tales como los sistemas de control solar automáticos son identificados como prioritarios por la Agencia Internacional de la Energía como un medio no intensivo de energía para reducir o incluso eliminar la necesidad de enfriamiento mecánico del espacio. El estudio ESCORP / EU25 cuantificó que 80 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> podrían evitarse mediante la instalación de control solar automatizada.

Este libro está basado en la publicación de SOMFY SAS en 2005 titulado *Bioclimatic façades* de los autores Alain Lièbard y André de Herde. La actual publicación titulada *La Fachada Dinámica* ha tenido la colaboración especial del equipo de SOMFY ESPAÑA:

Alex Catalá Morell,  
María José Centellas Bellido,  
Enric Escoda Vilella,  
Albert López Crespo,  
Javier Rodríguez Guerrero,  
Marta Solana Hernández,  
Juan Villar Gómez,  
y de LA COMPANYIA d/prensa, Anna Pérez.

Reconocimientos fotos. Página:

- 7: Light balancing. PHILIPS – SOMFY.
- 37: Architectures d'été, construire pour le confort d'été, J.-L. Izard.
- 39: Torre Iberdrola. Bilbao. Alex Catalá Morell.
- 41: Vila Urania. Albert López Crespo.
- 45: Architecture islamique en Espagne, Taschen.
- 57: A+U Publishing,  
L. Kahn / Systèmes Solaires n° 101,  
J. Bouillot / Systèmes Solaires n° 112,  
R. Delacloche / Systèmes Solaires n° 101,  
Bermond-Pochon.
- 59: Torre Cristal y Espacio. Madrid. Albert López Crespo.
- 63: R. Delacloche - HSHA Observer / Architecture et Climat / Philips Lighting.
- 65: Guía Iluminación eficiente. Sector Residencial y Terciario. FENERCOM. 2006.
- 67: Vila Urania. Albert López Crespo.
- 75: Vivienda Unifamiliar Segovia. Salvador Martín.
- 77: Clínica Diagonal. Barcelona. Albert López Crespo.
- 79: Escola Virolai. Barcelona. Albert López Crespo. R. Delacloche - HSHA Observer.
- 81: Architecture et Climat.
- 91: Documentation St-Roch.
- 97: Pilar Armendáriz Pérez de Ciriza; José Antonio Diego-Mas.
- 99: Nueva sede del Banco Popular. AWMA.
- 107: Documentation Aralco.
- 109: Chiatello-Dabilly – HSHA Observ'ER.
- 113. SOMFY.
- 115: Palladio, Taschen.
- 117: Transparent Insulation Technology.
- 121: M. Bodart.
- 125: S. Altomonte (La Sapienza, Rome)
- 127: S. Reiter.
- 129: Centro I+D. Málaga y La Llotja. Lleida. Alex Catalá Morell.
- 131. Nueva sede del Banco Popular. AWMA. VERTISOL.
- 137: Light balancing. PHILIPS – SOMFY.  
Double Skin Facades for Office Buildings. Harris Poirazis.  
Literature review report, Department of Architecture and Built Environment,  
Lund University, (Sweden). Harris Poirazis.
- 143: José Antonio Gaona.
- 145. www.scalofrios.es.
- 147. Albert López Crespo.
- 155: Hunter Douglas.
- 157: 1 Danish Technical University / 2 Informe ESSO 2015.
- 159: Alex Catalá Morell.
- 169: Schenker Storen / Stobag.
- 180. Shate it. British Blind & Shutter Association.

Ejemplar gratuito

## Somfy España, S.A.

Pº Ferrocarriles Catalanes, 290-292

08940 Cornellá (Barcelona)

Tel. 934 800 900\*

contact\_es@somfy.com

[www.somfy.es/proyectos](http://www.somfy.es/proyectos)



## Somfy Solutions

Toda la información técnica en nuestra App.

¡Descárgala!



A BRAND OF **SOMFY** GROUP

© Somfy España, S.A. - Enero 2019. - Fotos Fotolia, Imimage y Getty Images. Hemos realizado todos los esfuerzos necesarios por ofrecer información precisa, completa y actual. No obstante, no ofrecemos garantía alguna sobre la información incluida en esta publicación. Nos reservamos el derecho de actualizar o modificar sin previo aviso cualquier información contenida. Asimismo, los productos mostrados pueden variar o ser eliminados en cualquier momento. Apple, el logo de Apple, Mac, iPhone, iPod, iPad, iTunes y otros son marcas registradas de Apple, Inc.