

GUÍAS DE SOSTENIBILIDAD

GUÍA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA EDIFICACIÓN

FORO PARA LA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE COMUNITAT VALENCIANA

GUÍA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA EDIFICACIÓN

FORO PARA LA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE COMUNITAT VALENCIANA

Foro para la Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana
Mesa de Estrategias de Diseño Sostenible

Instituto Valenciano de la Edificación
Avda. de Tres Forques, N.º 98 – CP. 46018 Valencia
Tel. 96 398 65 05 – Fax 96 398 65 04
E-mail: ive@five.es – Web: www.five.es

Coordinación general
Mar Alonso Monterde. Arquitecta. Instituto Valenciano de la Edificación.

Equipo de redacción
Mar Alonso Monterde. Arquitecta. Instituto Valenciano de la Edificación.
Verónica Benítez Jiménez. Arquitecto Tco. e Ingeniero de Edificación. Master M. Ambiente y Arq. Bioclimática.
Ignacio Guillén Guillamón. Dr. Arquitecto. Dpto. Física Aplicada. UPV.
José Luis Higón Calvet. Arquitecto.Dpto. Expresión Gráfica Arquitectónica. UPV.
P. Amparo López Jiménez. Dr. Ingeniero Industrial. Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. UPV.
Francisco Pla Alabau. Arquitecto. Instituto Valenciano de la Edificación.

Colaboraciones
Elena Castillo Santos. Arquitecta.
Vicente Gómez Lozano. Dr. en Ciencias Físicas. Dpto. Física Aplicada. UPV.
CEAM. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo
SIAR–IVIA. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
COACV. Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana.

Revisión
FORO para la Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana - Mesa de Estrategias de Diseño Sostenible: Santiago García Gómez (En Sala arquitectos); Josep M. Giner Pallarés (ReMa-Medio Ambiente); Javier Belando Barceló (ReMa-Medio Ambiente); Lourdes García Sogo (Sogo arquitectos); Carmen Subirón Rodrígo (IVE); Isabel de los Ríos Rupérez (IVE)

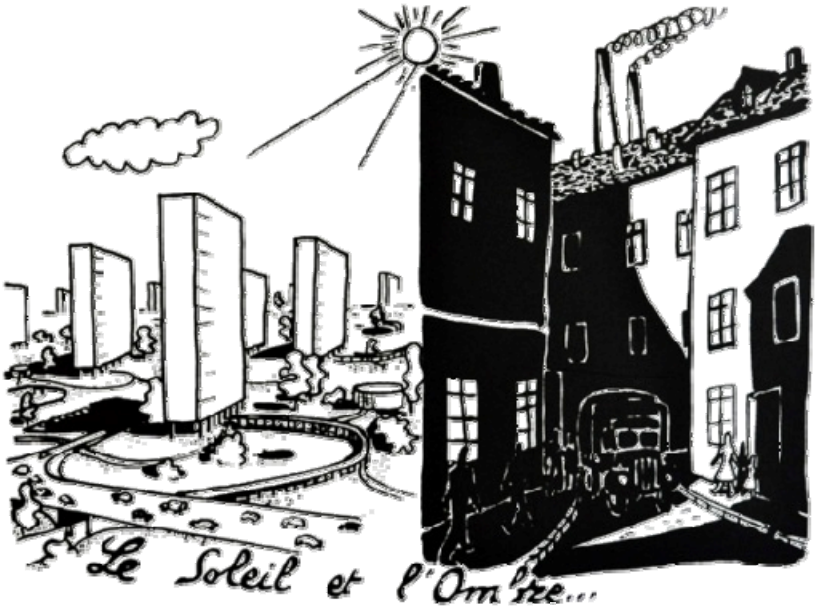
Fotografía de Portada
Joan Roig

EDICIÓN
Instituto Valenciano de la Edificación

ISBN: 978-84-96602-78-6

1ª Edición, 2014.
Este documento forma parte del Plan de Calidad de la Vivienda y la Edificación de la Generalitat Valenciana.

Los autores han hecho todos los esfuerzos para contactar con personas y organizaciones respecto a los permisos de copyright antes de la publicación. Sin embargo, es posible que algún contenido haya sido obtenido de fuentes de información general con indicación inexistente, limitada o errónea acerca de su propiedad. Si inadvertidamente hemos citado erróneamente u omitido alguna referencia específica, estaremos agradecidos acualquier información que pudiera ser útil para corregir tales errores. ive@five.es



Dibujo:"Le Soleil et l'Ombre" (el sol y la sombra) de Le Corbusier, en el que se pone de manifiesto la importancia de considerar el acceso al sol en los planeamientos urbanos para evitar ciudades insalubres y sombrías.

En enero de 2009, la Generalitat, a través de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, puso en marcha un proyecto dirigido a fomentar la calidad y la sostenibilidad en la edificación: el Foro para la Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana.

A raíz de la redacción del Libro Blanco de la Edificación Sostenible, en el que se estructuraba el conocimiento existente en materia de sostenibilidad con respecto al uso del agua, la energía y los materiales y la gestión de los residuos en la edificación, se planteó una serie de objetivos generales dirigidos a corregir y mejorar el escenario previsto. Entre las actuaciones concretas, se encontraba la creación de un espacio de trabajo y diálogo común de todos los agentes que participan en el proceso edificatorio, con el fin de establecer sinergias y definir líneas de acción comunes a todos.

Para estructurar este foro se constituyeron mesas temáticas en torno a los temas clave abordados en el Libro Blanco, entre las que se encontraba el grupo especializado en "Estrategias de diseño sostenible", cuyo fin era el de establecer parámetros objetivos sobre los criterios de diseño que favorecen el comportamiento medioambiental de los edificios, definiendo soluciones concretas que orienten a los técnicos a la hora de proyectar una arquitectura más sostenible.

Durante las primeras reuniones de la mesa de Estrategias de diseño, se debatió sobre la importancia de utilizar medidas pasivas en el diseño arquitectónico, de modo que se limitara la demanda de recursos naturales, sobre todo energéticos, durante la vida útil de los edificios y se concluyó con la necesidad de disponer de herramientas que orientaran al proyectista sobre los procedimientos y soluciones disponibles para aplicar dichas medidas. Como resultado de ese debate, se concluyó con la necesidad de redactar un documento que recopilara el conocimiento existente sobre arquitectura pasiva y lo estructurara de forma sencilla y práctica.

Para desarrollar este trabajo, se constituyó un equipo de expertos, especialistas en cada uno de los aspectos clave tratados en la guía, responsable de la redacción de este documento, los cuales junto con la supervisión y colaboración del Instituto Valenciano de la Edificación, han recopilado la información básica para poder transmitir al lector la importancia de considerar el clima y el lugar como elementos constitutivos y condicionantes de la obra arquitectónica.

Por otro lado, la importancia que tiene el clima y las características geográficas de cada emplazamiento, en cuanto al potencial aprovechamiento de los recursos naturales, hace que sea imprescindible disponer de acceso a datos climáticos de referencia que permitan ajustar el diseño de los edificios al lugar en el que se van a ubicar. En este sentido, la guía que se presenta a continuación, aporta un gran valor sobre otros documentos similares, ya que, además de ofrecer información teórica básica sobre la arquitectura pasiva, se complementa con las fichas de "Condiciones climáticas de la Comunitat Valenciana" que caracterizan todo el territorio valenciano, proporcionando datos climáticos de referencia, diagramas de estrategias y recomendaciones para el diseño de los edificios, en función de su localización.

El objetivo final de este trabajo, coordinado por el Instituto Valenciano de la Edificación, es contribuir a alcanzar el confort de los usuarios de los edificios, priorizando el uso de soluciones pasivas que aprovechen el clima y las condiciones del entorno. De este modo se puede reducir el consumo energético asociado a la edificación y, por tanto minimizar el impacto medioambiental vinculado con las emisiones producidas, a la vez que se favorece el ahorro económico para el ciudadano.

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN 7

0.1 Objetivo 8
0.2 Ámbito de aplicación 9
0.3 Esquema de utilización de la guía 9

1. CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO 11

1.1 Coordenadas geográficas 13
1.2 Parámetros climáticos 16
1.3 Factores geográficos 23

2. ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO 33

2.1 Condiciones de confort 33
2.2 Climogramas de confort 42
2.3 Estrategias de diseño 53

3. ELECCIÓN DE LOS SISTEMAS PASIVOS 57

3.1 Localización del emplazamiento 59
3.2 Determinación de las estrategias de mayor incidencia 61
3.3 Comprobación de las condiciones de entorno 64
3.4 Fichas de sistemas pasivos 65
DIS Diseño general del edificio 69
MET Mejora de la envolvente térmica 75
CS Calefacción solar 93
PS Protección solar 105
V Ventilación natural 123
TA Tratamiento del aire 135

A ANEJOS 141

A1 ESTUDIO DE SOLEAMIENTO 143
A1.1 Caracterización gráfica 145
A1.2 Acceso al sol 152
A1.3 Máscara de sombras 160

A2 ESTUDIO DE ILUMINACIÓN NATURAL 167
A2.1 Conceptos previos 169
A2.2 Estrategias para la resolución espacial de la iluminación natural 170
A2.3 Relación entre los sistemas de protección solar e iluminación natural 173
A2.4 Métodos de cálculo 174

A3 ESTUDIO DEL RÉGIMEN DE VIENTOS 179
A3.1 Caracterización gráfica 181
A3.2 Efectos y variaciones de los flujos de vientos 183

B BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 195

0 INTRODUCCIÓN

Los intervalos de temperatura y humedad en los que el ser humano se encuentra en un estado de bienestar se sitúan dentro de unos márgenes limitados en comparación con la variabilidad climática del planeta. Las temperaturas y humedades ambientales oscilan en función de la posición y condiciones geográficas, de las estaciones del año e incluso a lo largo de las horas del día, sobrepasando la mayor parte del tiempo, bien sea por exceso o por defecto, los umbrales de confort humano.

Esta situación variable necesita ser regulada por el cuerpo humano para mantener unas condiciones interiores estables y confortables, para lo cual recurre, a mecanismos de adaptación de manera consciente o inconsciente. En primer lugar, se producen fenómenos de regulación fisiológica, mediante los cuales, el cuerpo humano se adapta a las temperaturas externas de modo que los estímulos recibidos se traducen en impulsos emitidos al cerebro, el cual interpreta esas señales y responde mediante mecanismos de defensa basados en la aceleración de la actividad física (por ejemplo, tiritar ante el frío o sudar ante el excesivo calor).

Estos procesos no siempre son suficientes para mantener la estabilidad térmica del cuerpo, por lo que, el ser humano debe recurrir a la utilización de barreras que le protejan de las condiciones climáticas adversas o sistemas que modifiquen las condiciones energéticas del ambiente.

Entre los principales mecanismos de adaptación al clima se encuentra la utilización de vestimenta y complementos o la construcción de estructuras en las que refugiarse y protegerse de los excesos de calor y frío. Los edificios han de servir de cobijo a las personas, facilitando el desarrollo de las actividades humanas en un ambiente controlado, con unas condiciones adecuadas de **iluminación, temperatura, calidad del aire y control del ruido.**

De este modo y puesto que las condiciones climáticas varían en función de cada emplazamiento, el diseño arquitectónico, las técnicas constructivas y los materiales empleados deberían adaptarse al lugar en el que se encuentre construido el edificio. Muchos de los sistemas empleados en la arquitectura vernácula se basan en estrategias de aprovechamiento de los **factores climáticos** y **geográficos** que le rodean. Estas construcciones tradicionales aprovechan los recursos naturales según las necesidades de cada momento del día o del año, mediante la ubicación, la forma, y la disposición y diseño de los elementos constructivos.

Pero actualmente, debido a los avances tecnológicos, se han ido abandonando las prácticas constructivas basadas en el diseño pasivo, de modo que la necesidad de ajustar los parámetros higrotérmicos en el interior de los edificios se resuelve mediante sistemas mecánicos e instalaciones consumidoras de energía (en mayor proporción no renovable), sin tener en cuenta las condiciones del lugar y el potencial del clima. Gran parte de la energía necesaria para calentar o refrigerar un edificio, se puede ahorrar si se parte de un buen diseño arquitectónico basado en estrategias bioclimáticas que aproximen las condiciones interiores a las de confort humano.

En los sucesivos capítulos se va a realizar un recorrido metodológico por los distintos aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar los edificios, de modo que se apliquen las estrategias pasivas más adecuadas dependiendo de las condiciones climáticas y geográficas existentes.

0.1 Objetivo

Las principales directrices actuales sobre ahorro y eficiencia energética en el sector de la construcción, establecen la necesidad y la importancia de aplicar, en los nuevos desarrollos urbanos, medidas que permitan reducir el consumo de energía y potencien el aprovechamiento de fuentes renovables.

Independientemente del marco normativo que regula estos aspectos, existen otros factores de carácter medioambiental o económico relacionados con el consumo de energía que afectan de manera global al crecimiento de los países, sea cual sea el grado de desarrollo en que se encuentren.

Los problemas más significativos desde el punto de vista ambiental van desde el agotamiento de los combustibles fósiles al deterioro del territorio o los fenómenos de cambio climático relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico, la eficiencia energética puede ser utilizada como una herramienta de ahorro, de reducción de la dependencia energética y de aumento de la competitividad.

La eficiencia energética representa la cantidad de energía consumida realmente y depende de la demanda de los edificios o equipamientos y del rendimiento de los sistemas empleados, de modo que para reducir el consumo habrá que reducir la demanda (sistemas pasivos) y/o mejorar la eficiencia de las instalaciones (sistemas activos).

$$\text{CONSUMO ENERGÉTICO} = \frac{\text{DEMANDA ENERGÉTICA}}{\text{RENDIMIENTO MEDIO DEL SISTEMA}}$$

Las acciones de mejora se deben concentrar, en primera instancia, en la implementación de estrategias de diseño que reduzcan la demanda energética, adaptándose a las condiciones climáticas de cada emplazamiento.

Actualmente, debido a los avances tecnológicos, se han ido abandonando las prácticas constructivas basadas en el diseño pasivo, de modo que la necesidad de ajustar los parámetros higrotérmicos en el interior de los edificios se resuelve mediante sistemas mecánicos e instalaciones consumidoras de energía (en mayor proporción no renovable), sin tener en cuenta las condiciones del lugar y el potencial del clima. Gran parte de la energía necesaria para calentar o refrigerar un edificio se puede ahorrar si se parte de un buen diseño arquitectónico basado en estrategias bioclimáticas que aproximen las condiciones interiores a las de confort humano.

El bioclimatismo, aplicado a la edificación y al urbanismo, se basa en el aprovechamiento del clima y las condiciones del entorno para mejorar las condiciones de confort de los usuarios, priorizando el uso de soluciones pasivas y, por tanto, reduciendo el consumo de energía necesario para el funcionamiento de las instalaciones de calefacción y refrigeración.

Puesto que las condiciones climáticas varían en función de cada emplazamiento, el diseño arquitectónico y urbanístico, las técnicas constructivas y los materiales empleados deberían adaptarse al lugar en el que se vaya a intervenir.

La guía de estrategias de diseño pasivo se ocupa de las características de los elementos y sistemas constructivos de los edificios que contribuyen a minimizar el uso de energía convencional para calefacción, refrigeración e iluminación. Para ello, se proponen los siguientes objetivos:

- Definir un procedimiento que permita determinar los sistemas pasivos más eficientes para una ubicación determinada.
- Recopilar y cartografiar la información climática de la Comunitat Valenciana necesaria para el análisis propuesto y cuantificar las fuentes de energía renovables disponibles (radiación y régimen de vientos).
- Catalogar las soluciones constructivas y sistemas pasivos más habituales y clasificarlos por estrategias según su función y objetivo.

0.2 Ámbito de aplicación

La guía propone una metodología válida para cualquier localización geográfica e independiente del uso al que esté destinado el edificio.

No obstante, la utilización de la guía para edificaciones ubicadas fuera de la Comunitat Valenciana deberá hacerse teniendo en cuenta, especialmente en el análisis bioclimático, las particularidades específicas propias del lugar en el que se encuentra: clima, latitud, topografía, …

0.3 Esquema de utilización de la guía

La Guía aporta unos criterios de decisión para determinar las posibles soluciones pasivas apropiadas para las condiciones de implantación de un edificio, organizando su aplicación conforme a la secuencia siguiente:

- En función de las condiciones climatológicas de una ubicación geográfica (temperatura y humedad relativa), se determinan las **estrategias de diseño** disponibles a las que se puede recurrir para contribuir en la climatización del edificio y/o a reducir el uso de los sistemas convencionales, salvaguardando los niveles de confort exigibles. Esta primera recomendación se apoya en el análisis bioclimático de las condiciones climatológicas del emplazamiento del edificio a partir de una interpretación de los climogramas de Givoni.

- Una vez determinadas las estrategias, se proponen unas comprobaciones e indicaciones particulares para cada uno de los posibles **sistemas** o mecanismos que permiten materializar la estrategia con las que valorar si las características del emplazamiento reúnen las condiciones adecuadas y/o si es necesario adoptar medidas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

- Las soluciones de puesta en obra concretas de cada sistema se detallan en las **fichas de la solución** en las que, además de describir la solución, los componentes que intervienen y el modo de ejecución, se valora su aplicabilidad informando sobre las ventajas e inconvenientes que presenta el sistema frente a una serie de requisitos dependientes de las condiciones del entorno del edificio, su transcendencia económica y sus condiciones de mantenimiento y durabilidad.

La Guía se puede emplear de manera secuencial, realizando el recorrido completo desde la caracterización del emplazamiento y su entorno hasta la definición de la forma de incorporar una determinado sistema constructivo en unas condiciones de entorno, o bien, recurrir a ella de manera puntual para consultar las condiciones climáticas de un lugar, o para obtener información sobre las prestaciones de un sistema concreto.

El documento se estructura en los cinco capítulos en los que se desarrolla el procedimiento propuesto y se complementa con anexos en los que se describe pormenorizadamente los detalles de los estudios bioclimáticos considerados en la guía.

La cartografía bioclimática de la Comunitat Valenciana desarrollada sobre un sistema de información geográfica que permite obtener la información bioclimática de una ubicación dentro de la Comunitat Valenciana y crear el climograma propio del punto.

1

CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Para poder ajustar el diseño arquitectónico a las características de cada lugar, es necesario definir los parámetros climáticos medios correspondientes a la zona del planeta en la que nos encontramos, los cuales nos proporcionaran una primera aproximación a escala regional, para ir posteriormente bajando de escala hasta el entorno inmediato a la parcela estudiada.

El planeta se divide en grandes zonas climáticas, o macroclimas, como resultado de la acción combinada de factores como la latitud, altitud o el grado de continentalidad, los cuales determinan regiones térmicamente similares. A esta escala de definición, toda la Peninsula Ibérica queda englobada dentro de la zona templada del planeta, la cual se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 0ºC y 20ºC.

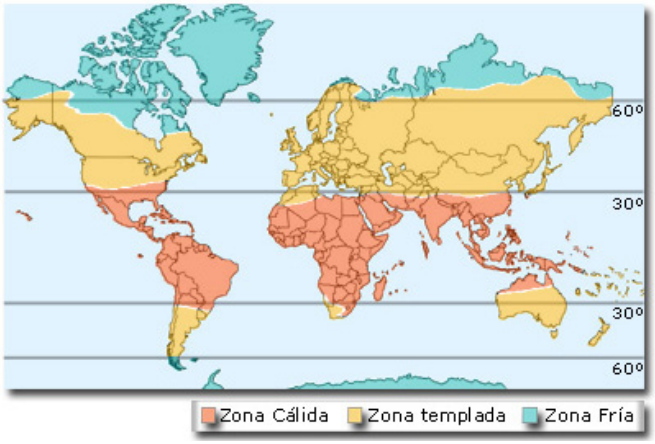


Figura 1.1 Zonas climáticas de la Tierra. Instituto Geográfico Nacional

Dentro de esta clasificación general, si se analiza cada una de las zonas con más nivel de detalle, se pueden encontrar importantes variaciones climáticas. En este sentido, el clima templado puede ser oceánico, continental o mediterráneo, estando la totalidad del territorio de la Comunitat Valenciana englobado en éste último.

A una escala aun menor todavía siguen produciéndose variaciones climáticas debidas a características regionales como la topografía, la existencia de vegetación o la proximidad a masas de agua que modifica la amplitud térmica. De modo que se puede subdividir el clima templado mediterráneo en mesoclimas particulares según el entorno en el que nos encontremos.

Los factores geográficos que influyen en el clima de la Comunitat Valenciana son los siguientes:

- Desniveles orográficos y su compartimentación
- Orientación del relieve y de la costa
- Posición relativa respecto a la Península Ibérica (parte oriental) y respecto a la meseta (vertiente descendente)
- Presencia del Mar Mediterráneo

Atendiendo a dichos factores, el territorio valenciano se divide principalmente en clima **mediterráneo costero**, con inviernos suaves y veranos cálidos, y **mediterráneo continentalizado de veranos cálidos**, caracterizado por un aumento de la amplitud térmica con inviernos bastante fríos y veranos calurosos.



Figura 1.2 Regiones climáticas. Instituto Geográfico Nacional

Pero estas condiciones macro o mesoclimáticas pueden verse notablemente alteradas por las condiciones físicas particulares de la zona en la que se edifica, las cuales pueden llegar a producir alteraciones del modelo general a pequeña escala. Las principales variaciones microclimáticas se producen por la configuración y naturaleza del entorno inmediato y por la posición relativa de la edificación.

En entornos rurales, la existencia de vegetación y masas de agua, así como la morfología del terreno y sus características termofísicas, condicionan el grado de exposición a los vientos dominantes y modifican el grado de humedad relativa y las oscilaciones térmicas.

De igual modo, en entornos urbanos, la definición de alturas y secciones de calles en el planeamiento general condicionará la orientación, el acceso al sol y la exposición a los vientos de las futuras edificaciones. Por otro lado, el diseño de los espacios exteriores y los materiales utilizados determinarán el nivel de radiación reflejada que los edificios pueden aprovechar.

Por lo tanto, además de definir los parámetros climáticos medios, será fundamental considerar los factores regionales y locales relevantes que pueden afectar a la zona de estudio, para poder caracterizar correctamente el escenario en el que se va a construir.

La **Comunitat Valenciana** se encuentra situada en latitudes subtropicales y pertenece plenamente a la región de clima mediterráneo, el cual se caracteriza por tener inviernos moderados y veranos algo calurosos y disponer de un claro periodo estival seco. La existencia de determinados factores geográficos, como el Mar Mediterráneo, o los importantes desniveles que aparecen entre las comarcas interiores y las litorales, hace que se origine una diversificación en sectores climáticos diferentes, entre los que puede llegarse a contrastes térmicos de hasta 8ºC[1].

[1] *A.J. Pérez Cueva. Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990). Generalitat Valenciana*

1.1 Coordenadas geográficas

La primera fase del procedimiento de análisis consiste en recopilar y analizar los datos de referencia del lugar en el que se va ubicar el edificio. Para ello es necesario definir la localización exacta mediante sus coordenadas geográficas, las cuales determinarán la posición concreta del área de estudio. Habitualmente se utilizan dos sistemas distintos de referencia:

Coordenadas Geográficas en formato Latitud-Longitud

Cualquier punto de la superficie terrestre, puede designarse mediante su latitud y su longitud. Las coordenadas geográficas en formato latitud-longitud están basadas en la definición de dos familias de líneas trazadas sobre la superficie terrestre, que se apoyan en el movimiento de rotación de la Tierra, cuya posición se define en base a la separación angular respecto a un origen de coordenadas. Por cada punto de la superficie terrestre pasan dos líneas, una de cada familia, que identifican la posición del punto.

Las líneas paralelas al ecuador reciben el nombre de **paralelos** y toman éste como origen de coordenadas. La latitud de un paralelo es su separación angular respecto del ecuador y presenta un valor positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur. Con frecuencia en lugar de indicar el signo de las coordenadas se suele sustituir por la notación N para valores positivos de latitud y S para valores negativos. Todos los puntos que se encuentran a la misma latitud forman un paralelo. Los trópicos de Cáncer (en el Hemisferio Norte) y Capricornio (en el Sur) y los círculos polares Ártico y Antártico son paralelos determinados por las condiciones en que llega la luz solar a la Tierra a lo largo de las estaciones.

Las líneas perpendiculares al ecuador reciben el nombre de **meridianos**, y son secciones de la esfera terrestre que contienen a su eje de rotación y que tiene igual longitud, es decir, que unen en línea recta ambos polos sobre la superficie terrestre. Por convenio se adopta como origen de meridianos el que se encuentra en la población de Greenwich, cerca de Londres. La longitud de un meridiano es su separación angular respecto del meridiano de Greenwich, tomando valores positivos hacia el este y negativos hacia el oeste. En el caso de la longitud los valores positivos se suelen notar con una E y los negativos mediante W.

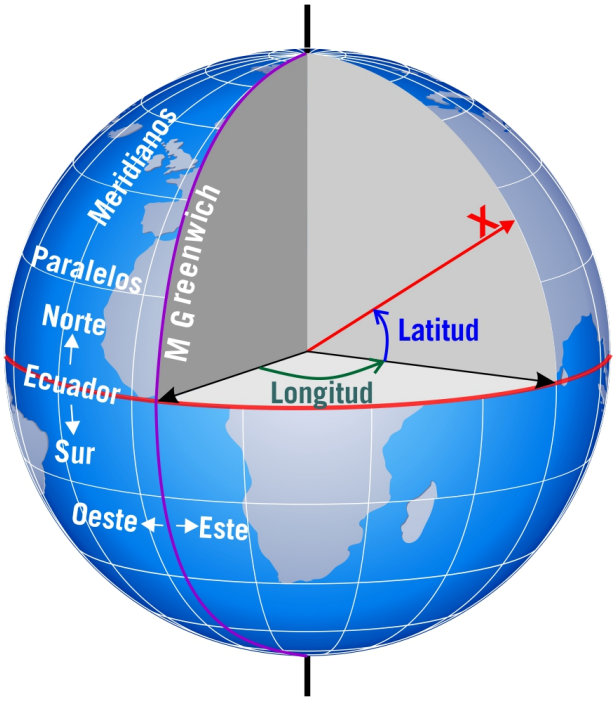


Figura 1.3 Coordenadas geográficas: Longitud-Latitud

A efectos de definir una ubicación concreta con suficiente exactitud se suele utilizar la notación Grados (°), Minutos (') y Segundos (").

La Comunitat Valenciana se extiende de norte a sur entre la salida del Bergantes al Bajo Aragón (Lat: 40º47´32´´N; Long: 00º9´41´´) y el punto más al sur de Pilar de la Horadada (Lat: 37º50´30´´; Long: 00º45´04´´. Entre los dos puntos existen variaciones en las temperaturas medias anuales y en la radiación solar global recibida[2], debido a la diferencia de latitud.

Coordenadas (x,y) UTM. Universal Transverse Mercator

El sistema de coordenadas UTM está basado en la necesidad de representar sobre un plano la superficie terrestre. La transformación necesaria para llevar al plano la superficie esférica recibe el nombre de proyección de Mercator. Dicha proyección de la superficie terrestre se produce sobre un cilindro tangente a la esfera terrestre. En el caso de las coordenadas UTM, la proyección de Mercator se produce sobre meridianos, de ahí su denominación de transversa.

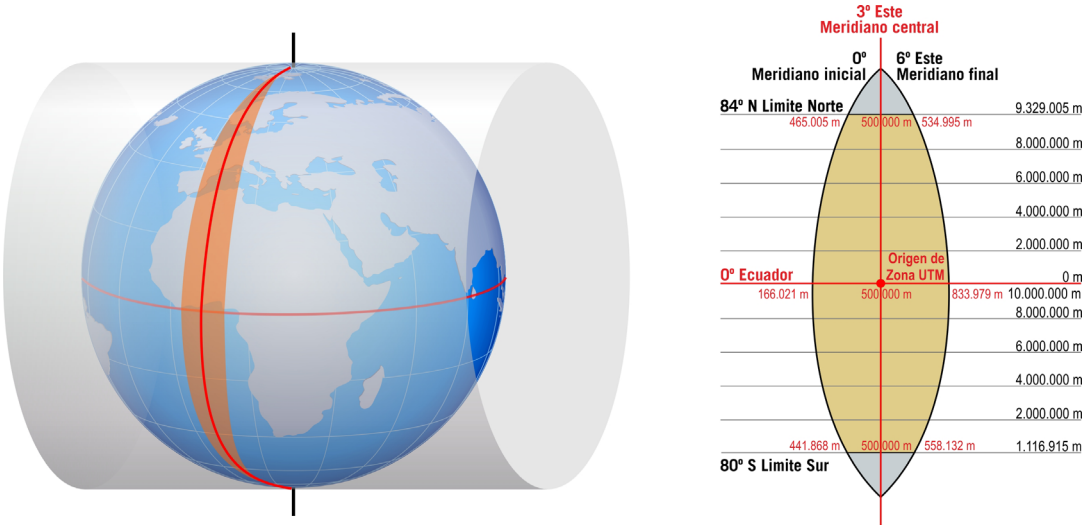


Figura 1.4 Coordenadas geográficas UTM

El sistema de coordenadas divide la superficie terrestre en 60 proyecciones, denominados husos, de 6° de amplitud cada uno de ellos. Cada huso tiene un origen de coordenadas propio sobre el ecuador a 500 km al oeste de su meridiano central, siendo las coordenadas UTM la separación en metros del punto considerado al origen de coordenada del huso. Es decir, el cruce entre el ecuador y el meridiano central tiene un valor x= 500.000, para evitar valores negativos.

Por lo tanto, las coordenadas en dirección este-oeste, que reciben el nombre de 'easting', asignan un valor de 500.000 al centro del huso.

Las coordenadas en dirección norte-sur reciben el nombre de 'northing', y tienen un valor 0 en el ecuador.

A su vez, dentro de cada huso se hace una división en zonas respecto de la latitud, con una amplitud de 8°, asignando a cada zona una letra. A la franja comprendida entre los 32° y los 40° le corresponde la letra S, mientras que entre los 40° y los 48° corresponde la letra T. De este modos, la notación de coordenadas UTM se compone de: Un número, que corresponde al huso, Una letra mayúscula, que da una referencia de la latitud del punto, y dos números que expresan la separación en metros desde el centro de huso hasta el punto (easting) y la separación desde el ecuador hasta el punto (northing).

[2] *A.J. Pérez Cueva. Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990). Generalitat Valenciana*

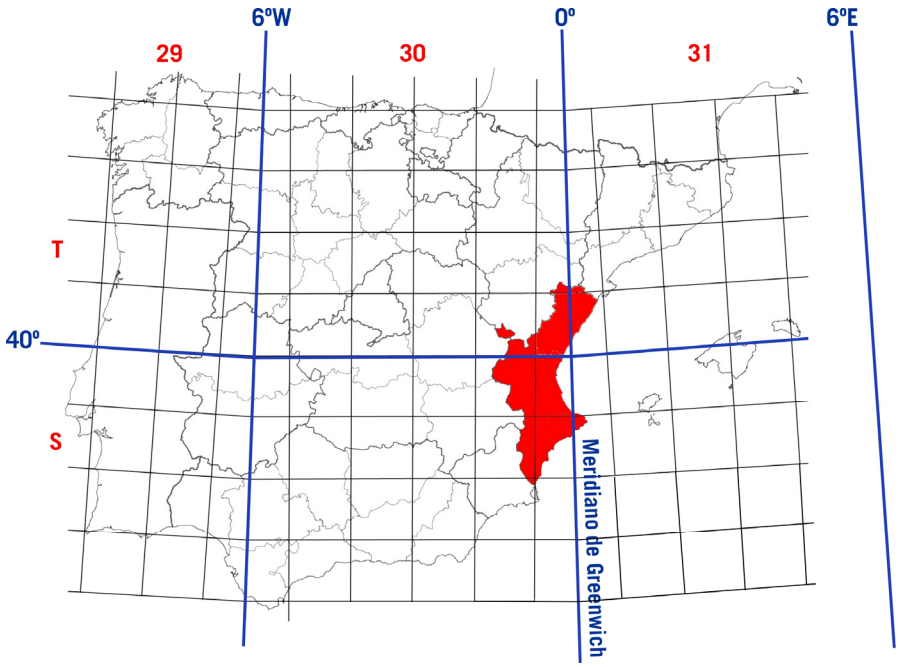


Figura 1.5 Coordenadas (x,y) UTM

En el caso de la Comunitat Valenciana, el meridiano de Greenwich la divide en dos zonas con husos de referencia distintos: las zonas al Este del meridiano, como los municipios de La Marina Alta en Alicante, y de la Plana Alta y Bajo Maestrazgo en Castellón, se encuentran situadas en el huso 31, mientras que las situadas al Oeste del meridiano refieren sus coordenadas respecto al huso 30.

Para conversión de las coordenadas de un punto de un huso a otro, o de coordenadas UTM en Lat-Long, se emplean las correspondientes ecuaciones de trasformación incorporadas habitualmente en las aplicaciones de software específico.

Las coordenadas UTM correspondientes al punto más septentrional de la Comunitat son (30 S 766755, 4520581), mientras que el punto más meridional se representa con los valores (30 S 830112, 4195044), ambos referidos al huso 30.

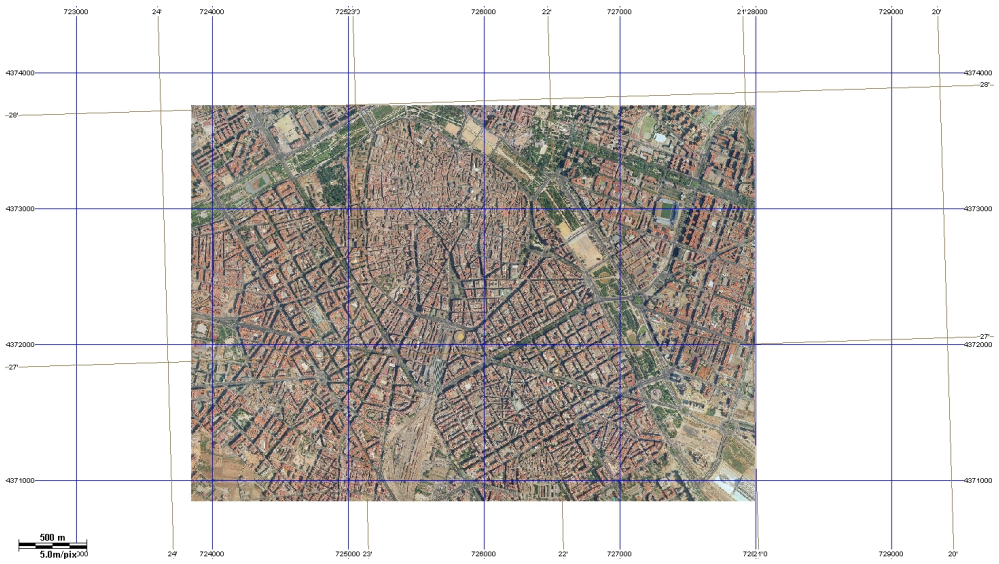


Figura 1.6 Relación entre la trama Lat-Long (en marrón) y UTM (en azul) sobre una ortofoto de Valencia

1.2 Parámetros climáticos

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un lugar determinado. No debe confundirse el "tiempo atmosférico" con el "clima". El primero define el estado de la atmósfera en un momento concreto, mientras que el clima se refiere a las condiciones atmosféricas que se dan en una región en un periodo largo de tiempo

Los parámetros principales que caracterizan el clima de un lugar y que intervienen directamente en la comodidad térmica son la **temperatura** y **humedad relativa** del aire, el **viento** y la **radiación solar**, ya que determinarán el ambiente en el cual se va a desarrollar la actividad humana. Por tanto, para la realización del análisis bioclimático de un determinado lugar, es necesario, como mínimo, disponer de valores característicos de estos cuatro parámetros.

Estos valores se pueden obtener de los observatorios meteorológicos próximos al emplazamiento del edificio, siempre y cuando el número de datos climáticos registrados y la ubicación de los observatorios sean representativos de las condiciones habituales del emplazamiento, lo cual no suele ser sencillo por los siguientes motivos:

- Por un lado, se recomienda operar con valores medios obtenidos a lo largo de bastante tiempo, considerando algunos autores como mínimo un periodo de 10 años, de modo que se genere un patrón característico suficientemente aproximado a la realidad. Muchos observatorios disponen de una red de estaciones que se ha ido ampliando a lo largo de los años, con lo cual muchas de ellas no disponen de datos tan antiguos, puesto que llevan en funcionamiento menos años.

- Por otro lado, disponer de valores homogéneos no suele ser fácil, bien sea porque no existen series completas o porque las estaciones meteorológicas no se encuentran repartidas por el territorio de manera uniforme. Además, estas estaciones están gestionadas por distintas entidades, lo que acentúa las diferencias entre la forma y tratamiento de los datos y su registro. Por lo general, no todos los observatorios disponen de lecturas de todas las variables climáticas, por lo que las series pueden resultar incompletas o discontinuas.

En la **Comunitat Valenciana**, la información utilizada para el análisis y que se recoge en la cartografía y en las fichas climáticas de esta Guía, proviene de los datos registrados por observatorios gestionados por el Servicio de Tecnología del Riego de la Generalitat Valenciana (SIAR) y del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).

En la cartografía y las fichas climáticas de la Guía se incluye información climatológica de la Comunitat Valenciana elaborada a partir de registros horarios. Estos valores están directamente vinculados con el observatorio del cual proceden y, por lo tanto, con las condiciones geográficas en las que se encuentra el mismo. Esto conlleva que puedan existir, en determinados casos, sustanciales diferencias entre el entorno inmediato de las torres meteorológicas y el área urbana en el que se va a edificar, aunque ambos pertenezcan a un mismo municipio. Frecuentemente, los observatorios meteorológicos se encuentran en las afueras de los núcleos urbanos y, en ocasiones, con bastante diferencia en cuanto a la altitud y al grado de exposición a los agentes climáticos.

Puesto que la guía está dirigida a caracterizar de la manera más fiel posible, los entornos en los que se va a edificar, resulta aconsejable seleccionar los datos del observatorio que se encuentre en condiciones similares a la zona de trabajo (sobre todo en cuanto a latitud y altitud) y que no esté separado por accidentes geográficos importantes, aunque no se corresponda con el mismo municipio o no sea el más cercano.

En el caso de esta guía se ha realizado el estudio a partir de valores horarios, de un número de observatorios suficientemente representativo para caracterizar todo el territorio de la Comunitat Valenciana. Para ello se ha recurrido a utilizar herramientas informáticas diseñadas específicamente, que han facilitado el manejo de los ficheros con gran número de datos.

Para asignar a cada municipio el observatorio de referencia correspondiente, se ha realizado un análisis detallado a partir de las altitudes en las que se encuentran los núcleos poblacionales, donde la edificación se encuentra más consolidada y existe más suelo urbanizable. Aunque dentro del término municipal puedan aparecer variaciones de altitud importantes, se ha considerado un único observatorio para cada municipio,

dejando a criterio del proyectista la utilización de otros datos climáticos de referencia en el caso de que las condiciones geográficas varíen notablemente. De este modo se simplifica el procedimiento de asignación del observatorio, pero se recomienda que el proyectista analice si en su caso concreto existe mucha desviación entre la altitud a la que se encuentra la parcela y la que tiene el observatorio, para asignarle otros valores de referencia.

1.2.1 Temperatura y humedad del aire

La combinación de la temperatura del aire y del contenido de vapor de agua influye en la sensación de confort térmico y caracteriza la severidad climática de un lugar. La combinación de estos dos parámetros determina la necesidad de ganancias o pérdidas de calor para alcanzar el bienestar térmico y a su vez, las estrategias bioclimáticas más eficientes para cada situación.

T **Temperatura de bulbo seco (ºC)**

La temperatura de bulbo seco o temperatura seca es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco. Los valores máximos y mínimos diarios reflejan las situaciones extremas en las que la demanda de climatización es mayor. Los valores estadísticos que se van a utilizar son los siguientes:

- Valores horarios o
- Valores máximos, medios y mínimos mensuales

En la Comunitat Valenciana, **la variación de la temperatura media se produce principalmente en función de la altitud**, coincidiendo con la orografía, de manera que las isotermas siguen un trazado semejante a las curvas de nivel del mapa topográfico. Aunque, la continentalidad (longitud) tiene mayor influencia en las amplitudes térmicas que en los valores térmicos medios y las diferencias en sentido meridiano (latitud) no sean significativas, se produce un **aumento de las temperaturas medias desde el interior a la costa y de norte a sur**.

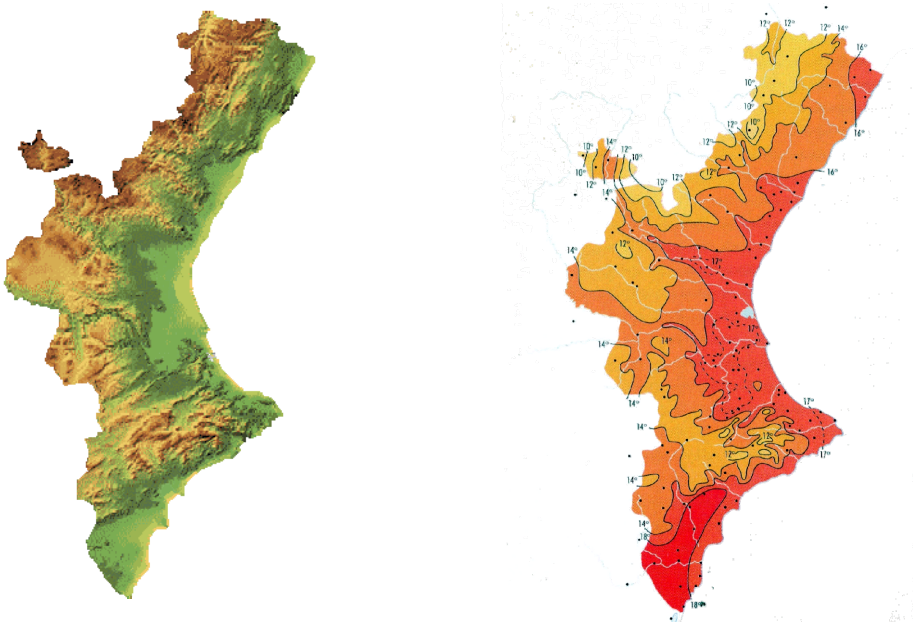


Figura 1.7 Relieve orográfico y Temperaturas medias. Atlas climático de la Comunidad Valenciana

HR **Humedad relativa (%)**

Es el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire (humedad absoluta) en relación al máximo que podría contener a igual temperatura y presión sin saturarse. La humedad absoluta aumenta con la temperatura del aire, mientras que la humedad relativa sigue un ritmo inverso, de modo que, a lo largo del día, la humedad relativa será mínima a la hora de máxima temperatura. El ritmo habitual

de variación de la humedad relativa tiende a disminuir de día y aumentar de noche y a ser menor en verano que en invierno.

El valor de la humedad relativa por sí solo no determina el bienestar humano, sólo será significativo en el caso de valores extremos[3] o si se combina con una alta temperatura, dando lugar a situaciones de incomodidad higrotérmica. Los datos representativos son:

- Valores horarios o
- Valores máximos, medios y mínimos mensuales

En el caso de la humedad relativa, suele ser frecuente encontrar únicamente datos medios mensuales, a partir de los cuales se puede calcular la humedad relativa máxima y mínima mediante las fórmulas empíricas de Nadeau y Puiggali[4].

1.2.2 Viento

El viento es el factor climático principal que determina las posibilidades de aprovechamiento de la ventilación natural como mecanismo de disipación del calor almacenado, por lo que se hace necesario conocer el régimen predominante para estimar las opciones que un edificio tiene de aprovechar este recurso.

Las corrientes de viento se originan a partir de las diferencias de presión que se dan entre las masas de aire, debidas a diferencias de temperatura en los estratos atmosféricos.

El viento se mide mediante anemómetros que registran la dirección y velocidad del mismo, representándose por un vector, de módulo la velocidad y de dirección su procedencia. El tratamiento estadístico de los registros históricos de viento se traduce en porcentajes de probable dirección y velocidad de viento para un determinado punto en un periodo de tiempo concreto. La representación de la intensidad y frecuencia de los vientos de cada dirección, se realiza mediante un diagrama vectorial en forma de estrella que se denomina rosa de vientos.

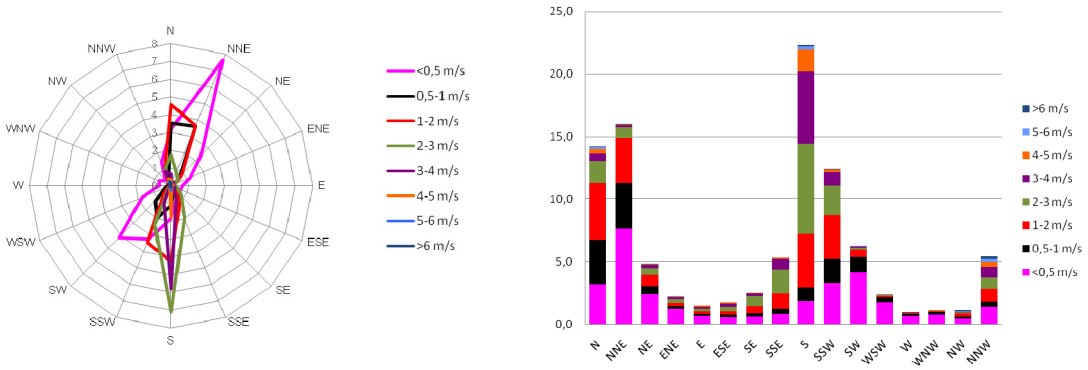


Figura 1.8 Rosa de vientos y diagrama de frecuencias acumuladas

3 Desde el punto de vista de confort se recomiendan valores situados en torno al 20-30% y el 70-80%. Por consideraciones sanitarias (irritación de mucosas, sequedad de la piel, desarrollo de microorganismos, etc.) se consideran más correctos los límites de 40% a 60%.

4 Con la temperatura media y la humedad relativa media se calcula la humedad específica media (que se supone constante a lo largo del día), posteriormente se calcula la humedad relativa máxima de cada mes a partir de la especifica y la temperatura máxima. El mismo procedimiento para la obtención de las humedades relativas mínimas.

$$HS = \frac{0.622 \times p_{sat}(\theta) \times HR}{10132500 - p_{sat}(\theta) \times HR}$$

$$p_{sat}(\theta) = \exp\left(23.3265 - \frac{3802.7}{\theta + 273.18} - \left(\frac{472.68}{\theta + 273.18}\right)^2\right)$$

- *HR la humedad relativa en %*
- *HS, la humedad específica en kgagua / kgaireseco*
- *, la temperatura en °C (comprendida entre 0 y 45°C)*
- $p_{sat}(\theta)$, *la presión de vapor saturante en Pa.*

Normalmente, las estaciones meteorológicas realizan las mediciones en campo abierto a una altura de 10 metros sobre el suelo, muy por encima de la altura a la que las personas van a recibir ese viento (1-2 metros), y sin obstáculos alrededor que interfieran en el recorrido de los flujos. En las zonas edificadas aparecen infinidad de obstáculos que influyen en la dirección y velocidad de los vientos característicos, de modo que estos valores frecuentes pueden verse sustancialmente alterados, suavizados o potenciados, según los elementos que atraviese el flujo de viento.

D Dirección del viento (º)

La dirección del viento es el punto cardinal desde el que se origina éste y se mide con la veleta, según los 360 grados geográficos. Así, la dirección del viento no representa a dónde va el viento, sino la dirección de la que viene.

En los observatorios valencianos se aprecia una alternancia estacional, en cuanto a la dirección de los vientos, de modo que en **otoño e invierno** destaca la componente **oeste** mientras que en **primavera y verano** predomina la componente **este**.

V Velocidad del viento (m/s)

La fuerza o intensidad del viento se mide por su velocidad en metros por segundo. La velocidad del viento en cada punto depende de las fuerzas que actúan sobre el aire, a su vez determinado por la dinámica atmosférica y los campos de presiones en cada lugar y momento.

El instrumento que mide la velocidad del viento es el anemómetro, que generalmente está formado por un molinete de tres brazos, separado por ángulos de 120º que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y accionan un contador que indica en base al número de revoluciones, la velocidad del viento incidente. Existen muchos tipos de anemómetros, siendo preferibles aquellos que tienen menor umbral de medición de la velocidad ya que generan menos situaciones de calmas en los registros.

La variación de la velocidad del viento en función de la altura, se produce según una ecuación exponencial de origen estadístico que depende de la rugosidad del terreno.

Las previsiones de viento para una determinada ubicación son muy sensibles a las influencias producidas por las condiciones del entorno inmediato como los cambios en el relieve o a obstrucciones existentes en el emplazamiento.

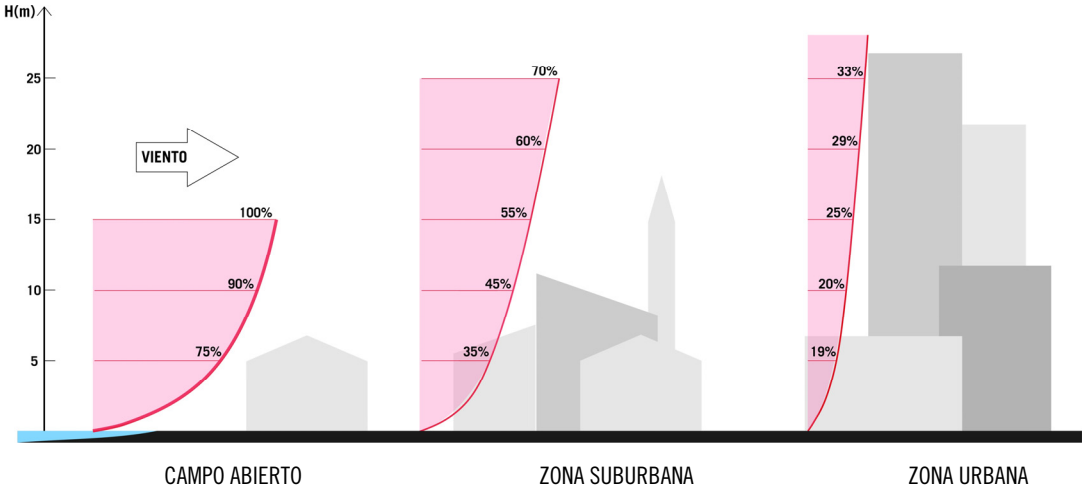


Figura 1.9 Gradiente de la velocidad del viento en función de la altura y el entorno

A una gran altura de la superficie terrestre (en torno a un kilómetro), la rugosidad del terreno no tiene ninguna influencia sobre el viento. La fricción con el terreno, con los accidentes geográficos, vegetación y edificaciones hace que la velocidad del viento se reduzca. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará ésta al viento. De modo que, cerca del suelo la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Es por ello que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas y que los bosques y grandes ciudades ralenticen el viento de manera significativa.

Las intensidades medias de viento en la Comunitat no suelen sobrepasar los 15-20 km/h de velocidad.

Según su velocidad y partiendo de la escala de Beaufort, se puede realizar la siguiente clasificación de vientos, en la que se relaciona la intensidad del mismo con los efectos y daños causados:

m/s	Km/h	Nombre		Efecto
0–0,4	0–1	0	Calma	El humo asciende verticalmente. Las hojas no se mueven.
0,5–1,5	2–5	1	Aire ligero o ventolina	El humo se desvía ligeramente indicando la dirección del viento.
1,6–3,3	6–11	2	Brisa ligera o flojito	Se nota el viento en la cara. Susurro de las hojas de los árboles. Las veletas comienzan a moverse.
3,4–5,4	1 –19	3	Brisa suave o flojo	Las hojas de los árboles se mueven. Las banderas comienzan a ondear.
5,5–7,9	20–28	4	Brisa moderada o bonancible	El viento arrastra polvo, papeles y hojas. Las ramas pequeñas de los árboles se mueven.
8,0–10,7	29–38	5	Brisa fresca o fresquito	Los árboles pequeños se tambalean. Se forman pequeñas olas en lagos y estanques.
10,8–13,8	39–49	6	Fresco	Las ramas gruesas de los árboles se mueven. Se usa el paraguas con dificultad.
13,9–17,1	50–61	7	Frescachón	Los árboles enteros se sacuden. Hay dificultad para caminar cara al viento.
17,2–20,7	62–74	8	Temporal	Se rompen ramas pequeñas de los árboles. No se puede avanzar cara al viento.
20,8 –24,4	75–88	9	Temporal fuerte	Daños pequeños en construcciones, el viento arranca tejas y derriba chimeneas.
24,5 –28,4	89–102	10	Temporal duro o tempestad	Daños graves en edificios. Rotura o arranque de árboles.
28,5–32,6	103–117	11	Temporal muy duro	Daños generalizados.
>32,7	>118	12	Temporal huracanado	Daños a gran escala, catástrofe general.

Tabla 1 Escala de intensidades de viento de Beaufort

1.2.3 Sol

El Sol es la fuente primaria de energía, que permite la vida en el planeta Tierra. A los efectos del aprovechamiento energético del Sol, cabe considerar fundamentalmente su aportación como proveedor de luz natural y de calor. La cantidad de energía disponible en un punto concreto de la superficie terrestre depende del ángulo con que la radiación solar incide sobre el mismo[5], para lo cual es necesario considerar la latitud del lugar como dato de partida a efectos de conocer la posición relativa del sol, y el modo en que incide sobre el lugar. Dicho ángulo varía en función dos tipos de factores:

Factores temporales: La posición del Sol en el cielo depende de la estación del año en que nos encontremos (primavera, verano, otoño o invierno) y de la hora del día. Durante la estaciones de primavera y verano, y en las horas centrales del día, la cantidad de energía disponible es mayor.

Factores espaciales: La dirección de la radiación incidente sobre un punto depende de su posición geográfica. De las dos coordenadas geográficas que definen la posición de un punto, la longitud no influye en la cantidad de energía recibida, mientras que la latitud sí que la condiciona, dado que cuanto menor es la latitud (el punto se encuentra más cerca del Ecuador), la altura angular del sol es mayor (es decir, el ángulo que forman los rayos del sol con el plano horizontal) y por tanto la cantidad de energía recibida es mayor.

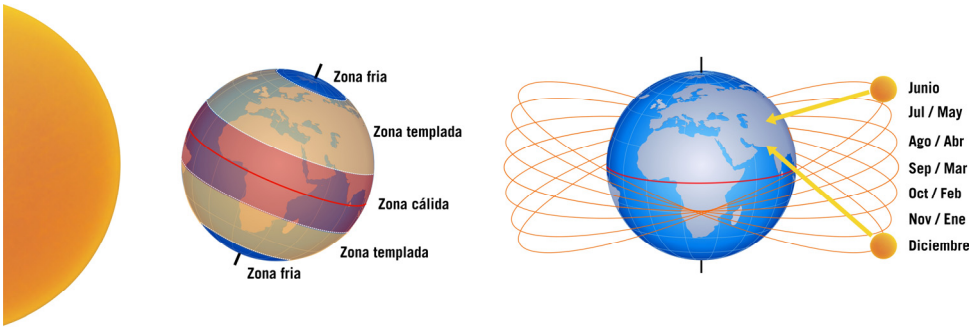


Figura 1.10 Radiación solar y el eje de rotación de la tierra. "El libro de la energía solar pasiva". E. Mazria y http://pe.kalipedia.com

El eje de rotación de la Tierra forma un ángulo de 67º aproximadamente con el plano por el cual trascurre el sol (eclíptica), de modo que a medida que la Tierra gira alrededor del sol, se van produciendo variaciones en la radiación que incide sobre una misma zona, lo que genera las estaciones.

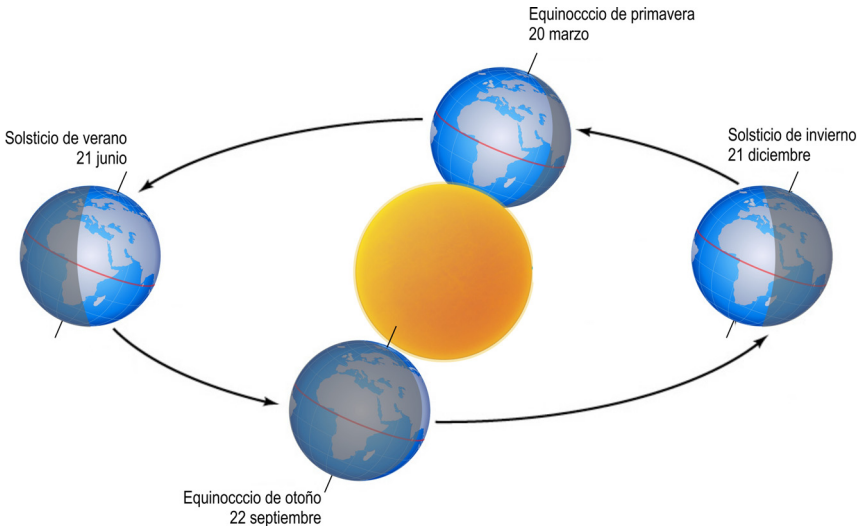


Figura 1.11 Posición relativa Tierra/Sol en los solsticios y equinoccios

[5] *La palabra clima proviene del término griego klima que significa inclinación, refiriéndose a la de los rayos del sol.*

Las **latitudes bajas** están muy cercanas al ecuador y por tanto el ángulo de incidencia del sol es bastante perpendicular y uniforme a lo largo del año, lo que hace que no existan grandes diferencias entre temperaturas medias a lo largo del año.

Las **latitudes medias** presentas claras diferencias entre los meses de verano y de invierno.

Las **latitudes altas** (los polos) pueden llegar a estar meses enteros sin recibir radiación o todo lo contrario, sin llegar a anochecer (aunque el ángulo es muy bajo y la radiación poco intensa).

Rad Radiación (W/m2)

La radiación solar es el parámetro más importante de todos y va a acondicionar al resto de variables climáticas: calienta el aire (temperatura), evapora el agua superficial terrestre (humedad) y produce movimientos de aire por diferencias de temperatura (viento).

Desde que la radiación solar es emitida, hasta su recepción en la superficie terrestre, se producen una serie de pérdidas debidas en su mayor parte a la absorción y a la reflexión por parte de la atmósfera. Una vez que la radiación solar entra en la atmósfera incide sobre la superficie terrestre de dos formas:

Radiación Directa (I_D): es la que no sufre cambios en su dirección. Se registra cuando el cielo está despejado y no hay obstáculos entre el Sol y el punto de recepción de la radiación.

Radiación Difusa (I_d): es la que alcanza el punto de recepción después de haber sufrido cambios en su dirección, debido a fenómenos de reflexión y refracción al atravesar la atmósfera. Se registra tanto si en cielo está despejado como si hay cobertura nubosa.

La suma de las dos anteriores se denomina **Radiación Global (G)**: $G = I_D + I_d$

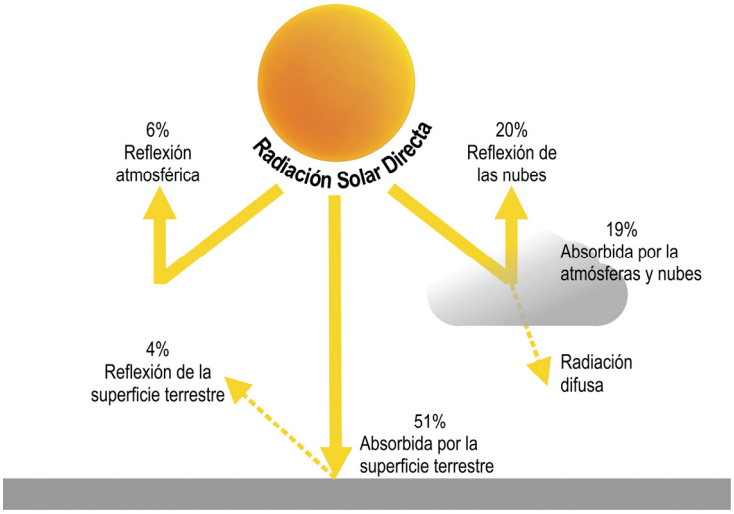


Figura 1.12 Comportamiento de la radiación solar

El dato de la radiación global permite caracterizar el clima del lugar que estemos estudiando. Cabe destacar que dicho valor está condicionado por la latitud del lugar, y por factores de tipo meteorológico, como la frecuencia de la cobertura nubosa.

Los valores de radiación se expresan en unidades de potencia instantánea por unidad de superficie (w/m^2). Para conocer la cantidad de energía recibida durante un periodo basta con multiplicar por la duración del mismo[6]. En el caso de disponer de registros horarios, se puede obtener la **radiación global acumulada** para un periodo determinado sumando los valores correspondientes[7].

---

[6] Para transformar valores medios diarios de potencia [w/m^2] en unidades de energía [kwh/m^2], habrá que multiplicar por el número de segundos que tiene un día (86.400 seg), con lo que se obtiene el valor energético en julios/m^2. Dividiendo por 1.000.000 se pasa a MJ/

Los valores de radiación correspondientes a una ubicación determinada pueden obtenerse de diversas fuentes. La mayoría de las entidades que facilitan valores de radiación son entidades públicas, que cuentan con series estadísticas de datos lo suficientemente amplias para considerar válidos los valores promedio.

A efectos del proyecto de arquitectura, hay que considerar que la radiación solar aporta energía, que al incidir sobre las superficies de las edificaciones, produce calor. Dicho calor puede ser aprovechado para, al aumentar la temperatura al interior de las edificaciones, aproximar su ambiente a las situaciones de confort, reduciendo su demanda energética. En este caso se puede considerar que el aporte de energía externa que produce la radiación solar es favorable, dado que nos aproxima a situaciones de confort sin coste económico.

Esta situación se da siempre que las temperaturas al exterior de la edificación sean inferiores a las de confort, típicas del invierno, del inicio de la primavera y el final del otoño. Por el contrario, si las temperaturas al exterior de las edificaciones son superiores a las de confort, la radiación solar producirá sobrecalentamientos, lo que obligará a evacuar dicho calor, normalmente mediante el uso de una instalación de acondicionamiento que consume energía. Esta situación es típica del verano, cuando es necesario evitar en lo posible la entrada de radiación solar en las edificaciones, que se pueda convertir en calor. En este sentido, es conveniente incluir en el proyecto de arquitectura las medidas necesarias para el control de la radiación solar incidente sobre las edificaciones, mediante los mecanismos pertinentes de protección solar.

1.3 Factores geográficos

Los datos climáticos obtenidos de los observatorios responden a las condiciones geográficas en las que se ubican, es decir si la estación se encuentra en una zona montañosa o próxima al mar, los registros que se realicen ya contemplan las posibles afecciones de estos factores geográficos.

No obstante, es conveniente considerar y comparar las características geográficas del lugar en el que se va a edificar y las del emplazamiento donde se encuentra el observatorio de referencia del que se toman los datos climáticos, para procurar que éstas sean lo más similares posibles, puesto que se pueden producir importantes variaciones climatológicas entre zonas próximas que tengan condiciones geográficas distintas.

Como ya se ha visto, los factores geográficos que más influyen en el clima general de una zona del planeta, y que resultan determinantes a gran escala son la latitud, la altitud y la continentalidad debida a la influencia del mar. A escala regional se pueden producir modificaciones del clima general como consecuencia de las características propias del medio geofísico. Estas áreas diferenciadas pueden ser variables, oscilando desde superficies relativamente pequeñas hasta alcanzar cientos de kilómetros cuadrados, abarcando pueblos, ciudades e incluso países.

Los factores geográficos que se deben tener en cuenta son la **topografía** (altitud, forma general del territorio, tipo de terreno), la **vegetación** (sombras, obstáculos, evapotranspiración), la proximidad a **masas de agua** y la presencia de **núcleos urbanos**. Aun así, en una misma zona con características geográficas similares, se pueden producir variaciones climáticas debidas al entorno próximo (microclimas a escala local, igual o menor de 100 metros), asociadas a las características de los materiales de acabado de las superficies próximas, las coberturas (vegetales) o la trama urbana (trazado de calle y volumen de la edificación).

En zonas urbanas existe una interrelación directa entre la edificación y el clima, ya que los microclimas producidos por la edificación existente condicionan, a su vez, el diseño de los nuevos edificios.

---

m^2. Para convertir MJ en Kwh basta con dividir por 3,6 (1Kwh = 3,6 MJ). En el caso de valores medios horarios de potencia [w/m^2], basta con dividir por 1.000 para convertirlos en energía [Kwh/m^2].

[7] Para calcular la media de la radiación global acumulada para los meses de enero, febrero y diciembre [Kwh/m2], necesaria para el cálculo de la Severidad Climática de Invierno (SCI), basta con sumar todos los valores de radiación horaria en unidades de potencia [w/m^2] correspondientes a los tres meses de invierno, dividir entre 1.000 para cambiar a unidades de energía [Kwh/m^2] y promediar (dividir entre tres). Para obtener la media de la radiación global acumulada para los meses de junio, julio, agosto y septiembre [Kwh/m^2], necesaria para el cálculo de la Severidad Climática de Verano (SCV), se procede de manera análoga promediando entre los cuatro meses de verano.

1.3.1 Topografía

La **altitud** refleja la distancia vertical de un punto de la Tierra respecto al nivel medio de la superficie del mar[8]. La altitud es uno de los principales factores que influye en el clima de un lugar, ya que la temperatura y la presión disminuyen a medida que crece la altura relativa respecto al nivel del mar, a la vez que la radiación solar aumenta.

En este sentido, se admite como regla general una corrección térmica media de 0,5ºC-0,6ºC[9] menos por cada 100 m de ascenso. Por este motivo, es importante que el observatorio que se tome de referencia para utilizar los datos climáticos tenga una altitud similar a la del punto en el que se está realizando el estudio.

A partir de la representación de los datos de temperatura media anual y de altitud de varios observatorios de la Comunitat Valenciana en un gráfico de dispersión, se puede observar que la línea de tendencia de los puntos obtenidos tiene una pendiente tal que pone de manifiesto la regla de corrección térmica.

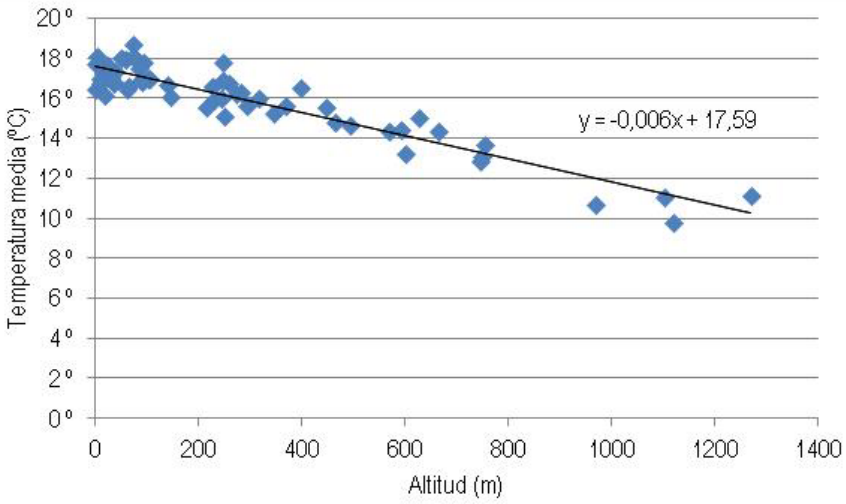


Figura 1.13 Relación Altitud - Temperatura

En este caso, cada 100 metros de altitud, se reduce la temperatura en 0,6ºC, lo que coincide con los valores medios de referencia.

Otra característica geográfica que influye en el régimen de temperaturas y humedades es la **forma general del territorio** que puede producir modificaciones de carácter regional o mesoclimas característicos como los que se asocian a las áreas influidas por los efectos de montañas o valles.

En zonas con relieve accidentado se pueden producir grandes diferencias en cuanto a la insolación recibida, las corrientes de viento o las masas de aire, las cuales se disponen en las depresiones del terreno siguiendo capas estratificadas según su temperatura:

[8] En España, se toma como referencia el nivel medio del mar en Alicante (la señal de nivelación NP1, se encuentra en la escalinata de acceso al Ayuntamiento).

[9] Según fuentes, se admite un gradiente térmico entre 0,4 y 0,8ºC por cada 100 m de altitud.

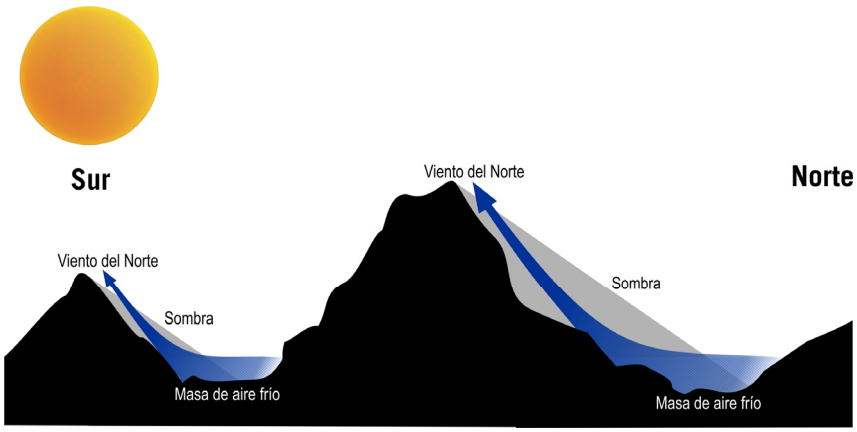


Figura 1.14 Régimen de vientos en zonas con relieve accidentado

Dependiendo de la orientación, el relieve del terreno puede actuar como obstrucción eólica o como canalizador de las corrientes de los vientos dominantes, por lo que este comportamiento deberá ser tenido en cuenta para establecer posibles mecanismos de ventilación natural.

En cuanto a la insolación recibida, se producirán grandes diferencias en función de la orientación principal de las vertientes, de modo que las laderas orientadas a sur serán más cálidas que las expuestas a norte.

El relieve valenciano determina grandes contrastes climáticos entre las zonas de interior y el litoral debido a las interferencias producidas por importantes relieves en el territorio como el Cerro Calderón (1.839 m) o Peñagolosa (1.814) y por la disposición transversal de las sierras ibéricas (NO-SE) como Espadán y Calderona o el sector bético (SO-NE), que actúan como un obstáculo frente a la influencia de las masas marinas.

En las formaciones montañosas, la radiación diurna actúa calentando el terreno de forma más intensa en las partes más altas, de forma que se producen corrientes ascendentes de aire caliente. Por el contrario al anochecer, se invierte el sentido de la corriente de aire produciéndose en sentido descendente, debido a que la parte superior de la montaña se encuentra más expuesta a la bóveda celeste y por tanto se enfría más rápidamente.

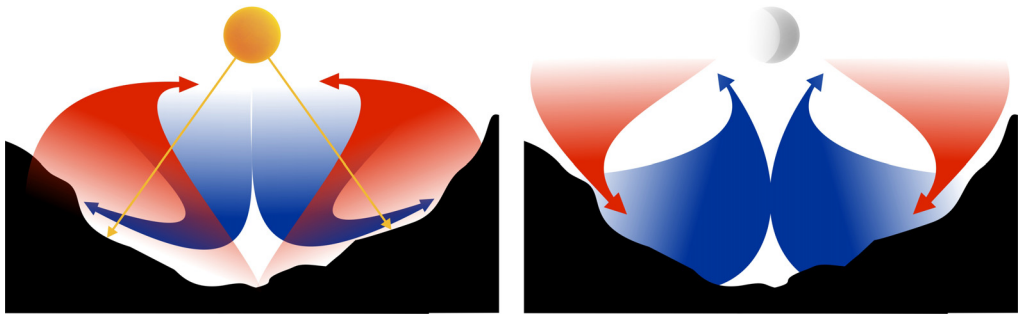


Figura 1.15 Regímenes de vientos diurnos y nocturnos en zonas montañosas

En cuanto a los valles, formados por laderas de orientación opuesta, ocurre lo mismo que en las montañas en cuanto a las corrientes de aire ascendentes y descendentes. Un fenómeno característico de los valles es la estratificación térmica que se produce entre las zonas altas y las bajas, generándose una bolsa de aire frío en el fondo por la noche (inversión térmica) mientras que en la parte superior se concentra la humedad máxima que se ha ido acumulando a lo largo del día.

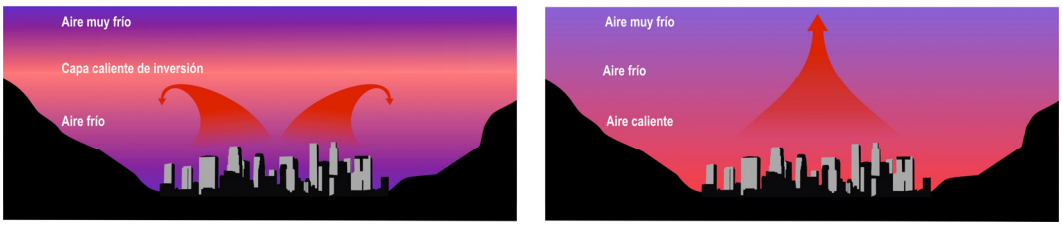


Figura 1.16 Estratificación térmica en valles

Por último, el **tipo de terreno**, dependerá de la composición o naturaleza de las superficies cercanas y será fundamental para determinar el albedo global. El **albedo** es el porcentaje de radiación reflejada por una superficie, respecto a la que incide. Las superficies claras tienen albedos superiores a las oscuras y las brillantes más que las mates. Por ejemplo, la nieve puede llegar a valores en torno al 90% y el asfalto está en torno al 10%.De manera global, el albedo promedio de la Tierra está en torno al 30%, las ciudades presentan unos valores mínimos de 10-15% y en zonas rurales dependerá del paisaje predominante (arena: 20-30%, bosque: 5-20%).

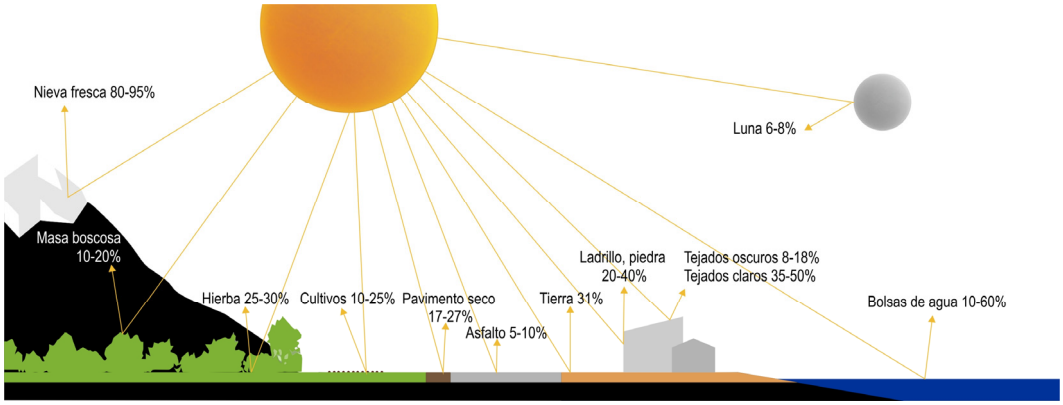


Figura 1.17 Albedo de diferentes superficies. La alerta verde

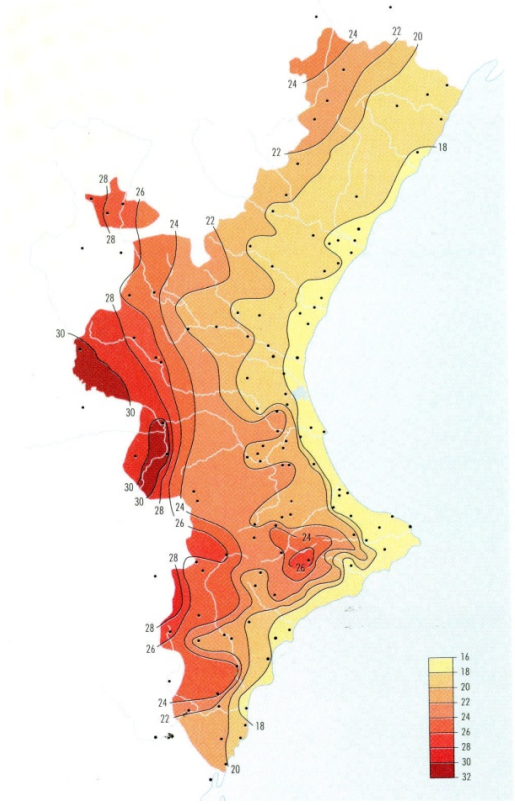
1.3.2 Proximidad a masas de agua

La presencia de grandes masas de agua influirá en las características climáticas de la zona debido al **efecto regulador** que se produce por su alta inercia térmica. El agua tiene una gran capacidad calorífica[10], mucho mayor que la tierra, lo que hace que actúe como un enorme sumidero de calor, amortiguando los intercambios de temperatura con el aire. El agua tarda más tiempo en cambiar de temperatura, de modo que por el día, sometida a la radiación solar, se calienta menos y por la noche se ralentiza su enfriamiento.

Los fenómenos más importantes asociados a las grandes masas de agua son la **continentalidad**, las **brisas marinas** o la influencia de las **corrientes** marinas sobre el clima.

En general, el clima de un lugar se verá afectado por el grado de **continentalidad** de manera que a medida que aumenta la distancia al mar se acentúan las amplitudes térmicas estacionales, con inviernos muy fríos y veranos calurosos, y se incrementa el contraste entre las temperaturas de día y de noche.

[10] *El agua tiene una capacidad calorífica de 1.000 kcal/m³ °C, la tierra seca y compactada está en torno a los 600 kcal/m³ °C y el aire tan solo tiene 0,29 kcal/m³ °C (transporta el calor, pero no lo almacena). Los materiales de construcción habituales (ladrillo, hormigón, madera, etc.) se encuentran alrededor de los 300 a 500 kcal/m³ °C, mientras que los aislantes térmicos poseen una capacidad calorífica muy baja (3 a 35 kcal/m³ °C).*



A partir de la amplitud térmica (A) y la latitud de los observatorios (lat), se puede expresar la continentalidad por medio de índices como el de Gorczynsky:

$$K = 1{,}7 * A / \sin(lat) - 20{,}4$$

Si $K < 10$ el clima es oceánico

$K > 20$ el clima es continental

Figura 1.18 Índices de continentalidad de Gorczynsky. Atlas climático de la Comunitat Valencia

Estas diferencias de calentamiento y enfriamiento propician la aparición por el día de **brisas frescas** procedentes de la masa de agua que se invierten por la noche orientándose desde la tierra hacia el agua (viento de terral). Esta situación se hace especialmente notable en las zonas costeras, donde no existen obstáculos que interfieran las corrientes de aire. La dirección predominante de las brisas es perpendicular a la línea de tierra y su efecto es más significativo durante los meses de verano y desciende bruscamente durante el otoño. La brisa marina llega a penetrar de 20 a 30 kilómetros tierra adentro[11], pudiendo alcanzar distancias mayores en algunos casos ante condiciones orográficas favorables. Este fenómeno puede ser interesante tenerlo en cuenta a la hora de planificar estrategias de ventilación cruzada en fachadas paralelas a la línea de costa, siempre y cuando esta disposición no provoque un exceso de viento incidente sobre las viviendas que pueda llegar a ser molesto. Por otro lado, se debe procurar no bloquear con los edificios de primera línea el acceso del viento al resto de edificaciones situadas tras ellas, para que éstas también puedan beneficiarse de este recurso.

En las zonas litorales de la Comunitat Valenciana, el mar actúa como el agente termorregulador más importante debido a la influencia de las brisas marinas.



Figura 1.19 Regímenes de vientos costeros diurnos y nocturnos

[11] *"Climatología de España y Portugal". Inocencio Font Tullot*

Otro aspecto relevante es el enfriamiento del ambiente en contacto con la superficie de agua, debido al efecto evaporativo en el que el aire cede calor y aumenta su contenido de vapor de agua reduciendo, de este modo, la temperatura final del aire. No obstante, hay que valorar el incremento del grado de humedad, puesto que puede alcanzar niveles excesivos en determinados entornos.

Las **corrientes marinas** son desplazamientos superficiales de grandes masas de agua que se producen en los mares y océanos debido a los movimientos de rotación de la Tierra, a la disposición de los continentes y al efecto de los vientos, entre otros factores. Pueden ser cálidas o frías y tienen una gran influencia sobre el clima.

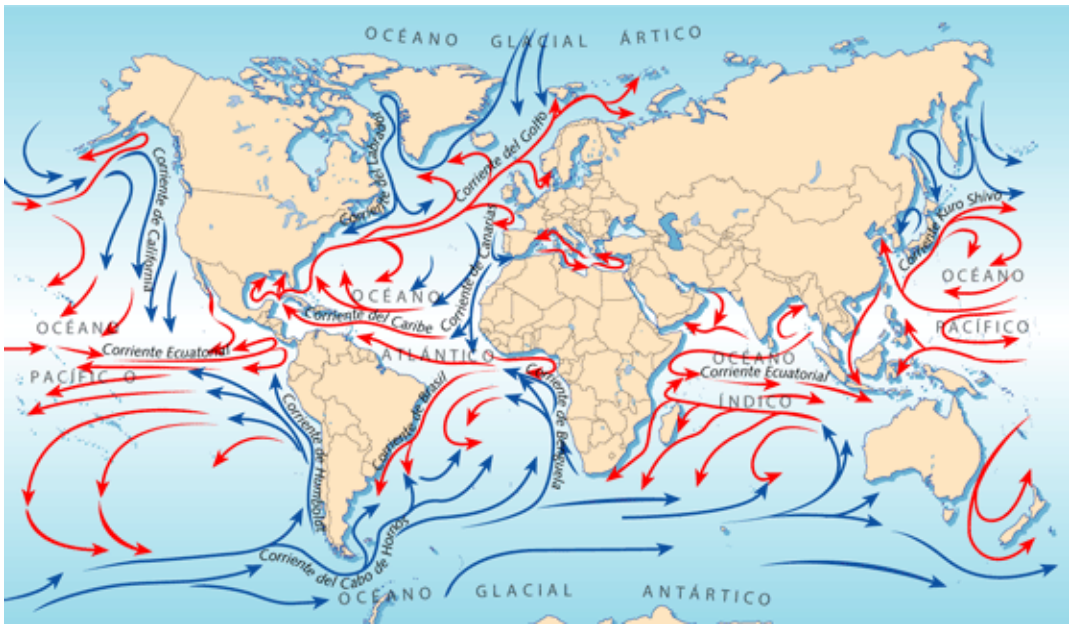


Figura 1.20 Corrientes marinas de Humboldt y el Niño

Las masas marinas ejercen un papel destacado en las zonas costeras debido al efecto combinado de todos los fenómenos explicados anteriormente, lo que hace que se produzca una franja de influencia en torno al mar, en la cual se reducen las oscilaciones térmicas diarias y anuales.

En el caso del Mar Mediterráneo, este fenómeno regulador es más significativo durante los meses fríos que en verano puesto que actúa como un manantial caliente, al tratarse de un mar continental conectado únicamente con la masa oceánica por el estrecho de Gibraltar.

1.3.3 Vegetación

La presencia de vegetación influye en las condiciones climáticas a pequeña y mediana escala, provocando variaciones en la radiación solar incidente, en la humedad relativa y la temperatura del aire y en la dirección y velocidad del viento, de manera que se crean mesoclimas y microclimas típicos con características climáticas diferentes a las de su entorno.
La vegetación debe ser tenida en cuenta como un elemento de diseño bioclimático más, aprovechando sus efectos de manera que contribuyan a mejorar la sensación de confort durante las épocas calurosas. Este efecto beneficioso se puede percibir tanto en los espacios exteriores como en el interior de las edificaciones, si se utiliza la vegetación como elemento amortiguador de los efectos climáticos.
Una de los efectos directos más evidentes de los elementos vegetales, es la de obstruir la entrada de radiación solar para proporcionar **sombra**. Esta estrategia puede resultar conveniente en épocas calurosas, pero no en los meses fríos en los que la entrada de radiación solar sea beneficiosa, por lo que será importante considerar el comportamiento estacional de cada una de las especies, con el fin de aprovechar sus posibilidades. Además, las superficies vegetales, influirán en el **albedo** global ya

que poseen valores en torno al 5-30%, dependiendo del tipo de vegetación, con lo cual se reduce el porcentaje de radiación reflejada.
Por lo tanto, en el caso del diseño de espacios urbanos, será conveniente realizar un análisis de las orientaciones, el ángulo de incidencia solar y las características climáticas y ambientales de la zona para especificar los requisitos de ajardinamiento adecuados a cada caso. De igual manera se deberá tener en cuenta la forma y densidad del follaje, y la adaptación al medio de cada especie para definir las especies idóneas.

Resulta conveniente disponer especies caducifolias con baja transmisividad en verano y alta en invierno, de manera que sirvan de elemento de protección solar en épocas de sobrecalentamiento y permitan aprovechar la radiación directa para estrategias de calefacción pasiva en los periodos fríos.

Las plantas modifican las condiciones higrotérmicas del ambiente ya que utilizan parte de la energía solar incidente para realizar la fotosíntesis y sobre todo por el enfriamiento evaporativo producido por la **evapotranspiración**. Este fenómeno combina la evaporación del agua existente en la superficie del suelo y el vapor de agua liberado por la transpiración de las plantas, de manera que se reduce la temperatura media y aumenta la humedad ambiental.

El diseño de los paisajes alrededor del edificio juega un papel importante en el control del movimiento del aire alrededor del mismo. El tipo y disposición de la vegetación existente en una ubicación debe ser tenida en cuenta para estimar las variaciones que se pueden producir sobre el patrón principal de flujo de aire, además de otras consideraciones estéticas y ambientales. La vegetación puede ser determinante en estrategias basadas en el resguardo o desvíación del viento, aceleración del aire, acondicionamiento del aire incidente en la edificación y sombreo.

Por lo tanto, la vegetación puede utilizarse como un elemento de diseño para reducir la demanda energética de refrigeración, teniendo en cuenta sus efectos directos e indirectos. Se consideran directos aquellos relacionados con la protección solar, la producción de sombra y modificación de la temperatura media radiante o su acción como pantalla para proteger o desviar las corrientes de viento. Los indirectos son aquellos relacionados con la regulación higrotérmica, que contribuyen a la variación de los valores medios de temperatura y humedad mediante la evapotranspiración. Pero además existen otros efectos no relacionados con el clima, que pueden ser de gran interés en entornos urbanos, como la capacidad de absorción de ruido de algunas especies para su uso como barrera acústica o la acción purificadora de la atmósfera mediante la producción de oxígeno y la absorción de CO_2.

1.3.4 Núcleos urbanos

Las ciudades provocan alteraciones en el clima general de la zona en la que se asientan, de manera que se generan diferencias importantes en cuanto a los parámetros climáticos característicos de las áreas urbanas y las zonas rurales circundantes a las mismas. La modificación de las condiciones climáticas se manifiesta en aspectos como el régimen predominante de vientos, la radiación solar incidente, la humedad relativa, las precipitaciones o la reducción de la amplitud térmica diaria. Todo esto se traduce en un incremento sustancial de la temperatura y, por lo tanto, en un incremento de la demanda energética para conseguir condiciones de confort.

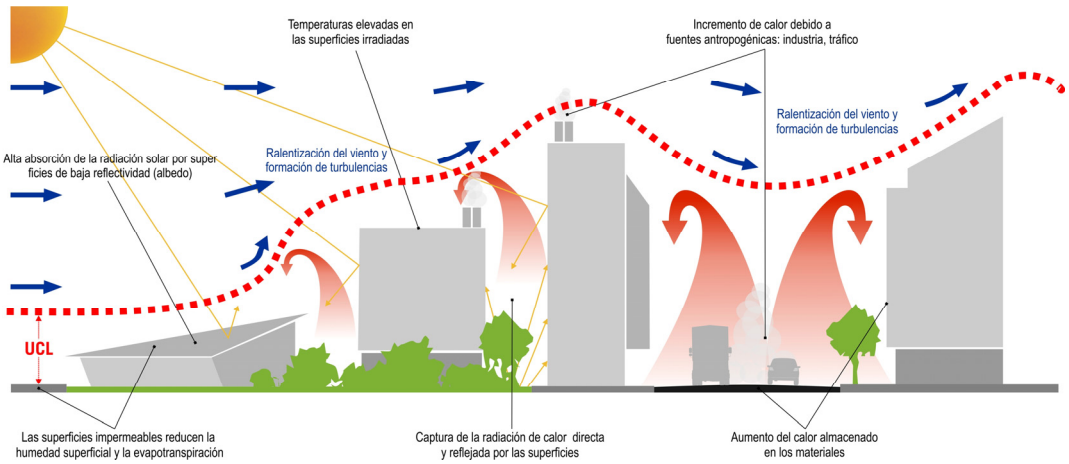


Figura 1.21 UCL: Urban Canopy Layer (Capa de dosel urbana)

La alteración de las condiciones climáticas se produce a nivel regional, mesoclima o **microclima urbano**, en comparación con el entorno no construido. Un efecto característico de las zonas urbanas es la **isla de calor**, por la cual se limita la evacuación de calor almacenado en la ciudad, originándose una temperatura más alta que la del ambiente circundante. La isla de calor urbana puede producir un incremento de la temperatura ambiente en la ciudad respecto al entorno rural de cómo mínimo 0,5-1ºC llegando a 3ºC de media aproximadamente, pudiendo llegar a alcanzar en determinados momentos del día una diferencia de hasta 10ºC. Este efecto se manifiesta sobre todo por la noche, a partir del atardecer, generándose en los núcleos urbanos una temperatura nocturna superior a la de las zonas poco urbanizadas o rurales, ya que estas se enfrían más rápidamente.

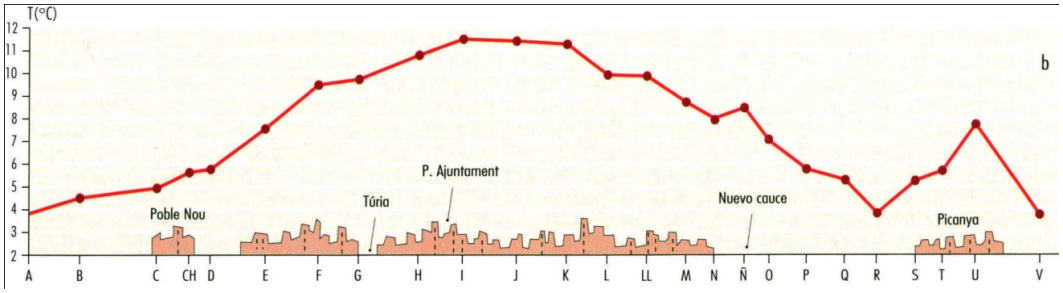


Figura 1.22 Perfil térmico de Valencia del día 13 de febrero de 1989, en el cual se observa una diferencia térmica de 8ºC entre el centro de la ciudad y la periferia. Pérez Cueva, 1992[12]

Además de las variaciones térmicas entre las áreas urbanas y las rurales, también se producen diferencias a pequeña escala, dentro de las propias ciudades, debido a la diversidad de espacios construidos. Estas **variaciones locales** dependen de la configuración y distribución de los espacios libres y los edificios, en función de la trama urbana, la sección de las calles y tamaño de plazas o la altura de los edificios. Así mismo es fundamental la presencia de zonas ajardinadas y espacios verdes dentro de la ciudad, como elemento regulador de la temperatura, en lugar de superficies pavimentadas, con un bajo albedo, las cuales son en gran medida responsables del efecto de isla de calor.

Parte de la radiación solar incidente absorbida se transforma en calor latente. La cantidad de energía acumulada y la rapidez con la cual es posteriormente emitida depende de las características de los **materiales de acabado utilizados en las superficies urbanas**: fachadas de edificios, calles, etc. y de la proporción de superficies vegetales existente. La intensidad de radiación emitida por los materiales varía en función de sus propiedades térmicas (emisividad, inercia térmica, reflectancia,…) y de la extensión de superficie horizontal expuesta.

[12] *Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990). Generalitat Valenciana*

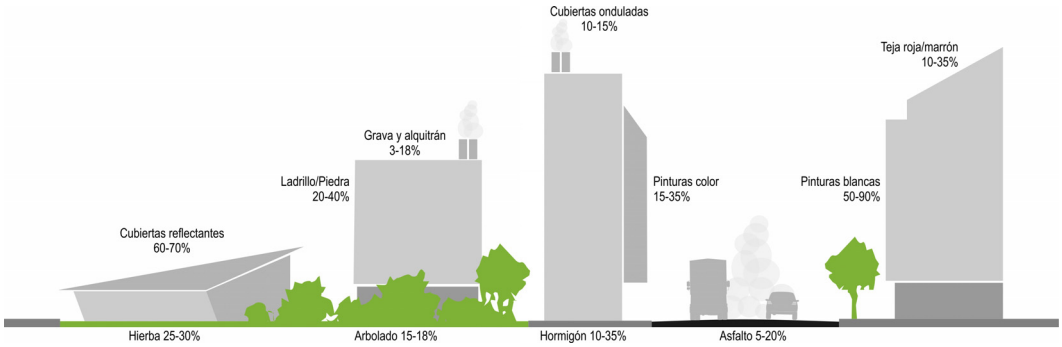


Figura 1.23 Albedo de diferentes superficies en entornos urbanos. Marshall Space Flight Center Earth Science Office

Otro de los fenómenos característicos de los núcleos urbanos es el calor generado por determinadas **fuentes antropogénicas**, como la industria, el transporte o la construcción. Estos procesos relacionados con la actividad humana, son origen de emisiones que contribuyen a incrementar la contaminación atmosférica y por lo tanto contribuyen a acentuar el efecto de isla de calor.

Las medidas para **contrarrestar** el efecto de isla de calor se deben incorporar a las estrategias de planificación urbana mediante el uso de espacios verdes y árboles, la sustitución de superficies pavimentadas por cubiertas permeables o vegetales, la orientación de las calles y su sección (por las posibilidades de acceso al sol, iluminación o ventilación) o la disposición de los edificios (la orientación optima es de 45º respecto a la dirección del viento).

RESUMEN:

Coordenadas geográficas

Unidades		
Longitud	Coordenada "x" UTM (northing)	Grados sexagesimales (º, ´, ´´) Este / Oeste
Latitud	Coordenada "y" UTM (easting)	Grados sexagesimales (º, ´, ´´) Norte / Sur
Altitud	metros	

Parámetros climáticos

AIRE	Temperatura	ºC	T_{med}	Temperatura media mensual
			$T_{med\ min}$	Media de las temperaturas mínimas
			$T_{med\ max}$	Media de las temperaturas máximas
	Humedad Relativa	%	HR	Humedad relativa media mensual
VIENTO	Dirección	º	Dir	Dirección predominante
	Velocidad	m/s	V_{med}	Velocidad media
SOL	Radiación	W/m^2	Rad	Radiación media diaria

Factores geográficos

El efecto de estos factores puede ser relevante a nivel regional o mesoclimático y además presentar variaciones o matices de carácter local, conformándose microclimas específicos. Para evitar grandes alteraciones de los datos climáticos de referencia es aconsejable tomar los valores del observatorio más cercano que se encuentre rodeado por factores geográficos similares a los de la zona objeto del estudio. Estos registros climáticos ya contienen de manera implícita las diferencias que se producen en las distintas partes del territorio, en cuanto a variaciones térmicas, de humedad o de radiación. En caso de que no se disponga de datos de una localización semejante se deberán tener en cuenta las alteraciones que pueden producir en los datos de los observatorios, cada uno de los factores analizados:

Factores geográficos	Parámetros climáticos			
	Temperatura	Humedad	Viento	Radiación
Topografía Meso climas de montaña y de valle	Aumenta con la altitud: 0,5-0,6ºC/100 m		Áreas protegidas frente a otras sobreexpuestas. Corrientes ascendentes de aire caliente.	Diferencias según las orientaciones y pendientes. Albedo de las superficies.
Masas de agua Mesoclima de mar	Gradiente de temperatura perpendicular al mar. Se reducen las oscilaciones térmicas diarias y anuales.	Aumenta el grado de humedad relativa. Enfriamiento evaporativo del aire en contacto.	Brisas marinas (de mar a tierra por el día y a la inversa por la noche).	
Vegetación Mesoclima de bosque	Se reduce la temperatura media y las oscilaciones térmicas.	Aumenta el grado de humedad relativa (evapotranspiración).	Barreras que modifican la intensidad y desvían la dirección.	Protección solar (sombra).
Núcleos urbanos Mesoclima urbano	Superior a las áreas rurales circundantes.	Se reduce el grado de humedad relativa.	Disminuye la velocidad media anual en torno al 20-30%.	Disminuye la radiación solar global incidente.

2 ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO

2.1 Condiciones de confort

Las condiciones de confort del ambiente interior están relacionadas con los parámetros del acondicionamiento ambiental y se definen en base a cuatro sistemas diferentes, pero altamente relacionados, como el confort higrotérmico, visual, acústico y la calidad del aire interior; teniendo en cuenta el uso de los recintos. En cada uno de estos sistemas se pueden definir las condiciones de confort como el conjunto de parámetros ambientales acotados dentro de un margen que permita realizar las actividades previstas en un hábitat determinado.

De esta forma el confort higrotérmico se determina como la situación en la cual se pueden realizar adecuadamente los intercambios de calor entre los usuarios y el ambiente interior.

El confort visual queda determinado por una adecuada distribución de la iluminancia sobre el plano de trabajo y la ausencia de deslumbramientos.

En el caso del confort acústico las condiciones quedan circunscritas a una protección de los ruidos no deseados tanto del ambiente exterior como interior y un acondicionamiento de los ambientes interiores para adecuar la percepción sonora en los mismos en función del uso.

Para la calidad de aire interior se limita la concentración de CO_2 así como la cantidad de partículas en suspensión.

Si bien estos cuatro sistemas están relacionados con las condiciones de sostenibilidad, esta guía se centra en los aspectos más relacionados con el ahorro energético y por lo tanto las condiciones de confort acústico y de calidad del aire quedan fueran del alcance del documento.

2.1.1 Confort higrotérmico

La sensación de confort higrotérmico se obtiene cuando el ambiente permite la regulación normal de la temperatura del cuerpo humano y de la humedad requerida por la piel y las mucosas en contacto con el aire. El metabolismo, propio de la actividad, hace disipar del cuerpo humano cierta cantidad de calor (de 65 W en reposo a 520 W para actividades intensas), y de igual manera, el metabolismo y la actividad, extrae del organismo humano agua en forma de vapor que se incorpora al medio ambiente.

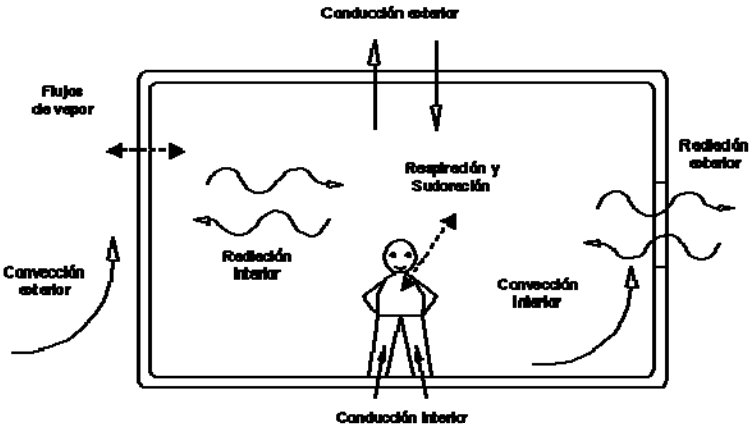


Figura 2.1 Flujo higrotérmico interior-exterior

La termorregulación es la capacidad del cuerpo humano para regular su temperatura. Con el fin de que la temperatura interna del hombre permanezca constante, el balance térmico que contempla aportes y pérdidas de calor por convección, conducción, radiación y evaporación debe permanecer constante.

Convección: Se produce entre el ser humano y el aire exterior mediante materiales fluidos, como son el aire y el agua, transportando calor entre zonas con diferentes temperaturas. Los fluidos al calentarse aumentan de volumen y, por lo tanto, su densidad disminuye y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

Conducción: La conducción es la transferencia de calor por contacto con el aire, la ropa, el agua, u otros objetos. Se produce entre dos cuerpos sólidos transfiriéndose el calor desde el más caliente hasta el menos caliente. En el caso del cuerpo humano con el medio si la temperatura del medio circundante es inferior a la del cuerpo, la transferencia ocurre del cuerpo al ambiente (pérdida), si no, la transferencia se invierte (ganancia).

Radiación: Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas. Se produce la emisión de calor desde un cuerpo más caliente a un cuerpo menos caliente.

Evaporación: La evaporación de agua en el cuerpo humano se produce a través de la sudoración y de la respiración. La sudoración se basa en la eliminación de agua que se difunde al exterior de la piel, para su evaporación necesita absorber calor que lo toma del cuerpo humano. También se pierde agua a través de las vías respiratorias en el proceso de respiración.

Para que esta pérdida de calor tenga lugar sin sensación de molestia, es conveniente que el ambiente tenga unas condiciones higrotérmicas adecuadas para que la velocidad de transmisión de calor no sea excesivamente rápida y la piel se enfríe, ni demasiado lenta, produciéndose una sudoración elevada con el objeto de restablecer el equilibrio, llegando a resecarse el organismo por un exceso de transpiración.

El balance térmico[13] está relacionado con los siguientes parámetros agrupados según cuatro categorías;

1- Geográficos: latitud y altitud

2- Climáticos: temperatura, humedad, velocidad del aire y radiación

3- Personales: tipo de actividad, arropamiento, edad, sexo y previsibilidad subjetiva

4- Ambientales: tiempo de ocupación, gradiente vertical de temperatura, variación periódica de la temperatura, radiación emitida por los paramentos y asimetría radiante entre los mismos.

Influencia del viento en el confort

La renovación del aire en un local con objetivo de mantener unas ciertas condiciones de calidad en términos de salubridad, se suele solucionar mediante el aporte de uno que tenga unas características térmicas y de humedad parecidas a la existente dentro del local. En estos casos, raramente se percibirá el movimiento del mismo en confort, a velocidades menores de 0.5 m/s.

Sin embargo, es cierto que el fenómeno del movimiento de aire sobre la piel desnuda de las personas provoca una sensación de frescor, pese a que el aire tenga la misma temperatura que cuando estaba en calma. Esto ocurre por efecto de que el movimiento del aire favorece el cambio de estado de la propia evapotranspiración de las personas y genera un cierto intercambio de calor latente. Difícilmente la velocidad del aire de renovación de un local puede producir esa sensación de frescor y de ahí que se justifica la existencia de los ventiladores o de otros aparatos destinados a provocar movimientos de aire utilizando el aire existente dentro de los locales y por tanto independientemente del aire de aporte para una renovación del ambiente.

Mientras que la ventilación para mantener una calidad del aire óptima o al menos fijada, es independiente de las condiciones climáticas, la ventilación de confort depende particularmente de la temperatura y presión de vapor que hay en la zona en cuestión. Este confort es deseable desde el punto de vista fisiológico, aunque la temperatura del aire exterior sea mayor que la temperatura interna, puesto que la velocidad del aire amplia la zona de confort.

---

[13] Ecuación del balance térmico: Para conseguir el confort térmico térmico, debe existir equilibrio entre la ganancia de calor (ambiental o metabólico) y la eliminación del mismo.

En un local con personas normalmente vestidas, en reposo u ocupadas en una actividad ligera y con una temperatura entre 20 y 24 ºC, un movimiento de aire a una velocidad comprendida de 0,5 a 1 m/s les proporciona una sensación de frescor confortable. Sin embargo en otros casos, con personas dedicadas a una actividad dura, con gran esfuerzo muscular, esta sensación de alivio no se producirá hasta que se alcance una velocidad de aire sobre las personas de 1,3 a 2,5 m/s. Sobrepasar esta velocidad provoca más bien una sensación molesta que de alivio y por tanto debe evitarse.

Hay que tener en cuenta que, para favorecer la transpiración, el aire debe estar a menor temperatura, siempre inferior a la del cuerpo y también que el grado de humedad debe ser suficientemente bajo para permitir la evaporación del sudor humano.

Después de numerosos ensayos con un gran número de personas se ha podido establecer una escala, como la de la tabla siguiente, en la que se relaciona la velocidad del aire con la sensación de bajada térmica que se producía en cada individuo. Hay que tener en cuenta que para las velocidades de aire bajas se ha considerado personas normalmente vestidas y temperaturas alrededor de los 20º, y para velocidades de aire elevadas se han utilizado hombres con el torso desnudo dedicados a un trabajo intenso y temperaturas elevadas.

Velocidad del aire	Sensación de bajada térmica
0,1 m/s	0º C
0,3 m/s	1º C
0,7 m/s	2º C
1,0 m/s	3º C
1,6 m/s	4º C
2,2 m/s	5º C
3,0 m/s	6º C
4,5 m/s	7º C
6,5 m/s	8º C

Tabla 2 Sensación térmica en función de la velocidad del viento. Soler y Palau

La relación entre la ventilación y el confort es importante, como se hace ver en la presente guía. Desde el punto de vista estratégico, y tratándose de zonas templadas o cálidas, se pueden utilizar las condiciones atmosféricas para la ventilación de dos formas:

- **Acción de la velocidad del aire directamente sobre las personas**: La ya citada sensación térmica de refrescamiento cuando la velocidad del aire en movimiento impacta sobre la piel de las personas que ocupan los habitáculos. Esta estrategia puede utilizarse tanto de día como de noche, aprovechando los movimientos del aire y la disposición de las ventanas para proporcionar movimientos orientados hacia la posición de los ocupantes en la edificación.

- **Ventilación nocturna**: durante la noche, la masa de los edificios (principalmente aquellas partes que tienen más inercia térmica) se enfría al entrar en contacto con el aire exterior. La masa fría del edificio absorbe calor durante el día siguiente mejorando las condiciones de confort y disminuyendo las necesidades de refrigeración diurna.

La transferencia de calor que supone el confort se realiza directamente desde las personas al flujo de aire en movimiento que las envuelve, sin embargo los resultados son casi nulos en cuanto a las temperaturas del resto de partes del habitáculo.

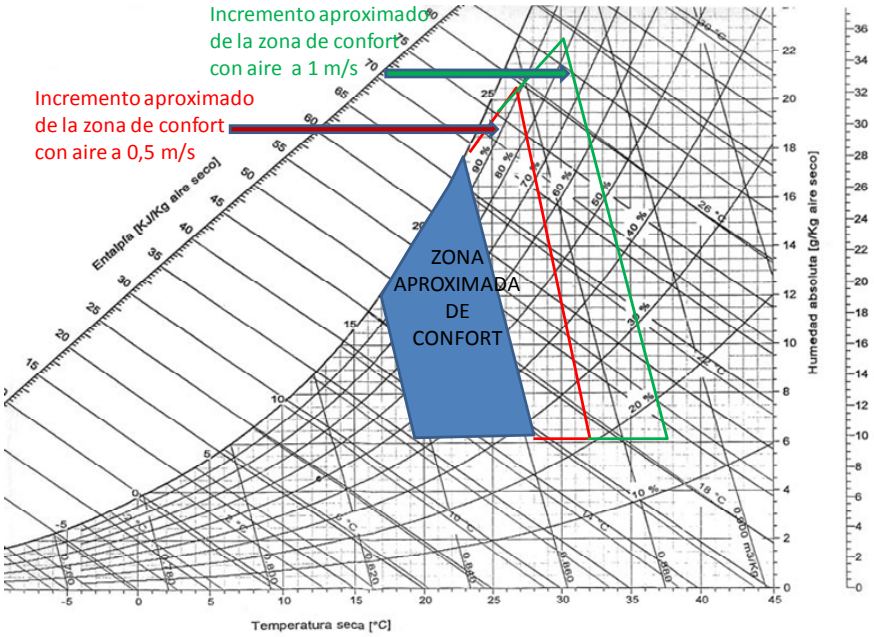


Figura 2.2 Diagrama psicrométrico en que se indica el efecto aproximado de la velocidad del aire interior en el confort térmico

Hay que hacer asimismo notar, que cuando se involucran grandes caudales de aire, tal como se requiere en la ventilación, no siempre la distribución de velocidades en el interior de los habitáculos es homogénea, por lo que debe considerarse que todas las velocidades no serán iguales, considerando las corrientes y los caminos preferenciales del aire. Es por ello que la consideración del confort debería ser realizada en términos de velocidades y no de renovaciones, como habitualmente se considera, puesto que esto no asegura el confort en todas las regiones renovadas.

La ventilación de confort puede ser considerada en todo momento en que sea beneficiosa fisiológicamente, ya sea de día o de noche, mientras que la ventilación nocturna sobre la masa del edificio se limita a las horas térmicamente más frescas de la noche.

Como se indica, el factor de velocidad del aire es entonces muy importante, en estos casos. Es por ello que los patrones de flujo en el interior de la edificación son importantes. Es importante seleccionar el tipo de ventanas, entradas o acanalamientos del aire de forma que el aire se dirija hacia las personas, para obtener un máximo de refrescamiento pasivo. Por ejemplo, el aire en un aula debería entrar a la altura de una persona sentada, mientras que para un dormitorio, el aire debería dirigirse hacia el suelo. Las estrategias nombradas pueden combinarse, como se indica en la figura siguiente.

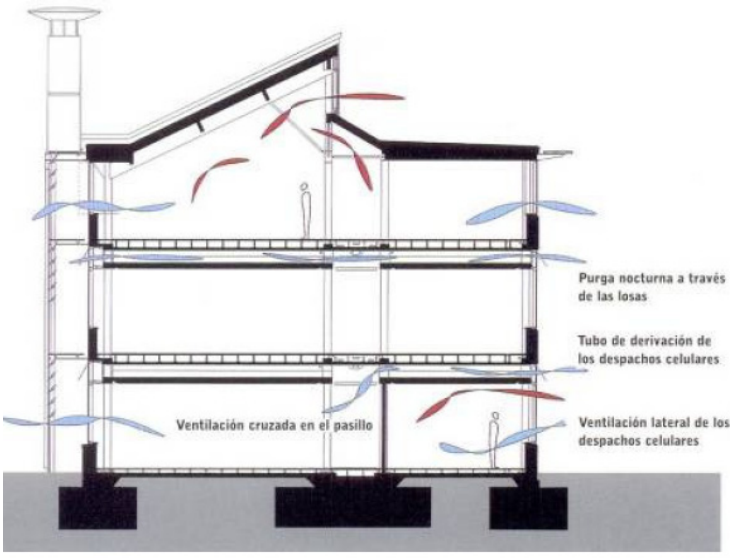


Figura 2.3 Combinación de las estrategias de ventilación y confort en un mismo edificio

Índices de bienestar higrotérmico

Con el objeto de cuantificar las sensaciones relacionadas con los parámetros anteriores, ya que no se pueden definir unas condicionales universales de confort, la ASHRAE definió en el "Handbook of Fundamentals" (1977) diversos índices de bienestar, clasificados en Directos, Racionales y Empíricos, que permitieran representar la respuesta humana frente a las acciones a las que se encuentra sometido por su entorno.

Los **Índices Directos** se refieren a parámetros simples obtenidos de mediciones directas de las condiciones del aire como son las temperaturas, humedades o la velocidad del aire.

Los **Índices Racionales** se derivan de los Directos y son más precisos puesto que relacionan varios parámetros entre sí. Dentro de este grupo se encuentra la **temperatura operativa**[14] a la que se hace referencia en las condiciones interiores de diseño que establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). La temperatura operativa depende de la temperatura seca del aire y de la temperatura radiante media correspondiente al intercambio de calor por radiación entre el cuerpo y las superficies que lo rodean.

Otro parámetro basado en los mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente es el Índice de Tensión Térmica (o de Fatiga Térmica) ITT, desarrollado por Givoni y Berner-Nir, que establece la relación entre la energía en forma de calor que necesita eliminar el cuerpo y la energía máxima que puede eliminar por evaporación, en unas condiciones determinadas. Givoni se basó en este índice para delimitar la zona de bienestar en su climograma.

Por último se encuentran los **Índices Empíricos**, que se basan en respuestas subjetivas obtenidas de forma experimental, como el Voto Medio Previsto (PMV), que establece la respuesta de un gran número de personas respecto a una escala de sensaciones entre -3 (mucho frío) y +3 (mucho calor), o el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD), que predice de manera cuantitativa el número de personas insatisfechas en función del VMP.

En cualquier caso, aunque el PMV sea igual a o (neutro o confort), siempre habrá como mínimo un 5% de personas insatisfechas debido a las diferencias de percepción que existe entre las personas.

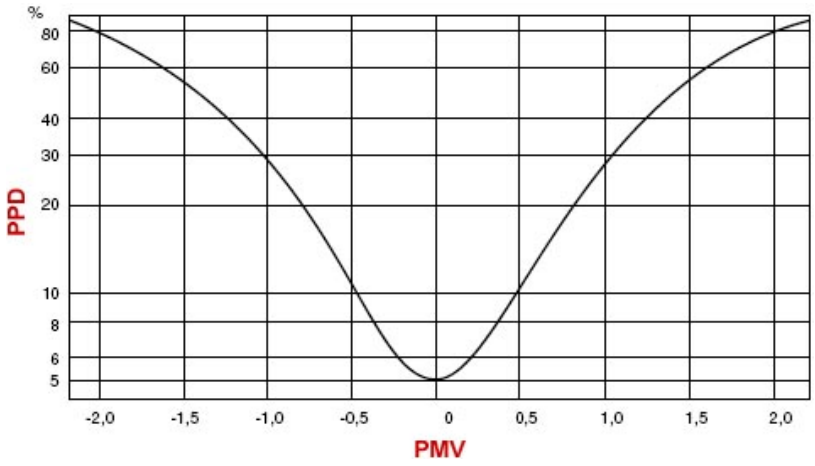


Figura 2.4 Porcentaje de Personas Insatisfechas PPD en función del Voto Medio Previsto PMV

[14] *Temperatura operativa t_o definida como la temperatura uniforme en un recinto negro radiante en el que un ocupante tendría que intercambiar la misma cantidad de calor por radiación y convección, que en un ambiente real no uniforme (ISO 7730-1984-E)*
Para velocidades de v_a <0,2 m/s² o para diferencias entre la temperatura radiante media TRM y la temperatura del aire t_a inferiores a 4ºC, la t_o puede obtenerse como el promedio entre t_a y TRM. Fuera de estos límites establecidos es válida la siguiente expresión.
t_o= A t_a+(1-A)TRM
Con A dependiente de velocidad relativa del aire
A=0,5 para v_a<0,2 m/s²
A=0,6 para 0,2 m/s²<v_a<0,6m/s²
A=0,7 para 0,7 m/s²<v_a<1,0m/s²

Otro índice que cabe destacar, dentro de este último grupo, es la **temperatura efectiva**[15], que combina en un único valor el efecto de la temperatura, humedad y movimiento del aire en relación con la sensación térmica (calor o frío) percibida por el cuerpo humano.

2.1.2 Confort visual

El confort visual queda determinado por las tareas visuales a realizar en un determinado espacio. El objetivo se centra en lograr una optimización de los niveles de iluminación junto con un control del deslumbramiento. Este confort depende en muchas ocasiones de las condiciones de la luz natural. La luz producida por el Sol es un factor psicológico de reconocida importancia, ya que se adapta mejor a las necesidades visuales del ser humano que las fuentes de luz artificial[16]. La fuente de luz natural mejora la capacidad visual incluso con niveles inferiores de iluminación, reduciendo la situación de estrés. Por estos motivos, la búsqueda de un confort visual discurre paralela a la búsqueda de unas adecuadas condiciones de iluminación natural. En este camino se debe de lograr un equilibrio entre requerimientos contradictorios:

- Obtener una relación con el ambiente exterior, pero con protección de la privacidad.
- Obtener un aprovechamiento de la radiación solar en épocas frías, pero con protección frente a la misma en épocas cálidas.
- Obtener una iluminación suficiente sin deslumbramientos.

Los parámetros que definen las condiciones de iluminación de un espacio son fundamentalmente el **nivel de iluminación**, la **distribución de luminancias sobre el campo visual** y el **deslumbramiento.** Estas condiciones de iluminación quedan determinadas por las magnitudes fotométricas;

Índices de bienestar visual

Iluminancia

Cuando una superficie resulta iluminada por una fuente luminosa, este fenómeno queda determinado por la **iluminancia**, definida por el cociente entre el flujo luminoso recibido y el elemento diferencial de superficie:

$$E = \frac{dF}{dS}$$ Siendo su unidad el Lux (lx): $$1\ lx = \frac{1\ lm}{1\ m^2}$$

Luminancia

La luminancia queda definida como la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada

$$L = \frac{I_\alpha}{dS \cdot \cos\alpha}$$

Donde:

L es la luminancia medida en nit (nt) o candela por metro cuadrado (cd/m^2) → (1 nt = 1 cd/m^2)

I_α es la intensidad luminosa para fuentes extensas

α es el ángulo entre la normal a la superficie y la dirección considerada

[15] La temperatura efectiva se define como la temperatura que en un ambiente con aire en reposo y saturado, produciría en el individuo la misma sensación que las condiciones reales.

[16] A literature review of the effects of natural light on building occupants. L.Edwards and P. Torcelli. July 2002 NREL/TP-550-3076.

Niveles de iluminancia

De acuerdo con el tipo de espacio y de la tarea a realizar se pueden distinguir tres estados de exigencia sobre los niveles de iluminación, para zonas de circulación, el mínimo y el óptimo para zonas de trabajo. Para las zonas de circulación se requiere una luminancia mínima de 2 nt, que equivale a una iluminancia horizontal mínima de 20 lx. Estos valores representan el mínimo para distinguir los rasgos del rostro humano, reservándose exclusivamente para las zonas de circulación.

El nivel mínimo para las zonas de trabajo tiene una exigencia superior ya que en este caso se necesita percibir los rasgos sin un esfuerzo de acomodación. Por lo tanto, en las zonas de trabajo los valores de luminancia mínimos se sitúan entre 10 nt y 20 nt, resultando un valor mínimo de iluminancia horizontal de 200 lx. El nivel óptimo de iluminancia para las zonas de trabajo se sitúa entre 1500 lx y 2000 lx con valores de luminancia entre 100 nt y 400 nt. Dentro de las distintas tareas que se pueden realizar aparecen aquellas que se pueden catalogar como tareas visuales exigentes, estas son las que exigen un máximo de sensibilidad al contraste. Desde los estudios realizados en Óptica Fisiológica se indica que estas tareas se realizan correctamente para valores de luminancias del orden de 1000 nt con iluminancias horizontales superiores a 10000 lx. Estos niveles se consiguen únicamente con alumbrado adicional localizado.

Distribución de luminancias

Una correcta distribución de las luminancias dentro del campo visual va a mejorar el rendimiento visual, repercutiendo positivamente en el confort de los usuarios. La distribución de luminancias se puede estudiar en tres grupos; luminancia de las fuentes luminosas, luminancia de superficies interiores y luminancias sobre el plano de trabajo.

La luminancia de las fuentes luminosas es función del nivel de iluminación del local de trabajo, los valores permisibles varían de 1000 nt a 10000 nt.

Deslumbramiento

La CIE[17] en 1970 definió el Deslumbramiento como "Condición de visión que produce molestias, reducción o ambas, en la habilidad para ver objetos significantes debido a una inconveniente distribución o nivel de luminancias o a variaciones extremas de las mismas en el espacio o en el tiempo."

De acuerdo con esta definición aparecen dos tipos de deslumbramiento. El primero se corresponde con el deslumbramiento perturbador que provoca una incapacidad por parte del observador para la percepción de una tarea visual. El segundo tipo es el deslumbramiento molesto, caracterizado por una sensación de incomodidad que tiende a aumentar con el tiempo. Un control del deslumbramiento molesto evita el perturbador, por este motivo únicamente se estudia el segundo. Además de estos dos tipos, el deslumbramiento puede ser de tipo directo o indirecto. El directo es aquel que está producido por las fuentes luminosas incidiendo sobre los receptores, su sistema de control se fundamenta en el diseño propio de las luminarias. Mientras que el indirecto se produce por el flujo luminoso reflejado por las superficies próximas al receptor.

Las fuentes lejanas a la posición del observador no son capaces de producir deslumbramiento por reflexión. Este será producido, en proporción a la posibilidad de reflexión de los flujos de las fuentes luminosas, por las superficies cercanas a la tarea visual. Esta reflexión depende de las características de las superficies y de la posición relativa fuente – receptor.

El deslumbramiento indirecto no solo produce molestia sino que además reduce el contraste dando como resultado una pérdida de detalles. Para evitar estas situaciones no deseadas se deben tomar unas precauciones:

- Situar las áreas de trabajo de tal forma que ningún punto de la zona forme con el receptor y la fuente luminosa un ángulo que coincida o se aproxime al de reflexión.
- Aumentar el flujo luminoso lateral sobre la zona de trabajo en la dirección perpendicular a la visión.
- Utilizar luminarias de mayor superficie y menor luminancia.
- Inclinar el plano de trabajo.
- Utilizar superficies de trabajo lo más mate posible.

[17] *Comisión Internacional de Iluminación*

Una de las causas más frecuentes de deslumbramiento es la luz natural. A partir de una luminancia de 2000 nt que se corresponde con una iluminancia horizontal de 10000 lx (Cielo nublado con iluminación difusa), provoca deslumbramiento[18]

2.1.4. Condiciones de bienestar consideradas en esta guía

2.1.4.1 Bienestar Higrotérmico

Para establecer recomendaciones de diseño en esta guía se ha adoptado como modelo de análisis, el climograma publicado por B. Givoni en 1969, que considera un margen en la zona de confort superior al reconocido por la normativa española. Las temperaturas secas según el reglamento varían desde 21ºC hasta 24ºC dentro de la zona de confort. En el modelo aplicado esta margen se amplía desde 20ºC para temperatura seca más baja hasta 27ºC como límite superior. En lo relativo a las humedades relativas el límite inferior se queda en 20% y el superior en un 80% si bien para temperaturas superiores a 24ºC se limita la humedad específica.

Givoni Condiciones	Temperatura de bulbo seco (ºC)	Humedad relativa (%)
Confort	21 ... 26	20 ... 75
Confort admisible	20 ... 27	20 ... 80

Tabla 3 Confort en función de la temperatura y humedad relativa. Givoni

Las condiciones interiores de diseño del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios se definen en base a unas condiciones determinadas de actividad metabólica (1,2 met), grado de vestimenta de los ocupantes (0,5 clo en verano y 1 clo en invierno) y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD= 10-15%). 19 No obstante, el RITE establece que se podrán variar las condiciones anteriores en base a lo especificado en la norma UNE-EN ISO 773020.

RITE Condiciones	Temperatura Operativa (ºC)	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Invernales	20 ... 23	0,15 ... 0,20	40 ... 60
Estivales	23 ... 25	0,18 ... 0,24	

Tabla 4 Condiciones interiores de diseño RITE (IT 1.1.4.1.2)

El RITE marca unos intervalos de temperatura operativa, velocidad del aire y humedad relativa, mientras que Givoni acota la temperatura de bulbo seco, humedad relativa y velocidad del aire. Comparativamente no se pueden analizar conjuntamente ya que la temperatura operativa, que relaciona varios parámetros entre sí, no es directamente equivalente a la temperatura seca. Analizando las posibles temperaturas secas para las temperaturas operativas estipuladas en el RITE, las diferencias son pequeñas ya que el intervalo de confort queda con temperaturas entre 21ºC y 27º[21].

---

[18] Como medida del deslumbramiento molesto la Norma UNE EN 12464-1:2002 define el índice de deslumbramiento molesto utilizando el método de tabulación del índice de deslumbramiento unificado de la CIE (UGR, Unified Glare Rating) según la expresión:

$$UGR = 8\log_{10}\left(\frac{0{,}25}{L_b}\sum\frac{L^2\omega}{p^2}\right)$$

Donde
L_b es la iluminancia del fondo
L es la luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador
Ω es el ángulo sólido de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador
p es el índice de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

[19] El RD 1826/2009 de 27 de noviembre, por el que se modifica el RITE, establece en su I.T. 3.8.2. unos valores límite de las temperaturas del aire y de humedad relativa que se aplicarán exclusivamente durante el uso, explotación y mantenimiento de la instalación térmica, por razones de ahorro de energía, con independencia de las condiciones interiores de diseño establecidas en la IT 1.1.4.1.2.

[20] La UNE-EN ISO 7730 reconoce el Modelo de Fanger para la valoración del confort térmico. El método fue publicado originariamente en 1973 por P.O. Fanger y actualmente sigue siendo el más extendido.

[21] Calculado suponiendo una diferencia máxima entre Ta y TRM de 4ºC.

2.1.4.2 Bienestar Visual

Para establecer las recomendaciones de diseño sobre la iluminación natural en la guía se han tomado como referencia los siguientes valores para determinar su relación con el control de la radiación solar.

El intervalo considerado para los niveles de iluminancia interior se refleja en la siguiente tabla[22]

Tipo de tarea			Iluminancia horizontal (lx)		
Viviendas	Sala de estar	General	50	.....	100
		Localizada	500	.....	1000
	Cocina	General	125	.....	250
		Localizada	250	.....	500
	Dormitorios y baños	General	50	.....	100
		Localizada	250	.....	500
	Resto de espacios		50	.....	100

Tabla 5 Niveles de iluminancia interior

Por parte del Código Técnico de la Edificación no se establecen las condiciones de iluminación para el sector residencial. En el documento básico sobre Ahorro de Energía en la Sección HE3. Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación tiene por objeto limitar la demanda energética por parte de los sistemas de alumbrado artificial, habilitar mecanismos de control sobre los mismos cuando las condiciones geométricas de las edificaciones permitan un aprovechamiento de las condiciones de iluminación natural, así como establecer las condiciones de para el mantenimiento de las instalaciones de acuerdo con un Plan de Mantenimiento. Esta limitación se cuantifica con el valor de eficiencia energética VEEI[23].

En lo referente a las superficies interiores hay que separar las superficies verticales de la superficie del techo. La luminancia de las superficies verticales es casi independiente de la luminancia de los objetos presentes en el campo visual y del nivel de alumbrado del local. Para niveles de iluminancia habituales entre 500 lx y 2000 lx, el valor óptimo se puede considerar de 100 nt. Para el techo la luminancia óptima es función de la luminancia de las luminarias, cuando la luminancia de esta es inferior a 120 nt, la del techo debe de ser mayor. En lo relativo a la protección frente al deslumbramiento, el índice de deslumbramiento molesto debe de situarse entre 28 y 16.

[22] *De cara al cumplimiento de las exigencias de las exigencias, los parámetros definitorios de la calidad en las condiciones de iluminación se determinan por la Norma UNE-EN 12464-1:2003 Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interiores.*

[23] *Valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lx CTE DB HE3*

2.2 Climogramas de confort

2.2.1 Diagrama psicrométrico

Los parámetros climáticos que caracterizan una masa de aire se pueden relacionar entre sí a través de su representación en un diagrama psicrométrico, que es la representación gráfica de las propiedades y reglas termodinámicas de las mezclas de aire y de vapor de agua para una determinada presión atmosférica. Las condiciones del aire de una ubicación se representan por el punto de intersección de la isolínea de la humedad relativa y la abscisa de la temperatura de bulbo seco. Conocidos estos dos valores el diagrama permite obtener el resto de propiedades del aire y cuantificar la energía que un sistema puede perder o ganar cuando cambia de un estado a otro en forma de calor.

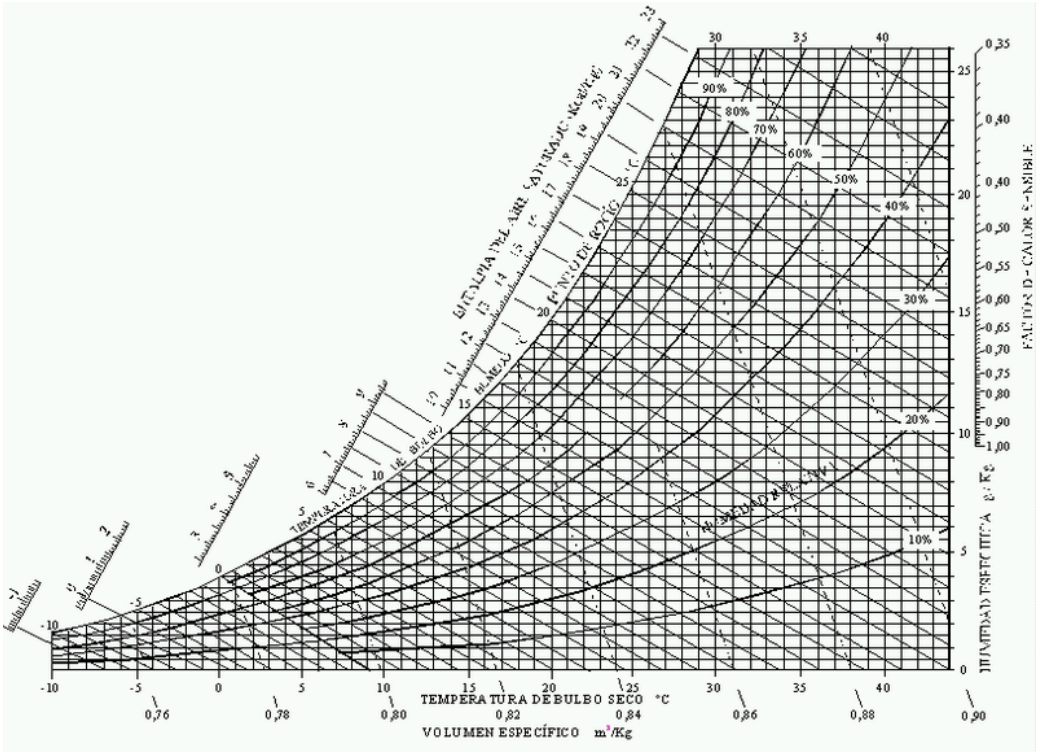


Figura 2.5 Diagrama psicrométrico

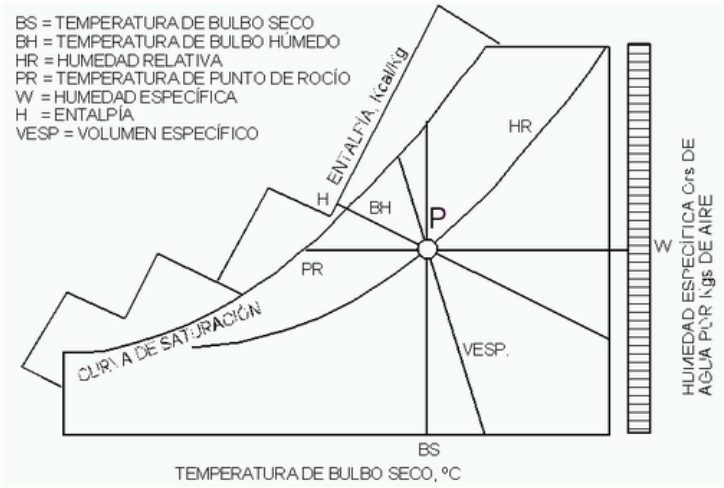
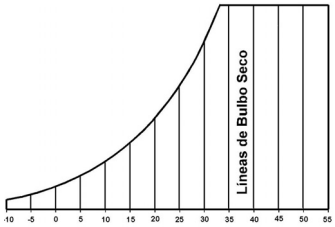
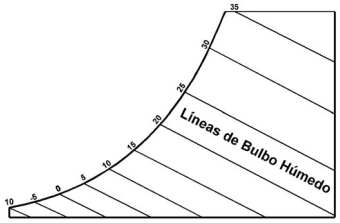


Figura 2.6 Variables del diagrama psicrométrico

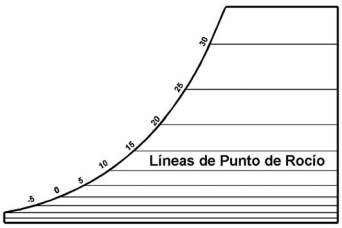
Los parámetros que se pueden representar en un diagrama psicrométrico para caracterizar una determinada masa de aire húmedo son los siguientes:



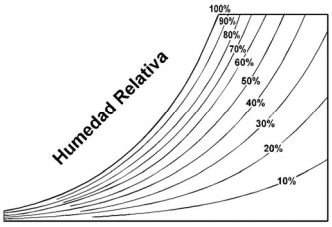
T_s Temperatura seca o de bulbo seco [ºC]
Temperatura indicada por un termómetro cuyo elemento sensible está protegido contra la radiación (UNE 100001:2001). Se representa sobre el eje de abcisas del diagrama, mediante líneas verticales de temperatura constante.



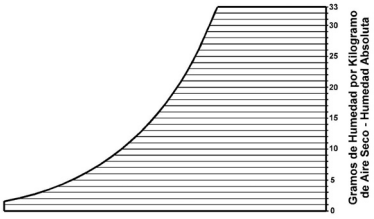
T_h Temperatura húmeda o de bulbo húmedo [ºC] Temperatura indicada por un termómetro cuyo elemento sensible es mantenido húmedo (UNE 100001:2001). Se representa por líneas inclinadas con origen en la curva de saturación (Hr=100%), con un ángulo de 30º con la horizontal aproximadamente.



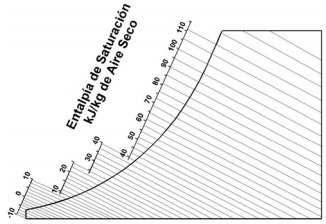
T_r Temperatura de rocío [ºC]
Temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua, para unas condiciones determinadas de humedad y presión. Se representa mediante líneas que tienen el mismo origen que las temperaturas húmedas, con la misma escala pero horizontales.



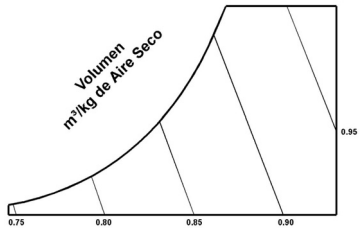
HR Humedad relativa [%]
Relación entre la presión parcial del vapor de agua del aire y la presión parcial de saturación del vapor de agua a la misma temperatura y presión. Se representa mediante curvas localizadas entre el eje de abcisas y la curva de saturación, disminuyendo cada 10% a medida se alejan.



HE Humedad específica (o absoluta) [g/kg de aire seco]
Masa de vapor de agua presente en el aire, expresada en gramos, por cada kilogramo de aire seco. Se representa sobre el eje de ordenadas del diagrama, mediante isolíneas horizontales.



H Entalpía (o contenido de calor) [kJ/kg de aire seco]
Cantidad de calor acumulado en la unidad de masa de aire. Queda definida como la suma del calor sensible empleado para calentar el aire hasta su temperatura seca, más el calor latente absorbido por el agua evaporada. Las líneas de entalpía constante coinciden con las de temperatura húmeda.

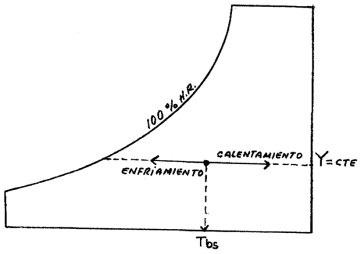


Ve Volumen específico [m^3/kg de aire seco]
Relación entre el volumen total de aire atmosférico y la masa total de aire seco. Es la magnitud inversa de la densidad. Se representa por líneas inclinadas con origen en la curva de saturación, con un ángulo de 60º con la horizontal aproximadamente.

Figuras 2.7 Representación de las propiedades del aire en una carta psicrométrica. Fuente: Manual Técnico Valycontrol.

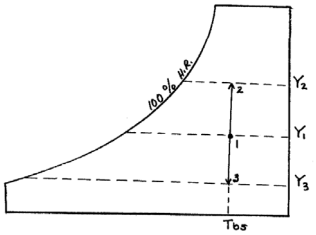
Procesos psicrométricos

Los procesos de acondicionamiento de aire relacionados con el bienestar implican la modificación de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Mediante el ábaco psicrométrico se pueden comprender sencillamente los procesos termodinámicos desde la situación inicial hasta la situación de confort.



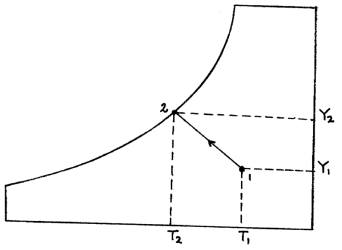
Procesos de calor latente constante

Estos procesos suponen una modificación de la temperatura de bulbo seco del aire sin modificar la humedad específica y por tanto la temperatura de rocío. En estos procesos se produce un cambio en la entalpía del aire húmedo y del volumen específico



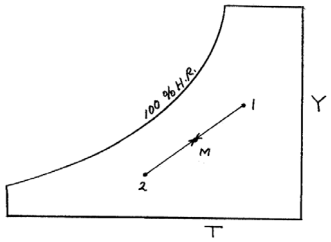
Procesos de calor sensible constante

Estos procesos representan una modificación de la humedad específica sin modificar la temperatura de bulbo seco del aire, son procesos de humidificación o deshumidificación de aire. En estos procesos implican una modificación en la entalpía del aire



Procesos adiabáticos

Estos procesos conllevan una modificación de la temperatura de bulbo seco de aire y de humedad específica a entalpía constante, es decir sin intercambio de calor con el medio.



Mezcla de aire

La mayoría de procesos de acondicionamiento de aire implican una mezcla de aire con dos condiciones, la proporción de cada uno de ellos determina las características de la situación final.

Figuras 2.8 Representación de procesos del aire húmedo. Fuente: Psicrometría, métodos de humidificación y deshumidificación y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico. I. Pilatowsky.2002.

2.2.2 Climograma de Givoni

Los climogramas o diagramas bioclimáticos son herramientas de diseño que establecen relaciones entre las variables térmicas y los parámetros de confort humano, a través de la representación de áreas de bienestar y de estrategias correctivas, sobre diagramas psicrométricos.

Para el análisis de las estrategias de confort, teniendo en cuenta los datos climatológicos, se puede utilizar el Climograma de Bienestar de Givoni, basado en el diagrama psicrométrico ASHRAE. Givoni plantea unas condiciones de confort y una serie de áreas en las que se indican los sistemas correctores basados en soluciones arquitectónicas que se deberían implementar para aproximar las condiciones higrotérmicas a los umbrales de confort y procurar el bienestar de las personas en el interior de los edificios.

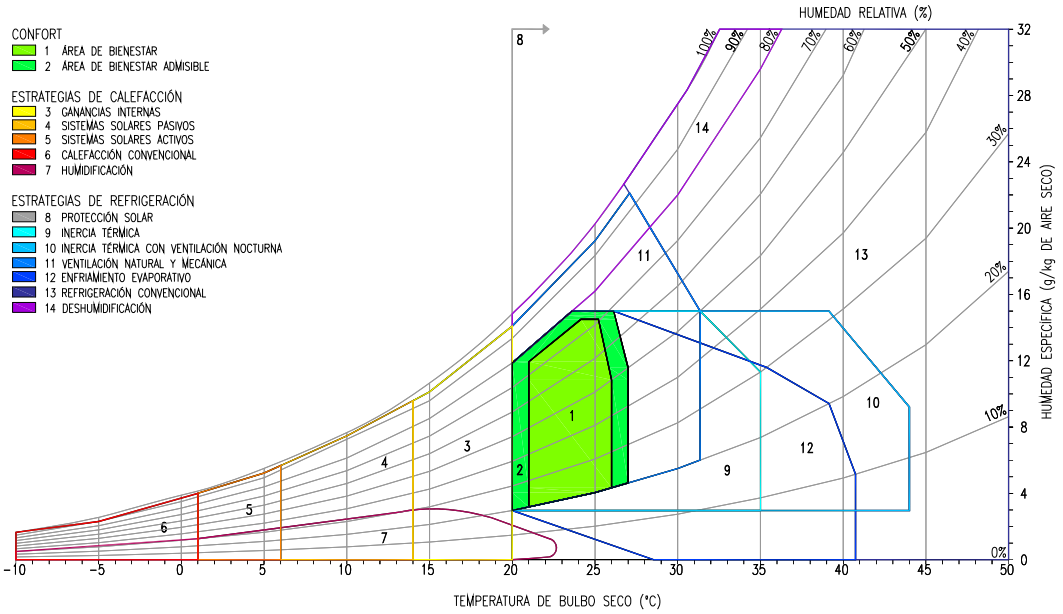
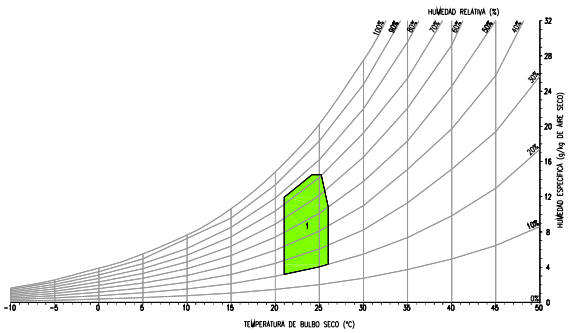


Figura 2.9 Climograma de Givoni

El **área de bienestar** o confort [1] se encuentra entre los 21 y los 26ºC de temperatura seca, ampliándose a un **área de bienestar admisible** [2] de 20 a 27ºC de temperatura. En cuanto a la humedad relativa ésta se encuentra de 20 a 75% en el área de bienestar ampliándose al 80% en el área de bienestar admisible. Esta zona se corresponde con las condiciones de temperatura y humedad en las que el cuerpo humano requiere el mínimo gasto de energía para adaptarse al ambiente. Dentro de esta zona de confort no se necesita ninguna corrección constructiva para obtener el bienestar en el interior de los edificios, siempre y cuando no haya radiación solar directa en su interior.

Este área de confort está rodeada por varias zonas en las se puede alcanzar el bienestar mediante actuaciones pasivas, o en las que son necesarias técnicas de acondicionamiento convencionales [11] y [12]. En las zonas en las que se superponen distintas estrategias, se puede usar una u otra o una combinación de ellas.

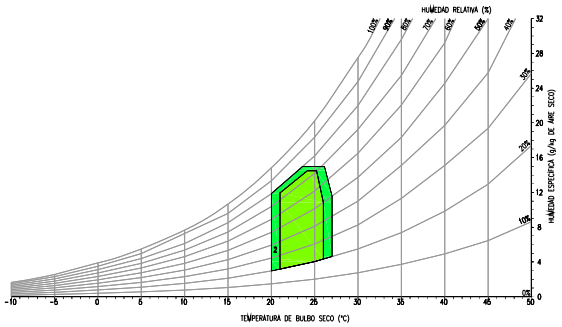
1. Área de bienestar



Temperaturas	Humedades relativas
21ºC ... 26ºC	20% ... 75%

Corresponde a las condiciones de temperatura y humedad en las que el cuerpo humano se encuentra en estado de confort por lo que no se requiere de ninguna actuación sobre la edificación. Se considera que el individuo lleva ropa ligera de verano y se encuentra en estado de actividad bajo.

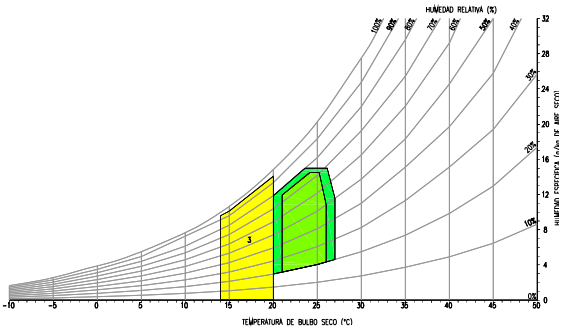
2. Área de bienestar admisible



Temperaturas	Humedades relativas
20ºC ... 27ºC	20% ... 80%

Consiste en una ampliación del área de bienestar para contemplar las distintas posibilidades de arropamiento que pueden darse en el interior de los edificios en invierno y en verano, según su uso, el cual dependerá, en cualquier caso, del factor de aclimatación de cada individuo. En esta área el gasto de energía en el individuo ya no es el mínimo, pero la sensación térmica sigue siendo aceptable.

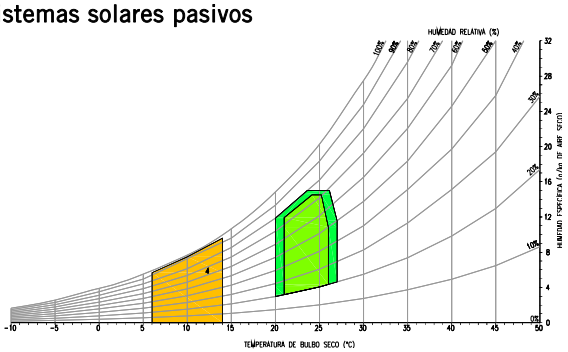
3. Ganancias internas



Temperaturas	Humedades relativas
13,5ºC ... 20ºC	0% ... 100%

Se debe al aumento de temperatura producido por el aporte de calor debido a la presencia de personas, según la actividad que se realice, y a la disipación de calor por la iluminación y los equipos instalados. Este tipo de ganancias también se producirá en los días calurosos por lo que podría convertirse en un efecto negativo en verano

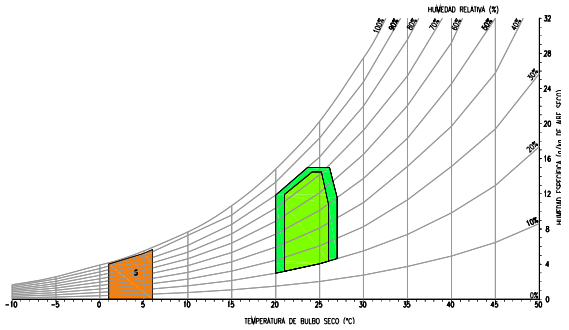
4. Sistemas solares pasivos



Temperaturas	Humedades relativas
7ºC ... 13,5ºC	0% ... 100%

Es la estrategia fundamental para conseguir el confort en invierno. Se basa en las ganancias energéticas obtenidas mediante la captación de la radiación solar incidente, y la posterior acumulación y distribución del calor generado.

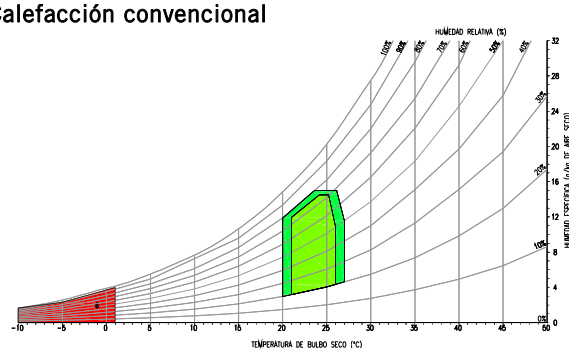
5. Sistemas solares activos



Temperaturas	Humedades relativas
1,5ºC ... 7ºC	0% ... 100%

Se precisará en condiciones más frías donde no basta con las ganancias obtenidas por métodos pasivos. Es necesario el aporte de algún tipo de energía convencional para el funcionamiento de mecanismos de apoyo que permitan el aprovechamiento activo de la energía solar.

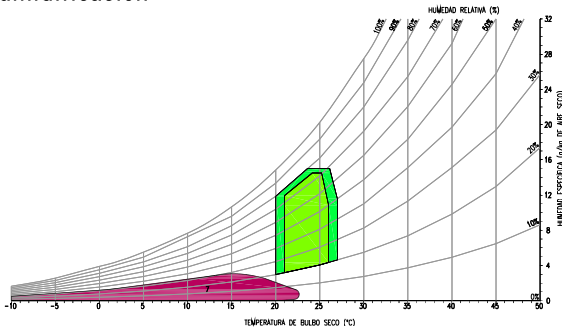
6. Calefacción convencional



Temperaturas	Humedades relativas
<1,5ºC	0% ... 100%

Cuando el incremento de temperatura necesario no puede conseguirse mediante sistemas solares, pasivos o activos o en algunas zonas con climas fríos

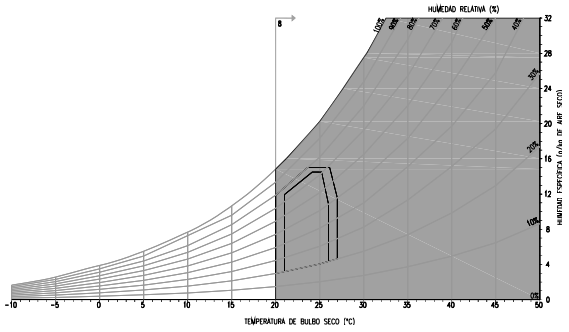
7. Humidificación



Temperaturas	Humedades relativas
<23ºC	<20%
5ºC ... 13ºC	<35%

Será necesario aumentar la humedad relativa interior, además de utilizar alguna estrategia de calefacción para alcanzar el confort térmico en el interior.

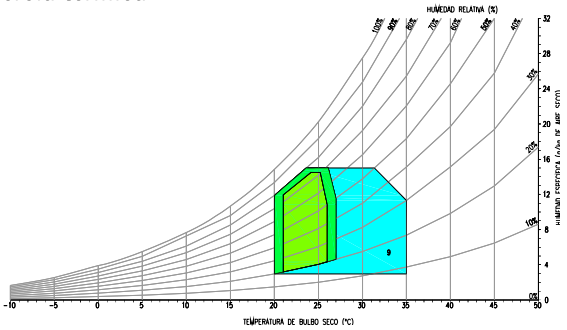
8. Protección solar



Temperaturas	Humedades relativas
>20ºC	0% ... 100%

Será necesaria siempre a partir de los 20ºC, combinándose con el resto de estrategias de reducción de calor para obtener el confort térmico.

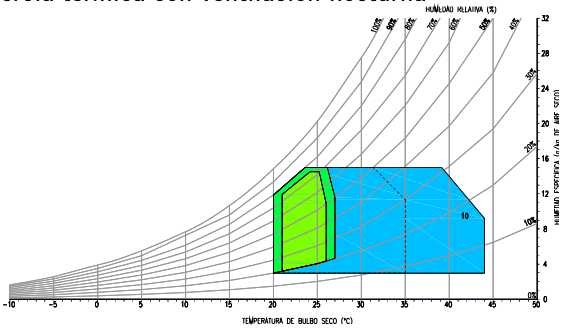
9. Inercia térmica



Temperaturas	Humedades relativas
20ºC ... 35ºC	8% ... 80%

Utilización de elementos constructivos con alta inercia térmica con el fin de amortiguar y desfasar la onda térmica transmitida al interior.

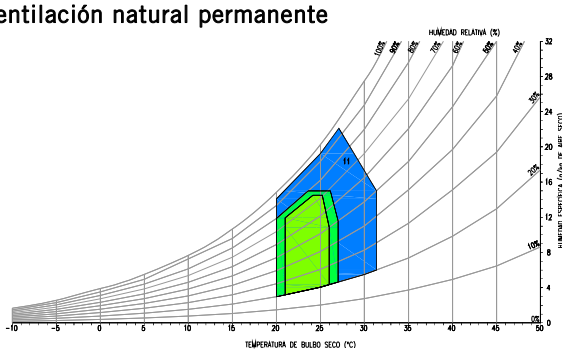
10. Inercia térmica con ventilación nocturna



Temperaturas	Humedades relativas
31,5ºC ... 44ºC	5% ... 50%

Amplía el área 9. Refrigeración mediante la utilización simultanea de elementos con alta masa térmica que eviten la entrada de calor y sistemas de ventilación que evacúen por la noche el calor almacenado. Zonas climáticas cálidas y secas.

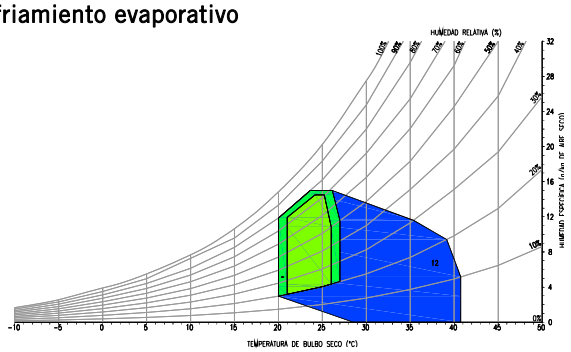
11. Ventilación natural permanente



Temperaturas	Humedades relativas
20ºC ... 32ºC	20% ... 95%

Enfriamiento mediante la utilización de ventilación natural y mecánica de modo que se produzca la renovación del aire interior eliminando contaminantes y se mejore la sensación térmica, considerando una velocidad del aire de 1,5 m/s.

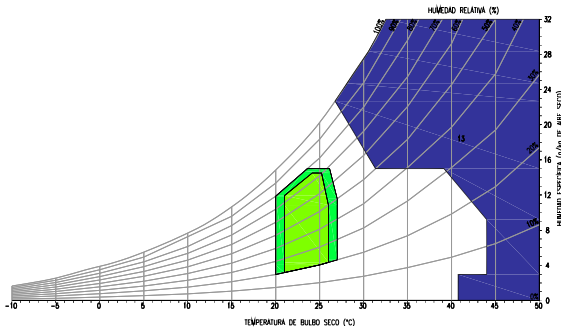
12. Enfriamiento evaporativo



Temperaturas	Humedades relativas
20ºC ... 40,5ºC	0% ... 80%

Utilización de elementos húmedos para disminuir la temperatura mediante la cesión de calor al producirse la evaporación de agua. Sólo para zonas cálidas y secas.

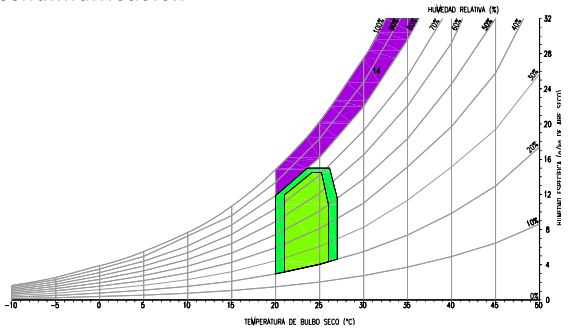
13. Refrigeración convencional



Temperaturas	Humedades Relativas

Combinación de temperaturas altas y humedades no incluidas en otras zonas.
Cuando no se puedan adoptar estrategias que permitan disminuir la temperatura interior para alcanzar la zona de confort o en situaciones de calor extremo en determinados días de verano.

14. Deshumidificación



Temperaturas	Humedades relativas
>20ºC	>80%

Reducción del contenido de vapor de agua del aire mediante sistemas desecantes o deshumidificadores, para mejorar las condiciones interiores en ambientes muy húmedos.

Representando sobre el climograma las temperaturas y humedades habituales de un lugar es posible estimar en qué meses y horas del día las condiciones se encuentran fuera del área de confort y cuantificar la probabilidad de poder recurrir a una terminada estrategia en función de las condiciones climatológicas habituales del lugar.

Cada par de datos (temperatura – humedad) se corresponde con un punto sobre el diagrama psicrométrico. Cuantos más puntos se grafíen, mejor se podrá caracterizar el clima de una zona, por lo tanto si se disponen de datos horarios se podrán representar hasta 8.785[24] puntos, uno por cada hora del año, con unas condiciones de temperatura y humedad propias, lo que permite cuantificar la conveniencia de cada estrategia según el número de puntos que recae en cada una de las áreas. Cuando un punto está en varias de estas áreas significa que se puede recurrir a una estrategia u otra o a todas ellas de manera simultánea para alcanzar el confort.

Normalmente será preferible aplicar las estrategias en las que porcentualmente su valor es mayor en relación a las demás. No obstante, cualquiera de las estrategias recomendadas servirá para mejorar la situación, aunque no se alcance del todo la situación de confort, de manera que se reduzca la demanda de energía para calefacción o refrigeración

Para la elaboración de esta guía se ha representado la nube de puntos correspondiente a los valores medios horarios de temperatura y humedad de todo el año para cada una de las estaciones utilizadas, para lo cual ha sido necesario utilizar una aplicación informática que realizara los cálculos.

[24] Para el estudio realizado, se han considerado también los valores registrados durante los días 29 de febrero de los años bisiestos.

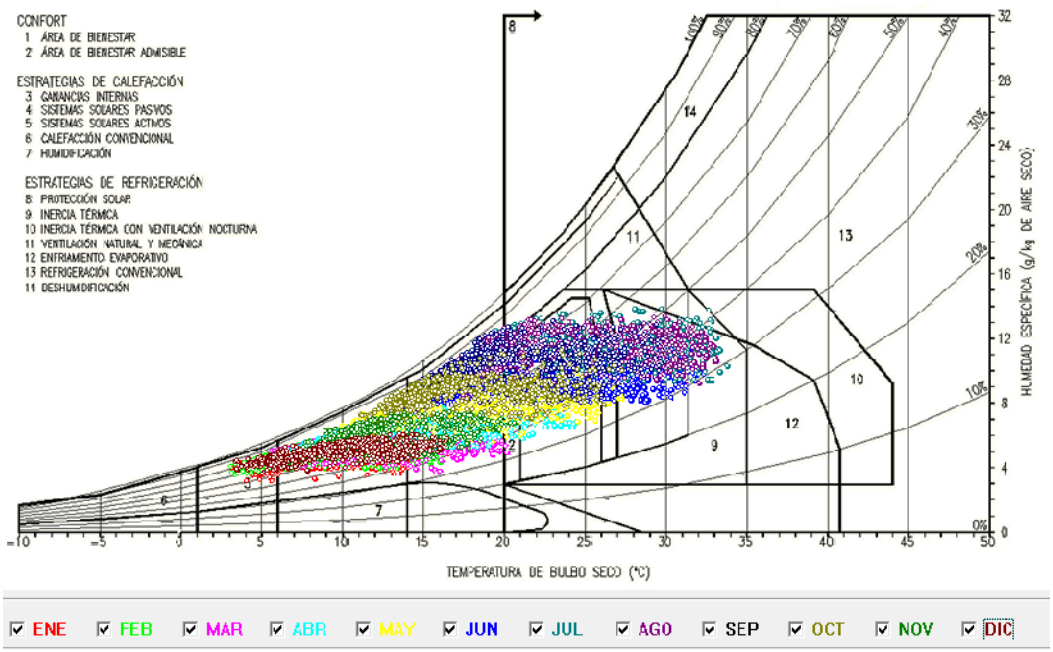


Figura 2.10 Valores medios horarios de temperatura y humedad de todo el año de una determinada estación

Para facilitar la lectura del diagrama, se puede representar la nube de puntos mediante la recta resultante a partir de la regresión lineal de los valores que la componen. No obstante, no debe entenderse que todos los segmentos de la recta de regresión son equivalentes (en el sentido de que segmentos iguales representan el mismo tiempo en cada zona). Para caracterizar el tiempo en que cada mes transita por cada zona es necesario referirse a los resultados porcentuales (o bien por días o por horas) que se recogen en la aplicación informática o, de una forma más visual (aunque menos exacta) a la nube de puntos.

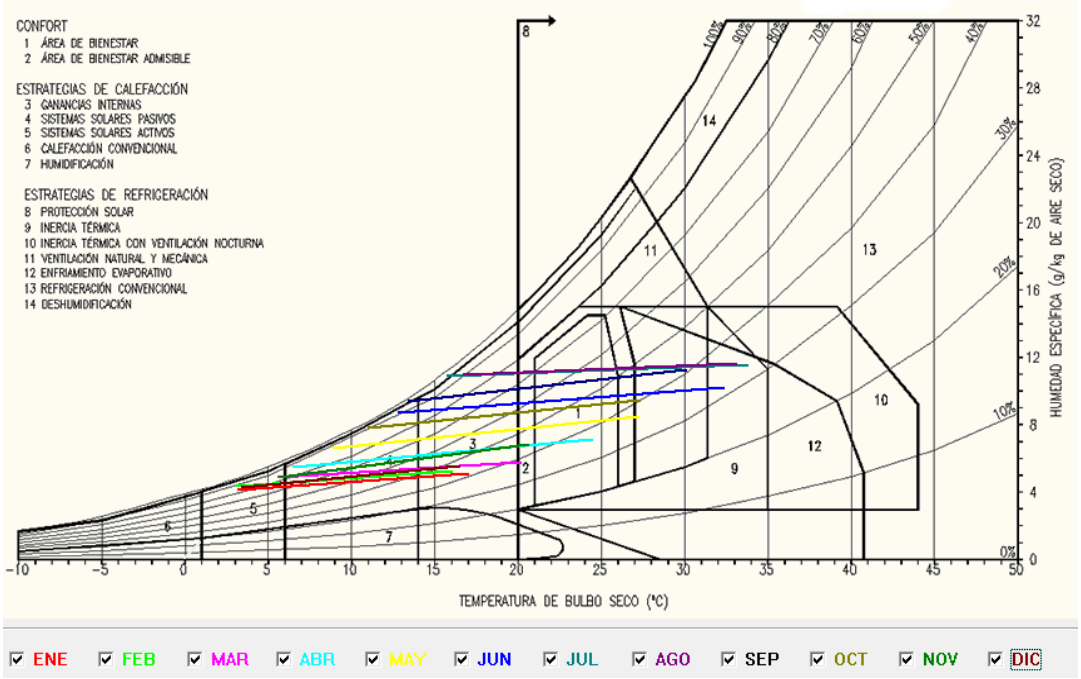


Figura 2.11 Valores medios mensuales de temperatura y humedad de todo el año de una determinada estación

Si no se dispone de datos horarios de temperatura y humedad o de una aplicación que realice de manera automática la representación de los mismos, se puede realizar el climograma a partir de las condiciones

medias de cada mes, dibujando sobre el diagrama los 12 segmentos correspondientes a cada uno de los meses del año, obtenidos a partir de la unión de los puntos correspondientes a:

- La temperatura mínima media con la humedad relativa máxima media de cada mes
- La temperatura máxima media con la humedad relativa mínima media de cada mes[25]

El dato de la temperatura se grafía en el eje de abscisas y la humedad se corresponde con las curvas logarítmicas situadas entre el eje de abscisas y la curva de saturación, con un intervalo de 10% entre ellas. En el caso de que el dato de la humedad relativa no se corresponda con ninguna curva (es decir, no sea múltiplo exacto de 10), se puede interpolar para situarlo gráficamente.

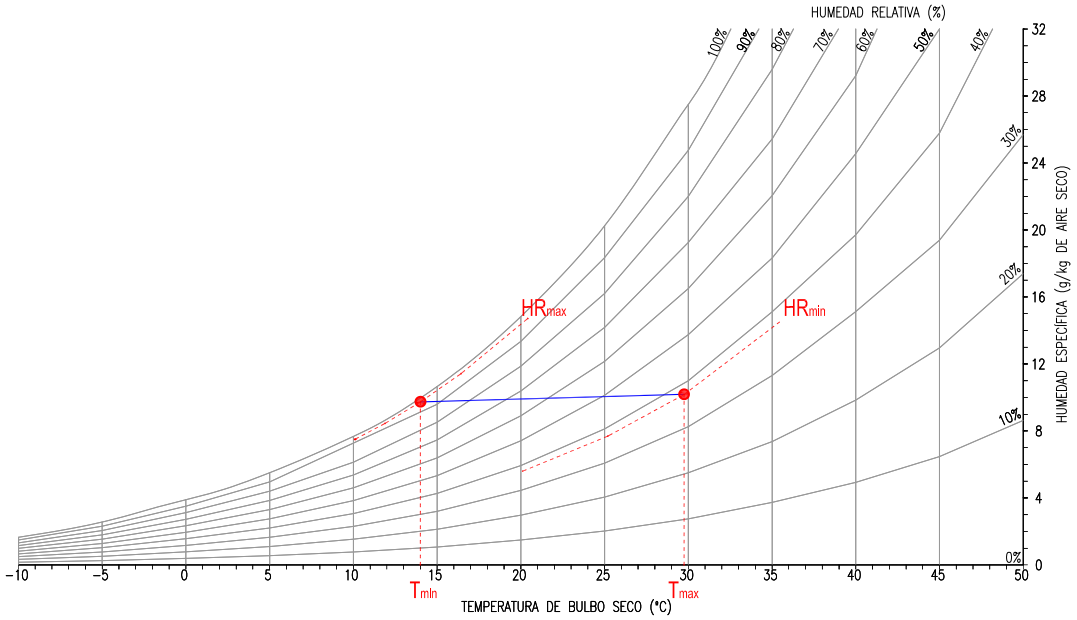


Figura 2.12 Relación entre temperaturas y humedades máximas y mínimas

Cada uno de los vectores se genera a partir de las condiciones medias de cada mes, lo que de alguna manera que su representación puede entenderse como el día característico medio de cada mes, con lo cual también queda representada de manera implícita la oscilación diaria de temperatura y humedad.

[25] *Habitualmente no se dispone del dato de HR máxima y mínima, por lo que puede considerarse el segmento horizontal con la HR media constante o convertir la HR media en los valores extremos, máximo y mínimo, a partir del cálculo de la humedad específica media tal y como se especifica en el apartado 1.2.1. de esta guía*

Por ejemplo, para el municipio de Cheste, situado en Valencia, los valores climáticos medios de cada mes son los siguientes:

Mes SIAR - IVIA	Temperatura			Humedad		
	T_{med} (ºC)	$T_{med\ min}$ (ºC)	T_{medmax} (ºC)	HR_{med} (%)	$HR_{med\ min}$ (%)	$HR_{med\ max}$ (%)
Enero	8,76	3,22	14,72	65,64	45	98
Febrero	9,55	3,75	15,82	65,45	44	99
Marzo	11,94	5,65	18,80	61,45	40	96
Abril	13,97	7,56	20,76	62,73	41	97
Mayo	17,28	10,20	24,53	62,55	40	100
Junio	21,86	14,00	29,75	58,82	37	97
Julio	24,21	16,47	32,29	60,90	38	99
Agosto	24,25	17,05	32,31	60,90	39	97
Septiembre	20,72	14,60	28,00	67,20	45	100
Octubre	17,25	11,67	23,79	68,40	47	100
Noviembre	11,93	6,48	17,89	64,00	44	94
Diciembre	9,34	4,24	14,88	66,18	47	95

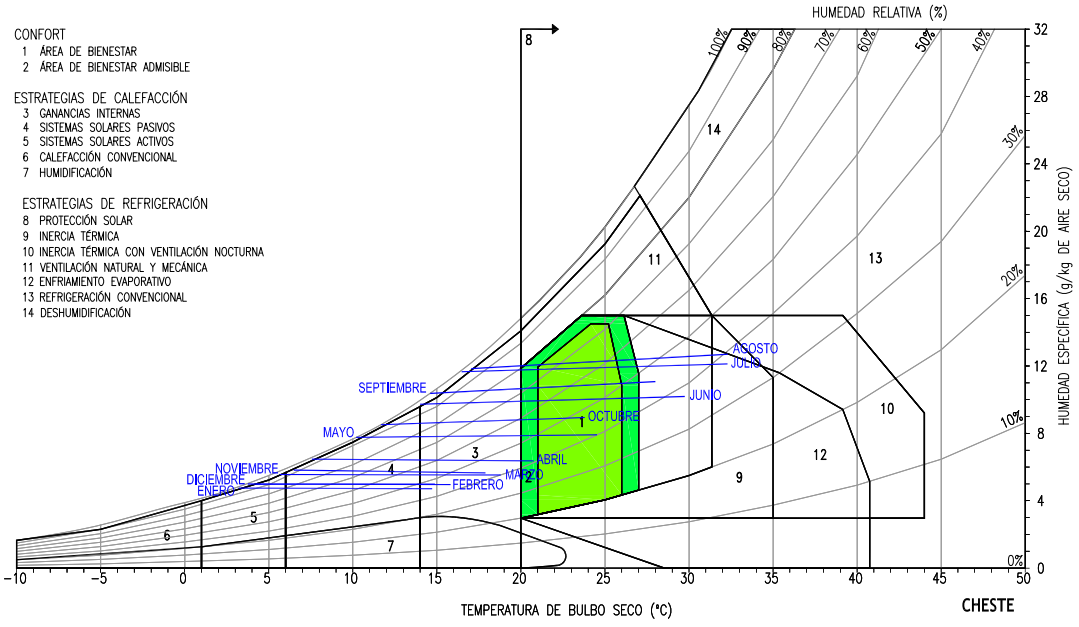


Figura 2.13 Representación de los valores climáticos medios mensuales de Cheste sobre climograma de Givoni

2.3 Estrategias de diseño

De todas las actuaciones bioclimáticas de diseño propuestas por Givoni, la presente guía desarrolla únicamente aquellos sistemas que responden a estrategias de diseño pasivo, dejando fuera del ámbito de análisis los sistemas activos para los que se requiere, en mayor o menor medida, el consumo de algún tipo de energía. Tampoco se van a desarrollar los sistemas que no son de aplicación para alcanzar el confort climático en las zonas estudiadas.

CONFORT	1 ÁREA DE BIENESTAR	
	2 ÁREA DE BIENESTAR ADMISIBLE	
ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN	3 GANANCIAS INTERNAS	
	4 SISTEMAS SOLARES PASIVOS	
	5 SISTEMAS SOLARES ACTIVOS	Sistema activo
	6 CALEFACCIÓN CONVENCIONAL	Sistema activo
	7 HUMIDIFICACIÓN	Medida de corrección del grado de humedad
ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN	8 PROTECCIÓN SOLAR	
	9 INERCIA TÉRMICA	
	10 INERCIA TÉRMICA CON VENTILACIÓN NOCTURNA	
	11 VENTILACIÓN NATURAL Y MECÁNICA	
	12 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	
	13 REFRIGERACIÓN CONVENCIONAL	Sistema activo
	14 DESHUMIDIFICACIÓN	Medida de corrección del grado de humedad

GANANCIAS INTERNAS

En esta zona se considera suficiente el aporte de calor que se genera por el uso del edificio para alcanzar el confort, de modo que no constituye en sí misma una estrategia que afecte al diseño del edificio sino que depende del régimen de utilización, del número de ocupantes y de las instalaciones eléctricas y de iluminación que existan. En esta guía se va a tener en cuenta a efectos de cuantificar el porcentaje de tiempo que recae en el área correspondiente dentro del diagrama de Givoni, pero no se va a tratar como una estrategia, puesto que resulta difícilmente cuantificable y su efecto permanece en periodos de refrigeración.

Por lo tanto, aunque no se puede obviar el efecto producido por las cargas internas, ya que en determinadas épocas del año será suficiente para alcanzar el bienestar térmico, se recomienda prever la existencia de sistemas complementarios que garanticen las ganancias térmicas en el interior sea cual sea su uso y, necesariamente, evitar las pérdidas del calor aportado por los ocupantes, la iluminación y los equipos mediante la utilización de elementos interiores con alta masa térmica y un correcto aislamiento por el exterior.

SISTEMAS ACTIVOS DE REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN: SISTEMAS SOLARES ACTIVOS, CALEFACCIÓN CONVENCIONAL y REFRIGERACIÓN CONVENCIONAL

Los sistemas basados en el consumo de energía, ya sea de forma directa para la producción de calor o frío mediante instalaciones convencionales de calefacción y/o refrigeración, o bien para la alimentación de mecanismos de apoyo, en el caso de los sistemas solares activos para calefacción. La utilización de estos sistemas se considerará como alternativa a las soluciones bioclimáticas pasivas cuando estas no se puedan aplicar o resulten poco eficientes por las condiciones de su entorno o como sistema de apoyo en situaciones climáticas extremas de frío o calor durante determinados días del año. En cualquier caso será conveniente reducir la demanda de energía lo máximo posible mediante estrategias pasivas y recurrir a sistemas activos que utilicen energías renovables como fuente de abastecimiento.

De igual modo se excluyen aquellas soluciones de ventilación mecánica que precisen del funcionamiento de aparatos electro-mecánicos para renovar el aire.

MEDIDAS DE CORRECCIÓN DEL GRADO DE HUMEDAD: HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN

La humidificación como estrategia de invierno para situaciones de frío seco, puesto que no es de aplicación en el territorio estudiado, ya que en ningún punto analizado se combinan bajas temperaturas con poca humedad relativa, debido a que en la Comunitat Valenciana el nivel medio de humedad se encuentra permanentemente por encima de los valores establecidos en esta área (20-40%). En el caso de necesitar corregir situaciones con estas características, se debería recurrir a sistemas de calefacción que integren mecanismos de humidificación para alcanzar el confort térmico en el interior de los edificios.

Por el contrario, en el caso de situaciones climáticas con altos niveles de temperatura y humedad, será conveniente reducir la cantidad de vapor de agua del aire mediante mecanismos de deshumidificación convencional para alcanzar los niveles de confort deseados. Este caso puede producirse de manera ocasional en algunas zonas de la Comunitat, pero su corrección no constituye en sí mismo una estrategia prioritaria en comparación con el resto de soluciones o necesita complementarse con otros sistemas. Los procesos habituales para conseguir este fenómeno se basan en la utilización de sustancias químicas desecantes, absorbentes o adsorbentes, capaces de extraer o liberar vapor de agua del aire o en sistemas de aire acondicionado convencionales de compresión de vapor que enfrían el aire a una presión constante hasta una temperatura por debajo del punto de rocío, haciendo que parte del vapor de agua se condense.

Por lo tanto, los sistemas de diseño desarrollados a continuación, se reducen y agrupan según las siguientes estrategias generales:

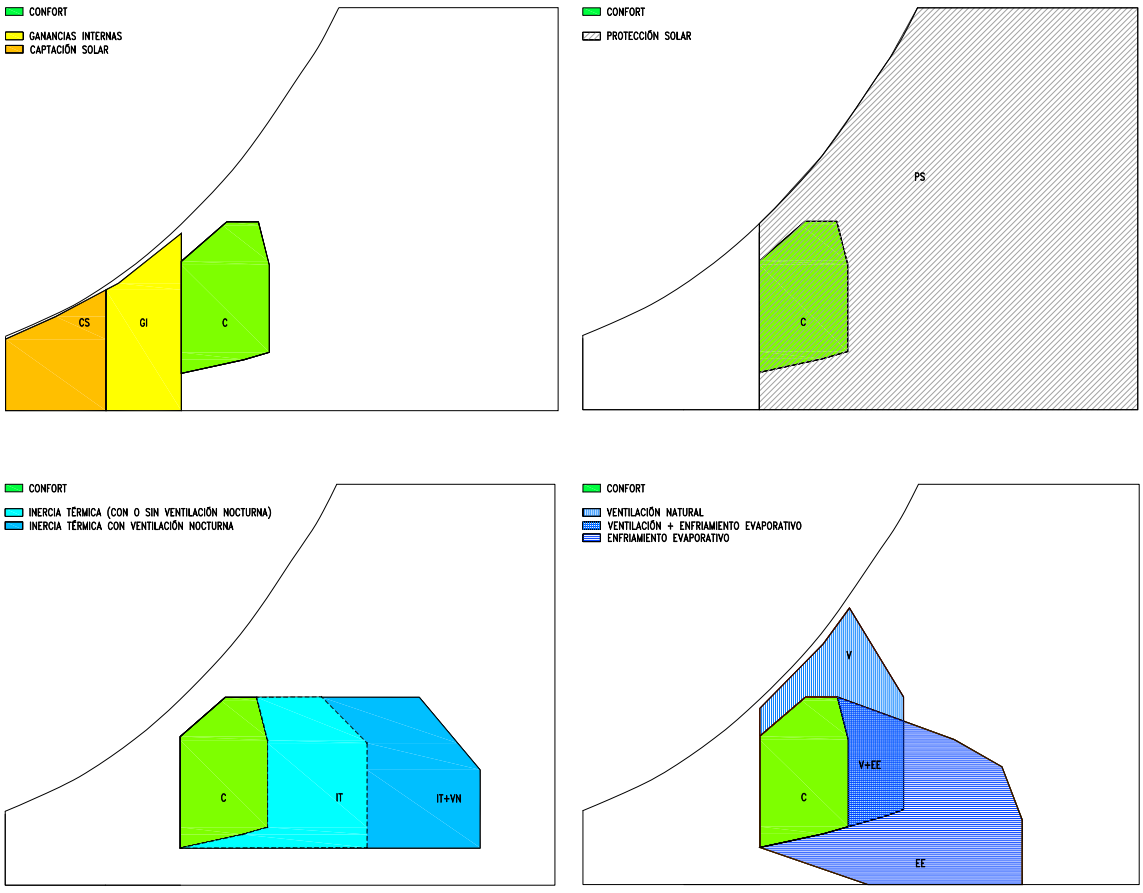


Figura 2.14 Zonas de las estrategias de diseño del climograma consideradas

CALEFACCIÓN	CONFORT	REFRIGERACIÓN
GANANCIAS INTERNAS		INERCIA TÉRMICA CON O SIN VENTILACIÓN NOCTURNA
CAPTACIÓN SOLAR		PROTECCIÓN SOLAR
		VENTILACIÓN CON O SIN ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Tabla 6 Estrategias de diseño del climograma consideradas

En primer lugar, y al margen de las estrategias pasivas recomendadas, resulta obligado reducir la demanda de energía, implementando soluciones de **MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA** que permitan conservar la temperatura interior del edificio y evitar pérdidas o ganancias térmicas no deseadas. Aunque la reducción del valor de la transmitancia de los cerramientos no constituye en sí una estrategia definida explícitamente por Givoni, constituye un aspecto fundamental para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas que se van a desarrollar en esta guía. Por lo tanto el estudio de la envolvente de los edificios será un tema prioritario y se deberá llevar a cabo un análisis de las posibles mejoras que pueden aplicarse antes de recurrir a otras soluciones bioclimáticas. De igual modo, siempre que sea posible, es importante considera aspectos del **DISEÑO GENERAL DEL EDIFICIO** como su ubicación, forma y orientación, para aprovechar al máximo la radiación solar incidente.

ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN

Captación solar

En invierno, la estrategia general se basa en el aprovechamiento de la energía calorífica transmitida por la radiación incidente mediante sistemas pasivos que permitan captar, acumular y distribuir, preferentemente de manera homogénea, el calor recibido. Los sistemas pasivos que pueden actuar de elementos de captación directa se basan en soluciones constructivas convencionales, pertenecientes a la propia envolvente del edificio, como las ventanas o claraboyas, o en sistemas específicos realizados para tal fin, como invernaderos o galerías acristaladas. La captación con acumulación se puede realizar en los elementos opacos de la envolvente o del interior de la edificación, los cuales transferirán lentamente el calor almacenado al aire que los rodea. La mayor dificultad de los sistemas pasivos de calefacción es distribuir de manera eficiente el calor acumulado, llegando a espacios alejados del punto de captación, sin que existan grandes diferencias de temperatura entre distintas zonas. Para ello se puede recurrir a mecanismos específicos para su distribución, por ejemplo con ventiladores, o utilizar cámaras o espacios intermedios entre la superficie de captación y el espacio a acondicionar, para provocar un lazo convectivo que mejore la circulación del aire captado.

ESTRATEGIAS PASIVAS DE REFRIGERACIÓN

Protección solar

Que, como se ha dicho anteriormente, siempre será necesaria para garantizar el confort sin necesidad de aplicar ninguna otra medida o como complemento a cualquier sistema pasivo de refrigeración que se prevea. La protección frente a la radiación directa durante los meses calurosos actúa como medida preventiva frente al sobrecalentamiento, lo que hace que se reduzca la aportación energética, pero no impide que se produzca un flujo de temperatura hacia el interior a través de la envolvente. Por lo tanto será una estrategia básica que deberá complementarse con otros mecanismos de eliminación del calor basados en la ventilación natural o sistemas con alta masa térmica que amortigüen las transferencias térmicas entre el interior y el exterior. Las soluciones contempladas deberán diseñarse de tal modo que se evite el sobrecalentamiento de la envolvente del edificio en verano y no impida aprovechar la radiación solar en los meses fríos.

Inercia térmica

Las soluciones con alta masa térmica**,** que amortigüen la transferencia de calor entre el exterior y el interior, serán de utilidad para retrasar la entrada de calor en el interior del edificio en el caso de los meses cálidos y para acumular el calor generado en el interior en los días fríos. Para garantizar la eficacia de este sistema se deberá impedir que la radiación solar entre en los edificios mediante sistemas de protección solar. El calor almacenado en los cerramientos se disipará durante la noche, bien por contacto directo con el aire exterior o mediante sistemas de ventilación que provoquen la entrada de aire frío, para lo cual es recomendable que exista un salto térmico relevante entre el día y la noche[26]. Este condicionante hace que los sistemas basados en la inercia térmica sean recomendables en aquellas zonas que presenten grandes oscilaciones térmicas a lo largo del día, con temperaturas medias diarias cercanas a la temperatura de confort. A efectos de valorar la incidencia de esta estrategia, se ha diferenciado la zona de ventilación a partir de los 35ºC en la cual es necesario recurrir a la ventilación nocturna para garantizar la eficacia de la estrategia. De modo que se cuantifica el número de horas anuales (puntos que recaen en el área) en que se recomienda el uso de elementos con alta inercia térmica, desglosados según sea imprescindible ventilar para eliminar el calor almacenado (IT+VN) o simplemente baste mediante la cesión de calor por contacto de los cerramientos con el aire (IT).

Ventilación natural

Se podrán emplear sistemas de ventilación natural que sirvan para evacuar y disipar el calor almacenado. En el caso de climas secos se puede mejorar la sensación de enfriamiento producida por el movimiento del aire introducido, incrementando su grado de humedad. En el diagrama de Givoni se produce una intersección entre el área de ventilación y el área de enfriamiento evaporativo. En esa zona intermedia se puede considerar que los sistemas que den respuesta a ambas estrategias serán más eficaces que los que respondan a una de ellas únicamente. Por lo tanto, a efectos de cuantificar, se desglosan los puntos que recaen en el área de ventilación (V) y los de ventilación y enfriamiento evaporativo[27] simultáneamente (V+EE) como son los sistemas de ventilación que previamente incrementen el grado de humedad del aire introducido.

---

[26] Los resultados se aprecian con oscilaciones térmicas de 10ºC como mínimo.

[27] Los sistemas específicos de enfriamiento evaporativo, consisten en disminuir la temperatura del aire mediante la cesión de calor que se produce para evaporar el agua u otro líquido y por el aumento de la humedad ambiental. Estos sistemas únicamente son eficaces en el caso de climas secos, con humedades relativas inferiores al 30%, lo que no se corresponde con los valores medios registrados en la Comunitat Valenciana.

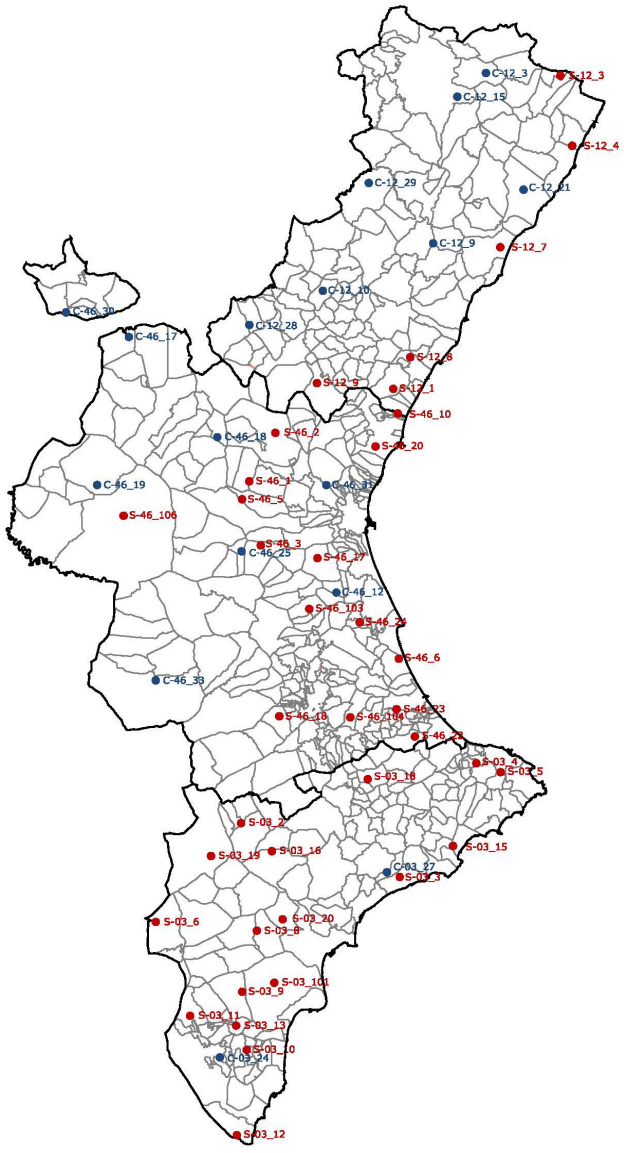
3

ELECCIÓN DE LOS SISTEMAS PASIVOS

Los trabajos previos realizados para la redacción de esta Guía han consistido en el análisis de los datos climáticos de la Comunitat Valenciana, mediante la elaboración de climogramas de Givoni, a partir de datos medios horarios de los últimos diez años aproximadamente.

Las estaciones meteorológicas utilizadas como fuente de datos pertenecen al Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM) y a la red SIAR del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). En total se han recopilado y analizado datos de 58 observatorios, descartando aquellos que no disponían de registros climáticos completos de temperatura y humedad o los que el número de años de las series resulta insuficiente para ser representativo. Del total de observatorios, se han eliminado aquellos que debido a la singularidad de su ubicación o a otros factores como la sensibilidad de los aparatos utilizados, presentaban medias alejadas de los valores característicos de una zona.

Se han seleccionado las siguientes 55 estaciones de referencia para caracterizar el territorio:



CASTELLÓN

C-12_21	Alcalà de Xivert
C-12_28	Barracas
S-12_4	Benicarló
S-12_7	Cabanes
C-12_10	Cirat
S-12_1	La Vall d´Uixò
C-12_15	Morella
S-12_8	Nules
S-12_3	San Rafael del Río
S-12_9	Segorbe
C-12_9	Vall d´Alba
C-12_3	Vallibona
C-12_29	Vistabella del Maestrazgo

VALENCIA

C-46_25	Alborache
C-46_17	Aras de los Olmos
C-46_33	Ayora
S-46_10	Benavites
C-46_12	Benifaió
S-46_103	Carlet
S-46_5	Cheste
S-46_23	Gandia
S-46_2	Llíria
S-46_104	Llutxent
S-46_18	Montesa
C-46_31	Paterna
S-46_1	Pedralba
S-46_17	Picassent
S-46_24	Polinyà de Xúquer
S-46_106	Requena
S-46_20	Sagunt / Sagunto
S-46_6	Tavernes de la Valldigna
S-46_3	Turís
C-46_19	Utiel
C-46_30	Vallanca
S-46_22	Villalonga
C-46_18	Villar del Arzobispo

ALICANTE

S-03_20	Agost
S-03_10	Almoradí
S-03_15	Altea
S-03_2	Campo de Mirra / El Camp de Mirra
S-03_16	Castalla
S-03_13	Catral
S-03_9	Crevillent
S-03_5	Dénia
S-03_6	El Pinós / Pinoso
S-03_101	Elche / Elx
S-03_8	Monforte del Cid
S-03_4	Ondara
C-03_24	Orihuela
S-03_11	Orihuela (la Murada)
S-03_12	Pilar de la Horadada
S-03_18	Planes
C-03_27	Relleu
S-03_3	Villajoyosa / La Vila Joiosa
S-03_19	Villena

Figura 3.1 Estaciones meteorológicas de referencia

Aunque el número de observatorios analizado podría haber sido inferior desde el punto de vista del análisis higrotérmico, se han considerado más referencias para poder caracterizar mejor el régimen de vientos, puesto que su comportamiento, a diferencia de lo que ocurre con las temperaturas y humedades, no es lineal y un mayor número de puntos pueden ofrecer más información sobre el campo de vientos existente. No obstante, el régimen de viento predominante de una zona a gran escala puede verse distorsionado por factores locales como la orografía o las edificaciones colindantes en un entorno próximo, por lo que será conveniente realizar un análisis más detallado de los efectos y variaciones de los flujos de viento a pequeña escala.

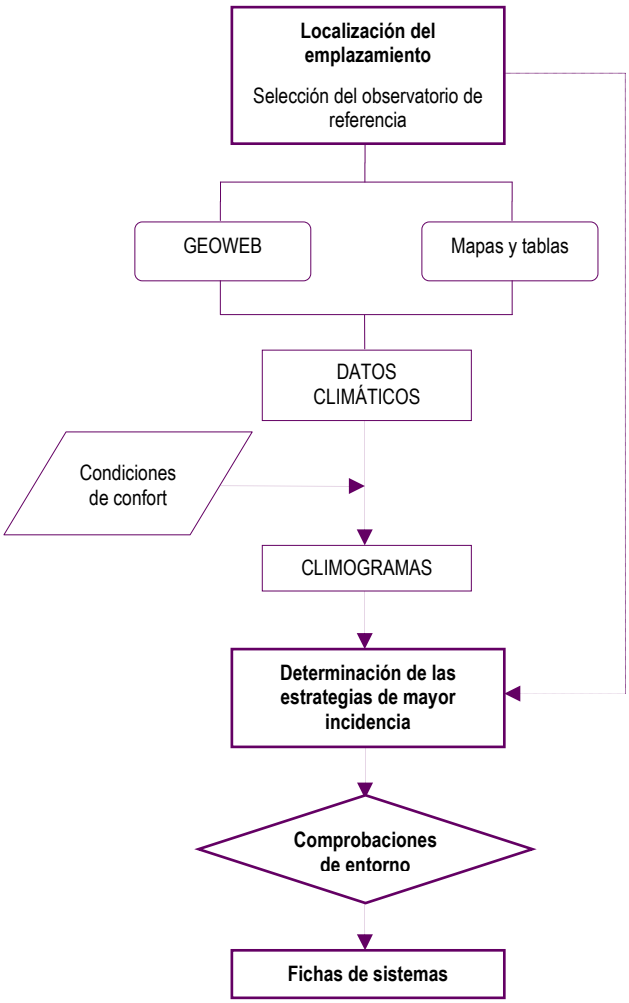
El proceso para la selección de los sistemas apropiados para cada situación se plantea en cuatro etapas:

3.1 Localización del emplazamiento

3.2 Determinación de las estrategias de mayor incidencia

3.3 Comprobaciones de entorno

3.4 Fichas de sistemas



3.1 Localización del emplazamiento

Como se ha visto en apartados anteriores de la guía, la altitud constituye uno de los parámetros fundamentales que influyen en la alteración del clima general.

Así pues, para simplificar el procedimiento, se ha asignado a cada observatorio un **área de influencia** que afecta a uno o varios municipios de su entorno, de modo que cada una de esas áreas se considera climáticamente homogénea a efectos de esta guía. Es decir, los términos municipales de cada área de influencia tendrán los mismos valores medios de temperatura, humedad y radiación e idéntico régimen general de vientos que su correspondiente observatorio.

Para calcular el área de influencia se ha tenido en cuenta la **distancia efectiva** existente entre los observatorios y cada uno de los núcleos poblacionales y las zonas climáticas correspondientes calculadas según el Apéndice B del DB HE-1 del CTE, en función de las altitudes geográficas. La distancia efectiva es la distancia geográfica que existe entre dos puntos (módulo del vector tridimensional que los une), penalizada por la diferencia de altitud y de latitud que existe entre ambos puntos. Es decir, si tomamos el observatorio como punto de referencia, y dos municipios situados a la misma distancia geográfica, se considerará mayor la distancia efectiva del municipio que tenga más diferencia de altitud respecto al observatorio o el que se encuentre situado en una latitud distinta.

Teniendo en cuenta estos criterios, se han clasificado todos observatorios y los municipios de la Comunitat Valenciana según los siguientes intervalos de altitud:

h<50	50≤h<250	250≤h<500	500≤h<600	600≤h<700	700≤h<950	950≤h<1.000	1.000≥h

De igual manera, se ha obtenido su zona climática según los valores tabulados del Apéndice B del DB HE-1 del CTE:

Capital	Zona	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m) B4	B3	C3	D3	D2	E1
Alicante	B4	7	h<250		h<700	h≥700		
Castellón de la Plana	B3	18		h<50	h<500	h<600	h<1.000	h≥1.000
Valencia	B3	8		h<50	h<500		h<950	h≥950

Cada municipio tiene asignado el observatorio situado en una zona climática igual o una por encima o por debajo y que esté más cercano a su núcleo poblacional. Por ejemplo el observatorio **S-46_5**, situado en el término municipal de **Cheste**, es el que se debe tomar de referencia para los municipios de Cheste y Chiva

Altitud a la que se encuentra el observatorio (m): 317
Altitud de referencia para Valencia (m): 8

Desnivel entre el observatorio y la capital de su provincia (m)

		309					
h<50	50≤h<250	250≤h<500	500≤h<600	600≤h<700	700≤h<950	950≤h<1.000	1.000≥h
<50	<500		<950			≥950	
B3	**C3**		D2			E1	

	Municipio	Comarca	Provincia	Costero	Altitud (m)	Zona CTE
	Cheste	La Hoya de Buñol	Valencia	no	217	C3
	Chiva	La Hoya de Buñol	Valencia	no	268	C3

Esto puede llevar a que, en ocasiones, el observatorio de referencia para una ubicación no sea el que se encuentra situado dentro de su propio término municipal si no otro que reúna condiciones de entorno más parecidas. El observatorio de referencia, y por tanto la información climática correspondiente, se obtiene mediante las tablas y mapas de zonificación, a partir del municipio en que se encuentra el emplazamiento.

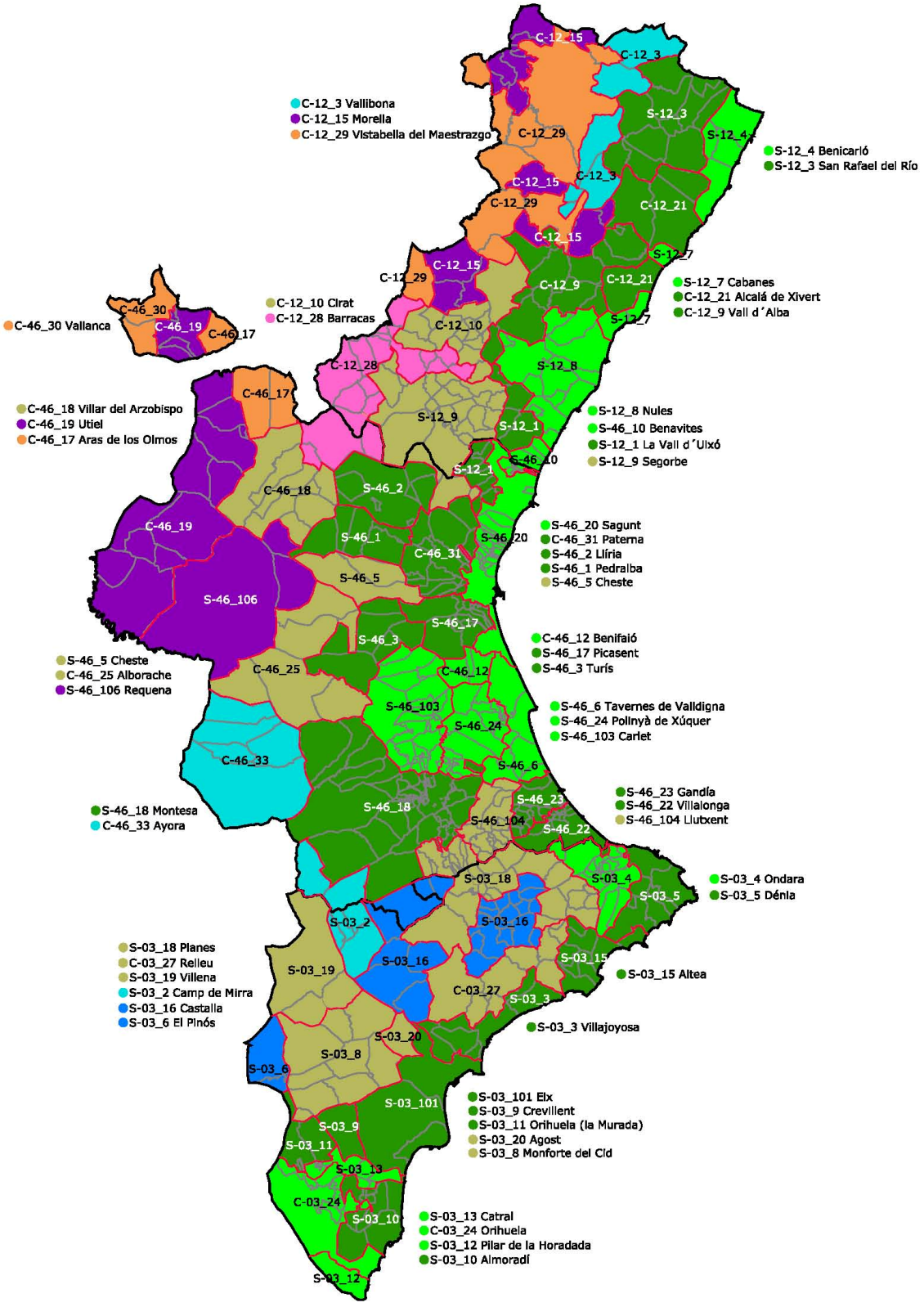


Figura 3.2 Observatorio de referencia asignado a cada municipio

3.2 Determinación de las estrategias de mayor incidencia

La representación de los datos higrométricos históricos de un lugar sobre el climograma, proporciona la frecuencia con la que cada una de las estrategias generales es recomendable para corregir las condiciones climáticas exteriores y tender hacia un ambiente confortable en el interior de los edificios. Para cada estación meteorológica, se ha realizado la cuantificación de los 8.785 puntos correspondientes a la representación sobre el diagrama psicrométrico de los valores medios de temperaturas y humedades horarias de los últimos diez años[28].

Considerando el año completo (o sea los 8.785 puntos) como 100%, se representa la idoneidad de cada estrategia de forma porcentual, de modo que las de mayor valor serán las más efectivas, pudiendo variar el número de actuaciones propuestas según su relación con el resto o la viabilidad de aplicación de cada una de ellas. Así se puede determinar, de manera general, la parte proporcional del año que va a ser necesario implementar estrategias de invierno o de verano y el periodo que cada zona geográfica se encuentra en condiciones de confort y además, de forma detallada, la incidencia de cada una de las estrategias según el número de puntos recayente en cada una de las áreas:

De modo que si se contabiliza el número de puntos de cada área de Givoni, se obtienen las necesidades climáticas para una determinada zona, o lo que es lo mismo, el porcentaje de tiempo que es recomendable una estrategia u otra:

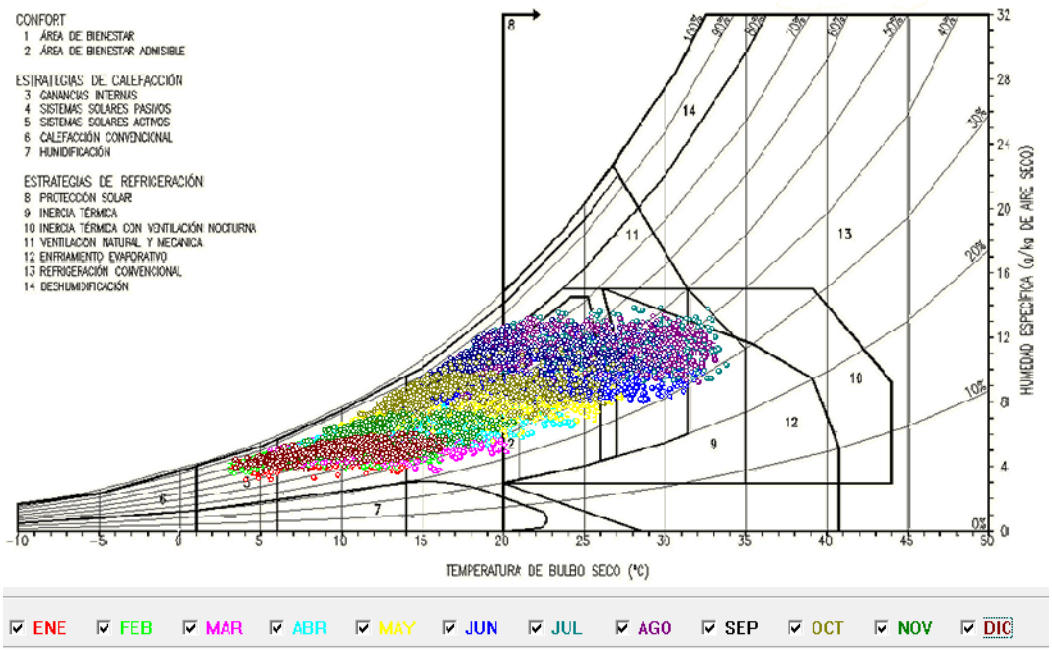


Figura 3.3 Distribución de puntos horarios sobre cada una de las estrategias

[28] *Según observatorios, el número de años analizado (series) varía entre 7 y 12 años*

Una vez representadas las temperaturas y humedades horarias en los climogramas de Givoni, se ha cuantificado la idoneidad de aplicar una u otra estrategia a partir de la contabilización de los puntos que recaen en cada área del climograma, concluyendo mediante tablas resumen cual es la actuación más conveniente, para los meses de invierno y para los de verano, en cada ubicación.

ZONA/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	OCTUBRE	NOVIEMBR	DICIEMBRE
1				50	185	190	123	146	213	149		
2			2	24	45	72	94	120	83	56	5	
3	65	74	250	253	268	282	233	190	362	394	215	61
4	495	516	484	393	242	21			5	144	497	558
5	184	106	8								3	125
6												
7												
8			2	74	234	417	511	554	353	206	5	
9					4	155	275	267	52	1		
10					4	155	275	267	52	1		
11					4	141	233	246	57	1		
12					4	155	261	267	52	1		
13												
14							19	21	5			

CONFORT	1	ÁREA DE BIENESTAR	1.056 h/año	12%	**18%**
	2	ÁREA DE BIENESTAR ADMISIBLE	501 h/año	6%	
ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN	3	GANANCIAS INTERNAS	2.647 h/año	30%	**73%**
	4	SISTEMAS SOLARES PASIVOS	3.355 h/año	38%	
	5	SISTEMAS SOLARES ACTIVOS	426 h/año	5%	
	6	CALEFACCIÓN CONVENCIONAL	0 h/año	0%	
	7	HUMIDIFICACIÓN	0 h/año	0%	
ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN	8	PROTECCIÓN SOLAR	2.356 h/año	27%	**9%**
	9	INERCIA TÉRMICA	754 h/año	9%	
	10	INERCIA TÉRMICA CON VENTILACIÓN NOCTURNA	754 h/año	9%	
	11	VENTILACIÓN NATURAL Y MECÁNICA	682 h/año	8%	
	12	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	740 h/año	8%	
	13	REFRIGERACIÓN CONVENCIONAL	0 h/año	0%	
	14	DESHUMIDIFICACIÓN	45 h/año	1%	

Tabla 7 Cuantificación porcentual de la incidencia de las estratégias de inverno y verano

En la siguiente tabla se representan los porcentajes en los que se recomienda cada una de las estrategias por meses, de modo que en enero se recomienda la estrategia 5 SISTEMAS SOLARES PASIVOS, un 25% del mes; la estrategia 4 SISTEMAS SOLARES ACTIVOS, un 66% y la estrategia 3 GANANCIAS INTERNAS un 9%, lo que suma el 100% del horas del mes.

	CALEFACCIÓN					CONFORT		REFRIGERACIÓN						
	7	6	5	4	3	1	2	8	9	10	11	12	13	14
Ene	0	0	25	66	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb	0	0	15	74	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	1	65	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr	0	0	0	55	35	7	3	10	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	33	36	25	6	31	1	1	1	1	0	0
Jun	0	0	0	3	39	26	10	58	22	22	20	22	0	0
Jul	0	0	0	0	31	17	13	69	37	37	31	35	0	3
Ago	0	0	0	0	26	20	16	74	36	36	33	36	0	3
Sep	0	0	0	1	50	30	12	49	7	7	8	7	0	1
Oct	0	0	0	19	53	20	8	28	0	0	0	0	0	0
Nov	0	0	0	69	30	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Dic	0	0	17	75	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8 Estrategias recomendadas porcentualmente

Hay que tener en cuenta que las áreas que definen las estrategias de verano se superponen unas con otras, de modo que su aplicación puede ser simultánea, por lo que la suma de los porcentajes correspondientes a todas las estrategias sobrepasa el 100%.

La protección solar es necesaria a partir de los 20ºC, solapándose con las áreas de confort y con todas las áreas de estrategias de refrigeración, por lo siempre va a obtener un porcentaje alto de incidencia. Por lo tanto, siempre será necesario prever sistemas de protección solar en aquellas partes del edificio que vayan a estar expuestas a la radiación directa, de modo que se impida la entrada de calor durante los meses calurosos y se permita su captación en las épocas que resulte conveniente.

En la cuantificación realizada, la parte correspondiente a protección solar coincide con la suma del porcentaje del año en el que se alcanzan condiciones de confort más el porcentaje en el que se deben implementar medidas de refrigeración.

De forma global, se obtiene el cuadro resumen siguiente, que supone la primera aproximación para valorar de forma porcentual la idoneidad de cada una de las estrategias, de manera que se recomienda aplicar las de mayor valor para hacer tender las condiciones interiores del edificio a las de confort.

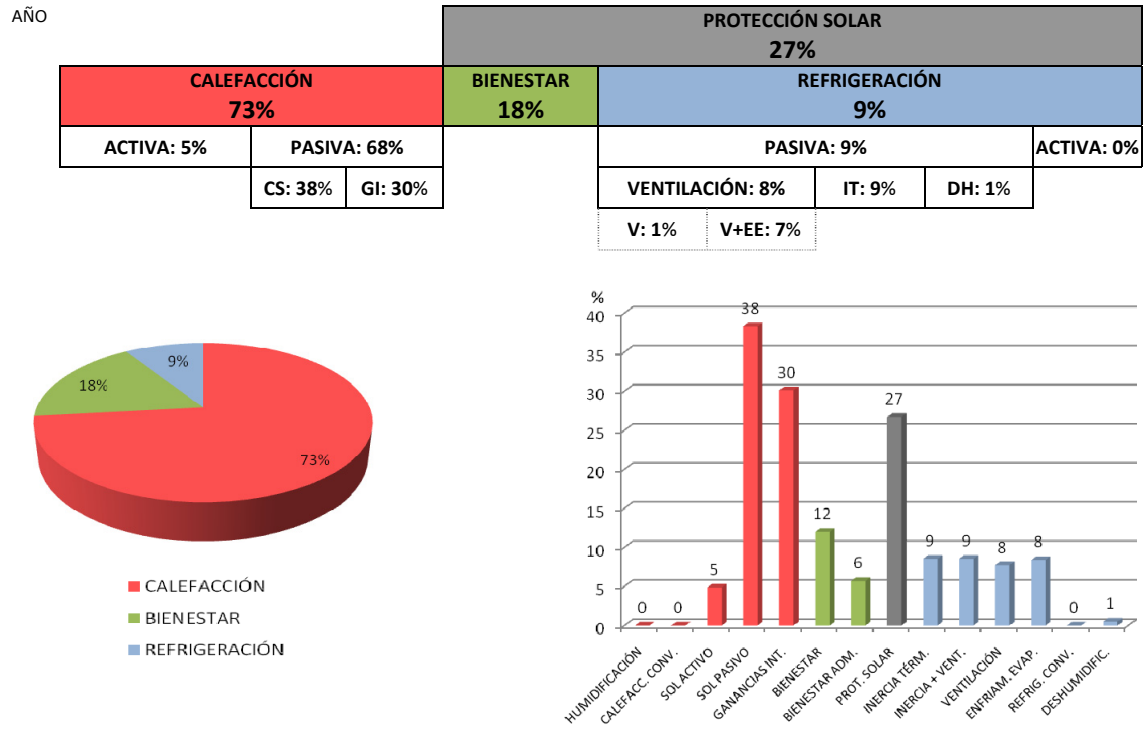


Figura 3.4 Representaciones de las estrategias más adecuadas

Si estos valores se agrupan y simplifican según las estrategias pasivas definidas anteriormente, quedaría lo siguiente:

ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN	CAPTACIÓN SOLAR	**38%**	**CS:**	**38%**
ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN	PROTECCIÓN SOLAR	**27%**	**PS:**	**27%**
	INERCIA TÉRMICA	**9%**	**IT:**	**9%**
			IT+VN:	**0%**
	VENTILACIÓN NATURAL	**8%**	**V:**	**1%**
			V+EE:	**7%**

La variabilidad de las condiciones climáticas en la Comunitat Valenciana no es excesiva aunque se pueden apreciar diferencias en algunas zonas situadas hacia el interior o con mayor altitud, en las que se recomienda la utilización de sistemas activos en invierno por alcanzar temperaturas más frías en determinados momentos del año.

Las estrategias no son excluyentes entre sí, de hecho las de verano y las de invierno deberán coexistir puesto que la arquitectura es invariable a lo largo del año y deberá adaptarse a los requisitos de cada

estación. Es decir, las estrategias de aprovechamiento de la radiación solar en invierno deberán ser compatibles con las de protección solar en invierno, para optimizar el uso de estas soluciones.

Cada estrategia se corresponde con uno o varios **sistemas** concretos que podrán ser aplicables en función de una serie de condiciones relacionadas con el entorno inmediato, que dependerán de las características concretas de cada proyecto: régimen de utilización (ganancias internas), normativa de aplicación (CTE, DC, Ordenanzas,…), diseño urbano (trazado viario, ancho de calle, altura del edificio,…). Cada sistema afectará a uno o varios elementos del edificio: cubierta, fachadas, particiones, etc

3.3 Comprobación de las condiciones de entorno

La validez de un sistema pasivo para un emplazamiento depende de dos factores de distinta escala geográfica: la severidad climática del emplazamiento, que hace que las exigencias de climatización se incrementen para determinados periodos del año u horas del día, y las características del entorno que van a condicionar la viabilidad o no para que el sistema responda de forma adecuada.

En una segunda etapa se propone realizar una serie de comprobaciones particulares para cada estrategia sobre las características propias del entorno más próximo, la influencia de unos sistemas con otros y sobre las condiciones de uso que pueden llevar a descartar un sistema o advertir sobre precauciones a tener en cuenta para su aplicación.

En esta fase se podrá valorar, en primer lugar, si la estrategia general recomendada por el climograma es efectiva y viable, puesto que las condiciones del entorno inmediato pueden modificar el efecto del sol y de los vientos predominantes. En segundo lugar, permitirá descartar los sistemas que no pueden ser aplicables y decidir entre los que sí lo son y considerar la interacción y/o compatibilidad de unos sistemas con otros.

Para cada estrategia, se recomienda realizar una serie de comprobaciones antes de optar por su empleo, puesto que van a resultar determinantes para su eficacia o rendimiento, como puede ser la reducción el nivel de iluminación al utilizar algunos sistemas de protección solar.

ESTRATEGIA		COMPROBACIONES
CALEFACCIÓN SOLAR	CS	**Acceso al sol** (Anexo 1, apartado A1.2)
PROTECCIÓN SOLAR	PS	**Acceso al sol** (Anexo 1, apartado A1.2) **Máscaras de Sombra** (Anexo 1, apartado A1.3) **Estudio de iluminación** (Anexo 2)
VENTILACIÓN NATURAL	V	**Régimen de vientos** (velocidad y dirección predominante)[29] **Efectos y variaciones de los flujos de viento** (Anexo 3, apartado A3.2)
TRATAMIENTO DEL AIRE	TA	La efectividad del enfriamiento evaporativo es muy alta pero es necesario un **ambiente suficientemente seco** y exponer el agua a una **corriente de aire**[30].

Tabla 9 Comprobaciones a realizar para valorar la viabilidad de una estrategia

[29] *La ventilación natural es muy beneficiosa en áreas con suficiente viento en verano y humedad relativa superior al 20% (con menos, hay riesgo de deshidratación del aire). Pierde eficiencia en zonas con un alto porcentaje de calmas en el régimen de vientos*

[30] *Neila, J "Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible". Ed. Munilla-Lería 2004.*

3.4 Fichas de sistemas pasivos

Una vez se han determinado, mediante los climogramas de Givoni, cuales son las estrategias recomendadas para el emplazamiento concreto y se han analizado las condiciones de entorno, el acceso al sol y el régimen de vientos característico, se pueden utilizar distintos sistemas para solucionar cada estrategia. Hay que tener en cuenta que una misma estrategia se puede resolver de distintas formas y que un único sistema puede adaptarse para llevar a cabo distintas estrategias. También se pueden aplicar varios sistemas de manera simultánea, dependiendo de las características y necesidades de los espacios del edificio.

Estos sistemas, basados en soluciones pasivas, normalmente no pueden sustituir plenamente a los sistemas activos de climatización sino servir de apoyo para reducir el consumo energético de los edificios. Es más que probable que se produzcan momentos en los que las temperaturas máximas o mínimas de un lugar superen sensiblemente los valores medios supuestos en el análisis bioclimático, por lo que la incorporación de los sistemas recopilados a continuación deben entenderse como medidas para minimizar el consumo de energía de los sistemas activos de climatización, con las cuales se puede mejorar el consumo energético global del edificio. Cuantificar cual puede llegar a ser el aporte de los sistemas pasivos en este balance térmico es complejo por la multitud de variables que intervienen, tanto del edificio como de su implantación, siendo necesario modelizar y aplicar el procedimiento de cálculo correspondiente a cada caso particular con alguna aplicación informática que permita determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente.

Conceptualmente se distingue entre estrategias de verano y de invierno, pero la materialidad de los edificios impide una metamorfosis estacional tal que permita adaptar su forma a los requisitos de cada momento del año, por lo que las soluciones elegidas deben ser las más adecuadas posible, teniendo en cuenta las variaciones climáticas que se pueden producir. Lo más recomendable es partir del estudio de las condiciones más desfavorables de soleamiento, que se producen coincidiendo con el solsticio de invierno, de modo que se diseñe la solución más adecuada para esa situación, asumiendo que el resto del año se tendrá mejor acceso al sol.

La información que se expone a continuación se ha elaborado a partir de la recopilación de los criterios generales asumidos por las reglas del buen hacer constructivo y por la bibliografía especializada. Su objetivo es proporcionar las principales soluciones disponibles, la manera de integrarlos en el edificio, los condicionantes constructivos y un orden de magnitud de los valores y dimensiones necesarias para incorporarlas en su diseño. Estos datos pueden servir como punto de partida para la toma de decisiones durante la etapa de definición formal de los edificios.

Además de las estrategias específicas para calefacción y refrigeración, es necesario tener en cuenta una serie de recomendaciones previas de carácter general relacionadas con la implantación y el diseño arquitectónico del edificio que, aunque no constituyen en sí una estrategia de climatización, conviene recopilar y reconsiderar por su trascendencia en la eficiencia energética de los edificios.

ESTRATEGIAS GENERALES			SISTEMAS Y SOLUCIONES
DISEÑO GENERAL DEL EDIFICIO	DIS	CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	Ubicación
			Forma
			Orientación
MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA	MET	CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	Mejora del aislamiento térmico
			Fachadas ventiladas
			Cubiertas ventiladas
			Fachadas vegetales o ajardinadas
			Cubiertas vegetales o ajardinadas
			Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica
		ACUMULACIÓN TÉRMICA	Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica

ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN (invierno)			
CALEFACCIÓN SOLAR	CS	DIRECTA	Ventanas y lucernarios
			Invernaderos y galerías acristaladas
		INDIRECTA	Muros Trombe y parietodinámicos

ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN (verano)			
PROTECCIÓN SOLAR	PS	EXTERIOR	Umbráculos o pérgolas
			Parasoles
			Persianas y contraventanas
		EXTERNA	Vegetación
		INTERMEDIA	Vidrios especiales
		INTERIOR	Persianas y estores
VENTILACIÓN NATURAL	V	CRUZADA	Huecos
		CON TIRO TÉRMICO	Efecto chimenea
			Aspiración estática (efecto Venturi)
		INDUCIDA	Torre de viento
TRATAMIENTO DEL AIRE	TA	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	Agua
			Vegetación
		REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE	Conductos enterrados
			Patios
			Refrigeración nocturna

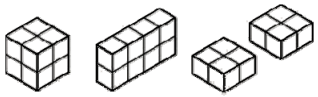
ESTRATEGIAS GENERALES

DIS DISEÑO GENERAL DEL EDIFICIO

Las estrategias que se desarrollan en este apartado son de carácter general y deben tenerse en cuenta siempre, independientemente de las estrategias de calefacción o de refrigeración particulares que sean recomendadas a partir del análisis bioclimático.

Las decisiones sobre la ubicación, forma y orientación de la edificación en el terreno son determinantes para tener la posibilidad de captar la radiación sol y poder aprovecharla. No obstante, no siempre es posible tener margen de decisión en cuanto a estas cuestiones ya que en los núcleos urbanos, por ejemplo, la disposición y orientación de la edificación viene condicionada por la parcela en que se dispone y la forma general está limitada por la normativa y ordenanzas específicas. En cualquier caso, siempre es conveniente tener presente las siguientes consideraciones generales a la hora de decidir dónde y cómo se va a colocar el edificio.

También es importante recordar estos aspectos cuando se redacta el planeamiento urbanístico, ya que un adecuado diseño de la red viaria y de la parcelación favorece el asoleo directo y la ventilación de las edificaciones y de los espacios abiertos, lo que permite el aprovechamiento de la radiación solar y de los vientos dominantes. Habrá que tener en cuenta la distribución de los edificios y su relación con el espacio libre en la trama urbana, así como otros parámetros relacionados con la proporción entre la altura de los edificios y el ancho de las calles o la disposición de elementos urbanos que puedan obstaculizar o favorecer el aprovechamiento de los recursos naturales, según se necesite.

CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	Ubicación	
	Forma	
	Orientación	

CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR
Ubicación

Como ya se ha visto en capítulos anteriores, el emplazamiento del edificio está influido por factores geográficos de distintas escalas, como masas de agua, desniveles del terreno debidos a la orografía o la presencia de vegetación, que es conveniente tener en cuenta. También varían mucho las condiciones de entorno en núcleos urbanos con respecto a los valores climáticos registrados en espacios abiertos. El entorno construido produce sombras sobre los edificios colindantes, que dependerán principalmente de la relación que exista entre la altura de los edificios y las dimensiones de las calles y espacios abiertos de alrededor.

En este sentido es conveniente analizar el entorno inmediato para detectar posibles interferencias que imposibiliten el uso de alguna de las estrategias propuestas, sobre todo aquellas relacionadas con el acceso al sol.

"Durante los meses de invierno, aproximadamente el 90% de la energía solar que se recibe lo hace entre las 9 y las 15 h solares. Todos los obstáculos o barreras, como edificios y árboles altos, que intercepten el sol durante estas horas dificultarán la utilización de energía solar como calefacción."
(*El libro de la energía solar pasiva. Mazria*)

En primer lugar, hay que tener en cuenta cuál es el ángulo de incidencia solar debido a la latitud, y cuáles van a ser las variaciones del mismo a lo largo del tiempo durante las distintas estaciones del año o en distintos momentos del día.

Es conveniente realizar el estudio de soleamiento considerando la posición del sol durante el solsticio de invierno, ya que se trata del periodo más desfavorable en cuanto a insolación, y teniendo en cuenta los momentos de máxima sombra del día (orto y ocaso) y las mínimas (cenit), para valorar el efecto de las sombras arrojadas por los obstáculos colindantes.

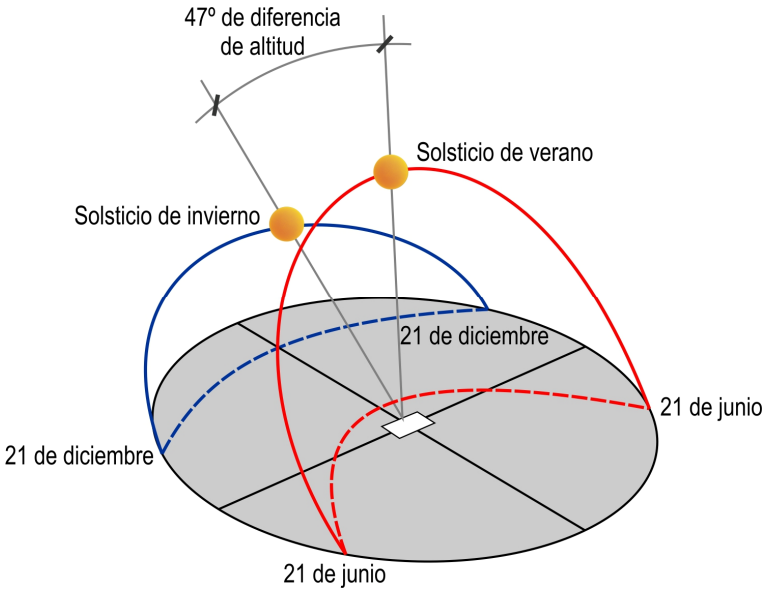


Figura DIS.1 Posición del sol en invierno y en verano

Por lo tanto, para poder utilizar directamente la energía solar para calentar los espacios interiores, es conveniente analizar detalladamente la ubicación concreta del edificio y los elementos de gran volumen que se encuentran a su alrededor. Este análisis sirve para comprobar el acceso al sol que tendrá el edificio cuando se construya y, en consecuencia, estimar la efectividad de las estrategias pasivas de calefacción en invierno.

La forma de los edificios debe ser tal que permita el máximo aprovechamiento del sol, minimizando tanto las pérdidas de calor durante el invierno como las ganancias durante el verano.

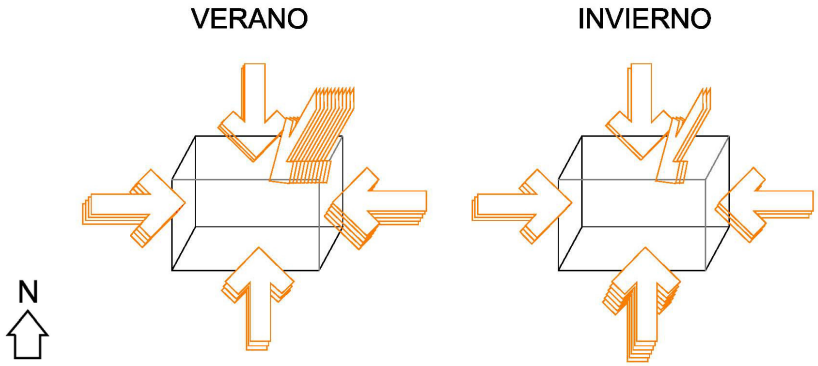


Figura DIS.2 Incidencia de radiación solar a latitud 40º N. Fuente: El libro de la energía solar pasiva. Mazria.

Para tener en cuenta el aporte de energía solar para calefacción, es necesario pensar en un diseño que favorezca la máxima penetración de los rayos solares dentro del edificio en invierno. Los volúmenes alargados siguiendo el eje este-oeste, tendrán más posibilidades de captar radiación del sol, mediante la exposición de una de las fachadas de mayor longitud al sur. Las fachadas al sur reciben casi tres veces más radiación en invierno que las fachadas a este y oeste.

En verano, al discurrir el sol más alto, la radiación incide principalmente en la cubierta de los edificios y en sus fachadas este y oeste, por lo que se debe limitar la longitud de exposición de estas fachadas así como prever la colocación de elementos de protección solar.

Por lo tanto, los volúmenes más recomendables son los bloques lineales, de forma sensiblemente rectangular, con la fachada larga orientada a sur, hacia la cual se deben orientar, preferentemente, las estancias que tengan más demanda de calefacción en invierno.

Los bloques lineales, además, favorecen la ventilación cruzada entre la fachada norte y la sur, permitiendo la circulación del aire en el interior de los edificios y, por tanto, la utilización de estrategias de ventilación natural para la disipación y evacuación del calor almacenado.

"La relación recomendada entre el fondo de la edificación (b) y el largo (a), para obtener una máxima superficie orientada al sur, es, como mínimo, de 1,5, con la fachada menor (o con menor número de huecos) orientada a oeste."

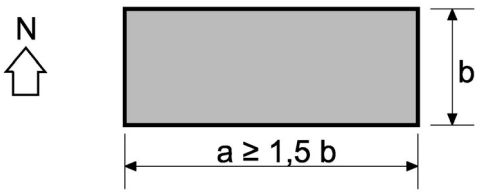


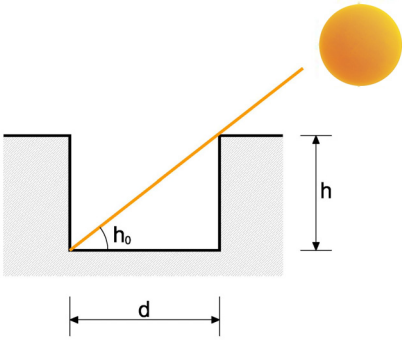
Figura DIS.3 Dimensiones edificación. Fuente: Urbanismo bioclimático. Ester Higueras.2006

La proporción de los bloques surge como consecuencia directa de la orientación predominante de la red de viaria, ya que las parcelas resultantes condicionan las posibilidades de soleamiento de los bloques que las ocupan.

En el caso de calles con directriz norte-sur, se generan fachadas orientadas a este, en las cuales el sol incide sólo por las mañanas, y a oeste, en las cuales incide sólo por las tardes, lo que puede resultar negativo para el confort interior.

En el caso de calles con directriz este-oeste, se generan fachadas orientadas a norte, lo que resulta muy desfavorable desde el punto de vista de aprovechamiento solar, y a sur, que será óptimo siempre y cuando la entrada de sol no esté limitada por los edificios contiguos.

Para comprobarlo, se puede determinar la relación entre el ancho de la calle y la altura de la edificación mediante el ángulo de obstrucción solar h_0[31]



Ángulo de obstrucción:

$h_o = \text{arctg } h/d$

Figura DIS.4 Ángulo de obstrucción solar. Fuente: Urbanismo bioclimático. Ester Higueras.2006

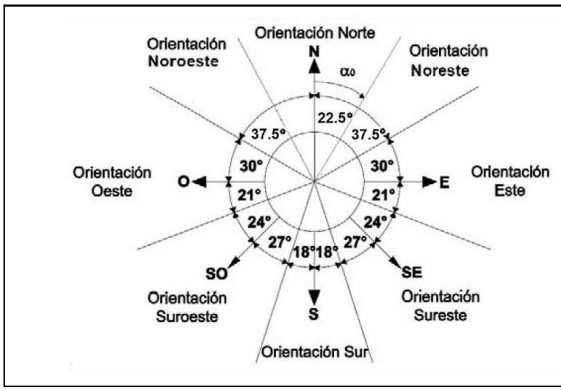
En general, se puede considerar que existe un óptimo acceso solar, cuando la altura de los edificios es menor o igual que el ancho del espacio libre ($h \leq d$), de modo que el ángulo de obstrucción está en torno a 45º. Si este ángulo es mayor, las condiciones de soleamiento empeoran y si es menor, implica que la distancia entre edificios es mayor y, por tanto, el asoleamiento en invierno es mejor.

[31] *Urbanismo bioclimático. Ester Higueras. 2006*

CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR
Orientación

Una buena orientación no garantiza el acceso al sol durante un periodo de tiempo suficiente ya que, como se ha visto anteriormente, hay que tener en cuenta la obstrucción que producen los edificios u otros obstáculos colindantes, en función de su altura y de la distancia a la que se encuentran. No obstante, como criterio general, se debe orientar la edificación para que reciba el máximo soleamiento posible en el momento más desfavorable del año (solsticio de invierno).

Según los arcos acimutales propuestos por el CTE en su DB-HE1, las orientaciones solares se agrupan en 6, según los siguientes sectores angulares:



Norte	$\alpha_0 < 22,5$; $\alpha_0 \geq 337,5$;
Noreste	$22,5 \leq \alpha_0 < 60$
Este	$60 \leq \alpha_0 < 111$
Sureste	$111 \leq \alpha_0 < 162$
Sur	$162 \leq \alpha_0 < 198$
Suroeste	$198 \leq \alpha_0 < 249$
Oeste	$249 \leq \alpha_0 < 300$
Noroeste	$300 \leq \alpha_0 < 337,5$

Figura DIS.5 Sectores solares. Fuente: Código Técnico de la Edificación

Algunas fuentes determinan que la mejor orientación para las fachadas de los edificios es la sur admitiendo una variación acimutal tanto hacia este como hacia el oeste de 30º, para maximizar las ganancias solares[32]. Otros autores, sin embargo, consideran que en climas templados (con latitudes medias en torno a 40º) es conveniente desplazar el eje de simetría del arco solar favorable hacia el este[33], de modo que abarca desde los 111º (69º E) hasta los 225º (45º O).

El resto de arcos solares queda repartido tal y como se muestra en la siguiente figura:

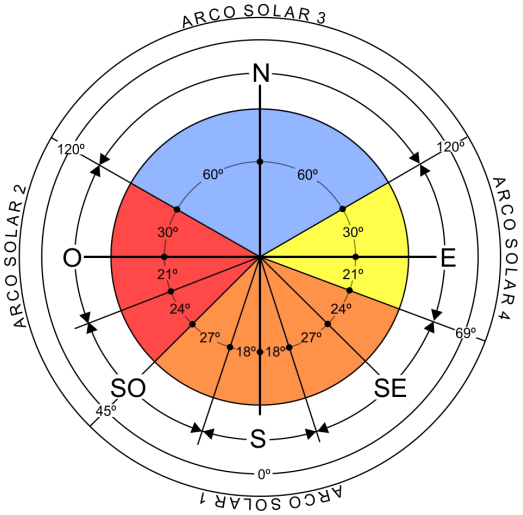


Figura DIS.6 Arcos solares. Fuente: Urbanismo bioclimático. Ester Higueras.2006

[32] *Proyecto RECONSOST. AICIA y IETCC.*

[33] *Rosa de Orientaciones de la Ordenanza Bioclimática de Tres Cantos (Madrid). Urbanismo bioclimático. Ester Higueras. 2006.*

Arco solar 1: máximo soleamiento a lo largo de todo el año, la diferencia de altura solar en los meses de invierno (más baja) que la que se da en los meses de verano (más alta), facilita la utilización de elementos de protección solar en los huecos sin interferir en la captación solar durante los meses fríos.

Arco solar 2: no recibe soleamiento directo durante los meses fríos de invierno, pero sí que recibe radiación por las tardes desde marzo hasta septiembre, lo que provoca un sobrecalentamiento de las fachadas expuestas a esta orientación. El tratamiento de los huecos y las fachadas en esta orientación deben tratarse con especial cuidado.

Arco solar 3: no recibe prácticamente radiación solar directa en ningún momento del año, sólo difusa. Se deberán adoptar medidas que eviten excesivas pérdidas del calor interior a través de la envolvente.

Arco solar 4: radiación solar sólo por las mañanas de los meses calurosos, por lo que no es adecuado para utilizar estrategias de captación solar y tampoco es una orientación especialmente calurosa ya que el momento de incidencia es por la mañana cuando el aire todavía no está sobrecalentado.

Por lo tanto, la distribución de las estancias dentro de los edificios, desde el punto de vista de aprovechamiento de la energía solar, se debe realizar teniendo en cuenta la posición de las mismas respecto a las fachadas. Además es importante tener en cuenta la interconexión entre espacios, ya que determinará el flujo de temperaturas entre unos y otros.

En las fachadas orientadas a **sur** (mayor ángulo de incidencia solar) se obtienen los mayores valores de irradiancia. Esta orientación resulta adecuada para el aprovechamiento solar en invierno y permite adaptar sencillos elementos de protección solar para verano. Esta orientación es ideal para situar las estancias de uso diurno, como salones o salas de estar, y habitaciones de uso continuado, como habitaciones de hospital o zonas de trabajo.

Las fachadas orientadas a **norte** son las más frías, ya que no reciben radiación solar directa en invierno, únicamente recibirá radiación difusa. Esto supone que las ganancias térmicas en esta orientación son escasas y no compensan las pérdidas térmicas a través de la envolvente. En las fachadas orientadas a norte es conveniente situar estancias de uso esporádico o residual, como escaleras, trasteros o baños. También son adecuados espacios destinados a lectura, como bibliotecas, o a trabajo de oficina, ya que la iluminación es homogénea y no se producen deslumbramientos.

Las fachadas orientadas a **este** y **oeste** (bajo ángulo de incidencia solar) son las que tienen más ganancias de calor en verano y, por tanto las que deben protegerse mejor, sobre todo las situadas a poniente porque reciben la radiación por la tarde coincidiendo con altas temperaturas del aire. Los espacios volcados a fachadas orientadas a este reciben soleamiento sólo por la mañana, cuando la temperatura del aire en verano aun no es excesiva, por lo que puede ser una buena zona para ubicar los dormitorios. Por el contrario, a oeste es conveniente situar los espacios de poca habitabilidad o zonas de paso.

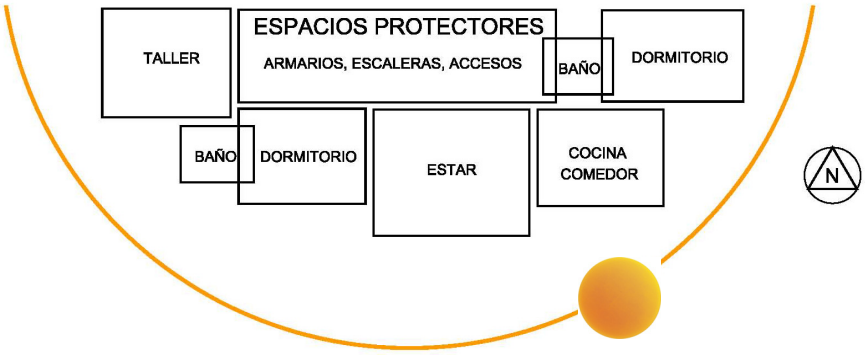


Figura DIS.7 Situación de estancias. Fuente: El libro de la energía solar pasiva. Mazria

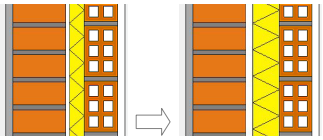
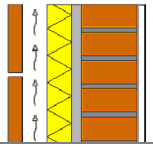
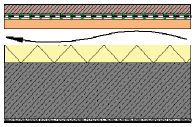
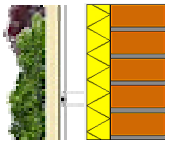
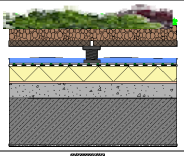
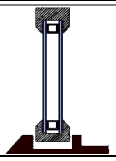
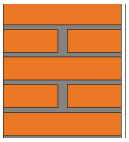
MET MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

El control del flujo de energía a través de la envolvente está muy condicionado por el diseño del aislamiento térmico de los cerramientos opacos y por las propiedades térmicas de los vidrios y marcos utilizados en los huecos. La cantidad de energía que atraviesa una unidad de superficie de un material por unidad de tiempo se denomina transmitancia térmica.

La transmitancia de la parte opaca de un cerramiento, y con él la demanda energética del edificio, se reduce utilizando **materiales aislantes**[34] que tengan baja conductividad térmica o incrementando su espesor, incorporando **cámaras de aire ventiladas** que limiten el sobrecalentamiento de la capa interior del cerramiento o utilizando **capas vegetales** como elemento externo de protección y aislamiento.

La transmitancia de la parte semitransparente de un cerramiento, se reduce actuando sobre los vidrios y marcos que conforman los huecos de fachadas y cubiertas.

Por otro lado, se puede mejorar la capacidad de acumulación térmica para invierno, aumentando la masa de la hoja interior de los cerramientos.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	Mejora del aislamiento térmico	
	Fachadas ventiladas	
	Cubiertas ventiladas	
	Fachadas vegetales o ajardinadas	
	Cubiertas vegetales o ajardinadas	
	Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica	
ACUMULACIÓN TÉRMICA	Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica	

[34] *El CTE considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/mK y una resistencia térmica mayor que 0,25 m².K/W.*

La **envolvente térmica** del edificio está compuesta por todos los cerramientos y particiones interiores que limitan espacios habitables con el ambiente exterior o con los espacios no habitables. Estos son, dependiendo de su situación en el edificio, las cubiertas, suelos, fachadas, medianerías, cerramientos en contacto con el terreno y particiones interiores. Las fachadas y cubiertas constan de una parte opaca y de una semitransparente en la que se incluyen las ventanas y lucernarios.

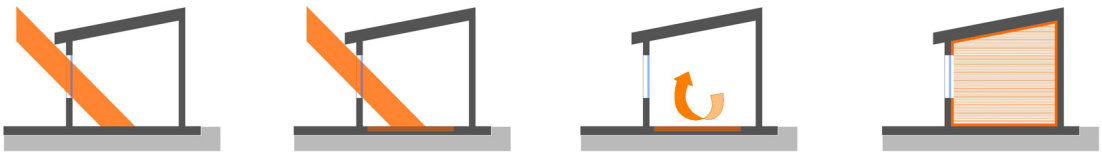
Todos estos elementos constructivos deben tener unas características y dimensiones tales que limiten la demanda de energía que se necesita para alcanzar el bienestar térmico, así como las pérdidas o ganancias de calor, y que faciliten la entrada de aire exterior para conseguir una adecuada ventilación natural.

El adecuado diseño de la envolvente térmica, mediante la disposición de capas de aislamiento térmico y elementos de inercia, en la composición de la parte opaca, y el tratamiento de los huecos y obstáculos de fachada para reducir las pérdidas o ganancias de calor (según sea invierno o verano) resulta indispensable para garantizar la eficiencia del resto de estrategias pasivas. De este modo el edificio por sí mismo, o con un mínimo apoyo de sistemas mecánicos, puede controlar y aprovechar la influencia de los parámetros climáticos y los factores geográficos de su emplazamiento.

El funcionamiento térmico de los cerramientos viene determinado por la capacidad de los mismos para transferir calor hacia el interior o el exterior de la construcción. Este intercambio se produce siempre desde el lado más caliente hacia el más frío, por lo que se deberán controlar las ganancias de calor en verano y las pérdidas en invierno. La transferencia de calor se basa en la capacidad de los cerramientos para captar o ceder calor, bien sea por radiación o por convección, y de transmitirlo por conducción en uno u otro sentido, dependiendo de la diferencia de temperatura existente entre ambas partes y de las características térmicas de los materiales que lo componen, su disposición y espesores.

El conjunto de la envolvente, junto con las particiones interiores (tabiques y forjados), constituye en sí mismo un sistema energético de aprovechamiento de los recursos energéticos naturales que se basa en cuatro mecanismos fundamentales:

- la **captación** de la radiación solar, a través de acristalamientos o sistemas opacos específicos,
- la **acumulación** térmica, para aprovechar la energía procedente de la radiación solar o de las ganancias internas en invierno y para amortiguar la transferencia de calor exterior en verano,
- la **distribución** del calor obtenido desde el punto de captación al resto de espacios interiores, de la manera más homogénea posible para evitar excesivas diferencias de acondicionamiento entre las distintas estancias y
- la **conservación** de la energía, limitando los intercambios de calor entre el interior y el exterior.



CAPTACIÓN ACUMULACIÓN DISTRIBUCIÓN CONSERVACIÓN

La correcta distribución del calor acumulado depende, en gran medida, de la compartimentación interior de la vivienda y de su relación con las fachadas situadas a sur, que es donde se van a situar los elementos de captación. Las soluciones para distribuir el aire caliente se basan en intentar vincular todas las estancias con la habitación donde se encuentra el elemento captador o intentar conectar ambos espacio, de modo que se produzca el flujo de calor entre ellos por radiación o convección.

Los aspectos relacionados específicamente con la **captación** se desarrollan en el apartado **CS Calefacción solar**, y se refieren a la disposición de superficie acristalada en huecos de la envolvente y a la utilización de muros de captación y acumulación de la energía.

Por lo tanto, los mecanismos básicos que deben controlarse mediante la envolvente se centran en la **conservación** de la energía mediante la limitación de pérdidas a través de toda la envolvente, en especial de los huecos y la **acumulación** térmica de la energía recibida en los elementos opacos de fachadas y cubiertas.

En general, se puede disminuir la demanda de un edificio al actuar sobre la envolvente utilizando cerramientos, tanto opacos como huecos, que tengan una transmitancia térmica baja.

Otras mejoras que se pueden aplicar a los distintos elementos de la envolvente para contribuir a limitar la demanda energética de los edificios son las siguientes[35]:

	CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA		ACUMULACIÓN TÉRMICA
	Incorporación de cámaras ventiladas	Utilización de elementos vegetales	Inercia
FACHADAS	Fachada ventilada en orientaciones sureste, suroeste, este y oeste, para las zonas climáticas 2, 3 y 4.		Disponer una solución para la hoja interior de la fachada cuya masa sea como mínimo de 210 kg/m^2
CUBIERTAS	Cubierta ventilada para las zonas climáticas 2, 3 y 4.	Cubierta ajardinada en zonas climáticas 2, 3 y 4.	Disponer una solución de la parte de cubierta comprendida entre el aislante térmico y el espacio interior con un valor mínimo de masa de 350 kg/m^2

[35] *Guía de Proyecto del Perfil de Calidad específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad. IVE. 2009*

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Mejora del aislamiento térmico

Uno de los recursos más sencillos para mejorar el comportamiento energético de los edificios consiste en incrementar el nivel de aislamiento de los cerramientos para disminuir los valores de transmitancia térmica respecto a los establecidos en el CTE. En la actualidad los cerramientos que constituyen la envolvente térmica se resuelven con sistemas multicapa, concentrándose el material que actúa como aislante térmico en una de esas capas.

Para mejorar el aislante térmico, es determinante su conductividad y espesor. Así, cuanto menor sea la conductividad y mayor el espesor del aislante, mejor será su comportamiento térmico.

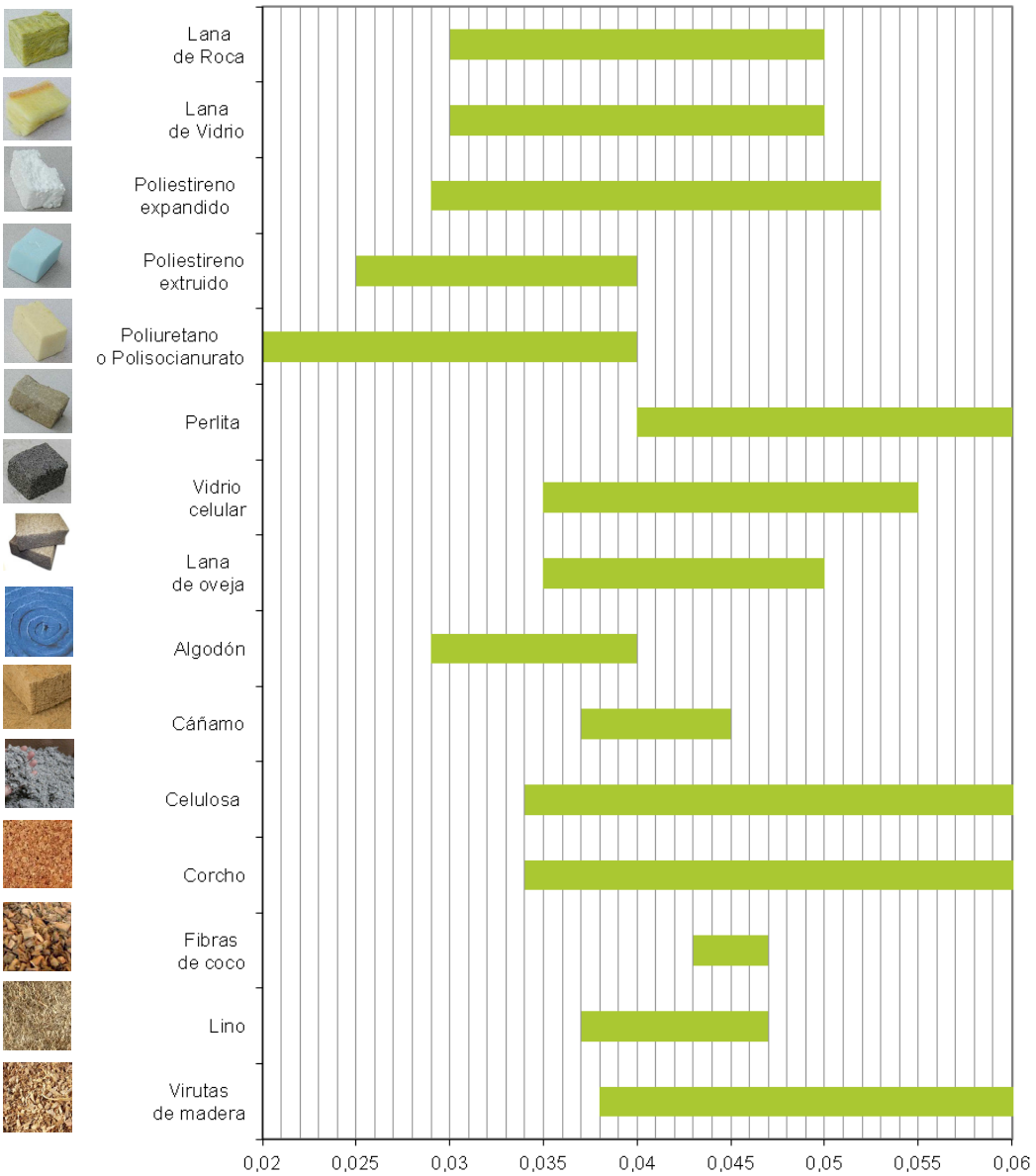


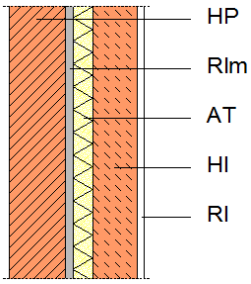
Figura MET.1 Conductividad térmica de los materiales aislantes más comunes. Cuadernos de rehabilitación. IVE

Atendiendo a la situación del material aislante con respecto al exterior se pueden clasificar los cerramientos de la siguiente forma:

a. Aislante interior

En invierno, la temperatura interior se alcanza con mayor rapidez, al tener que calentar menos masa de cerramiento. De esta forma la temperatura superficial interior está más próxima a la temperatura ambiente durante el proceso de calentamiento. Una vez cesa el aporte energético la reducida masa interior cede más rápidamente el calor al aire. Como consecuencia de este comportamiento estas soluciones no facilitan la acumulación de la radiación solar requiriendo además de sistemas de climatización regulables y con un periodo de respuesta corto. En verano su comportamiento es análogo requiriendo de un cuidado especial en la regulación de los sistemas de climatización así como un control exhaustivo de las protecciones solares para controlar los aportes por radiación directa.

Las soluciones más habituales de fachadas con aislante por el interior, se componen de:



HP Hoja principal (exterior): Cuya función principal es servir de soporte del resto de las hojas y componentes de la fachada así como, en su caso, función estructural. Puede ser de ladrillo cerámico, bloque de hormigón o industrializada.

RIm Revestimiento intermedio: Enfoscado de mortero con aditivos hidrofugantes y un espesor mínimo de 1,5 cm, que servirá para evitar la entrada de agua del exterior.

AT Aislante térmico: Las soluciones pueden ser de lana mineral, poliestireno extruido o expandido o poliuretano proyectado, entre otras.

HI Hoja interior: De fábrica de ladrillo o placa de yeso laminado.

RI Revestimiento interior: Guarnecido y enlucido de yeso acabado con revestimiento plástico delgado o paneles de yeso laminado sobre perfilería metálica.

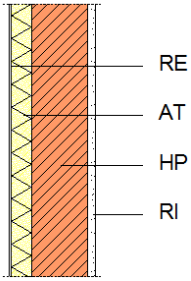
Por lo general estas soluciones se deben complementar con elementos que aporten capacidad calorífica al sistema delimitado por la envolvente térmica.

Este sistema es recomendable cuando el uso del edificio es eventual, alcanzándose las temperaturas de confort rápidamente.

En el caso de rehabilitaciones, el aislamiento por el interior permite mejorar aquellos edificios existentes en los que resulta imposible actuar desde el exterior. Estos sistemas se basan en la incorporación de una capa interior formada por un aislante y un revestimiento de acabado, que independiza las zonas habitables de los cambios térmicos del ambiente exterior. Esto permite controlar de manera más rápida la temperatura en los edificios, pero no se puede contar con la contribución de los cerramientos como acumuladores térmicos. En este tipo de intervenciones es necesario tener especial precaución con la resolución de los puentes térmicos y las condensaciones que se generan en los encuentros de las fachadas con los forjados.

b. Aislante exterior

La mayor parte de la masa del cerramiento se encuentra en contacto con el ambiente interior, lo que permite aprovechar la capacidad de acumulación térmica del mismo. Este calor se va cediendo lentamente al espacio interior una vez cesa el aporte energético recibido por la radiación solar a través de los huecos o el obtenido debido a las ganancias internas por el uso y por el sistema de calefacción utilizado. En situaciones estivales el elemento de masa interna puede ser inadecuado siendo necesario recurrir a sistemas de disipación de calor, como la ventilación nocturna, de modo que se retrase el proceso de calentamiento que se vuelve a producir durante las primeras horas del día. Las soluciones más habituales de fachadas con aislante por el exterior, se componen de:



RE Revestimiento exterior: Con un espesor mínimo de 4 mm, para proteger el cerramiento de los agentes climáticos y ambientales.

AT Aislante térmico: Las soluciones pueden ser de lana mineral, poliestireno extruido o expandido o poliuretano proyectado, entre otras.

HP Hoja principal (interior): Cuya función principal es servir de soporte del resto de las hojas y componentes de la fachada así como, en su caso, función estructural. Puede ser de ladrillo cerámico, bloque de hormigón o industrializada.

RI Revestimiento interior: Guarnecido y enlucido de yeso acabado con revestimiento plástico delgado o paneles de yeso laminado sobre perfilería metálica.

Esta solución resulta apropiada cuando el uso del edificio es continuado, mientras que para usos ocasionales no lo es tanto por tratarse de sistemas en los que el proceso para alcanzar temperaturas de confort es excesivamente lento.

En el caso de intervenir en edificios ya construidos, el aislamiento por el exterior permite mejorar el comportamiento térmico de la envolvente, mediante la incorporación de una capa de aislante aplicada directamente sobre la cara exterior de fachadas y medianeras existentes.

Las soluciones más comunes consisten en disponer el aislante en la cámara de aire de una fachada ventilada con hoja exterior no pesada o utilizar sistemas SATE-ETICS que se suministran como un conjunto y constan de un aislante térmico fijado a la fachada y posteriormente revestido con malla de fibra de vidrio embebida en mortero especial sobre el que se aplica un acabado.

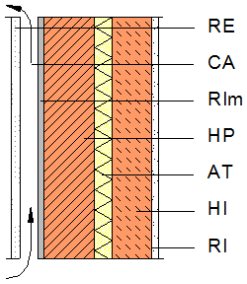
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Fachadas ventiladas

Las fachadas ventiladas tienen por objeto impedir que el calor producido por la incidencia de la radiación solar sobre la parte opaca de la envolvente penetre al interior de la edificación.

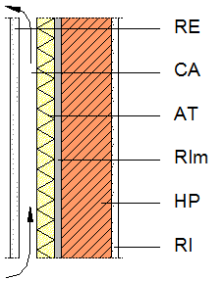
Son soluciones que incorporan una cámara que permite la circulación del aire por su interior, de modo que se protege el cerramiento de la incidencia directa de los rayos del sol a la vez que se produce la eliminación de parte del calor transmitido a la cámara por acción del efecto chimenea que se genera en el interior de las dos hojas.

Básicamente se compone de paneles en su capa más externa, que pueden estar resueltos con diversos materiales: cerámica, piedra, paneles metálicos ligeros o incluso madera. La capa exterior queda unida al edificio mediante una subestructura hecha en la mayoría de los casos de perfiles de aluminio, dejando entre la capa exterior y la interior un espacio libre suficiente que permita la circulación de aire entre ambas. La capa interior sirve de soporte al aislamiento térmico.

Cuando se produce el calentamiento de la capa externa del cerramiento, parte del calor se disipa por efecto de la ventilación convectiva, que moviliza en dirección vertical el aire contenido entre ambas capas. La circulación de aire produce una reducción en las transmisiones térmicas desde el exterior de la edificación. El espesor de la cámara no debe exceder el 50 mm, dado que para dimensiones mayores el régimen de circulación del aire puede pasar de ser laminar a turbulento, lo que reduce su eficiencia.



AISLANTE POR EL INTERIOR

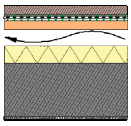


AISLANTE POR EL EXTERIOR

RE	Revestimiento exterior
CA	Cámara de aire
RIm	Revestimiento intermedio
HP	Hoja principal
AT	Aislante térmico
HI	Hoja interior
RI	Revestimiento interior

Desde un punto de vista termoenergético, las fachadas ventiladas permiten reducir en la estación cálida la carga de calor del edificio, gracias a la reflexión parcial de la radiación solar por parte del revestimiento, a la ventilación del espacio intermedio de aire y a la aplicación del aislante, obteniendo, de este modo, una considerable reducción de los costes de acondicionamiento. El "efecto chimenea" activa una ventilación natural eficaz, de la que nace el término de fachada ventilada, aportando notables beneficios en la remoción del calor y de la humedad y garantizando un elevado confort. Por tanto, mejorar la ventilación de la fachada siempre es aconsejable en orientaciones de máximo soleamiento.

En climas cálidos, la fachada ventilada funciona a modo de pantalla protectora solar, a la vez que la ventilación actúa como regulador térmico enfriando la piel interior e impidiendo que el calor exterior entre al interior del edificio. En climas fríos la cámara aporta estabilidad térmica al sistema de fachada, ya que la radiación solar puede ser insuficiente para conseguir el movimiento del aire interior, por lo que actúa como un acumulador de calor evitando pérdidas térmicas del interior.



CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Cubiertas ventiladas

Las cubiertas ventiladas tienen por objeto impedir que el calor producido por la incidencia de la radiación solar sobre la parte opaca de la envolvente penetre al interior de la edificación.

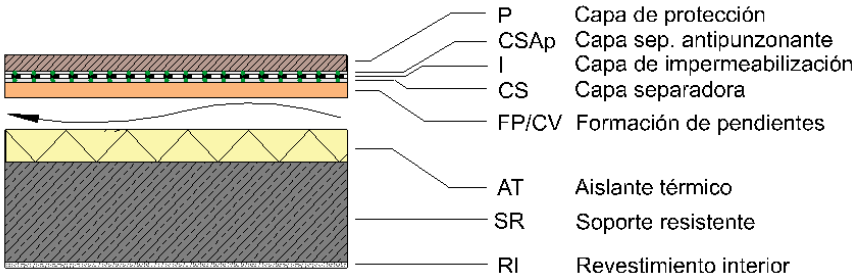
Son soluciones que incorporan una cámara que permite la circulación del aire por su interior, de modo que se protege el cerramiento de la incidencia directa de los rayos del sol a la vez que se produce la eliminación de parte del calor transmitido a la cámara por acción del efecto chimenea que se genera en el interior de las dos hojas.

Las cubiertas ventiladas se componen de láminas en su capa más externa, que quedan separadas del soporte estructural de la cubierta mediante una cámara de aire. Cuando se produce el calentamiento de la lámina externa de la cubierta, parte del calor se disipa por efecto de la ventilación convectiva, que moviliza en dirección vertical el aire contenido entre ambas capas. La circulación de aire produce una reducción en las transmisiones térmicas desde el exterior de la edificación. El espesor de la cámara no debe exceder de 50 mm, dado que para dimensiones mayores el régimen de circulación del aire puede pasar de ser laminar a turbulento, lo que reduce su eficiencia. Este mecanismo es de aplicación a cubiertas con faldones planos con suficiente pendiente (p>1/3). Las cubiertas ventiladas necesitan que los faldones tengan una cierta inclinación, no siendo la solución constructiva indicada para cubiertas con poca pendiente.

Se utilizan normalmente cuando el acabado exterior de la cubierta es una lámina metálica de zinc, cobre o plomo. La lámina metálica exterior se dispone sobre un conjunto de rastreles metálicos colocados en la dirección de la pendiente de la cubierta. Entre los rastreles metálicos se dispone el aislamiento térmico. Para el correcto funcionamiento de la cubierta ventilada es necesario disponer en los aleros y en las cumbreras espacios suficientes para la toma y evacuación de aire. Es importante que la cámara de aire tenga continuidad, a efectos de favorecer su funcionamiento. Al igual que en las fachadas ventiladas, las dimensiones óptimas de la cámara de aire es de 50mm.

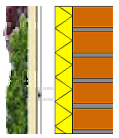
Estas cubiertas son adecuadas en zonas climáticas con severidad de verano ya que la cámara de aire ventilada compensa la fuerte radiación solar sobre el pavimento de la cubierta.

- En clima cálido: es mejor que esté muy ventilada[36].
- En clima frío: es mejor que esté poco ventilada para tener un espacio con una temperatura intermedia entre la exterior y la interior que aísle del frío.



[36] *El CTE define "cámara de aire ligeramente ventilada" como aquella en la que no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior pero con aberturas dentro de los siguientes rangos:*
i) 500 mm² > $S_{aberturas}$ ≤ 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
ii) 500 mm² < $S_{aberturas}$ ≤ 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.

Se considera "cámara de aire muy ventilada" aquella en que los valores de las aberturas exceden:
i) 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales;
ii) 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.



CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Fachadas vegetales

Las fachadas vegetales o ajardinadas tienen por objeto impedir que el calor producido por la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente penetre al interior de la edificación.

Son sistemas que basan la mejora de la transmitancia en el empleo de elementos vegetales que funcionan como aislamiento convectivo y radiactivo, reduciendo los flujos energéticos.

Las fachadas vegetales tienen un principio de funcionamiento similar al de las fachadas ventiladas. En esencia se trata de una subestructura, normalmente metálica que se monta sobre la cara exterior del cerramiento. De ella se suspende un sistema modular, formado normalmente por fieltros que alberga un sustrato sobre el que pueden crecer las plantas. La separación entre la fachada y el elemento vegetal, y la baja inercia térmica del conjunto formado por el sustrato y las plantas hacen que el calor generado por la incidencia de la radiación solar sobre la fachada no penetre al interior de la edificación. Las fachadas vegetales cuentan con sistemas de riego que permiten el crecimiento de las plantas, lo que; junto con el fenómeno de la evapo-transpiración producen un aumento localizado de la humedad relativa, lo que puede favorecer las condiciones microclimáticas, aproximándolas a las de confort.

Existen en el mercado distintas patentes de fachadas vegetales, aunque en la mayorías de ellas se puede distinguir los siguientes elementos: una subestructura de anclaje al cerramiento, con función portante, normalmente compuesta de perfilería de aluminio: Unos paneles modulares, de plástico o metálicos, recubiertos de elementos textiles tipo fieltro, que sirven de sustrato sobre el cual arraigan las plantas que cubren el cerramiento; y un sistema de riego localizado que aporta la humedad suficiente para el crecimiento de las plantas. Es muy recomendable disponer una cámara de aire de separación entre los módulos portantes del sustrato y la cara exterior del cerramiento, con el fin de generar una cámara de aire que mejore el funcionamiento del cerramiento, al tiempo que evita el ataque de las raíces al cerramiento. En general se trata de sistemas que requieren de un mantenimiento intensivo, tanto en el sistema de riego localizado como en el propio cuidado de las plantas que lo componen.

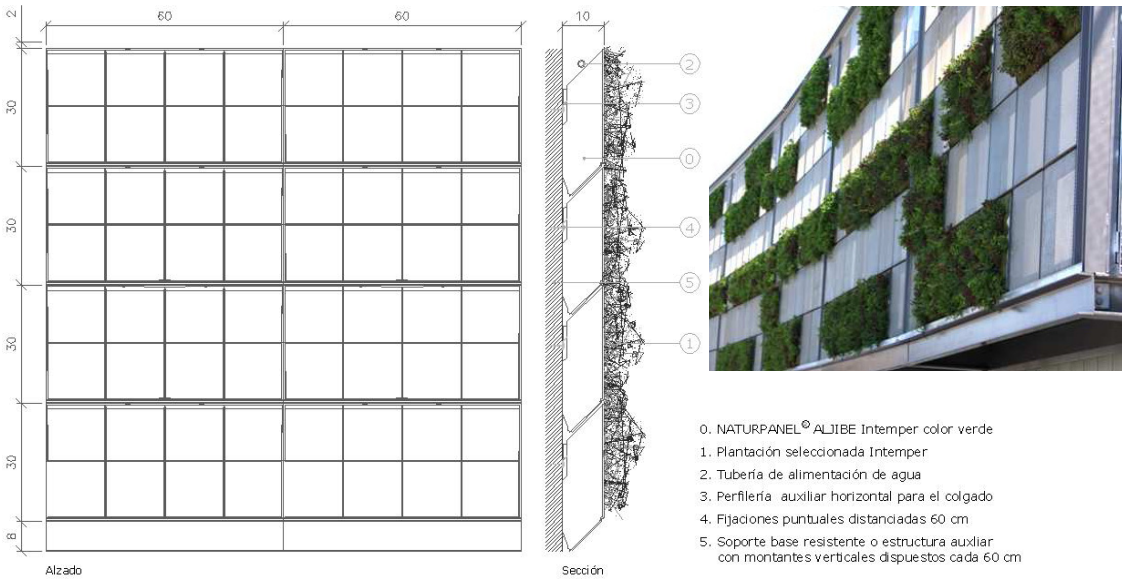
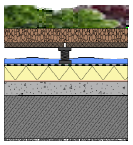


Figura MET.2 ***Esquema de fachada vegetal aljibe. Intemper.***



CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Cubiertas vegetales

Las cubiertas vegetales o ajardinadas tienen por objeto impedir que el calor producido por la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente penetre al interior de la edificación. Son sistemas que basan la mejora de la transmitancia en el empleo de elementos vegetales que funcionan como aislamiento convectivo y radiactivo, reduciendo los flujos energéticos.

Son de aplicación en cubiertas planas o de muy poca pendiente. Se trata de disponer sobre el elemento portante un sistema de capas que permita la vida y el crecimiento de plantas. El conjunto formado por el sustrato y las plantas tiene baja inercia térmica y permeabilidad a la circulación de aire, lo que favorece su función como aislante térmico. Pueden contar con sistemas localizados de riego, o bien contar con sistemas de almacenamiento del agua de lluvia. Al igual que las fachadas vegetales, producen un incremento localizado de la humedad relativa lo que puede favorecer las condiciones microclimáticas, aproximándolas a las de confort.

La cubierta ajardinada puede clasificarse en dos tipologías según el espesor del sustrato, el tipo de vegetación y su mantenimiento: la cubierta intensiva o jardín y la cubierta extensiva o ecológica". Entre ambas, también se puede definir un tipo de cubierta semi-intensiva.

Extensiva o ecológica. Incluye una capa vegetal de pocos centímetros de espesor (normalmente menor de 10 cm), con plantas de bajo porte (generalmente autóctonas), con abastecimiento de agua y sustancias nutritivas por procesos naturales, es decir, con unos requisitos de mantenimiento bajos o nulos. Por su ligereza (a partir de 90 Kg/m^2 en capacidad máxima de agua) es recomendable para rehabilitación.

Intensiva. Tiene un sustrato de mayor espesor (mayor de 20-30 cm), plantas, árboles y arbustos de mayor altura y mantenimiento intensivo, típico de cualquier jardín, con riego, poda, abono, etc. Las sobrecargas del sistema de ajardinamiento de más de 600 Kg/m^2 y presupuestos de instalación y de mantenimiento son elevados.

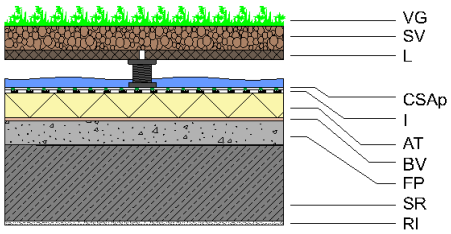
Semi-intensiva. Es un tipo intermedio que supone una sobrecarga a capacidad máxima de agua de unos 180 a 350 Kg/m^2. Esto, como las plantas usadas, supone una cierta inversión (menor a la precedente), tanto en la instalación como en el mantenimiento.

Las soluciones intensiva y semi-intensiva se suelen realizar sobre un soporte de hormigón, más adecuado para grandes sobrecargas, en edificios de nueva construcción.

En esencia las cubiertas vegetales son sistemas formados por distintas capas, de las cuales la superior es la que contiene las especies vegetales. Existen en el mercado distintas patentes de cubiertas vegetales, pero en todas ellas se pueden distinguir los elementos siguientes por encima del forjado que actúa como soporte resistente del sistema:

Las cubiertas vegetales son sistemas que requieren de un mantenimiento intensivo, tanto en el sistema de riego localizado como en el propio cuidado de las plantas que lo componen.

Las soluciones más habituales de cubierta vegetal o ajardinada, se componen de:



Cubierta plana, no transitable, ajardinada, no ventilada, convencional (QB11). Catálogo de elementos constructivos. IVE. 2010

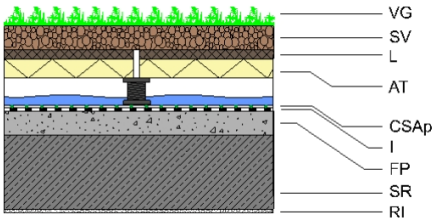


Figura MET.3 Cubierta plana, no transitable, ajardinada, no ventilada, invertida (QB12). Catálogo de elementos constructivos. IVE. 2010



Figura MET.4 Cubierta vegetal estación de metro en Lausana. Suiza. Fuente: Elena Castillo.

VG Vegetación: Es la capa superior de la cubierta vegetal, y está formado por las plantas que la componen. La elección de las especies vegetales a utilizar está condicionada por la climatología y por la radiación solar incidente.

SV Sustrato vegetal: Es la tierra sobre la que se planta la vegetación. Su composición condiciona la retención de agua y el peso de la cubierta, y a su vez está condicionado por el tipo de especies a plantar. Encima se puede colocar una capa de sobresustrato para protegerlo, al tiempo que evita su pérdida por acción del viento o por desecación.

L Losa filtrante: Se sitúa encima de la capa drenante para impedir el paso de partículas de finos del sustrato, y por lo tanto, la obstrucción de la misma. No es necesaria si se emplean baldosas drenantes.

CSAp Capa separadora antipunzonante: Para evitar el efecto punzonante sobre la membrana impermeabilizante, cuando sea necesario.

I Capa de impermeabilización: Garantiza la estanquidad de la cubierta e impide que el agua penetre en la envolvente de la edificación.

AT Aislante térmico: Deberán ser paneles rígidos que contribuyan a limitar la demanda energética. Se puede colocar una capa separadora para evitar el contacto entre membranas impermeabilizantes y paneles aislantes no compatibles, desolidarizar y evitar las posibles alteraciones que puedan sufrir los paneles aislantes durante la instalación de la membrana.

BV Barrera contra el vapor: Para evitar las condensaciones intersticiales que pueden producirse cuando el vapor de agua interior trascienda el aislante térmico y se encuentre con temperatura por debajo del punto de rocío.

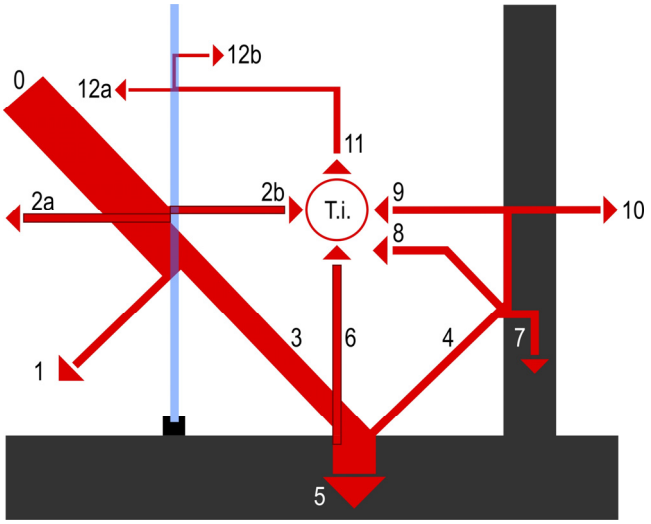
FP Sistema de formación de pendientes: Deberá tener una pendiente hacia los elementos de evacuación de agua comprendida entre el 1% y el 5% para facilitar la evacuación del agua.

SR Soporte resistente: Forjado soporte del sistema de cubierta.

RI Revestimiento interior: Soporte del acabado interior, que puede ser enlucido, o a base de placas de escayola, yeso laminado u otro tipo de paneles.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA
Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica

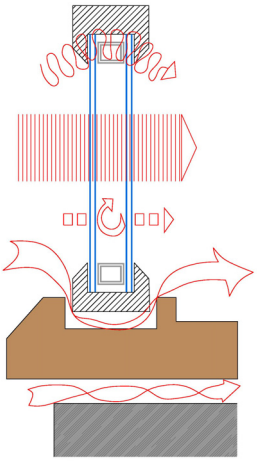
Los huecos de la envolvente de los edificios constituyen el punto fundamental para el intercambio de calor con el exterior. Por un lado, se debe intentar limitar las pérdidas energéticas a través de ellos, pero a la vez, los elementos acristalados hacen posible introducir la radiación solar en el espacio interior, con lo cual es recomendable su uso para mejorar el confort térmico en invierno.



0 FLUJO SOLAR INCIDENTE
1 FLUJO SOLAR REFLEJADO POR LA VIDRIERA
2 FLUJO SOLAR ABSORBIDO
a) Reemitido hacia el exterior
b) Reemitido hacia el interior
3 FLUJO SOLAR TRANSMITIDO
4 FLUJO SOLAR REFLEJADO POR EL SUELO
5 CALOR ABSORBIDO Y ALMACENADO POR EL SUELO
6 CALOR ABSORBIDO REEMITIDO POR EL SUELO
7 CALOR ABSORBIDO Y ALMACENADO POR EL MURO
8 FLUJO SOLAR REFLEJADO POR EL MURO
9 CALOR REEMITIDO POR EL MURO HACIA LA HABITACIÓN
10 CALOR REEMITIDO POR EL MURO HACIA LA PARTE DE ATRÁS
11 CALOR RESULTANTE
12 CALOR RESULTANTE ABSORBIDO POR LA VIDRIERA
a) Reemitido hacia el exterior
b) Reemitido hacia el interior

Figura MET.5 Balance de flujos térmicos radiantes a través de una ventana para un local. Jean Louis Izard, Alain Guyot. Arquitectura Bioclimática.

La transmisión térmica en los huecos acristalados se produce principalmente por los fenómenos de radiación, convección y conducción. Además hay que tener en cuenta las infiltraciones de aire que se pueden producir en los encuentros del marco con el acristalamiento y con la fachada, ya que pueden suponer una importante pérdida de energía.



CONDUCCIÓN. Ocurre principalmente a través del marco

RADIACIÓN. A través del vidrio. Representa 2/3 de las pérdidas de calor del hueco

CONVECCIÓN. En la cámara de aire del doble acristalamiento. Para minimizarlo se utilizan espesores de 12 a 16 mm y se pueden incluir determinados gases (argón, kriptón)

INFILTRACIONES. Ocurren a través de las juntas de la hoja con el marco y del marco con el muro.

Figura MET.6 Transmisión de calor a través de una ventana. Ressources Canada

El CTE limita la permeabilidad al aire de las carpinterías de huecos y lucernarios, en función de la zona climática en que se ubican. Las ventanas fijas presentan una menor permeabilidad, pero tienen el inconveniente de no poder abrirse para permitir la ventilación de las estancias a las que sirve. En las ventanas practicables se puede reducir la permeabilidad utilizando juntas de neopreno a compresión, en el caso de ventanas batientes, o deslizantes, en el caso de correderas.

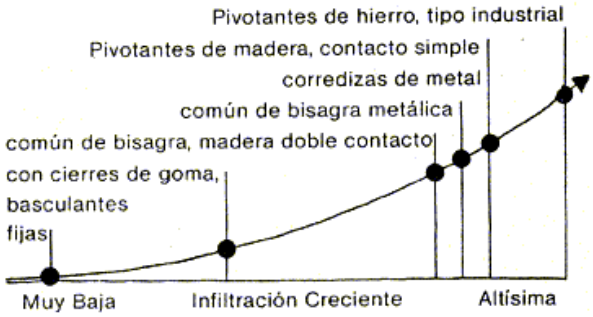


Figura MET.7 Infiltraciones según tipo de carpintería. Proyecto RECONSOST. AICIA y IETCC.

La **transmitancia térmica (U),** expresa la transferencia térmica a través de una pared por conducción, convección y radiación. Este coeficiente representa el flujo de calor que atraviesa 1 m^2 de pared para una diferencia de temperatura de 1ºC entre la cara interior y exterior. Cuanto más bajo sea el coeficiente U más difícil será transmitir el flujo de calor entre el interior y exterior, por tanto más capacidad aislante tendrá.

En relación a la conservación de la energía interior, evitando las pérdidas el factor que más influye en el comportamiento final de los huecos, es la transmitancia térmica de los vidrios y de los marcos utilizados.

Para vidrios dobles la transmitancia térmica varía en función del espesor de la cámara de modo que, de modo general se puede considerar que:

- los vidrios dobles con cámara de aire de 6 mm como mínimo tiene una U≈3,3 W/m^2K.
- los vidrios dobles con cámara de aire de 9 mm como mínimo tiene una U≈3,0 W/m^2K.
- los vidrios dobles con cámara de aire de 15 mm como mínimo tiene una U≈2,7 W/m^2K.

Las transmitancias térmicas de referencia de algunos tipos de marco son las siguientes[37]:

Tipo de marco		Transmitancia (W/m2K)	
		U_{Hv} vertical	U_{Hv} horizontal
Metálico	normal, sin rotura de puente térmico	5,7	7,2
	con rotura de puente térmico entre 4 y12 mm	4,0	4,5
	con rotura de puente térmico >12mm	3,2	3,5
Madera	de densidad media alta (700 kg/m^3)	2,2	2,4
	de densidad media baja (500 kg/m^3)	2,0	2,1
PVC	dos cámaras	2,2	2,4
	tres cámaras	1,8	1,9

[37] *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja. V6.3 2010.*

Los valores energéticos de referencia para algunos tipos de doble acristalamiento son los siguientes[38]:

Acristalamientos incoloros											
Composición		Vidrios normales			1 vidrio normal + 1 vidrio de baja emisividad (3)						
Tipo	Espesor (mm)	Factor solar g	ε= 0,89		Factor solar g	0,2≥ ε >0,1		0,1≥ ε >0,03		ε ≤ 0,03	
			$U_{H\,V}$ horiz (1) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ vert (2) (4) W/m²K		$U_{H\,V}$ horiz (1) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ vert (2) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ horiz (1) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ vert (2) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ horiz (1) (4) W/m²K	$U_{H\,V}$ vert (2) (4) W/m²K
Unidades de vidrio aislante (6)	4-6-(4…10)	0,76	3,6	3,3	0,63	3,0	2,7	2,8	2,6	2,6	2,4
	4-9-(4…10)		3,4	3,0		2,7	2,3	2,5	2,1	2,3	1,9
	4-12-(4…10)		3,4	2,8		2,6	2,0	2,4	1,8	2,2	1,6
	4-15-(4…10)		3,4	2,7		2,6	1,8	2,4	1,6	2,2	1,4
	4-20-(4…10)		3,3	2,7		2,5	1,8	2,3	1,6	2,1	1,4
Unidades de vidrio aislante con vidrio laminar (5) (6)	4-6-(3+3…10+10)	0,73	3,6	3,2	0,55	2,9	2,7	2,8	2,5	2,6	2,4
	4-9-(3+3…10+10)		3,4	3,0		2,6	2,3	2,4	2,1	2,3	1,9
	4-12-(3+3…10+10)		3,4	2,8		2,6	2,0	2,4	1,8	2,2	1,6
	4-15-(3+3…10+10)		3,3	2,7		2,5	1,8	2,3	1,6	2,2	1,4
	4-20-(3+3…10+10)		3,3	2,7		2,5	1,8	2,3	1,6	2,1	1,4

(1) Se consideran vidrios en posición horizontal aquellos cuya inclinación sea menor que 60º respecto a la horizontal.
(2) Se consideran vidrios en vertical aquellos cuya inclinación sea mayor que 60º respecto a la horizontal.
(3) Para composiciones de doble acristalamiento con un vidrio de control solar se considerará un valor por defecto de factor solar, comprendido entre 0,40-0,70.
(4) Los valores de transmitancia han sido calculados según la metodología de la norma UNE EN 673:1998 "Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica, U. Método de cálculo" y las normas UNE 673/A1:2001 y UNE-EN 673/A2:2003 "Vidrio en la construcción. Determinación del coeficiente de transmisión térmica (valor U). Método de cálculo."
(5) Los números separados por el símbolo + indican el espesor de los vidrios laminares con 1 butiral de 0,38 mm.
(6) Los números separados por guiones formando tres conjuntos indican el espesor de las unidades de vidrio aislante o doble acristalamiento. El primer número se refiere al espesor del vidrio, el segundo se refiere al espesor de la cámara y el último conjunto de números, que figuran entre paréntesis, indica el rango de espesores de vidrio considerados.

Se puede observar que a medida que aumenta el espesor de la cámara de aire, mejora la conductividad térmica, manteniéndose prácticamente constante el factor solar. No obstante el límite óptimo de tamaño de cámara para lograr un máximo aislamiento térmico es de 16 mm.[39]

Existen vidrios especiales de última generación que combinan las funciones de aislamiento térmico reforzado y control solar, reduciendose notablemente la aportación de energía solar directa, alcanzando valores de transmitancias en torno a 1,1-1,5 W/m²K.

Además de una adecuada selección de vidrios y carpinterías, las pérdidas que se producen a través de los huecos, sobre todo por la noche, pueden reducirse incorporando persianas o contraventanas aislantes por el exterior y disponiendo cortinas de tela por el interior que ayuden a atenuar el efecto de "pared fría"[40].

[38] *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja. V6.3 2010.*

[39] *Proyecto RECONSOST. AICIA y IETCC.*

[40] *Distribución irregular de temperaturas en el interior de un recinto, debido a la existencia de un gran ventanal o una pared sin aislamiento.*

ACUMULACIÓN TÉRMICA
Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica

Los elementos de gran espesor resueltos mediante materiales con elevada conductividad y situados en la envolvente de los edificios funcionan como acumuladores de calor en invierno y como amortiguadores de la onda térmica en verano. Los elementos de inercia térmica en los cerramientos regulan el flujo de calor entre el exterior y el interior, aportando calor al interior en invierno y absorbiendo en verano.

Como criterio básico se puede disminuir la demanda energética de un edificio, aumentando la inercia térmica de los elementos que limitan sus espacios habitables con el aire exterior. Así pues, se recomienda disponer una hoja interior de fachada cuya masa sea como mínimo de 210 kg/m^2 o contemplar una solución de la parte de cubierta comprendida entre el aislante térmico y el espacio interior con un valor mínimo de masa de 350 kg/m^2 para aumentar la inercia térmica de los elementos[41].

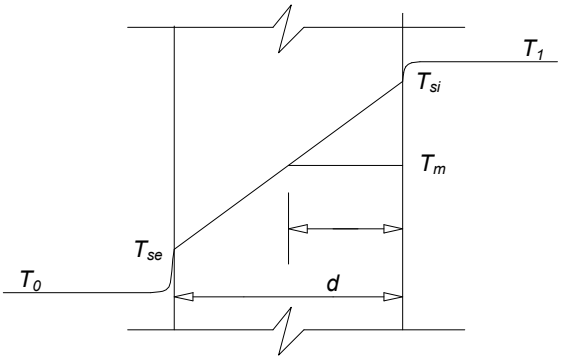
El concepto de inercia térmica en edificación es un concepto complejo ligado a la capacidad de los materiales para almacenar y ceder energía calorífica a un determinado ambiente. Esta capacidad en un material homogéneo depende de las propiedades físicas del mismo. Se puede definir la capacidad térmica de un elemento como:

$$C = m\ C_p$$

Siendo: **C** el calor almacenado por grado de diferencia de temperatura,
m la masa superficial en (kg/m^2)
C_p el calor específico (J/kgºC).

En el caso de cerramientos de varias hojas como primera aproximación al problema se puede abordar desde los modelos de comportamiento de la envolvente térmica en régimen estacionario.

En estos modelos, al calentarse o enfriarse un recinto desde la temperatura exterior a la temperatura interior, y hasta que se obtiene el régimen estacionario, hay un intervalo de tiempo variable durante el cual los materiales que constituyentes de la envolvente térmica van absorbiendo o en su caso cediendo calor.



En el caso más simple, el de un cerramiento homogéneo de una hoja, considerando una hipótesis simplificada en la cual, durante el tiempo que se está calentando, el cerramiento no presenta flujo de calor, la cantidad de calor necesaria para calentar (o enfriar) un metro cuadrado de cerramiento, desde cierta temperatura inicial a la temperatura media correspondiente con la distribución de temperaturas del régimen estacionario resulta ser:

$$Q = \rho d C_p (T_m - T_0) = m C_p (T_m - T_0)$$

Donde **m** es la masa superficial del cerramiento en kg/m^2, ρ la densidad del material constituyente de la capa, **d** su espesor y **C_p** su calor específico.

[41] *Guía de Proyecto del Perfil de Calidad específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad. IVE. 2009*

El calor necesario para calentar 1 m^2 de un cerramiento multicapa puede obtenerse como suma de los calores necesarios para calentar cada una de las capas. En la medida que los materiales de construcción tienen calores específicos muy similares, los cerramientos que requieren mayor aporte energético, para alcanzar un mismo salto de temperatura, son aquéllos que tienen mayor masa.

Esta primera aproximación puede dar una "idea" inicial del comportamiento de un cerramiento con respecto a la inercia térmica de un modo cualitativo y comparativo entre distintas soluciones. De cara al estudio de los sistemas pasivos en edificación resulta necesario tener en cuenta el comportamiento dinámico considerando las variaciones cíclicas de las condiciones climáticas tanto en ciclos cortos, día noche, como en ciclos estacionales determinando así la energía acumulada en la envolvente térmica y los desfases entre condiciones térmicas de los ambientes[42].

Cuando un cerramiento está sometido a unas temperaturas variables en el tiempo, su comportamiento es diferente al que presenta en régimen estacionario, ya que el flujo de calor no es el mismo en todos los puntos del cerramiento, y en cada uno no permanece constante en el tiempo, debido a la energía procedente del calentamiento o enfriamiento del mismo. Esto implica que las variaciones de temperatura y del flujo de calor que se producen en una cara del cerramiento, sufran una atenuación en su transmisión a través del mismo, y tarden un cierto tiempo o desfase en propagarse hasta la otra cara, en ocasiones, tan grandes que no llegan a alcanzar el otro lado del cerramiento.

De cara a una evaluación más rigurosa del fenómeno de la inercia térmica hay que recurrir al estudio del comportamiento dinámico de los elementos constructivos. Este comportamiento está recogido en la Norma UNE-EN ISO 13.786 *"Comportamiento dinámico de un elemento constructivo plano sometido a una solicitación armónica".* El método de cálculo se basa en las matrices de transferencia de cada capa del cerramiento. Sus elementos son magnitudes complejas cuyos módulos y argumentos dependen de las características de cada capa (conductividad, densidad, calor específico y espesor). Mediante cálculo matricial se obtiene la matriz de transferencia del elemento plano multicapa resolviéndose mediante cálculo numérico. En dicha norma quedan definidas las magnitudes que determinan el comportamiento dinámico de las soluciones constructivas que definen la envolvente térmica:

- Las *capacidades térmicas superficiales periódicas*, que representan la energía almacenada por 1 m^2 de cerramiento sometido a una variación de temperatura armónica de amplitud 1ºC en una de sus caras.
- La *transmitancia térmica periódica*, que es la transmitancia de un cerramiento sometido a una solicitación armónica de amplitud 1ºK. Su valor es menor que la transmitancia correspondiente al régimen estacionario.

El *factor de amortiguación*, que es el cociente entre la transmitancia térmica periódica y la transmitancia estacionaria. Es siempre menor que la unidad.

[42] Gradiente térmico día/noche: Los resultados se aprecian con oscilaciones térmicas de 10ºC como mínimo y resulta muy eficaz cuando la temperatura media diaria se aproxima a la temperatura de confort.

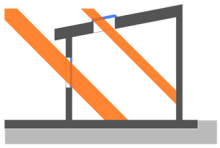
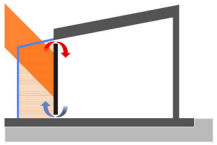
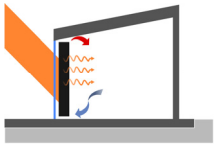
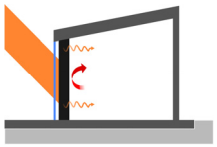
ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN

CS CALEFACCIÓN SOLAR

Los sistemas pasivos de calefacción solar se caracterizan por emplear la radiación del sol como fuente de energía para aumentar la temperatura interior de los edificios, sin emplear sistemas mecánicos auxiliares alimentados con energías convencionales, utilizando únicamente el diseño y la composición de los distintos elementos constructivos.

La captación de energía se produce exclusivamente en las horas diurnas por lo que los distintos ciclos estacionales, los días nublados o la contaminación atmosférica, provocan que la intensidad de la radiación solar sea variable y en ocasiones intermitente. Para salvar estos condicionantes, los sistemas de calefacción solar pasiva deben capaces de:

- Captar la mayor cantidad de energía posible durante las horas invernales de sol;
- Acumular el calor necesario para emplearlo en las horas en las que no hay aporte solar;
- Transmitir de manera controlada el calor al interior del edificio;
- No provocar sobrecalentamientos en verano.

DIRECTA La energía penetra directamente en el ambiente interior que se quiere acondicionar.	Ventanas y lucernarios	
	Invernaderos y galerías acristaladas (directa con lazo convectivo)	
INDIRECTA La energía se capta mediante un elemento acumulador para posteriormente ceder el calor al ambiente interior.	Muros Trombe y parietodinámicos	
	Muros de inercia	

Captación

La mayoria de los sistemas de captación solar se basan en el principio del efecto invernadero, mediante el cual se acumula el aire caliente encerrado tras superficies vidriadas. Esto es debido a que los vidrios permiten el paso de la radiación solar de onda corta, pero impiden la salida de las radiaciones caloríficas de onda larga. Las paredes, forjados y demás elementos con masa térmica situados en el interior del recinto absorben la energía que atraviesa el vidrio y reemiten esa radiación al aire encerrado.

Con este efecto, a través de ventanas y claraboyas, se produce el calentamiento directo de habitaciones o de galerias e invernaderos y se incrementa el aporte de calor a los muros de captación y acumulación, interponiendo entre su masa y el exterior una hoja de vidrio, formando una cámara de aire caliente de poco espesor.

La orientación del captador, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre su superficie y la presencia de obstáculos que proyecten sombras sobre él, son determinantes de la viabilidad y eficiencia del sistema de captación. Con un estudio de soleamiento y los valores de radiación del emplazamiento, se puede determinar la cantidad de radiación incidente en el captador.

La orientación óptima de los captadores es el sur, en la que se produce la máxima captación en invierno y la mínima en verano. Aun así, en nuestra latitud es necesario controlar la radiación estival mediante obstáculos que impidan el sobrecalentamiento como protecciones solares o vegetación de hoja caduca.

Acumulación

Los elementos de acumulación están destinados a almacenar la cantidad suficiente de calor durante las horas diurnas de sol para transferirlo al interior del edificio durante las horas de mayor demanda de calefacción, en las que no hay radiación. Para ello se recurre a incorporar una capa de elevada masa térmica, vinculada al elemento captador, dando lugar a sistemas de inercia en el interior o en la envolvente.

Distribución

Los elementos de distribución son los mecanismos empleados para propagar el calor acumulado por el interior del edificio. Los elementos de captación solar y acumulación se sitúan en la fachada sur o en la cubierta del edificio, siendo necesario llevar el calor, tanto a las habitaciones adyacentes al acumulador, como al resto que no se encuentran en contacto directo con él.

La distribución del calor se puede realizar por las siguientes vías:

- Por la transferencia directa del calor almacenado en la fachada o cubierta al aire del recinto adyacente provocado por la diferencia de temperatura entre el acumulador y el aire del recinto.
- Por la circulación del aire caliente (lazo convectivo) que se produce entre dos recintos con temperaturas distintas al comunicarlos a través de aberturas en la parte inferior (aire frio) y la superior (aire caliente) de la divisoria que los separa.
- Por la termocirculación de aire o agua caliente por conductos que comunican los sistemas de captación independientes con el edificio.

El edificio aprovecha la radiación solar que penetra en él a través de ventanas y lucernarios para calentar su interior. La radiación solar incidente en los elementos interiores hace que aumente su temperatura y que éstos irradien el calor acumulado al aire interior, de modo que se produce un aprovechamiento instantáneo del aire caliente y el efecto indirecto debido a la acumulación térmica en los elementos constructivos interiores, que se prologará durante un periodo de tiempo más o menos largo dependiendo de la inercia de los materiales.

El espacio interior será el encargado de realizar las tres funciones: la captación, el almacenamiento y la distribución del calor y que ésta se produzca de manera instantánea, sin elementos intermedios. Esto hace que sean sistemas de una elevada eficiencia, la mayor parte de la radiación captada se destina a calentar directamente el espacio interior.

A diferencia de los sistemas indirectos en los que el calor es captado por la cara exterior de un cerramiento debiendo a travesar su espesor para llevar al interior con el consiguiente desfase o retardo en la transmisión del calor, los pavimentos y paredes aportan calor al aire en el instante en que reciben la radiación.

El funcionamiento del sistema depende de la manera en que la radiación térmica calienta los suelos, las paredes y sus revestimientos; un adecuado estudio de soleamiento permite optimizar la posición, forma y dimensión de los huecos.

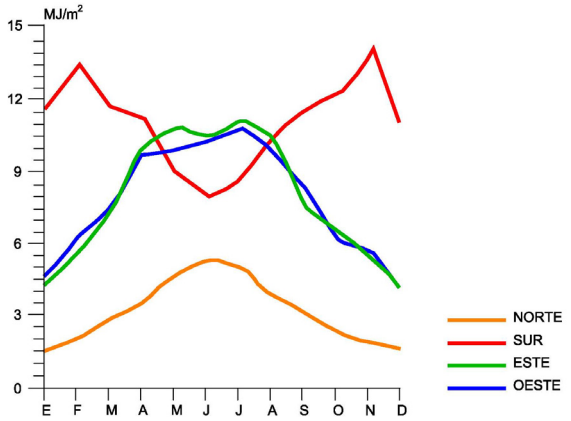
Los huecos en la envolvente de los edificios son imprescindibles para iluminar y ventilar su interior, por lo que recurrir a ellos para colaborar en el acondicionamiento térmico no supone ninguna inversión adicional, sólo un análisis previo de la orientación del edificio, de su entorno y un adecuado diseño.

Captación

La captación se produce a traves de las superficies acristaladas que deben actuar como filtro en doble sentido; permitiendo las máximas ganancias en las horas de sol y evitando las pérdidas durante la noche. El acristalamiento de los edificios es el punto más vunerable de su envolvente, por él se producen pérdidas notáblemente superiores a las producidas en los macizos, por lo que es determinante la selección de los vidrios utilizados para equilibrar las ganancias y pérdidas producidas a través de ellos.

Las pérdidas nocturas se reducen empleando elementos practicables que funcionen como aislamiento térmico, como persianas y contraventanas.

El diseño de las ventanas y lucernarios deben ser compatible con el de los elementos de protección solar y con las necesidades de iluminación natural de cada uno de los espacios interiores. El diseño conjunto de los huecos y los obstáculos de fachada debe permitir la entrada de sol en periodos frios y evitarla en los cálidos.



Para optimizar la captación solar en invierno y minimizar el sobrecalentamiento estival la orientación de la ventana debe ser sur con una variación azimutal de ±30º. En invierno las fachadas orientas a sur reciben más del triple de radiación que el resto y en verano se reduce notablemente llegando a ser menor que la recayente a este y oeste.

Figura CS.1 Evolución anual de los valores diarios medios mensuales de radiación global sobre planos verticales en Valencia. Fuente: Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (Grupo de Energía Solar. Dep. Termodinámica. U.V.)

Acumulación y distribución

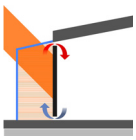
La incidencia de la radiación solar dentro del edificio se produce sobre el suelo y las particiones interiores, provocando que éstos aumenten su temperatura e irradien el calor acumulado al aire interior.

La masa térmica integrada en el espacio interior es la responsable de mantener la temperatura constante y evitar fluctuaciones térmicas a lo largo del día. Los tabiques y los suelos almacenan el calor por el día y lo restituyen por la noche, cuando la temperatura del ambiente desciende. La eficacia del sistema depende del adecuado ajuste de este balance y de la posición relativa de los huecos y los elementos de acumulación.

La acumulación y distribución del calor es función de la inercia térmica de los materiales empleados en los pavimentos y tabiques captadores. Los tabiques convencionales de obra de fábrica de 10 cm de espesor son suficientes para cubrir la función de acumulador. Durante un ciclo diario las divisorias no llegan a calentarse internamente, por lo que los espesores mayores no aportan beneficios y pueden ser la causa de sobrecalentamientos indeseados. Los pavimentos oscuros poseen mayor capacidad de captación de calor y las superficies claras favorecen la reflexión de la luz y con ello la distribución de la radiación.

Estos sistemas presentan como desventaja que su alcance se limita al recinto en el que se realiza la captación, no siendo efectivo para las estancias contiguas.La eficiencia del sistema depende de:

- La orientación de la ventana, debiendo ser sur con una variación azimutal de ±30º.
- El tamaño y posición del hueco respecto a la estancia y de la ausencia de obstáculos que condicionen la entrada de sol.
- Las características del acristalamiento, que actua como filtro en doble sentido; permitiendo las máximas ganancias en las horas de sol y evitando las pérdidas durante la noche.
- La compatibilidad con los elementos de protección solar. El diseño de estos elementos debe permitir la entrada de sol en periodos frios y evitarla en los cálidos.
- Las características de los revestiminentos interiores, que deberán favorecer la reflexión de la radiación solar y la acumulación de calor.



DIRECTA
Invernaderos y galerías acristaladas

El efecto invernadero es el que se produce en un espacio expuesto a la radiación solar en el que las propiedades y la orientación de su cerramiento permiten capturar y acumular calor en su interior. Su aplicación en la edificación se materializa en espacios acristalados adosados al edificio y orientados a sur, que funcionan como acumuladores de calor y que se conectan con interior de la vivienda cuando es necesario el aporte de calor (durante el día en invierno) y se aislan de ella para evitar pérdidas (noches de invierno).

Los invernaderos y galerías son espacios acristalados adosados al edificio y orientados a sur, que actuan como captadores y acumuladores de calor para transmitirlo gradualmente y de manera controlada al interior del edificio.

Generalmente, se denomina **invernadero** cuando se trata de un recinto no acondicionado adyacente a las fachadas de un edificio y **galería** cuando se trata de un espacio integrado en el edificio destinado al tránsito, separado del resto de estancias habitables. A esta misma categoría pertenecen los balcones acristalados.

Son sistemas mixtos, captan de forma directa la radiación en los espacios acristalados para posteriormente transmitir el calor acumulado al interior del edificio de manera diferida o indirecta a través del cerramiento que los separa. Este elemento de separación entre el invernadero y las zonas interiores del edificio puede incluir también acristalamientos y debe disponer de aberturas situadas en la parte superior e inferior del mismo a través de las cuales se produce la circulación de aire de manera forzada debido al efecto termosifónico o convección natural. El aire caliente asciende y atraviesa las aberturas situadas en la parte superior, introduciéndose en los espacios a acondicionar, lo cual produce una succión en la parte inferior que arrastra el aire frío del interior de las estancias. Este procedimiento facilita el movimiento del aire de la habitación, de manera que se produce una distribución del calor por toda ella.

Captación

La captación se efectua a través de los paramentos del invernadero constituidos por materiales traslúcidos, de vidrio habitualmente, que permiten el acceso del sol por toda su envolvente.

Para climas templados, en los que en verano el sobrecalientamiento del invernadero puede ser significativo, es recomendable no acristalar la cubrición del espacio, el acristalamiento vertical orientado a sur ±30º, es suficiente para captar suficiente radiación solar.

Según Mazria en estos climas, para conseguir una temperatura interior de entre 15 y 21 ºC en un día solado de invierno, son necesarios entre 0,33 y 0,90 m^2 de superficie acristalada por cada metro cuadrado de superficie útil a calefactar. Otros autores proponen para zonas de veranos calurosos disponer de una superficie acristalada equivalente al 10-15% de la superficie útil a calefactar y del 25-35% en regiones frias.

En las horas de invierno en la que no hay aporte solar, se producen pérdidas de calor a través de la superficie acristalada. Para mejorar el rendimiento de la instalación, es usual recurrir a persianas y protecciones térmicas practicables para minorar el flujo de calor hacia el exterior. Los vidrios dobles con tratamiento bajo emisivo y los vidrios aislantes reducen estas pérdidas pero también la radiación captada.

En verano, si se continua exponiendo la superficie vidriada a la radiación se produce un sobrecalentamiento interior no deseado, siendo necesario interrumpir la captación con elementos de protección u obstáculos que eviten que el sol incida directamente sobre el vidrio. También se puede disponer de sistemas de abertura para liberar aire caliente al exterior.

Las soluciones empleadas para protección solar deben ser compatibles para ambas funciones estacionales, de modo que el diseño de los elementos utilizados debe permitir la entrada de sol en periodos frios y evitarla en los cálidos, aprovechando la variación del ángulo de incidencia solar en las distintas estaciones.

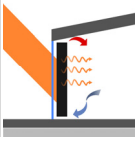
La presencia de humedad en el interior del invernadero puede provocar condensaciones en las superficies acristaladas que se pueden evitar utilizando un sistema de ventilación controlada.

Acumulación y distribución

La acumulación de calor se produce en el aire encerrado en el interior del espacio acristalado. El cerramiento que separa el invernadero del recinto a climatizar es el encargado de acumular el calor y transmitirlo al interior de la vivienda. Para ello debe tener una alta masa e inercia térmica que le permita absorber la radiación en forma de calor, almacenarlo y transferirlo al interior del edificio, incluso una vez haya cesado la radiación solar (se recomienda un espesor de 20-30 cm para muros de ladrillo macizo y de 30-45 cm para muros de hormigón). Los pavimentos con alta inercia térmica también colaboran en la eficiencia del sistema.

Además de por la radiación del cerramiento, la transferencia del calor al interior se realiza mediante la circulación del aire debida a la convección provocada por la diferencia de temperatura entre el aire de la cámara y el del interior de la estancia. Para ello se disponen aberturas superiores e inferiores de conexión, entre ambos espacios, en el cerramiento que los separa. Estas aberturas son regulables, permitiendo un acondicionamiento progresivo y la independencia del espacio interior cuando se ha conseguido la temperatura deseada. Esta solución es válida para actuar en las estancia contigüas al invernadero, pero para trasladar el aire caliente del invernadero a otras habitaciones, es necesario recurrir a sistemas mecánicos de conducción del aire.

En el caso de las galerías acristaladas que sirven como corredor de acceso a viviendas o de los miradores con una segunda carpintería que los separa del interior, la comunicación entre los espacios se produce a través de puertas de paso o ventanas que hacen que el comportamiento del sistema combine la captación directa e indirecta.



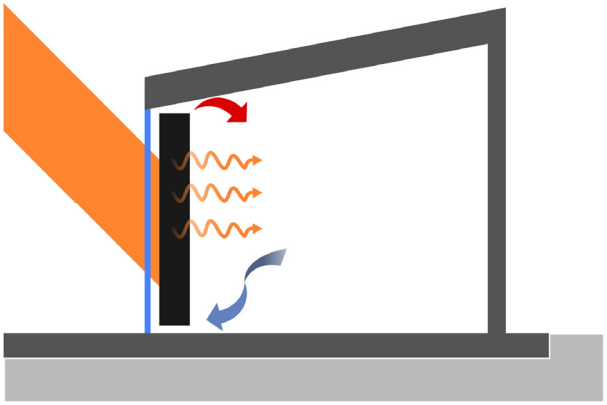
INDIRECTA
Muros Trombe y parietodinámicos

Estos sistemas basan su funcionamiento en la captación directa con acumulación y lazo convectivo. Son elementos compuestos por una hoja exterior de baja inercia térmica, una cámara de aire ventilada y una hoja interior con gran masa térmica que actúa como acumulador de energía, transmitiendo de manera retardada el calor almacenado al interior del edificio. En este caso la transferencia energética se produce mediante **radiación**, **conducción** y **convección**.

Los elementos de inercia térmica son utilizados como acumuladores de energía solar en invierno y como sumideros que absorben el calor del aire interior en verano. La inercia térmica se consigue utilizando espesores suficientes de materiales de elevada densidad y conductividad térmica en el cerramiento del edificio. Para maximizar la absorción de energía, la superficie exterior del muro puede ser de color oscuro para evitar la reflexión de la radiación en su superficie. Las características físicas del material empleado en el muro de inercia, su espesor y la posición de la capa de aislamiento térmico, determinan su capacidad de acumulación y distribución del calor. Se suelen construir con muros de fábrica de ladirllo o de hormigón de entre 30 y 40 cm de espesor.

En verano el comportamiento se invierte, el muro debe protegerse de la radiación solar evitando los aportes de energía con elementos de protección solar y absorber el calor acumulado en el aire interior.

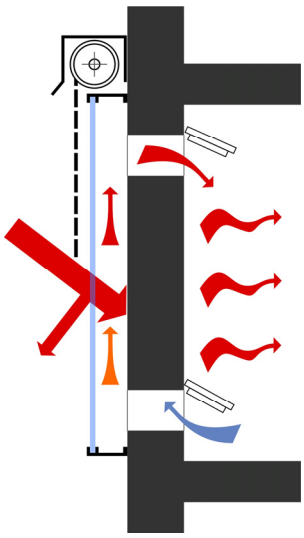
Muro Trombe



Un muro Trombe es un cerramiento que aprovecha la energía solar para el calentamiento por recirculación del **aire interior** del edificio. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y un acristalamiento exterior. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada. También se denomina muro solar ventilado.

(Documento Básico HE Ahorro de Energía. CTE)

Las hojas que conforman el muro Trombe se encuentran separadas entre sí unos 10 cm aproximadamente, formando una cámara de aire intermedia conectada con el interior del edificio a través de dos conjuntos de orificios situados en la parte superior e inferior del cerramiento. El aire atrapado en la cámara al calentarse tiende a ascender y atraviesa los huecos situados en la parte superior pasando al interior del local. El efecto de vacío que se genera en la parte inferior arrastra el aire más frío de la estancia, produciendo una circulación continua de entrada de aire a la cámara por la parte inferior y salida por la superior, con su consiguiente calentamiento. En este caso, la convección del aire de la cámara comienza en cuanto hay suficente diferencia de temperatura entre la cámara y el interior, sin que la energía atravise la totalidad del espesor del muro. El aire que circula por la cámara se verá afectado por la radiación directa captada a través del vidrio y por la temperatura de ambas hojas.



En invierno es necesario evitar pérdidas de energía nocturnas a través del acristalamiento empleando protecciones móviles que actuen como aislante térmico y cerrar los conductos de convección y extracción de la cámara.

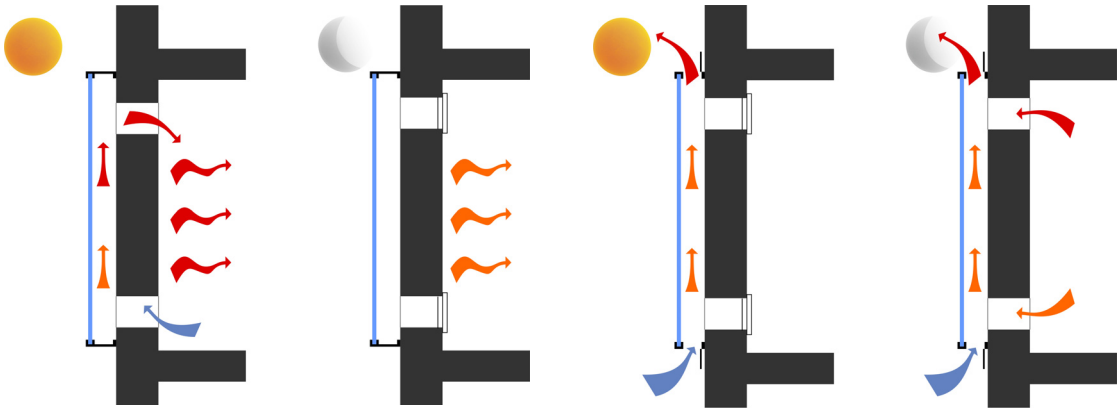
Si se sustituye el elemento de inercia por una hoja con aislamiento, la temperatura de la cámara aumenta rápidamente y la distribución se realiza únicamente por convección. Esta variante es adecuada para locales de uso ocasional diurno y de elevado tamaño; la entrada de aire caliente es inmediata y alcanza los puntos más profundos de la sala.

El funcionamiento del muro Trombe puede variar dependiendo del momento del día o incluso de las necesidades de cada época del año.

En **invierno**, por el día se aprovecha la radiación solar incidente para calentar el aire y recircularlo al interior de la estancia y para calentar la masa de la hoja maciza. El calor se trasmite al interior por convección y por la radiación emitida por el acumulador térmico. Por la noche, al cesar la radiación solar, se interrumpe el lazo convectivo mediante el cierre de las aberturas y se aprovecha el calor que ha acumulado el muro y que termina de atravesar la masa del cerramiento debido al desfase térmico.

En **verano** es conveniente disponer de algún elemento de protección que limite las ganancias térmicas a través de la superficie acristalada, como toldos o persianas, y ventilar la cámara hacia el exterior para evitar sobrecalentamientos del elemento de masa. Por el día se cierran las aberturas que comunican la cámara con el interior de la estancia y se abren las que la comunican con el exterior, de modo que el funcionamiento es similar al de una fachada ventilada. Por la noche, se utiliza a modo de chimenea solar, provocando un efecto de succión del aire interior mediante la apertura de las rejillas inferiores.

INVIERNO – CALEFACCIÓN **VERANO - REFRIGERACIÓN**

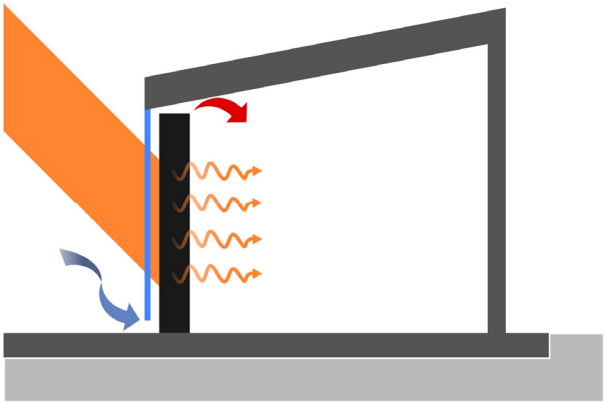


CONVECCIÓN+RADIACIÓN RADIACIÓN FACHADA VENTILADA CHIMENEA

En cuanto al dimensionado básico, como valores orientativos, se puede considerar que la proporción de vidrio necesaria en relación a la superficie habitable, debe estar en torno a 1/2 en climas fríos y 1/4 en climas templados.

A modo de ejemplo, para una vivienda en Madrid se podría decir que un muro de hormigón pintado de negro y orientado al sur, necesitaría unos 25 cm de espesor para ajustar el desfase térmico a la media de las horas de asoleo. La superficie de vidrio sería del orden de 0,50 m² por cada m² de superficie a calefactar. Los orificios en el muro deberían ser de unos 100 cm² por cada m² de muro y el espesor de la cámara de aire debe ser de unos 10 cm. *(Fuente: Proyecto RECONSOST).*

Muro parietodinámico

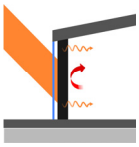


Un muro parietodinámico es un cerramiento que aprovecha la energía solar para el precalentamiento del **aire exterior** de ventilación. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y una hoja exterior acristalada o metálica que absorbe la radiación solar. La circulación del aire puede ser natural (termosifón) o forzada.

(Documento Básico HE Ahorro de Energía. CTE)

Por lo tanto, el muro parietodinámico se corresponde con la posición de las aberturas en que el aire de ventilación es obtenido del exterior mediante ventilación forzada al calentarse el interior de la cámara e introducido al edificio cuando es necesario. Cuando el edificio no precisa calefacción, el aire caliente se elimina hacia el exterior por la parte superior de la cámara.

Se puede utilizar este tipo de cerramientos en la rehabilitación de edificios, aprovechando las fachadas orientadas favorablemente. Para ello, se coloca una superficie de vidrio por el exterior, con o sin aberturas, y se pintan de oscuro los muros de fábrica para mejorar su comportamiento como acumuladores térmicos. Por último, al practicar aberturas en el muro se puede forzar la termocirculación en la cámara para aprovechar el aire caliente atrapado en ella.



INDIRECTA
Muros de inercia

Los muros de inercia, también denominados muros solares o invernadero, son cerramientos compuestos por una hoja interna con alta masa térmica y una hoja externa de vidrio, separadas entre sí por una cámara de aire de pequeño espesor que actúa como colector solar debido al efecto invernadero.

La hoja interior suele tener un espesor variable entre 10 y 40 cm, dependiendo de las propiedades del material y puede estar pintada por la cara expuesta a la radiación solar con pintura oscura para potenciar su absortividad. La cámara, que suele tener una dimensión entre 2 y 5 cm, no es necesario que esté ventilada, aunque es conveniente disponer aberturas para forzar la convección en su interior en verano y evitar sobrecalentamientos.

El objetivo de este tipo de muros es captar y acumular la radiación solar en el elemento masivo para transmitir gradualmente y de manera controlada el calor acumulado a su interior por la radiación emitida por el propio cerramiento.

Al igual que los muros Trombe y parietodinámicos, es conveniente proteger estos elementos en verano de la radiación solar directa y presentan el inconveniente de limitar la apertura de huecos en las fachadas orientadas a sur, ya que se precisa de un muro ciego para su ejecución.

ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN

PS PROTECCIÓN SOLAR

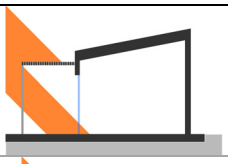
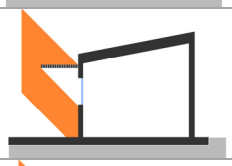
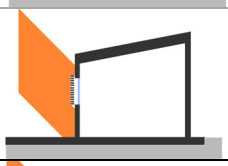
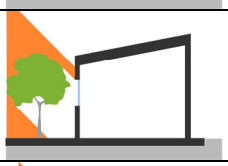
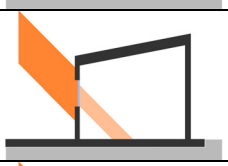
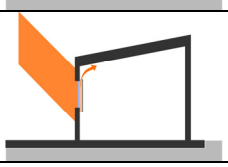
Para evitar los sobrecalentamientos producidos por el exceso de radiación solar, se utilizan elementos o sistemas que protegen la envolvente del edificio del impacto del sol, sobre todo en épocas calurosas en las que estas ganancias térmicas tienen efectos negativos para conseguir el confort interior.

Las soluciones de protección solar deben adecuarse al ángulo de incidencia solar, en función de la latitud, y al acceso al sol que tenga cada emplazamiento, teniendo en cuenta la orientación de los huecos y los obstáculos naturales que rodean al edificio. Para ello, los elementos utilizados para bloquear la radiación solar deben tener las dimensiones adecuadas para permitir el aprovechamiento del sol en épocas frías o diseñarse de tal forma que permitan su utilización sólo cuando sea necesario.

La utilización de esta estrategia tiene un gran potencial en la mejora de las condiciones de confort en actuaciones de rehabilitación, ya que existen múltiples soluciones fácilmente incorporables a la envolvente de los edificios existentes.

Se considera protección solar cualquier dispositivo fijo o móvil que impida total o parcialmente el acceso de la radiación solar al interior del edificio.

Es recomendable colocar protecciones en los huecos situados en las orientaciones de mayor soleamiento: SE, SO, E y O para las zonas climáticas 3 y 4 (según CTE). El factor de sombra para obstáculos de fachada será menor o igual a 0,75. *(Fuente: PdC específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad)*

EXTERIOR Obstáculos de fachada	Umbráculos o pérgolas	
	Parasoles	
	Persianas y contraventanas	
EXTERNA	Vegetación	
INTERMEDIA	Vidrios especiales	
INTERIOR	Cortinas y estores	

Orientaciones

La efectividad de las protecciones solares será mayor si su diseño se ajusta a los siguientes criterios, en función de la orientación:

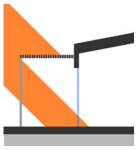
SUR	→	mayor ángulo de incidencia solar	→	forma predominantemente **horizontal** (recomendable dispositivos fijos)
ESTE / OESTE	→	menor ángulo de incidencia	→	forma predominantemente **vertical** (recomendable mecanismos regulables)

Posición respecto al cerramiento

La eficacia de los elementos de protección solar también depende de su posición relativa respecto al hueco en el que se sitúan, siendo más recomendables los que bloquean la radiación solar por el exterior del acristalamiento, antes de que penetre el calor en el interior del edificio, ya que se produce un sobrecalentamiento por efecto invernadero.

Factor de sombra (Fs)

El 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. La eficacia de un elemento de protección o de obstrucción solar sobre un hueco está determinada por la fracción de radiación incidente que no es bloqueada por retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros obstáculos. Un valor bajo de **Fs** indica una protección eficaz frente al flujo de calor, mientras que los valores altos se corresponden con protecciones solares inadecuadas o insuficientes. El material empleado y la textura y color influirán de manera significativa en el grado de protección. Comparando un mismo elemento de control solar, se observa que el factor de sombra es pequeño si la protección solar es opaca y de color claro. Por ejemplo, comparando el efecto de una persiana veneciana de color blanco con otra igual de color oscuro, se comprueba que la primera proporciona un 20% más de protección que la segunda. En el caso de persianas enrollables, esta diferencia llega hasta el 40%. De igual modo, también influye la parte del sistema de producción de sombra que está bloqueando el paso de la radiación, de modo que variará si se despliega totalmente o sólo en parte.



EXTERIOR
Umbráculos o pérgolas

Los umbráculos o pérgolas son sistemas que crean espacios intermedios sombreados anexos a la edificación. El objetivo principal de estos elementos es bloquear el paso de la radiación solar e impedir que se acumule aire sobrecalentado entre el obstáculo y el edificio. Así pues, en general, se recomienda utilizar elementos permeables realizados con materiales con alta reflectividad, baja conductividad térmica y baja inercia.

Los umbráculos producen zonas parcialmente sombreadas en los accesos a las edificaciones. Aunque suelen cumplir las funciones propias de las protecciones solares, su objetivo principal es evitar los deslumbramientos al pasar del interior al exterior, permitiendo al ojo la necesaria adaptación entre lugares con niveles de iluminación muy diferentes entre sí.

Se trata de estructuras, parcialmente permeables a la radiación solar, de modo que producen zonas donde se alternan las luces y las sombras. Respecto de su geometría, su forma es menos estricta que en el caso de las protecciones solares, pudiendo cumplir la función de umbráculo cualquier material que por su forma o composición permita el paso de rayos solares, produciendo zonas de luz y sombra alternadas y próximas entre sí.

Suelen estar construidas con elementos ligeros; madera, textiles, y con frecuencia se combinan con la vegetación. También se suelen utilizar elementos metálicos ligeros, o bandejas metálicas tipo tramex.

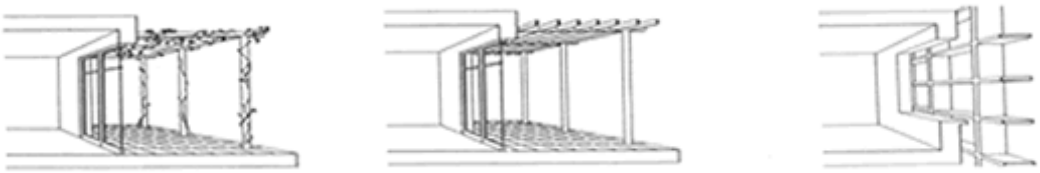
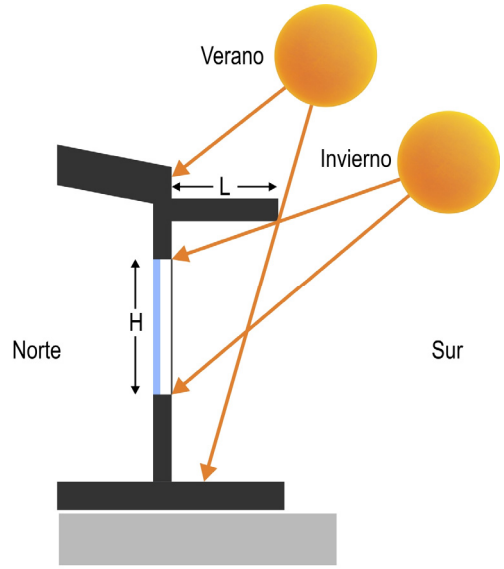


Figura PS.1 ***Umbráculos. CIEMAT: Clima, lugar y arquitectura, Barcelona, UPC, 1993***



EXTERIOR
Parasoles

Los parasoles tiene por objeto impedir que la radiación solar incida sobre las partes permeables de la envolvente (ventanas, vidrieras, lucernarios,...) en los momentos en los que dicha incidencia implique sobrecalentamiento, (tarde de primavera y verano) sin interferir su entrada cuando sea conveniente aprovechar la radiación como ganancia térmica. Para ello, teniendo en cuenta la inclinación solar correspondiente a la latitud geográfica, se puede estimar el vuelo que debería tener el parasol para estar correctamente diseñado, en función de la altura de la ventana, según la siguiente fórmula:



$$L = H/F$$

Latitud Norte	F
28	5.6-11.1
32	4.0-6.3
36	3.0-4.5
40	2.5-3.4
44	2.0-2.7
48	1.7-2.2
52	1.5-1.8
56	1.3-1.5

Figura PS.2 Dimensiones recomendadas para el diseño de un parasol. Tecnología solar. M. Ibañez. 2004

El valor del coeficiente F varía en función de la latitud del lugar, siendo el valor superior el correspondiente al 21 de junio (sombreamiento total del hueco) y el inferior el correspondiente al 1 de agosto. En general, se puede considerar que los parasoles tendrán un buen comportamiento en fachadas orientadas a sur, siempre que la dimensión de su vuelo respecto al plano de fachada esté comprendida entre 1/2 y 1/3 de la altura de la ventana.

En función de la posibilidad de regularlo para adaptarlo al recorrido solar, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

FIJOS: **Aleros, salientes y voladizos**

- Una sola pieza
- Múltiples lamas: Fijas / Regulables

MÓVILES: **Toldos y estores exteriores**

FIJOS: Aleros, salientes y voladizos

Se trata de elementos cuya forma impide la incidencia de la radiación solar sobre los huecos en los momentos en que no es deseable. La forma de la protección varía en función de la orientación de la fachada en que se encuentre el hueco a proteger. Por lo general, cuando la fachada presenta orientación sur, la protección suele tener la forma de un plano horizontal; mientras que si la fachada presente orientación oeste, la protección suele estar compuesta de planos verticales. También se pueden diseñar elementos mixtos que presenten una parte vertical y una horizontal complementaria.

Estas protecciones pueden estar compuestas por una sola pieza o por múltiples lamas que pueden ser fijas o regulables, con diversas posiciones e inclinaciones.

Las protecciones **fijas** suelen forman parte de la edificación o de las carpinterías. En la mayoría de los casos están compuestas por el mismo material, aunque también se pueden construir en una amplia variedad de materiales, desde el hormigón visto, a materiales metálicos ligeros, como el aluminio. La ventaja principal de este tipo de sistemas es que no precisan de la intervención de los usuarios para funcionar ni requieren de un mantenimiento especial.

Por otra parte, los parasoles compuestos por lamas **regulables** permiten la orientación, de forma automatizada o por parte del usuario, en función del ángulo de incidencia del sol. Estas protecciones permiten adaptarse a las necesidades de cada época del año o momento del día, en función de la actividad que se desarrolle en cada espacio y de la necesidad de ganancias térmicas que se tenga.

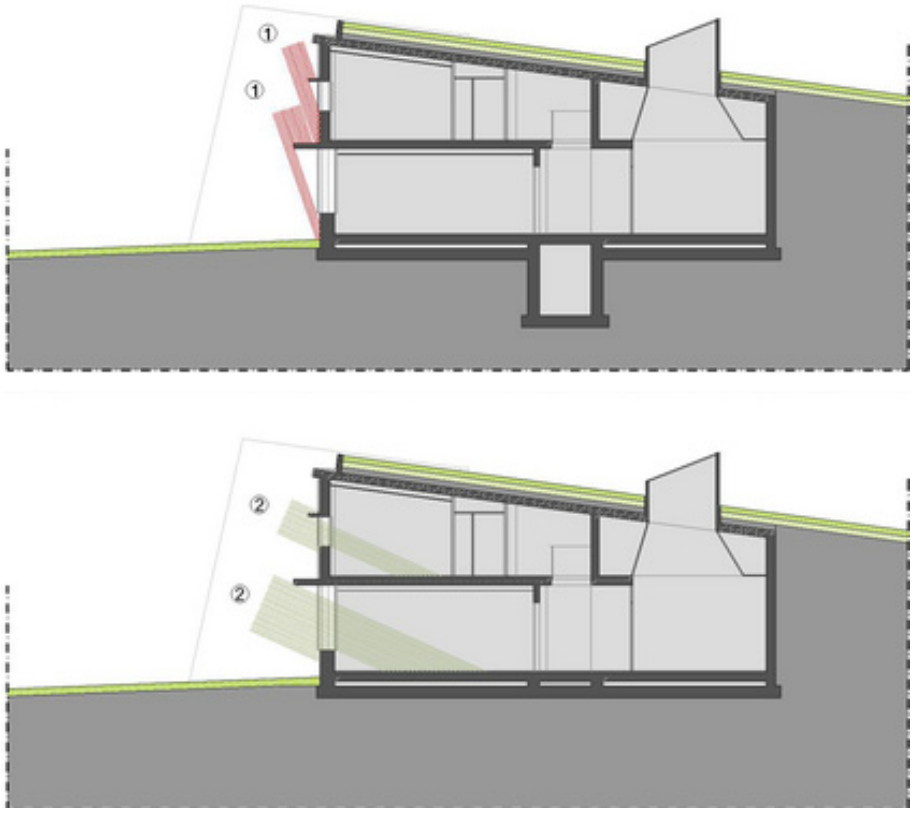
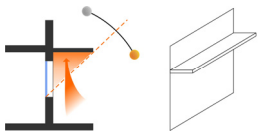
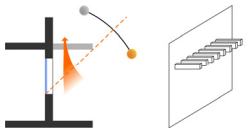
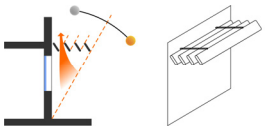
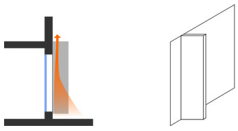
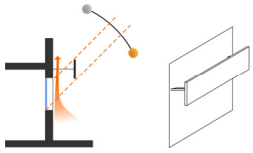
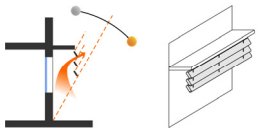
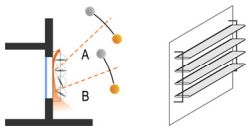
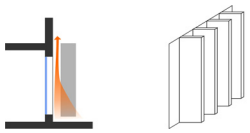
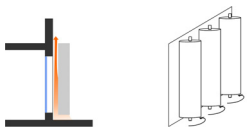


Figura PS.3 Ejemplo de protección solar. Centre de Natura Les Planes de Son. Lleida. El edificio está orientado a Sur, con una desviación de +15º y -15º, de forma que el control de la radiación solar directa se hace mediante aleros diseñados para permitir la entrada de la radiación solar directa en invierno y en verano proteger las superficies vidriadas contra el sol.
EULEB (EUropean high quality Low Energy Buildings)

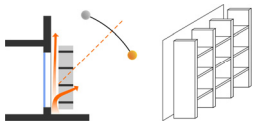
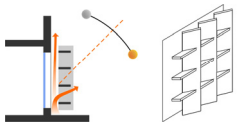
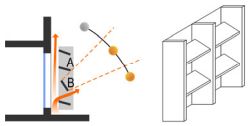
TIPO	ESQUEMA	ORIENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Plano horizontal macizo (o perforado)		SUR	Impide la entrada de rayos solares de mayor altura. Es recomendable utilizar elementos permeables que permitan la evacuación del aire caliente retenido entre el voladizo y la ventana.
Plano horizontal con lamas perpendiculares a fachada		SURESTE SUROESTE	Permite evacuar el aire caliente acumulado. Protege de los rayos de sol laterales y permite el acceso de los rayos perpendiculares a fachada.
Plano horizontal con lamas paralelas a fachada		SUR	Es similar a un voladizo macizo, pero las lamas permiten evacuar el aire caliente acumulado. Protege de los rayos solares de mayor altura.
Plano vertical perpendicular a fachada		ESTE OESTE	Adecuados para orientaciones con baja altura solar, preferentemente para proteger del sol de poniente.
Plano paralelo a fachada		ESTE OESTE	El plano frontal, paralelo a fachada, protege de los rayos más bajos del sol. Reduce el grado de iluminación directa.
Plano horizontal macizo y plano paralelo a fachada con lamas horizontales		ESTE OESTE	Protege de los rayos más bajos del sol.
Plano paralelo a fachada con lamas horizontales			Si se utilizan lamas móviles, se puede regular su posición, haciendo variar el perfil de sombra.
Plano frontal paralelo a fachada con lamas verticales		ESTE OESTE	Adecuados para orientaciones con baja altura solar.
			Al variar el ángulo que forman las lamas con el plano de fachada, se modifica el perfil de sombra.
			Las lamas regulables permiten adaptar la protección a la posición del sol.

Las **celosías** combinan elementos de protección en posición vertical y horizontal, lo que permite bloquear la radiación solar proveniente de diferentes ángulos y alturas.

Su utilización tiene el inconveniente de que se reduce la cantidad de luz natural que atraviesa los elementos y puede limitar el acceso del sol en épocas frías, por lo que será conveniente disponer mecanismos que permitan regular las lamas horizontales en función de las necesidades.



Figura PS.4 Celosía inclinada formada por paneles fotovoltaicos del Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). Navarra. España. César Ruiz-Larrea, Antonio Gómez y Luis Miquel Suárez-Inclán.

TIPO	ESQUEMA	ORIENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Lamas horizontales y verticales fijas y perpendiculares a fachada		SUR SURESTE SUROESTE	La acción combinada de elementos horizontales y verticales protege de diferentes alturas solares y ángulos acimutales.
Lamas horizontales fijas perpendiculares a fachada. Lamas verticales fijas oblicuas.			Las lamas en ángulo permiten ajustar la protección según la orientación de la fachada.
Lamas horizontales regulables.			Las lamas móviles permiten variar la protección según la variación del ángulo acimutal a lo largo del año.

El **brise soleil** es un sistema de control de la iluminación ampliamente conocido y empleado durante todo el recorrido del Movimiento Moderno, diseñado con el objeto de obtener sombra sobre una importante zona de acristalamiento en determinadas horas y épocas del año, además de redirigir la luz hacia el techo y que este la refleje al plano de trabajo. Por lo tanto se trata de un sistema que permite el paso de la luz e impide, en parte o en su totalidad, la radiación directa.

El sistema consiste en elementos horizontales o ligeramente inclinados situados en el interior o exterior de la fachada. El diseño de cada elemento es específico para cada orientación, latitud y configuración del espacio interior. Pueden ser aplicadas en climas como el nuestro con luz directa significativa y sobre todo en orientaciones sur. En las orientaciones este u oeste su efectividad no es adecuada lo mismo que en regiones donde predominen los cielos cubiertos. Sus características siempre van a ser un compromiso entre la iluminación natural y las necesidades de protección solar. En orientaciones sur, la profundidad de un elemento interior horizontal debe de ser igual aproximadamente a la altura del hueco que queda sobre el mismo. En la medida que este elemento se desplaza al exterior del hueco, la sombra se desplaza horizontalmente, reduciendo los niveles luminosos junto a la ventana pero logrando una uniformidad mayor en todo el espacio. Para el caso de los elementos exteriores, la profundidad del elemento debe de ser aproximadamente igual a la altura del mismo sobre el plano de trabajo. Estas dimensiones se deben de tomar como punto de partida que se ajustará en cada caso, en función de la disponibilidad solar del lugar.

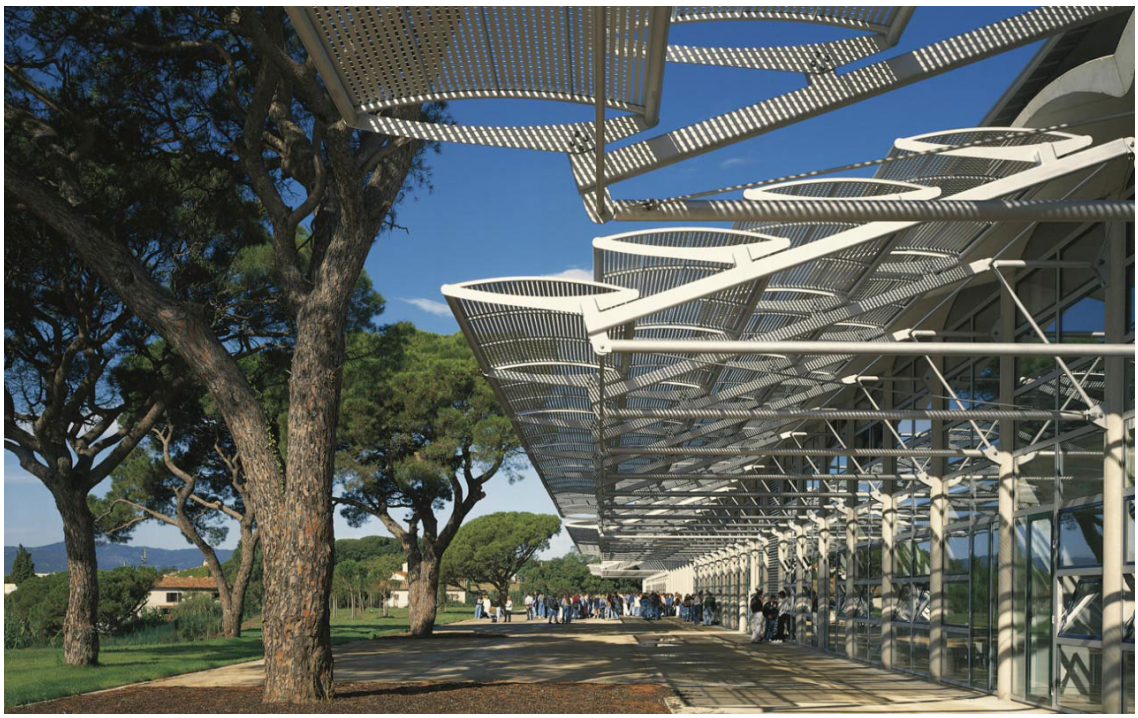


Figura PS.5 Brise soleil. High School Fréjus. Francia. Las aulas están orientadas a Sur y Norte. Las orientadas a Sur se protegen de la radiación solar directa con brise soleils metálicos perforados de 5 m de vuelo. Foster and partners. EULEB (EUropean high quality Low Energy Buildings)

Las **repisas o estantes de luz** son elementos horizontales colocados en la parte superior de las ventanas que desempeñan una doble función:

- Por un lado, permiten aprovechar la iluminación producida por la radiación solar reflejada para mejorar el confort visual en estancias muy profundas y con alturas libres superiores a 4 metros.
- Por otro lado sirven como elemento de sombreamiento de la parte inferior de las ventanas en los que se sitúan, de modo que se evitan deslumbramientos a la vez que se limitan las ganancias directas a través de los huecos.

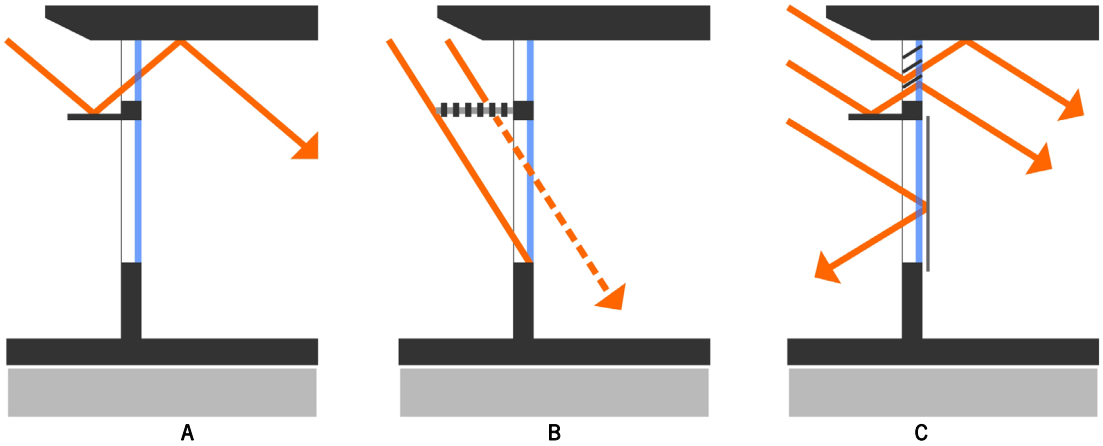


*Figura PS.6 **A**- Repisa de luz monolítica; **B**- Repisa de luz con una estructura tipo celosía; **C**- Repisa de luz con celosía en la parte superior de la ventana y cortina interior en la parte inferior. Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Instituto de la Construcción. Santiago de Chile, 2012.*

Las repisas de luz pueden incrementar la profundidad de penetración de la luz natural en las estancias, en función de la altura a la que se ubique la ventana, según la siguiente relación:

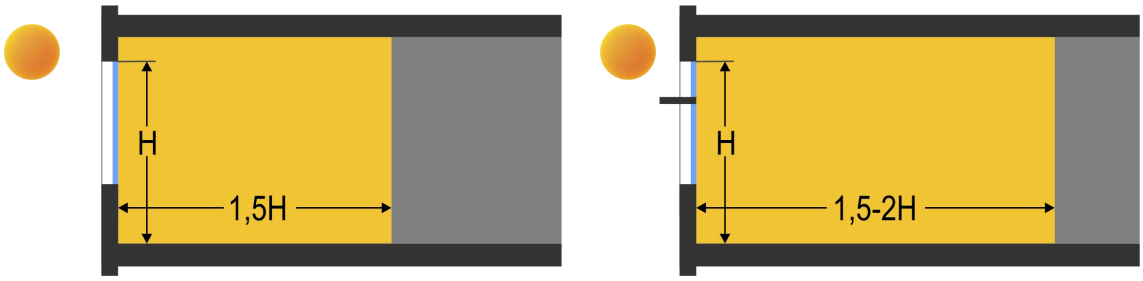


Figura PS.7 Influencia de las repisas de luz en la incidencia de la luz natural interior. Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Instituto de la Construcción. Santiago de Chile, 2012.

MÓVILES: Toldos y estores exteriores

Los toldos y estores exteriores son elementos de geometría variable, y de materiales ligeros, generalmente textiles, que pueden ser desplegados por los usuarios para impedir la entrada de la radiación solar. Al igual que en el caso de los elementos fijos, suelen ser horizontales cuando se disponen en fachadas sur, y verticales cuando se disponen a poniente.

Por lo general cuentan con un mecanismo, ya sea manual o eléctrico que permite su plegado-desplegado. Suelen contar con una estructura portante anclada a la fachada que permite su desplegado en voladizo. Por tratarse de elementos compuestos generalmente de materiales textiles requieren de mantenimiento por parte de los usuarios, ya que la exposición a la intemperie y a la radiación solar acelera su deterioro.



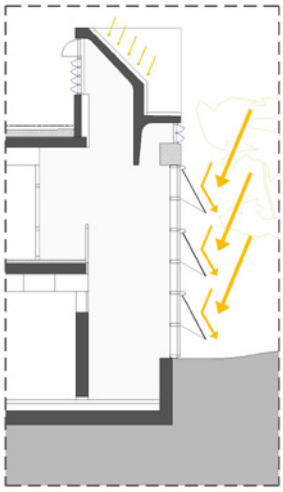
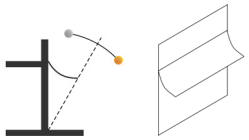


Figura PS.8 Toldos del Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). Navarra. España. César Ruiz-Larrea, Antonio Gómez y Luis Miquel Suárez-Inclán.

TIPO	ESQUEMA	ORIENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Toldos		SUR	Los toldos tienen las mismas características que los elementos horizontales opacos y, además, pueden ser retráctiles.



EXTERIOR
Persianas y contraventanas

Las persianas y contraventanas tienen por objeto impedir que la radiación solar incida sobre las partes permeables de la envolvente (ventanas, vidrieras, lucernarios...). A diferencia de los parasoles, se trata de elementos móviles cuya geometría puede ser modificada a voluntad del usuario. Aunque su uso está relacionado con la protección solar, su objetivo principal es controlar el nivel de iluminación natural al interior de las edificaciones.

Las persianas y contraventanas se componen de elementos planos y paralelos entre sí. En el caso de las persianas se puede controlar la inclinación de los planos que la componen, haciendo que esta sea más o menos permeable a la luz natural. En el caso de las contraventanas, suele funcionar como una hoja de carpintería dispuesta al exterior de la carpintería convencional, presentando una amplia gama de tipologías: corredera, batiente, etc...

Los componentes de las persianas y contraventanas son los propios de los tipos de carpinterías de las que forman parte, siendo los metales ligeros, los plásticos tipo PVC y la madera los más habituales. Su mantenimiento es el propio de cualquier carpintería.



EXTERNA
Vegetación

La vegetación, utilizada como mecanismo de protección solar, tiene por objeto impedir que el calor producido por la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente del edificio del penetre al interior, generando ámbitos sombreados, o bien tapizando las fachadas. En esencia, se trata de utilizar especies vegetales que por su forma permitan el control de la radiación solar incidente sobre la envolvente de las edificaciones.

En el caso de las especies trepadoras, se genera un mecanismo con un funcionamiento similar a las fachadas vegetales. Habitualmente se suelen utilizar especies trepadoras que en combinación con umbráculos generen un entramado que produzca sombra. Es recomendable utilizar especies de hoja caduca, de modo que durante el invierno, la ausencia de follaje permita la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente de la edificación. En caso de no contar con acceso al terreno natural es necesario disponer jardineras donde plantar las especies vegetales elegidas. Requieren del mantenimiento propio de los elementos vegetales.

En el caso de los ámbitos sombreados, su funcionamiento es análogo al del umbráculo. En las arquitecturas vernáculas es frecuente disponer a sur espacios porticados en los que se disponen emparrados de plantas trepadoras de hoja caduca. Durante el invierno la planta carece de follaje, por lo que permite la entrada del sol, mientras que en invierno, las hojas de la planta producen sombra, al tiempo que generan un microclima con mayor humedad relativa, por efecto de la evapotranspiración.

Otro uso habitual de la vegetación es su empleo como barrera frente al sol de poniente. En este caso se suelen disponer especies cuya copa tenga una tendencia a la forma vertical, como los álamos y los chopos (pópulus sp.). Conviene evitar el uso para este fin de los árboles de hoja perenne (tipo ciprés), dado que al no perder el follaje, impide la incidencia del sol de invierno.

El fenómeno de la evapotranspiración de las plantas produce un aumento localizado de la humedad relativa, lo que puede favorecer las condiciones microclimáticas, aproximándolas a las de confort.

Nombre Botánico	Nombre Común	Rango transmitancia %		Altura máxima (m)	Diámetro máximo (m)
		Verano	Invierno		
Aesculus hippocastanum	Castaño de Indias	8-27	73	22-30	8-12
Betula pendula	Abedul común	14-24	48-88	13-30	8-10
Celtis australis L.	Almez	8	-	10-15	10-15
Fraxinus excelsior	Fresno común	15	70	20-30	6-10
Melia azadarach	Melia	26	46	8-15	5-8
Picea pungens	Picea azul	13-28	13-28	27-41	6-12
Pinus strobus	Pino de Weymouth	25-30	25-30	24-25	-
Platanus acerifolia	Plátano hoja de Arce	11-17	46-64	30-35	10-15
Quercus ilex	Encina mediterránea	10-30	10-30	8-12	6-8
Tilia europea	Tilo híbrido	6	45	25-30	15-20

Tabla PS.1 Características de algunas especies usadas comúnmente en espacios urbanos. La vegetación como instrumento para el control microclimático. José M. Ochoa de la Torre, 1999.

INTERMEDIA
Vidrios especiales

Los **vidrios especiales** con propiedades para la protección solar evitan la entrada de parte de la energía contenida en la radiación solar.

Se trata de vidrios que, por su composición, reducen la entrada al interior de las edificaciones de la radiación solar que los atraviesa. La reducción de la radiación solar incidente se produce por la combinación de dos efectos, la reflexión y la absorción. Mediante el mecanismo de la reflexión, parte de la energía incidente es reflejada, y no llega a atravesar el vidrio. Mediante el mecanismo de absorción, parte de la energía incidente contenida en la radiación solar es absorbida por el propio vidrio. La absorción de energía produce sobrecalentamiento, por lo que es recomendable la utilización de vidrios dobles, disponiendo el vidrio especial en la hoja exterior. Tanto el mecanismo de reflexión como el de absorción producen alteraciones en la percepción de transparencia del vidrio; bien sea por alteración del color, en el caso de la absorción, o por la reducción de la radiación que lo atraviesa, en el caso de la reflexión.

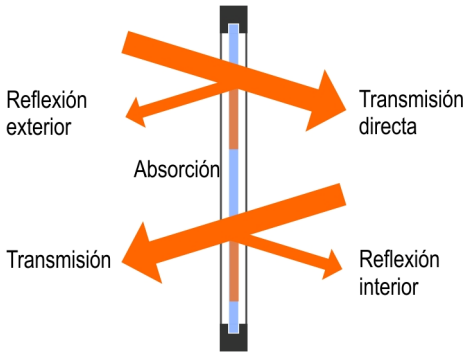
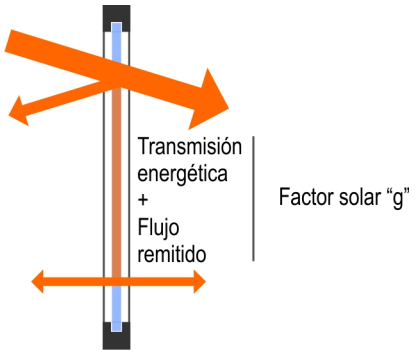


Figura PS.9 Descomposición de la radiación solar al atravesar un vidrio: Transmisión + Reflexión + Absorción = 100%

Cada tipo de vidrio tiene unas características propias (color, espesor, composición,...) que influyen en la capacidad de reflejar, absorber y transmitir la energía incidente. En el caso de vidrios normales, gran parte de la radiación incidente atraviesa su superficie hacia el interior y la parte absorbida por la masa de vidrio es posteriormente irradiada.

Factor solar (g): 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.



En zonas climáticas 3 y 4 (según CTE), es conveniente colocar vidrios cuyo valor de factor solar sea menor o igual a 0,65 en las orientaciones de mayor soleamiento: SE, SO, E y O.

(Fuente: PdC específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad)

La protección solar por medio de acristalamientos ha de ser tratada considerando tres objetivos[43]:

- Disminución de las aportaciones solares (factor solar mínimo).
- Disminución de las transferencias de calor desde el exterior hacia el interior (coeficiente U mínimo).
- Garantía de una buena transmisión luminosa (elevada).

(Se pueden consultar algunos valores de referencia para diferentes tipos de vidrio en la ficha: MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA – CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA - Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica).

Vidrio sencillo (mololítico)

Formado por una única hoja de vidrio o por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie (vidrios laminares). Pueden ser incoloros o de color y estar sometidos a tratamientos que mejoren sus propiedades térmicas.

- Vidrio de baja emisividad: Vidrio monolítico sobre el que se deposita una capa muy fina de óxidos metálicos para reforzar su aislamiento térmico limitando la radiación de onda larga al exterior, por lo que son adecuados para minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior y maximizar las ganancias solares. Normalmente se utilizan ensamblados en doble acristalamiento.
- Vidrio reflectante: Es un vidrio de control solar sobre el que se deposita una capa de silicio sobre una de sus caras, consiguiendo un factor solar bajo. Al reflejar la radiación solar no deseada, se limita la ganancia térmica en el interior y la transmisión luminosa. Normalmente se instalan ensamblados en doble acristalamiento, aunque también pueden utilizarse como vidrios monolíticos.
- Vidrio absorbente: Es un vidrio con un aditivo químico que modifica su color y sus propiedades físicas.

UVA - Unidad de Vidrio Aislante (doble acristalamiento)

Conjunto formado por dos o más vidrios monolíticos, separados entre sí por cámaras de aire deshidratado, cerradas herméticamente en todo su perímetro. Limitan el intercambio de calor por conducción y convección, y su capacidad aislante aumenta de manera progresiva a medida que se incrementa el espesor de la cámara (hasta los 17 mm como máximo que empiezan a producirse fenómenos de convección en su interior).

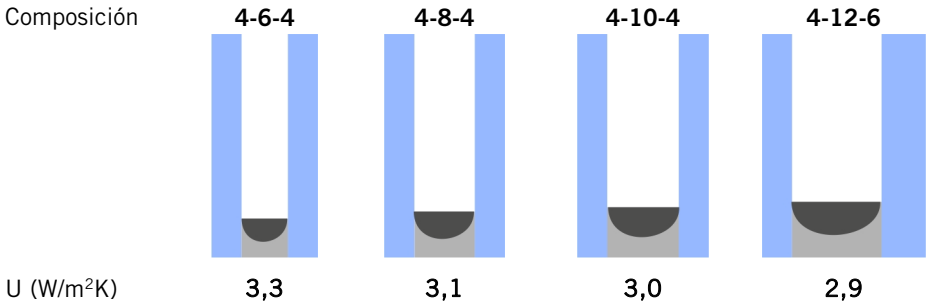


Figura PS.10 ***Valores de transmitancia para dobles acristalamientos.***

[43] *Manual del vidrio. Saint-Gobain Glass, 2001.*

Láminas adheridas

Las láminas adheridas con propiedades para la protección solar, en combinación con los vidrios que las soportan, evitan la entrada de parte de la energía contenida en la radiación solar.

Se trata láminas plásticas transparentes, adheridas a la cara exterior del vidrio, o bien dispuestas entre dos vidrios, para evitar su deterioro. Su mecanismo de funcionamiento es el mismo que el de los vidrios especiales. Por su composición, reducen la entrada al interior de las edificaciones de la radiación solar que los atraviesa. La reducción de la radiación solar incidente se produce por la combinación de dos efectos, la reflexión y la absorción. Mediante el mecanismo de la reflexión, parte de la energía incidente es reflejada, y no llega a atravesar la lámina. Mediante el mecanismo de absorción, parte de la energía incidente contenida en la radiación solar es absorbida por la lámina. La absorción de energía produce sobrecalentamiento, por lo que es recomendable la utilización de vidrios dobles, disponiendo el vidrio que soporta la lámina en la hoja exterior. Tanto el mecanismo de reflexión como el de absorción producen alteraciones en la percepción de transparencia del vidrio; bien sea por alteración del color, en el caso de la absorción, o por la reducción de la radiación que lo atraviesa, en el caso de la reflexión.

Las láminas adheridas sobre vidrios se disponen del mismo modo que los vidrios normales, montados sobre carpinterías. No requieren de mantenimiento especial por parte de los usuarios.

Las cortinas y estores tienen por objeto controlar la radiación solar que ha entrado en la edificación a través de los huecos verticales de la envolvente. No se pueden considerar estrictamente como un mecanismo de protección solar, dado que al encontrarse en el interior de la envolvente, su función no es la de impedir la entrada de la radiación solar, sino la de controlar el nivel de iluminación natural al interior de las edificaciones. Se debe tener en cuenta que estos elementos, evitan que incida la radiación solar directamente sobre materiales interiores, pero no impiden que se transmita una gran proporción de la energía incidente por lo que es aconsejable utilizarlos en combinación con protecciones exteriores para evitar el efecto invernadero.

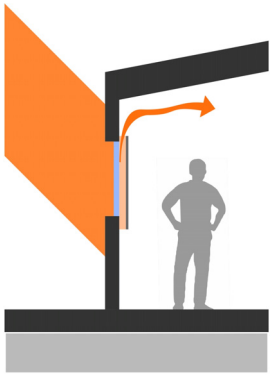
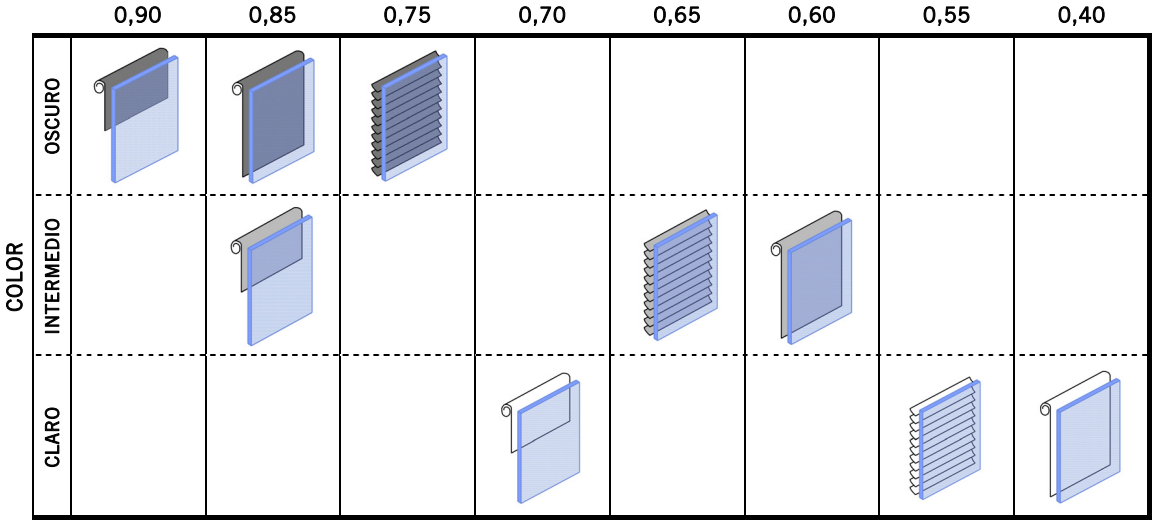


Figura PS.11 Comportamiento térmico de una ventana con cortina interior..

Se trata de dispositivos que permiten el control de la iluminación natural proveniente del exterior de las edificaciones. Se disponen en paralelo al plano vertical de la fenestración. Se trata de elementos textiles que pueden cubrir parcialmente la superficie del hueco, modulando de este modo la intensidad de la luz natural incidente.

Pueden ser de material plástico o textil y suelen disponer de un sistema de cables que permite posicionarlas según las necesidades del usuario.

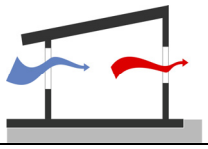
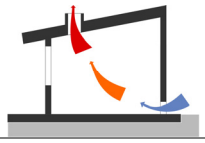
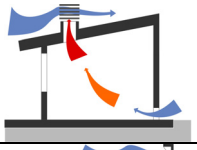
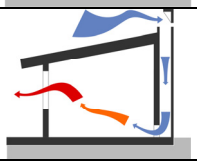
Los valores orientativos del factor de sombra según diferentes sistemas, en distintas posiciones y con distintos colores son los siguientes, de menor a mayor eficiencia (Arquitectura y Clima, Victor Olgyay):



ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN

V VENTILACIÓN NATURAL

Consideraremos **ventilación natural** aquella en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida. Esta estrategia se utiliza en climas donde la temperatura exterior no supere la del cuerpo humano, y es más eficiente si se prevé una adecuada distribución en el interior de los edificios. El criterio a considerar como más importante es la velocidad del aire, por lo que es importante la elección de la orientación del edificio y sus huecos, y las dimensiones de los mismos, para que permitan poder captar los vientos y las brisas en el momento deseado.

CRUZADA Por acción directa del viento	Huecos	
CON TIRO TÉRMICO Se recurre a mecanismos que incrementen la velocidad del aire y mejoren el proceso de evacuación natural	Efecto chimenea	
	Aspiración estática (efecto Venturi)	
INDUCIDA Se recurre a mecanismos que fuercen la entrada de aire frío al interior del edificio	Torre de viento	



CRUZADA
Huecos

La **ventilación cruzada** es la circulación del aire a través de ventanas u otros espacios abiertos situados en lados diferentes de una sala o habitación. Se llama así, porque aprovechando las diferencias de presión, las diferencias de temperatura de un habitáculo o la orientación en base a las direcciones de los vientos dominantes sobre la edificación puede conseguirsse un barrido completo del aire en el interior de la misma.

Hay ocasiones en que el movimiento del aire puede mejorar la situación de confort, bien sea en forma de ventilación directa sobre las personas (ventilación cruzada) o sobre la masa interna del edificio en las horas en que sea propicio realizarlo (ventilación nocturna).

El flujo de aire a través de un edificio considerando ventilación natural es inducido por gradientes de presión sobre el mismo. La diferencia de presión se genera de dos formas: el flujo externo del viento (acción directa del viento) y la diferencia de temperatura, entre el aire exterior e interior (fuerza debida a la acción de la convección térmica).

Cuando el viento choca contra la envolvente de los edificios, se genera una zona de alta presión en la parte expuesta (barlovento). Por el contrario, en las áreas situadas a sotavento, se reduce la presión, generándose zonas de succión. La variación de presiones entre fachadas posibilita que, al abrir huecos en zonas de diferente signo, se consiga generar corrientes de aire que permitan la ventilación cruzada de los espacios interiores.

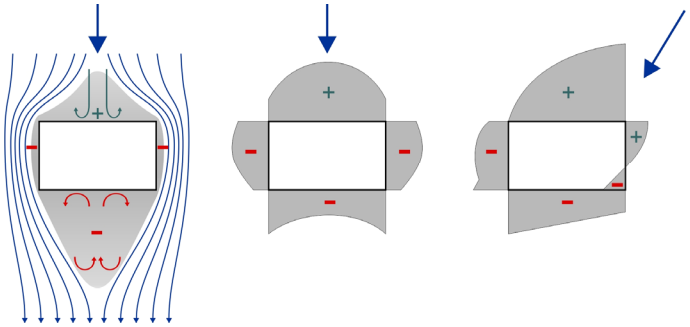


Figura V.1 Distribución de la presión ejercida por el viento.

La fachada que recibe el viento incidente, se encontrará en condiciones de sobrepresión; la fachada opuesta se encontrará en depresión.

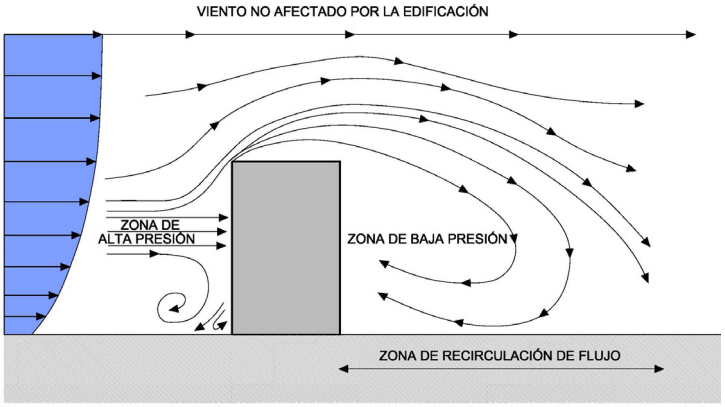
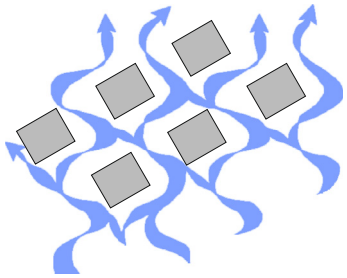


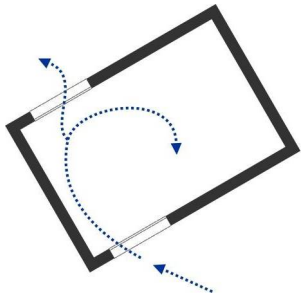
Figura V.2 Viento afectado por la edificación.

El gradiente de presiones a través de una abertura en el edificio es la suma de las diferencias de presión generadas por cada una de las fuerzas por separado. En ocasiones, las dos fuerzas pueden operar en las mismas direcciones y en otras en direcciones opuestas: depende de la dirección del viento y la magnitud del mismo; y de la diferencia de temperaturas, cuál es mayor si la interna o la externa. Especialmente la fuerza de empuje tiene que vencer las pérdidas del aire en movimiento en su camino a través del edificio; y a su vez de la diferencia de temperaturas entre las aberturas de entrada y de salida.

Disposición de huecos

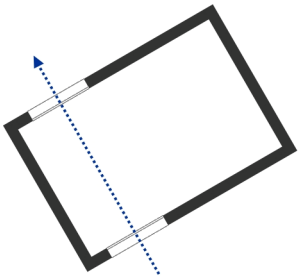
Lo más conveniente para aprovechar la acción de la ventilación natural cuando se conoce el régimen de vientos, es **ubicar las ventanas de entrada en las fachadas situadas 45º respecto a la dirección del viento predominante.**





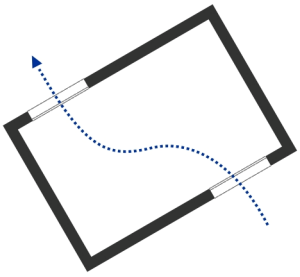
Esta distribución produce una mayor turbulencia y reparto del flujo en el interior que las aberturas situadas en las fachadas perpendiculares a la dirección del viento.

En el caso de que la fachada en la que se pueda realizar aberturas sea la perpendicular al flujo, es conveniente no situar los huecos de salida alineados con el de entrada, bien sea colocando las ventanas opuestas entre sí pero no en paralelo o abriendo ventanas en fachadas adyacentes:

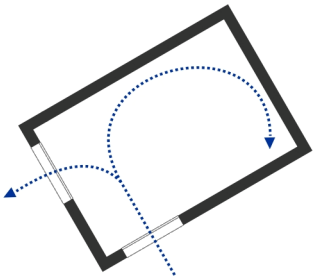


Huecos opuestos paralelos

PEOR SOLUCIÓN



Huecos opuestos no paralelos

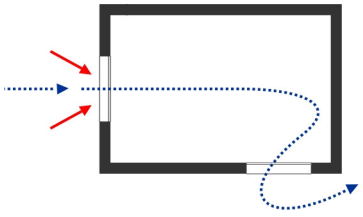


Huecos adyacentes

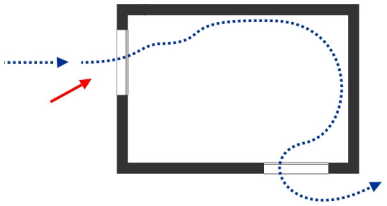
MEJOR SOLUCIÓN

mayor distribución del aire en el interior

Cuando se sitúen las ventanas en **fachadas adyacentes**, es conveniente procurar que el aire realice el mayor recorrido posible en el interior del recinto antes de salir, por lo que resulta más eficaz separar las aberturas entre sí lo máximo posible, de modo que formen una diagonal. Si una de las ventanas puede ubicarse cercana a una esquina, se aprovechará la aceleración local del viento que se sufre cerca de las esquinas por efecto Venturi en la canalización de la edificación y puede favorecerse una entrada mayor de caudal.

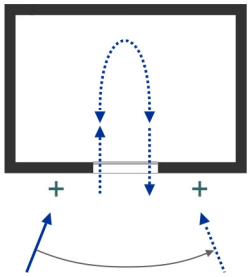


PEOR SOLUCIÓN

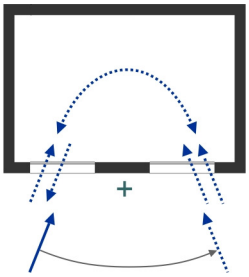


MEJOR SOLUCIÓN

Si las ventanas tienen que estar ubicadas **en la misma fachada**, la ventilación es necesariamente mala. Cuando no se dispone de más de una fachada para la disposición de ventanas al exterior hay que favorecer el movimiento del viento en el interior del habitáculo. La mejor forma de aprovechar el efecto es separar las ventanas lo máximo posible con objeto de favorecer un movimiento interior en los habitáculos aprovechando la distancia y los vientos de entrada oblicua.



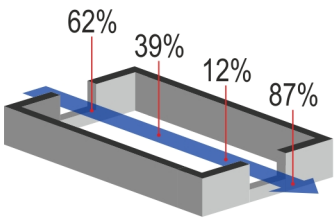
PEOR SOLUCIÓN



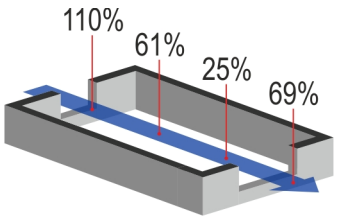
MEJOR SOLUCIÓN

Tamaño de los huecos

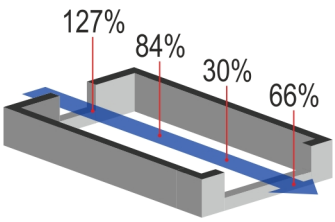
El tamaño relativo de las ventanas de entrada y salida también es importante, ya que la relación entre las dimensiones y la disposición de los huecos determina la variación en la velocidad del aire que los atraviesa:



Área salida = Área entrada



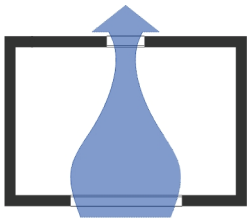
Área salida = 2 x Área entrada



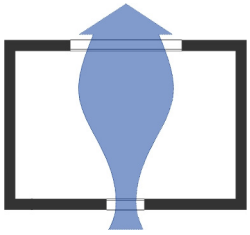
Área salida = 3 x Área entrada

Figura V.3 Variaciones en la velocidad del aire dependiendo del tamaño de las ventanas de entrada y salida. Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile, 2009.

En general, la disposición de aberturas de **salida menores que las de entrada**, proporcionará velocidades menores al entrar en el edificio debido al efecto Venturi, por lo que será conveniente utilizarlas en orientaciones abiertas con vientos dominantes de gran velocidad. Por lo general, se recomienda que la abertura de acceso del aire sea ligeramente mayor que la de salida (con una relación mínima entre huecos de 1:1,25).



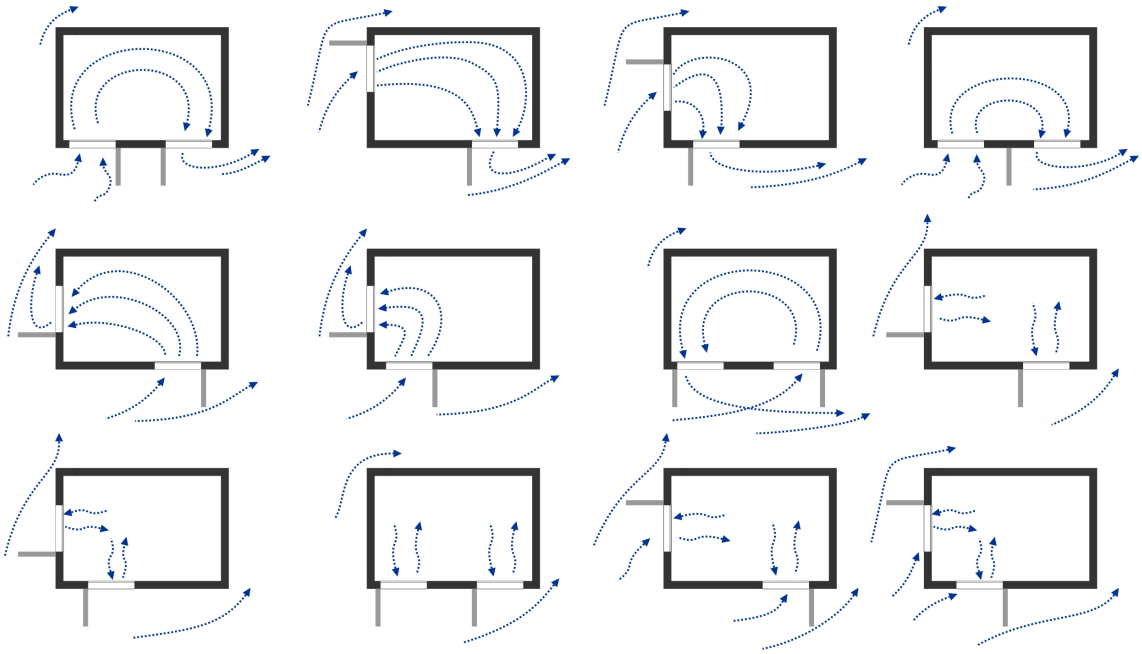
Por el contrario, en el caso de que se necesite incrementar la velocidad del viento incidente para garantizar la sensación de confort térmico en el interior, será conveniente disponer huecos de salida mayores que los de entrada.



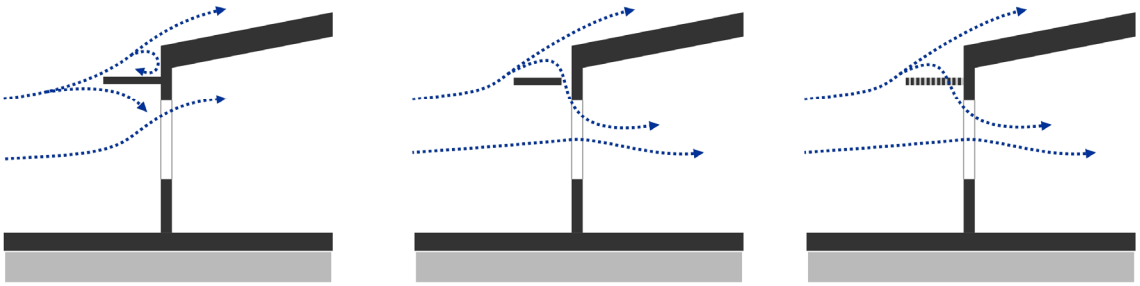
Utilización de aleros

Cuando la fachada principal no puede disponerse de forma óptima para aprovechar el viento predominante, puede disponerse de aleros que modifiquen la dirección de las acciones incidentes.

Los salientes o aleros que modifiquen la trayectoria del viento incidente en la proximidad de las ventanas pueden utilizarse para favorecer la ventilación cruzada, tanto cuando se dispone de varias fachadas como si es la misma en la que puede ubicarse los huecos y además pueden ser utilizados como elementos de protección solar.



En las plantas altas de la edificación, puede utilizarse los dispositivos de protección solar para realizar una deflexión en la dirección del viento incidente, de manera que se favorezcan mayores caudales de entrada en la fachada de interés.



Alero unido a la fachada del edificio que causa una deflexión vertical del flujo por encima del tejado y fuerza asimismo la entrada del aire.

Dejando un espacio entre el alero y la fachada se mantiene la entrada del aire.

Alero con espacios intercalados que permiten el paso del aire a su través.

Figura V.4 Efecto de los aleros en el flujo vertical del aire. Fuente Yarke, 2005.

Las aletas o aleros en las ventanas pueden mejorar mucho las condiciones de ventilación en el interior. La ubicación propicia de estos aleros crea unas zonas de presión positiva y negativa a lo largo de la pared externa que en el caso de que sea una sola pared la que tiene ventanas, se convierte en la única arma para controlar las diferencias de presión que fuerce la ventilación a través de la misma. Esto mismo puede conseguirse con los balcones, y los cerramientos. Este sentido de movimiento forzado puede conseguirse tanto en planta como en vertical, como ya se ha indicado en los aleros.

Distribución interior

La distribución interior en planta debe favorecer la entrada de caudales en las direcciones del viento predominante incidente; y la salida de los mismos por los huecos de cocinas y lavabos en la medida de lo posible. La distribución tiene que tenerse en cuenta especialmente cuando se desea disponer de ventilación cruzada, de modo que el movimiento del aire a través del conjunto de la edificación sea conocido y esté controlado.

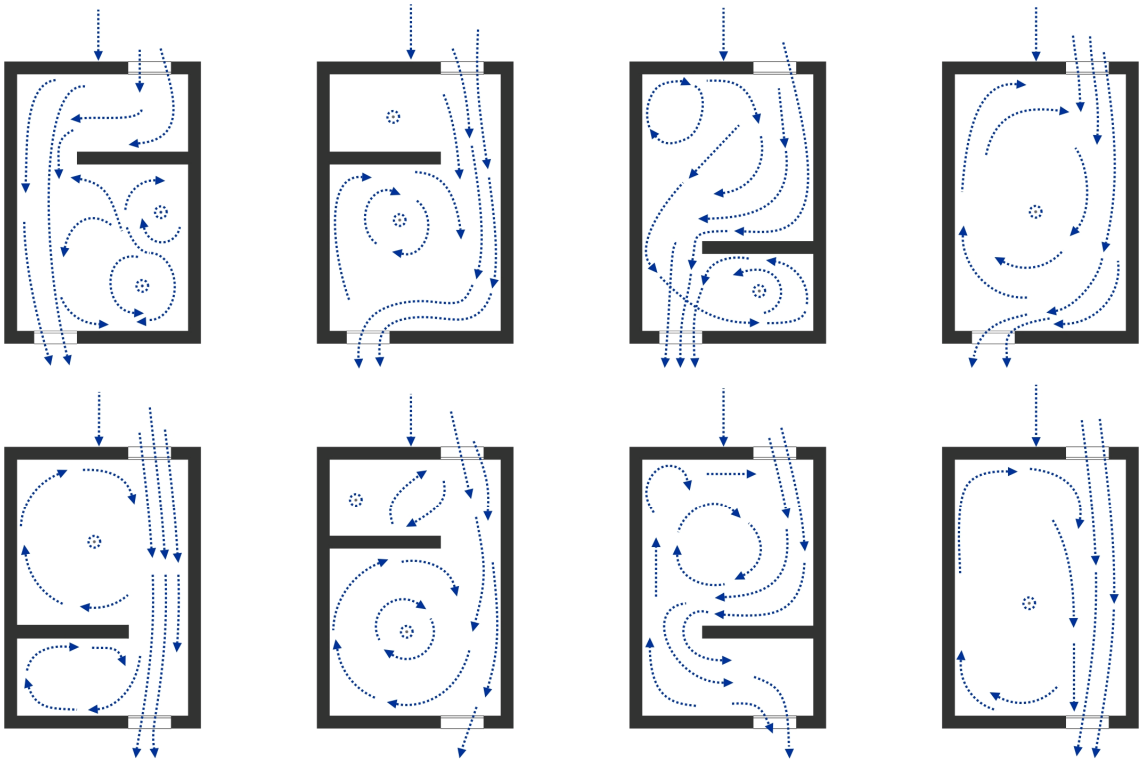


Figura V.5 Movimiento del aire a través de la distribución interior.

En general, el viento debe entrar desde las zonas de salas de estar y dormitorios, para salir a través de cocinas y cuartos de baño; y no puede ser en sentido contrario, para el control de olores y temperatura.

Esto debe ser considerado a la hora de determinar cuáles son las fachadas que se encuentran en sobrepresión y cuales en depresión. Esto es complejo, puesto que la dirección del viento no es siempre la misma y la misma distribución en planta puede ser eficiente en unos casos y en otros no:

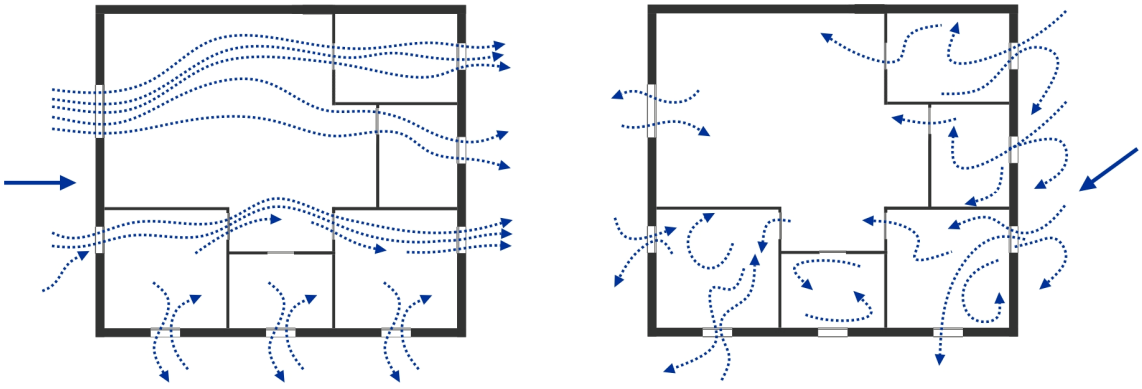


Figura V.6 Reparto de aire en función de la dirección del viento.

La misma distribución puede generar buenos y malos repartos del viento en la ventilación interior dependiendo del patrón de viento exterior. A la izquierda, buena ventilación. A la derecha, mala ventilación. También se pueden utilizar elementos en las particiones interiores que sean permeables al aire, celosías, rejillas, etc. que permitan la circulación del aire y la privacidad visual.

La ventilación cruzada también se puede producir por diferencia de gradiente térmico entre dos fachadas con distinta orientación, de modo que la fachada soleada moviliza el aire junto a ella haciéndolo ascender, provocando la entrada de aire fresco por la fachada menos soleada. Este fenómeno debe tenerse en cuenta sin olvidar que es aconsejable colocar las estancias principales a sur, dejando las zonas de menos permanencia a norte, por temas de soleamiento, por lo que resulta fundamental diseñar una distribución interior que facilite la ventilación cruzada a través todas las estancias de la vivienda.

Huecos a distinta altura o en cubierta

Cuando se realizan huecos a distintas alturas puede aprovecharse el empuje del aire debido a la acción térmica por flotación si el aire interior se calienta, mientras que el aire exterior permanece más frío. En este caso se produce un "tiro" natural, que deberá ser suficiente para vencer las pérdidas de presión que el aire encuentre en su salida hacia el exterior para que la ventilación vertical funcione.

Es importante ubicar los huecos a una altura que garantice el confort de los usuarios, procurando que el aire en movimiento entre en contacto con la piel de los ocupantes. Para esto, hay que tener en cuenta las actividades que se van a desarrollar en cada espacio y la altura a la que se encuentran sus ocupantes (por ejemplo, en los dormitorios o zonas de estudio es conveniente disponer los huecos a baja altura).

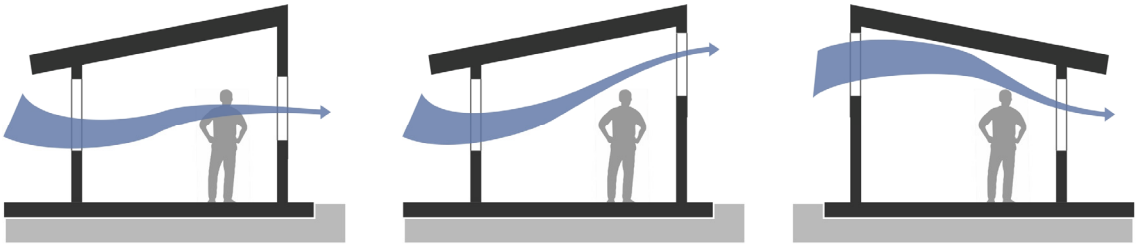


Figura V.7 Flujo de aire en función de la diferencia de altura entre la entrada y salida del aire.

CON TIRO TÉRMICO
Efecto chimenea

Este sistema está especialmente indicado cuando la presencia de viento es escasa o no se dan las condiciones favorables en cuanto a disposición u orientación para aprovechar la incidencia de los flujos predominantes, aunque las diferencias de presión generadas por tiro natural son bastante menores que las inducidas por el viento.

El movimiento del aire por efecto chimenea ocurre cuando las diferencias de temperatura en el interior del edificio generan diferencias de densidad en el aire, provocando diferencias de presión suficientes para que el aire circule en dirección vertical, es lo que se conoce como “tiro natural”.

En la práctica esto se traduce en que el aire al aumentar de temperatura reduce su densidad y se eleva, siendo sustituido en las capas bajas por un aire de menor densidad y por tanto menor temperatura. El aire de las capas más altas acaba saliendo, generando una sobrepresión que provoca corrientes de aire.

La eficacia de este sistema depende de la altura de la columna de aire caliente y de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Esto adquiere especial sentido cuando la diferencia de altura favorece el efecto del tiro. Cuando la diferencia de altura entre los puntos de entrada y salida es pequeña el tiro que se consigue no es muy eficaz y en ocasiones puede ser contraproducente, por lo que se aconseja proyectar estos casos con cuidado. En edificios residenciales, la altura efectiva del camino de la ventilación es pequeña, generalmente de 2 m, por lo que para que se produzca un flujo de aire vertical suficiente se deben dar diferencias de temperaturas importantes con el exterior. Se pueden aprovechar los diferenciales de presión generados en elementos verticales de gran altura comunicados en sección como cajas de escaleras o patios o utilizar patinillos o conductos verticales que eleven la temperatura del aire para forzar su ascenso en un punto localizado.

Las cámaras o chimeneas solares tienen como misión principal forzar la extracción natural del aire interior por el calentamiento del aire contenido en un conducto vertical.

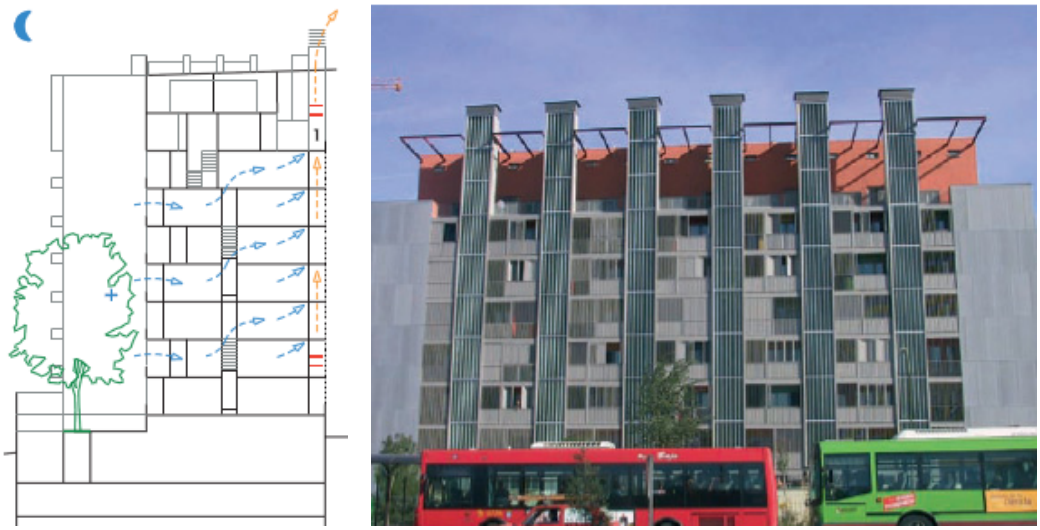


Figura V.8 Chimenea solar. Edificio de viviendas EMV. Madrid AUIA2003.
El Movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico. Ministerio de Fomento, 2011.

En este sistema se utiliza la energía de la radiación solar para el calentamiento del aire por efecto invernadero. Las chimeneas disponen de un captador de superficie oscura, el cual debe situarse, al menos, 1,5 m por debajo de la coronación de la chimenea para provocar que el aire caliente sea reemplazado por

aire del interior del edificio y no del exterior (que es lo que puede suceder si el captador se encuentra muy próximo a la salida).

Su funcionamiento se basa en los principios de la convección natural y se ayuda del efecto de succión en las perforaciones situadas en la parte baja que comunica con el local a climatizar, el aire caliente escapa por la abertura superior de la chimenea. Las chimeneas solares se orientan hacia la máxima intensidad de radiación solar y su efectividad puede incrementarse con lam utilización de elementos de alta inercia térmica que acumulen el calor y prolonguen el efecto de extracción en los momentos en los que cese la radiación.

Los sistemas de fachada basados en la acumulación de aire caliente por efecto invernadero, como son los invernaderos o los muros Trombe, también funcionan como cámaras solares, ya que en ambos casos al calentarse el aire encerrado en el espacio acristalado éste tiende a ascender hacia las aberturas superiores produciendo a la succión del aire interior y a su renovación. En el caso de los invernaderos, es importante prever la colocación de un elemento de protección solar por la cara interior del vidrio, de modo que se cree una cámara separada del resto del espacio interior, comunicada directamente con aberturas superiores de dimensiones suficientes para evacuar el aire caliente.

El patio como elemento de extracción

En el caso de que el patio tenga unas dimensiones tales que existan grandes superficies expuestas a la radiación solar, se pueden generar corrientes de aire ascendentes debidas al efecto de convección natural que se produce por el efecto del aire sobrecalentado.

En este caso, la proporción existente entre la superficie en planta del patio y su altura debe ser tal que permita el acceso al sol, por lo que se requiere de mayores superficies y menores alturas.

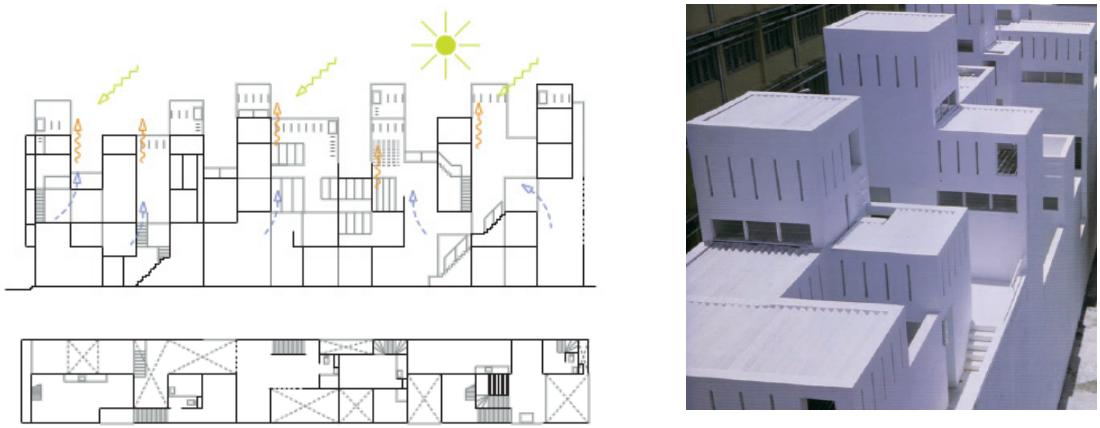


Figura V.9 Viviendas Space Block Hanol Model. Hanoi. Vietnan. Kazuhiro Kojima.
El Movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico. Ministerio de Fomento, 2011.

Los **atrios** funcionan como patios interiores cubiertos por una superficie acristalada en los cuales se produce un calentamiento del aire encerrado por efecto invernadero. Mediante el control de las aberturas situadas en la parte alta del atrio, se puede forzar la ventilación por efecto de tiro térmico que se produce al evacuar el aire caliente al exterior. Para favorecer la ventilación de las zonas interiores situadas a mayor altura, es conveniente que las aberturas del atrio sobresalgan por encima de la última planta para que se acentúe la diferencia de altura entre ellas. Las aberturas de extracción deben tener suficiente dimensión y situarse a sotavento para que evacúe el aire caliente y no acabe introduciéndose en las plantas más altas.



CON TIRO TÉRMICO
Aspiración estática (efecto Venturi)

Se genera el movimiento del aire interior a partir de la energía cinética producida por efecto Venturi al incidir los vientos dominantes en un dispositivo estático de aspiración.

Estos sistemas producen una depresión en el interior del edificio aprovechando el efecto Venturi sobre un elemento instalado en la parte más alta del edificio, donde la velocidad del viento adopta valores mayores y encuentra espacio libre para circular sin la interferencia de obstáculos. La aceleración de la velocidad en cubierta generará un efecto de succión desde este punto, que debe compensarse por una entrada de aire por la capa inferior.

Cuando el aire que deseamos ventilar no tiene suficiente impulso ascensional como consecuencia de la diferencia de densidad con los de su entorno para favorecer la necesaria flotación, la ventilación natural deja de ser eficiente. En estos casos, los condicionamientos atmosféricos no son favorables para que se produzca un flujo que permita la ventilación, por lo que se deben disponer elementos que introduzcan potencia adicional al sistema para que la ventilación esté asegurada. Esto es lo que conocemos como tiro forzado.

La aplicación en edificios más habitual del tiro forzado consiste en la existencia de chimeneas colectivas prefabricadas y tomas individuales en las estancias de servicio (cocinas, inodoros, y estancias interiores que así lo necesiten). En este sistema cada toma no irá unida directamente al conducto principal sino a uno auxiliar que llega a otro general después de un cierto recorrido a lo largo de una planta, venciendo las pérdidas de carga que ello suponga y con una velocidad suficiente. Las tomas de las dos últimas plantas no se unirán al colector, para conseguir una altura de tiro suficiente, por lo que el final del conducto tendrá tres salidas independientes, coronado todo ello por un aspirador estático.

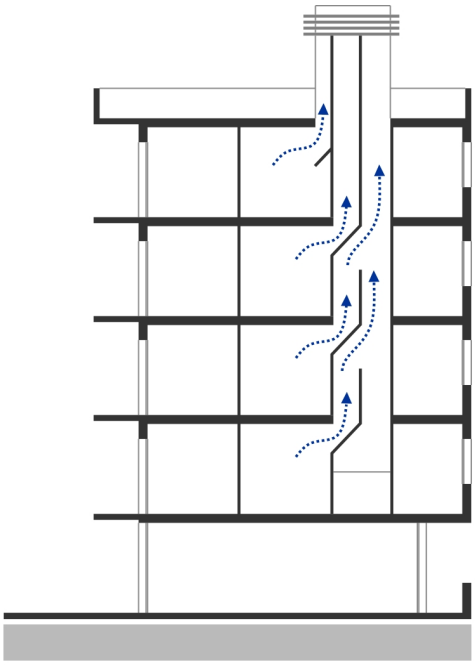


Figura V.10 Esquema de ventilación mediante chimeneas para edificación.

El tiro deberá establecerse desde las estancias más limpias a las menos limpias (cocinas y servicios higiénicos) para evitar olores y posibles condensaciones. Las tomas individuales deben ponerse exclusivamente en los locales citados.

Dado que la capacidad de flotación de los gases de salida depende de la diferencia de densidad (y de temperatura) de los gases de salida con los del exterior, esto se ve mejorado cuando el edificio es de cierta altura (aproximadamente más de 7 plantas) y en períodos invernales debido a la calefacción. Cuando las diferencias de temperatura no sean grandes o las condiciones atmosféricas muy estables, este fenómeno puede verse minorado e incluso invertirse el tiro, por lo que tiene gran importancia el aislamiento de las paredes de chimeneas y conductos de salida.

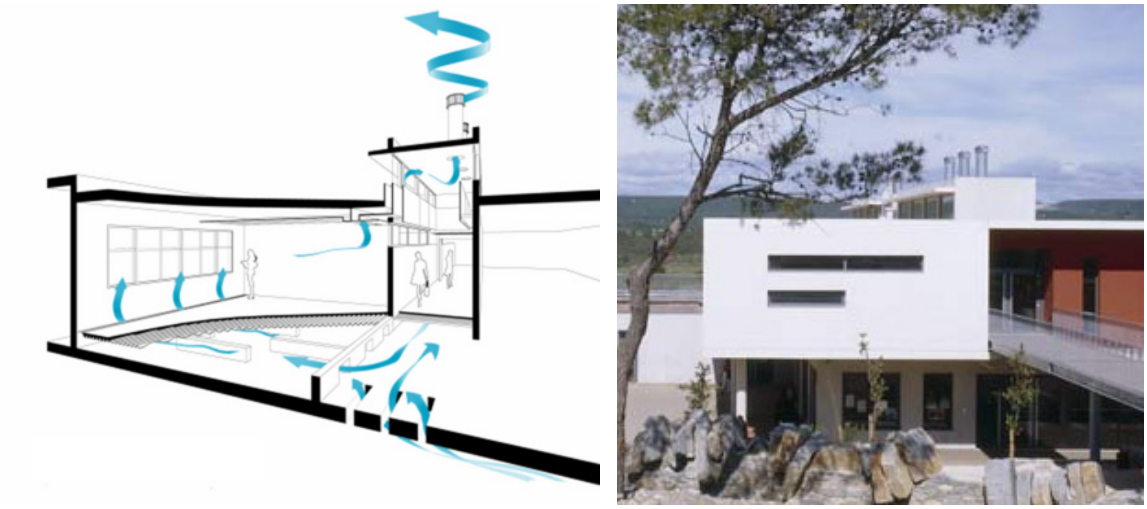
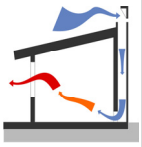


Figura V.11 St. Clément de Rivière. Francia. Agence Pierre Tourre. Las aulas ventilan de forma natural. En la parte superior del pasillo central hay unas chimeneas que tienen una compuerta de regulación del flujo de aire y un dispositivo helicoidal para favorecer la aspiración y aumentar el flujo de aire en el espacio interior. De esta forma las aulas tienen una temperatura inferior en 3-6°C a la del aire exterior. EULEB (EUropean high quality Low Energy Buildings)



INDUCIDA
Torre de viento

Es un dispositivo arquitectónico que conduce el viento que circula por encima de la edificación hacia el interior de la misma.

Los captadores pueden ser unidireccionales, cuando existe una clara dirección predominante de vientos o multidireccionales, cuando son capaces de conducir vientos provenientes de cualquier dirección. Para ello, disponen de elementos giratorios o bocas superiores múltiples que se cierran, a excepción de la que se encuentra en dirección al viento, forzándolo a descender para que luego suba por efecto chimenea. Esto genera la ventilación que refresca significativamente las partes inferiores de los edificios. El comportamiento sería similiar a una ventana u orificio común por donde entra aire muy caliente y muy seco, con orientación en la dirección del viento. La ventaja es que se fuerza una aireación normalmente en condiciones de baja humedad con una capacidad de mejorar el confort térmico importante.

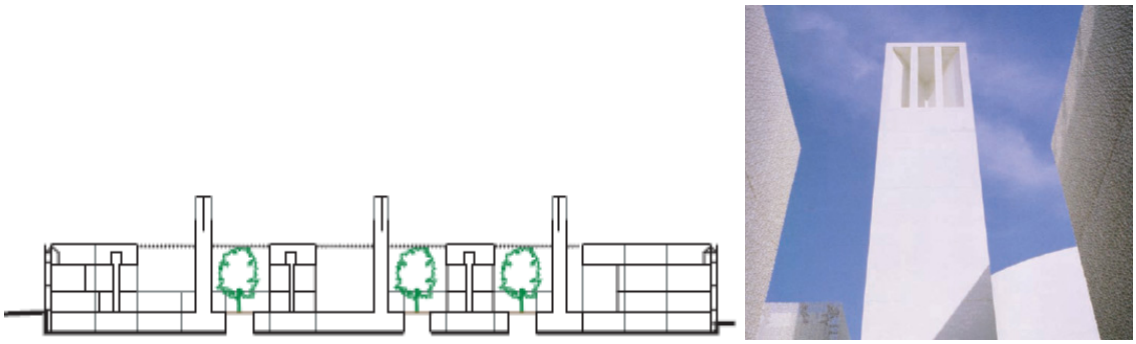
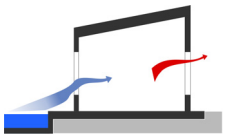
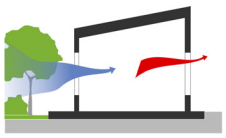
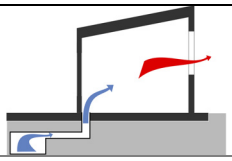
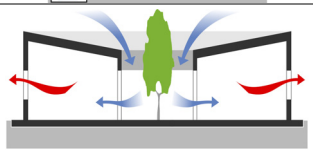
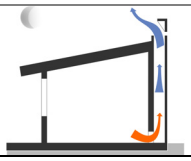
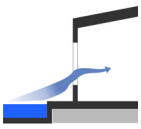


Figura V.12 Facultad de Humanidades y Ciencias. Doha. Catar. Kazuhiro Kojima, Kazuko Akamatsu. El Movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico. Ministerio de Fomento, 2011.

TA TRATAMIENTO DEL AIRE

El aire introducido en la edificación puede ser tratado previamente para reducir su temperatura o incrementar el grado de humedad. El enfriamiento evaporativo se basa en la utilización del agua o de vegetación que absorba el exceso de calor e incremente el grado de humedad por evaporación. También se pueden emplear otras estrategias de preenfriamiento, para reducir la temperatura del aire, haciendo pasar el aire a través de elementos que no estén expuestos a la radiación solar o conductos enterrados o mediante el uso de la refrigeración nocturna.

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO Utilización del agua o de vegetación que absorba el exceso de calor e incremente el grado de humedad por evaporación.	Agua	
	Vegetación	
REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA Utilización de sumideros de calor para preenfriar el aire	Conductos enterrados	
	Patios	
	Refrigeración nocturna	



ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO
Agua

Consiste en incrementar la cantidad de vapor de agua que contiene el aire que va a ser introducido en el edificio. Los líquidos al pasar del estado líquido al gaseoso absorben energía del aire que se encuentra en contacto con ellos. En concreto, la energía necesaria para evaporar un gramo de agua permite reducir en 2,2ºC la temperatura de un metro cúbico de aire[44].

Las estrategias de enfriamiento basadas en aumentar el grado de humedad del aire que entra al interior son más efectivas en climas cálidos y secos con escasa humedad relativa (en torno al 30%). El aire de los ambientes muy húmedos, tiene poca capacidad de incrementar su contenido en agua por lo que la evaporación de agua será mínima.

El aporte de humedad para enfriar el aire puede realizarse mediante el paso del aire a través de elementos de cerramiento con agua (cortinas de agua), en el propio conducto de ventilación como el caso de las **torres evaporativas** o bien situando **fuentes o láminas de agua** en los espacios previos a la entrada de aire en la edificación.

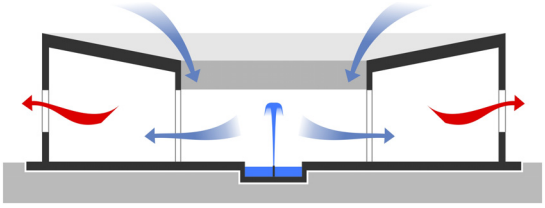


Figura TA.1 Fuente situada en patio interior.

La **torre evaporativa** es un sistema constructivo que permite la entrada del aire a la edificación, a la vez que modifica el contenido de humedad del mismo. Este aire que entra se enfría por evaporación del agua que humedece las paredes en su interior. El aire cargado de humedad desciende en la torre y entra en el habitáculo, forzando así una corriente desde las partes más altas de la chimenea y facilitando la entrada de aire más húmedo y fresco en el espacio interior.

Es importante con esta configuración, tener en cuenta que la flotación (en este caso negativa, puesto que el aire húmedo es más pesado y tiene que descender) es pequeña, por eso para que se produzca el movimiento del aire es útil, en muchas ocasiones, disponer de otros sistemas de apoyo, bien en combinación con movimientos forzados o semiforzados (efecto Venturi en la parte superior de la torre) o bien en combinación con una acción del viento que apoye la entrada por acción mecánica. Asimismo hay que tener en cuenta que las paredes deben estar persistentemente mojadas para que el sistema sea continuadamente efectivo, lo que deberá ser previsto desde un principio.

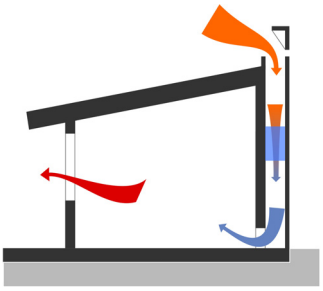




Figura TA.2 Torre evaporativa. Instituto Tata de Ciencias Sociales Campus Rural en Tuljapur (India) de RMA Architects.

[44] *Neila, J "Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible". Ed. Munilla-Lería 2004.*

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO
Vegetación



Los árboles y la vegetación son capaces de enfriar el entorno mediante dos acciones: de forma directa a través de la sombra arrojada sobre los edificios, al obstruir la radiación solar, y de forma indirecta mediante el fenómeno de evapotranspiración. Los árboles usan el calor para evaporar agua a través de sus hojas. Un árbol es capaz de evaporar 500 kg de agua al año por cada m^2 de superficie exterior, por lo que el enfriamiento que se produce alrededor de ellos puede llegar a ser mucho más importante que el que se produce de manera directa.

Este fenómeno resulta efectivo cuando se trata de grandes masas de árboles suficientemente permeables situadas en la dirección de origen de los vientos dominantes, de modo que el aire que se utilice para la ventilación natural se refrigere previamente al atravesarlos. La propia vegetación puede utilizarse como elemento de acanalamiento del viento para dirigirlo hacia las aberturas de las edificaciones.

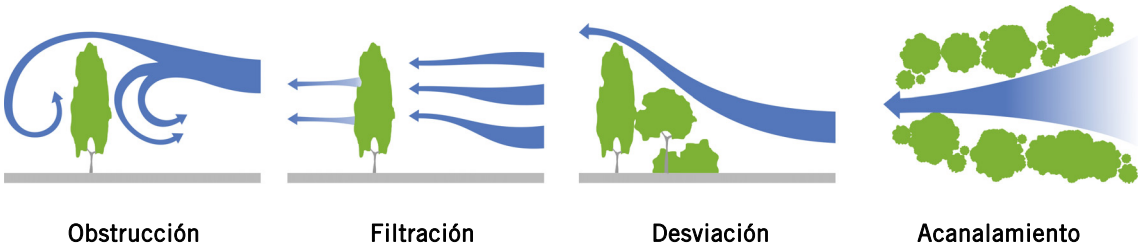
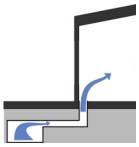


Figura TA.3 Efectos de la vegetación en el viento.

En zonas construidas en entornos de parques o jardines urbanos, las temperaturas pueden llegar a reducirse hasta 3ºC por el efecto de la evapotranspiración.



ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO
Conductos enterrados

Normalmente se utiliza este tratamiento en los sistemas de ventilación inducida que se basan en la introducción de aire fresco en la edificación. Los conductos enterrados utilizan el terreno como sumidero de calor, de modo que haciendo pasar una corriente de aire a través de ellos durante suficiente recorrido, se llega a igualar la temperatura del flujo a la del terreno.

A una profundidad aproximada de 14 m, la temperatura del terreno permanece estable con valores próximos a la media anual. A mayor profundidad se consiguen menores temperaturas pero aumenta la presión ejercida sobre el tubo, lo que requiere de mayores espesores que pueden reducir el grado de conductividad con el terreno. Por otro lado, es necesario disponer de suficiente espacio exterior alrededor de la edificación para enterrar el conducto.

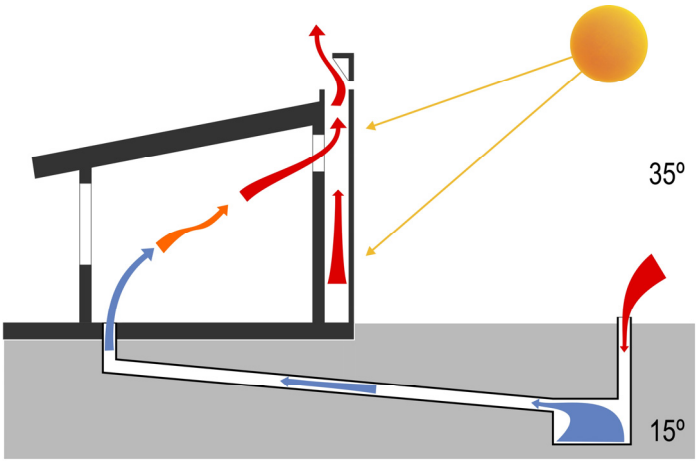
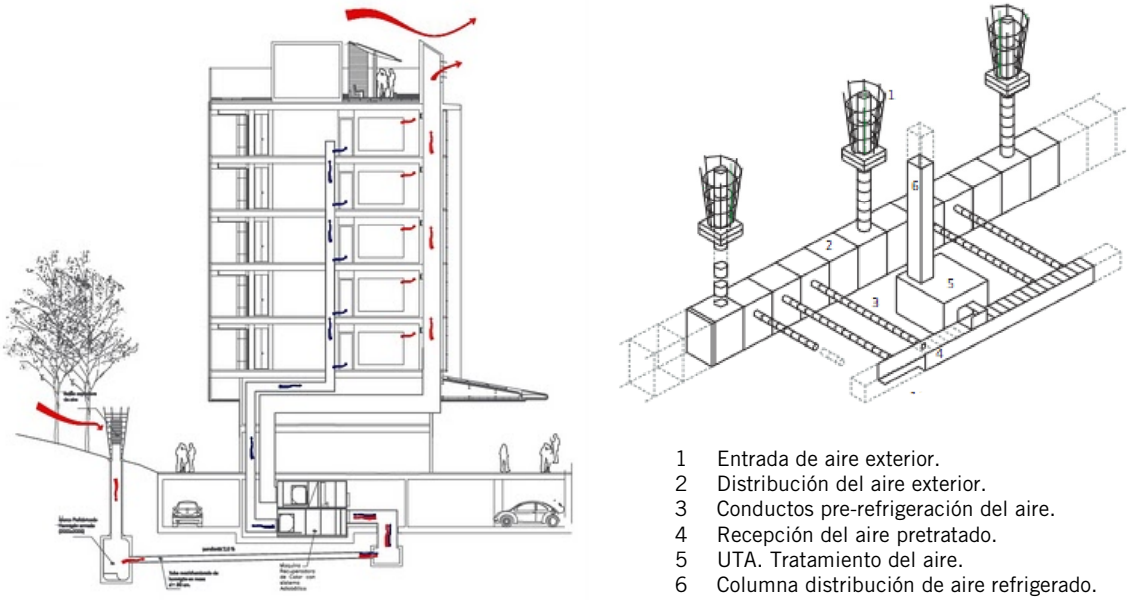
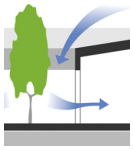


Figura TA.4 Esquema de intercambio de temperatura con el suelo.



1 Entrada de aire exterior.
2 Distribución del aire exterior.
3 Conductos pre-refrigeración del aire.
4 Recepción del aire pretratado.
5 UTA. Tratamiento del aire.
6 Columna distribución de aire refrigerado.

Figura TA.5 Sistema de refrigeración por conductos enterrados. Edificio de viviendas en Móstoles. Larrea-Gómez-Prieto.



REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA
Patios

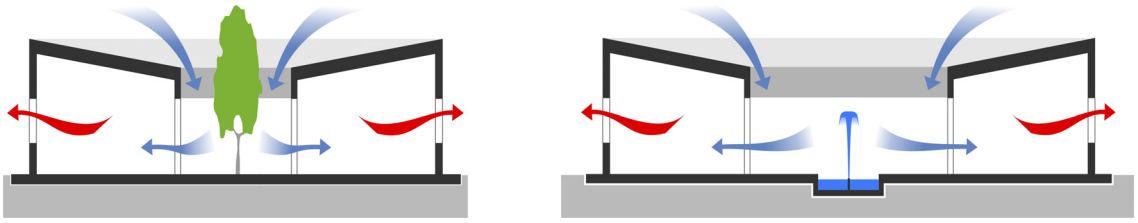
La existencia de un patio interior en una edificación es un recurso compositivo que permite crear un espacio abierto dentro del volumen de un edificio, tal que genere unas condiciones atmosféricas controladas y actúe como regulador entre las condiciones exteriores e interiores.

Entre otros aspectos (control de luz y ruido) ejerce un control sobre las condiciones de temperatura y humedad que, obviamente, afectan al confort del conjunto de la edificación.

El patio es un dispositivo que regula la ventilación dentro de la vivienda, ya que el aire permanece estable a pesar de que sea muy variable en el exterior.

Su funcionamiento se basa en la acumulación de aire frío para utilizarlo como sumidero de calor y fuente de refrigeración del espacio interior, a partir del movimiento generado por la diferencia de densidad entre las dos masas de aire.

Para potenciar este funcionamiento la dimensión en planta del patio debe ser pequeña y con suficiente altura para evitar que la radiación solar caliente el aire acumulado.



En los casos en que en este espacio interior, además exista una fuente, se añade el efecto refrigerante que se produce al invertir el calor del entorno en la evaporación del agua, con lo que se modifica la humedad relativa en la zona y se consigue una sensación de confort térmico. El tomar calor de las zonas circundantes puede favorecer asimismo un movimiento convectivo del aire y tener un efecto positivo sobre la ventilación. Otros efectos pueden ir ligados a la existencia de patios, como la posibilidad de disponer de elementos vegetales o de sombra, que afecten a la ventilación por modificaciones en la temperatura del patio, al hacerlo una zona más fresca y forzar el aire menos pesado hacia zonas más cálidas de la edificación.

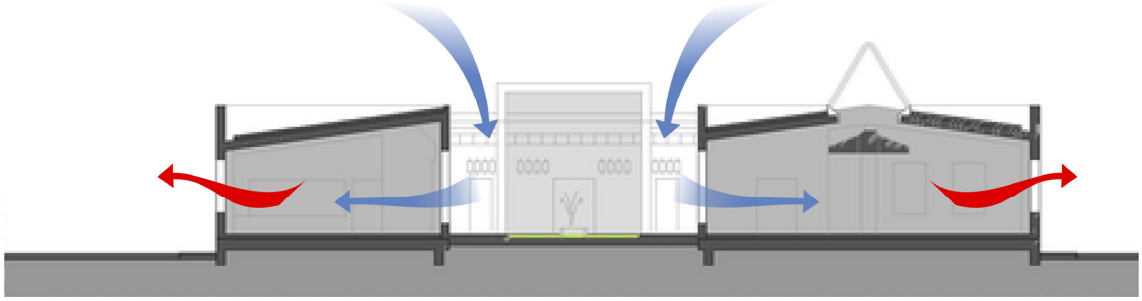
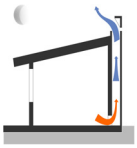


Figura TA.6 Centro ATAM. Sevilla. La ventilación natural es uno de los recursos más importantes para mantener el edificio en condiciones de confort en los períodos calurosos, que en este clima son los más habituales. Para favorecerla se han articulado los espacios del edificio en torno a dos patios que generan unas condiciones de temperatura del aire y humedad adecuadas para conseguir mover el aire más fresco del patio a través de los espacios donde están las personas trabajando para mejorar su sensación térmica, tanto por la entrada de aire más fresco, como por el movimiento de aire que se genera. Para conseguir que los patios estén frescos hay que procurar que la radiación solar no incida en ellos por lo que en verano, cuando la trayectoria solar es más vertical, se protegen con toldos. E
ULEB (EUropean high quality Low Energy Buildings)



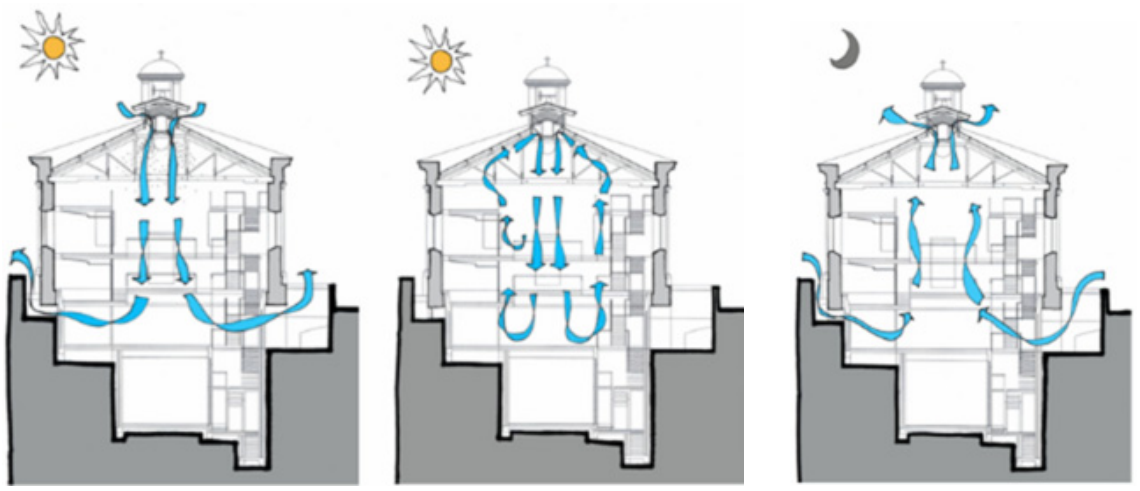
ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO
Refrigeración nocturna

Se utiliza para evacuar el calor almacenado dentro del edificio durante el día, mediante su ventilación intensiva aprovechando el viento fresco de la noche.

La ventilación nocturna es útil en los casos en que se mantiene el edificio cerrado durante las horas calurosas diurnas y se procede a ventilar la masa estructural durante la noche, cuando las temperaturas hayan descendido. La masa del edificio enfriada por la noche, actúa al día siguiente como acumulador térmico, absorbiendo el calor que entra al edificio así como el que pueda generarse en el mismo. Durante el día, el flujo de calor desde el aire interior a la masa fría, se transmite por convección natural o radiación. Durante la noche, el edificio irradia el calor hacia el exterior y se disipa el aire almacenado en su interior mediante una ventilación intensiva.

Esta estrategia será posible en regiones en que la temperatura exterior se encuentre por debajo de la temperatura de confort durante la noche.

Los resultados se aprecian sobre todo en climas donde las temperaturas diurnas son elevadas y las nocturnas bajan, con oscilaciones térmicas de 10ºC como mínimo entre el día y la noche.



VERANO-DÍA
PDEC (Passive Downdraught Evaporative Cooling)

VERANO-DÍA
Cooling Coil

VERANO-NOCHE
Ventilación convectiva nocturna

Figura TA.7 Sistema de refrigeración híbrido. Refrigeración en verano mediante ventilación convectiva nocturna. Malta Stock Exchange. Valletta. Malta. Brian Ford Associates. La ventilación del atrio se asegura con las aberturas situadas en la parte superior del techo y en los muros orientados a Este, Oeste y al Sur al nivel de planta baja. La ventilación convectiva nocturna funciona con la temperatura exterior por debajo de 23°C. En este caso, las aberturas situadas arriba y abajo del atrio se abren. La diferencia de temperaturas induce el tiro térmico invirtiendo la circulación respecto a la diurna. El aire entra por abajo y por convección térmica sube y sale por arriba. La inercia térmica de la obra ayuda a estabilizar las condiciones en el edificio y la celosía de madera lo protege de la radiación solar. EULEB (EUropean high quality Low Energy Buildings)

A

ANEJOS

ESTUDIO DE SOLEAMIENTO

GUÍA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA EDIFICACIÓN

A1 ESTUDIO DE SOLEAMIENTO

A1.1. Caracterización gráfica

Con el fin de conocer la dirección que tiene la radiación solar en un instante concreto y en un lugar concreto, se utilizan unos instrumentos gráficos denominados 'Cartas Solares'. Una carta solar es un gráfico donde se representa la posición del Sol en el cielo, de donde se puede deducir la dirección de incidencia de la radiación solar para un día concreto y para una hora concreta. La imagen que aparece en una carta solar representa las trayectorias que produce el sol sobre el cielo a lo largo de un año, de modo que la forma de dichas trayectorias resulta de la posición relativa entre el Sol y la Tierra.

Los movimientos relativos del sistema Sol-Tierra dan lugar a la sucesión de los periodos Día-Noche; en el caso de la rotación, y a la sucesión de las estaciones en el caso de la traslación.

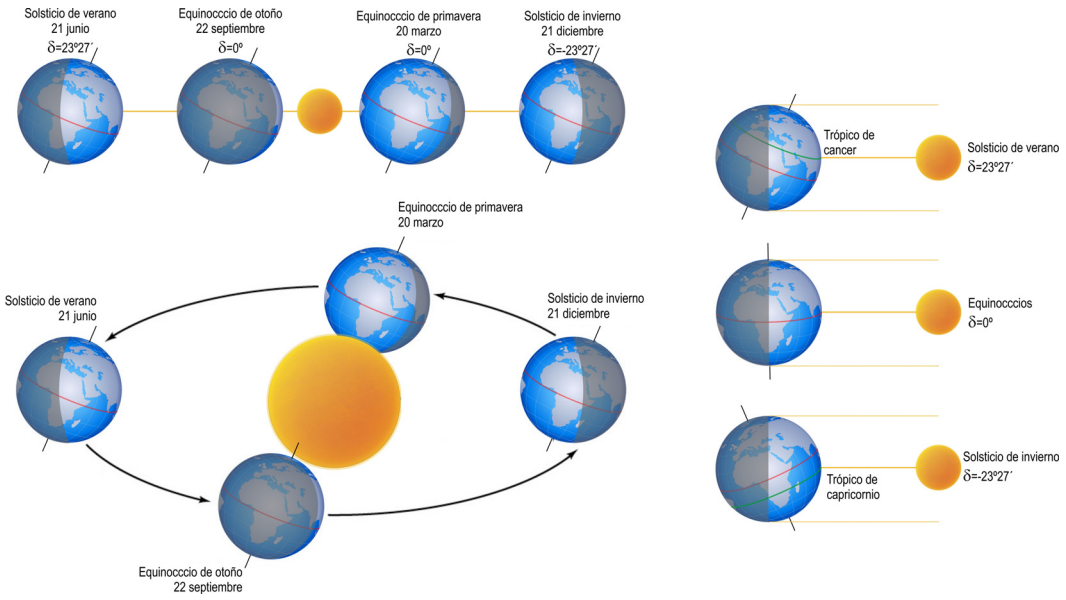


Figura A1.1 Posición relativa Tierra – Sol durante los solsticios y equinoccios

Durante los equinoccios, el movimiento diurno del Sol produce sobre la bóveda celeste un círculo máximo perpendicular al eje de rotación de la Tierra, que coincide con el ecuador de la esfera celeste. Para cualquier otro día del año, la trayectoria del sol sobre la esfera celeste es asimilable a una circunferencia contenida en un plano paralelo al ecuador celeste, separado del mismo un ángulo igual a la declinación correspondiente al día que se estudia, registrando sus posiciones extremas en los solsticios.

Coordenadas solares

El **acimut** (a) es el ángulo que éste segmento forma con la dirección norte del diagrama. Puede leerse sobre la escala dibujada en el horizonte (borde exterior) de la carta solar.

La **altura sobre el horizonte**, altura solar o elevación (h) es el ángulo que forma el vector con su proyección sobre el plano horizontal. Para leer su valor en la carta solar, se puede comparar con la escala de alturas angulares, que tiene un valor de 0º para el horizonte, y de 90º para la vertical del lugar.

El **cenit** es el punto que se encuentra sobre la vertical del lugar, y por tanto le corresponde una altura sobre el horizonte h=90º.

El **orto** y el **ocaso** solar son los puntos de horizonte por los que sale y se pone el sol un día concreto. Las coordenadas solares correspondientes al orto y el ocaso tiene h=0, y un valor de acimut variable a lo largo del año, teniendo desviación hacia el norte en primavera y verano, y desviación hacia el sur en otoño e invierno. Precisamente en los equinoccios, las coordenadas angulares (α, h) del orto son: (90, 0) y las del ocaso (270,0) que corresponden a la dirección este y oeste respectivamente.

Cartas solares estereográficas

La representación de la Bóveda Celeste, con las trayectorias solares en proyección estereográfica recibe el nombre de **Carta Solar Estereográfica**. Dicho sistema representa por proyección cónica los puntos situados sobre la superficie de una esfera, utilizando para ello un punto de la propia esfera como centro de proyección, y el plano ecuatorial perpendicular al radio definido por el centro de proyección como plano del cuadro.

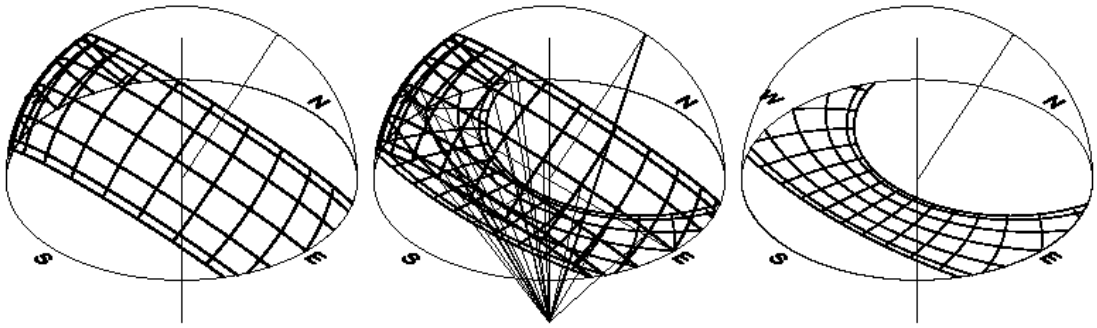


Figura A1.2 Carta estereográfica.

A efectos de dotar a las cartas solares de una cierta continuidad que permita su uso en el cálculo del vector solar, se suelen representar sobre la misma, además de las trayectorias solares correspondientes a los solsticios y equinoccios, los días 22 de cada mes, y las líneas horarias, considerando las 12:00 hora solar el momento del paso del Sol sobre el meridiano del lugar. Cabe destacar que entre la hora solar, que considera las 12:00 como el momento en que el sol pasa sobre el meridiano del lugar, y la hora civil, que es la que marcan los relojes, existen diferencias.

En la Comunitat Valenciana, dichas diferencias son aproximadamente de 1h en el horario de invierno, y de 2h en el de verano. El uso de las cartas solares estereográficas permite conocer la dirección del vector solar para un día y una hora concreta.

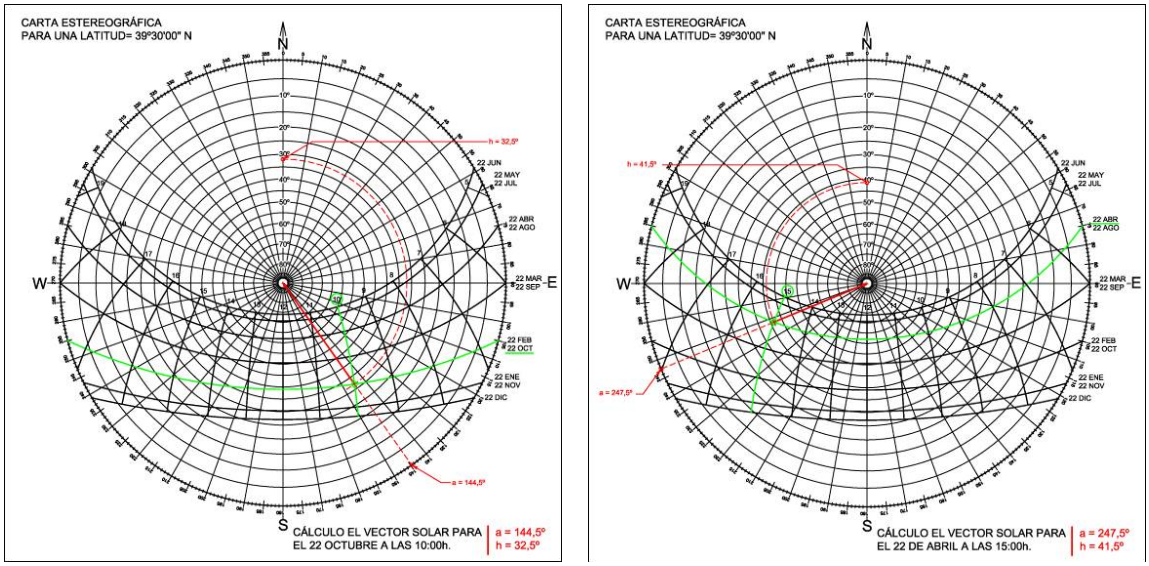
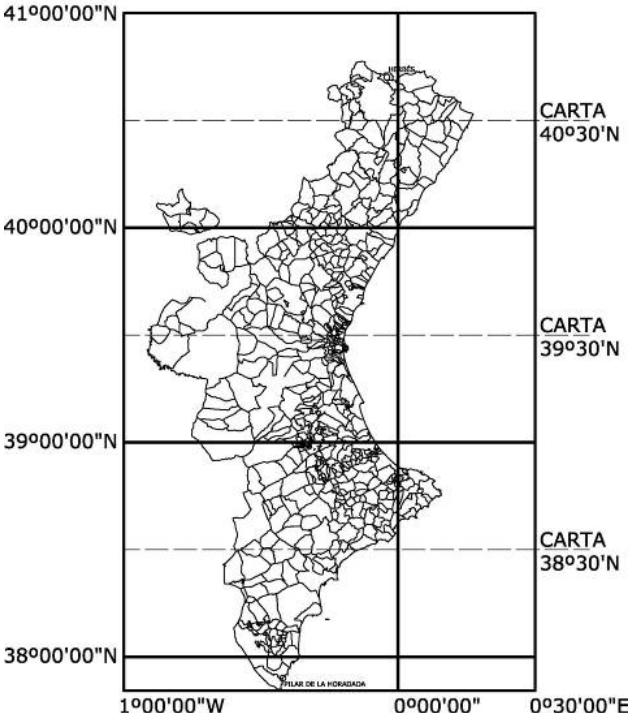


Figura A1.3 Carta estereográfica para Latitud=39°30´00´´.

En los ejemplos anteriores se muestra la carta solar estereográfica correspondiente a una latitud de 39º30'. Para calcular la dirección del vector solar correspondiente a un día y hora concreta, hay que localizar sobre el diagrama las líneas que representan el día y la hora (en verde). Localizado el corte entre las dos líneas, basta con unir el punto principal del diagrama con el punto que representa dicha fecha y hora (en rojo). A partir de la representación del vector solar, se pueden calcular sus dos coordenadas angulares: acimut (a) y altura solar (h)

Para el uso de la carta solar aplicada a una ubicación concreta, es necesario construirla a partir de los datos correspondientes a la latitud del lugar.



Analizando las cartas solares estereográficas correspondientes a los dos municipios extremos de la Comunitat Valenciana, por el norte y por el sur, puede comprobarse que la posición relativa de las trayectorias solares varía muy levemente (sólo 2º51') entre ambas ubicaciones. Aunque dicha variación puede ser importante a otros efectos, en el caso del cálculo de la dirección de la incidencia solar resulta prácticamente despreciable.

A efectos de su aplicación en la Comunitat Valenciana, se propone dividir la misma en tres zonas de 1º de latitud de anchura, dibujando la carta correspondiente al centro de cada zona. De este modo, la diferencia de latitud entre cualquier ubicación, y la carta solar correspondiente es inferior a 30'.

Figura A1.4 Distribución de cartas solares en la Comunitat Valenciana en función de la latitud.

		CARTA 40º 30´ N	CARTA 39º 30´ N	CARTA 38º 30´ N
Solsticio invierno 22 DIC	Orto	**121º** 27' 23,2"	**121º** 02' 00,9"	**120º** 33' 03,6"
	Ocaso	**238º** 32' 36,8"	**238º** 57' 59,1"	**239º** 26' 56,4"
	Elevación	**26º** 03' 32,6"	**27º** 03' 32,6"	**28º** 03' 32,6"
Solsticio verano 22 JUN	Orto	**58º** 27' 23,2"	**58º** 57' 59,1"	**59º** 26' 56,4"
	Ocaso	**301º** 32' 36,8"	**298º** 02' 00,9"	**300º** 33' 03,6"
	Elevación	**72º** 56' 27,4"	**73º** 56' 27,4"	**74º** 56' 27,4"

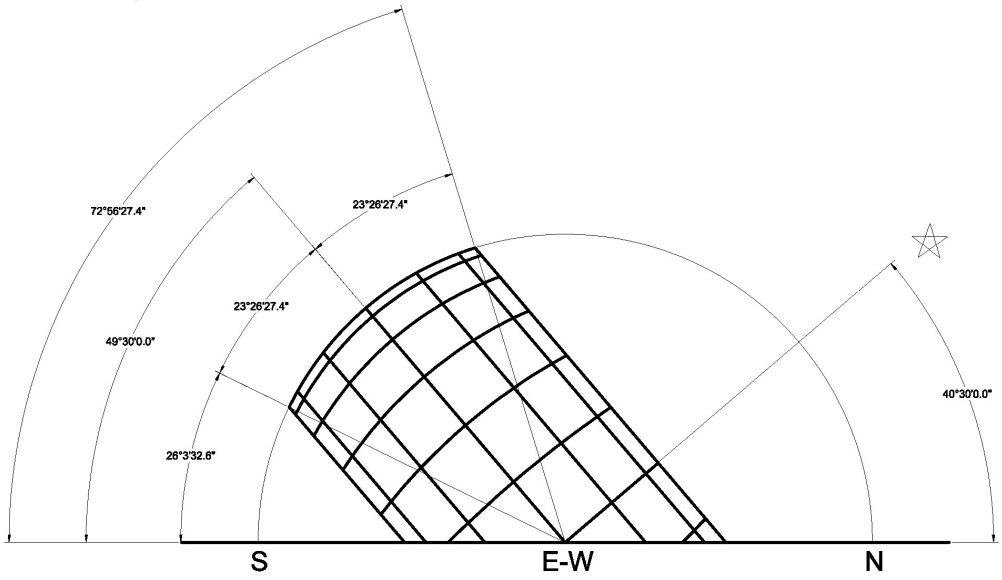
Figura A1.5 Valores de acimut del orto y ocaso, y valores de altura máxima para los solsticios

Cartas solares en la Comunitat Valenciana en función de la latitud

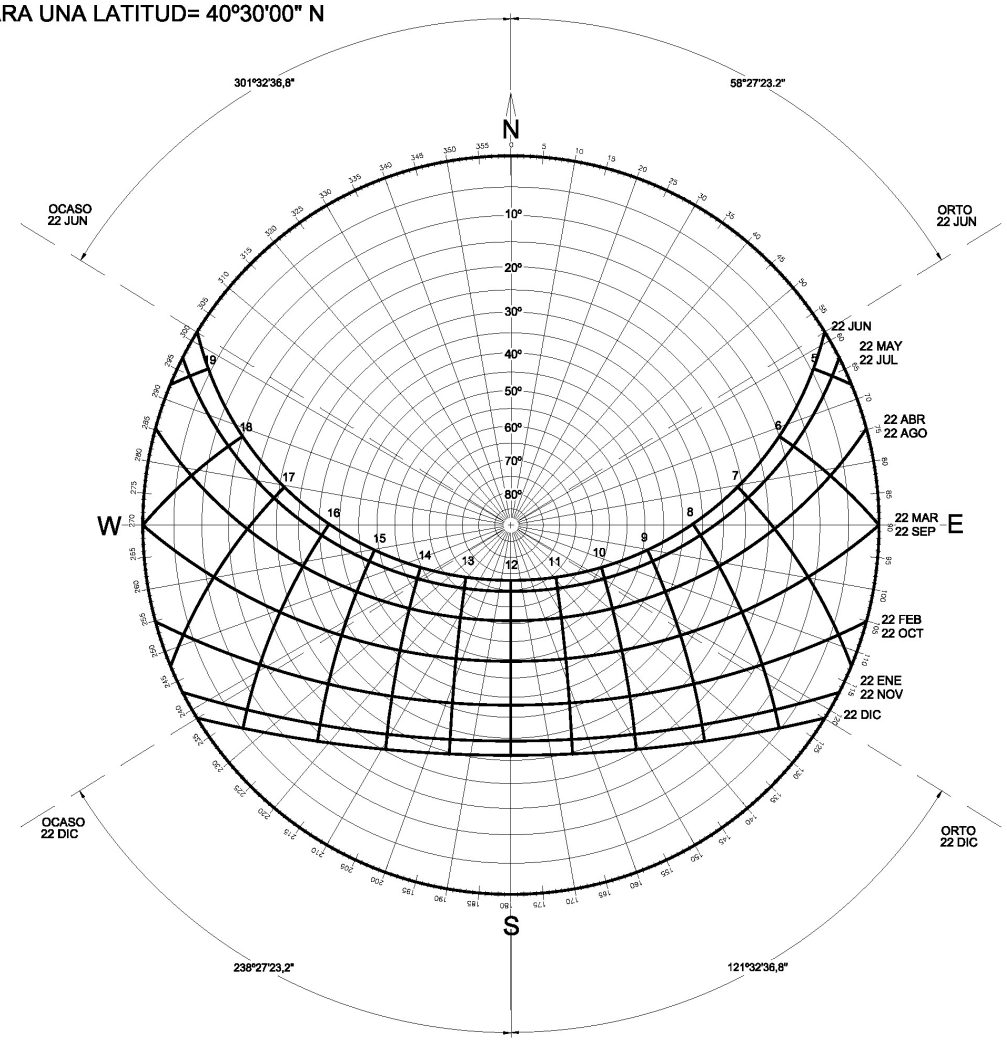
CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA UNA LATITUD 40º30´00´´N

Altura máxima sobre el horizonte
Para Solsticios y Equinoccios

Lat:40º30'00" N



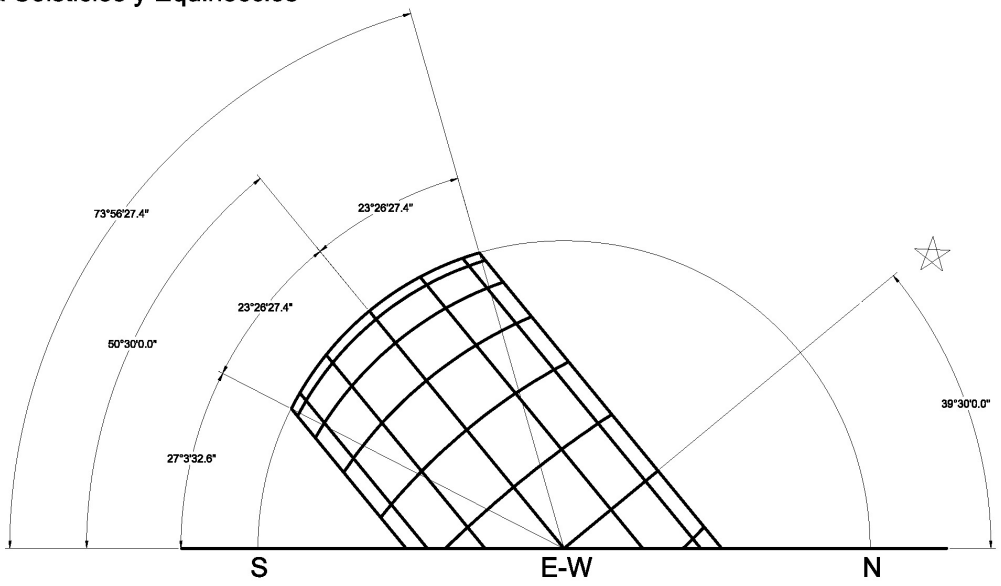
ACIMUT EXTREMO PARA ORTOS Y OCASOS
PARA UNA LATITUD= 40º30'00" N



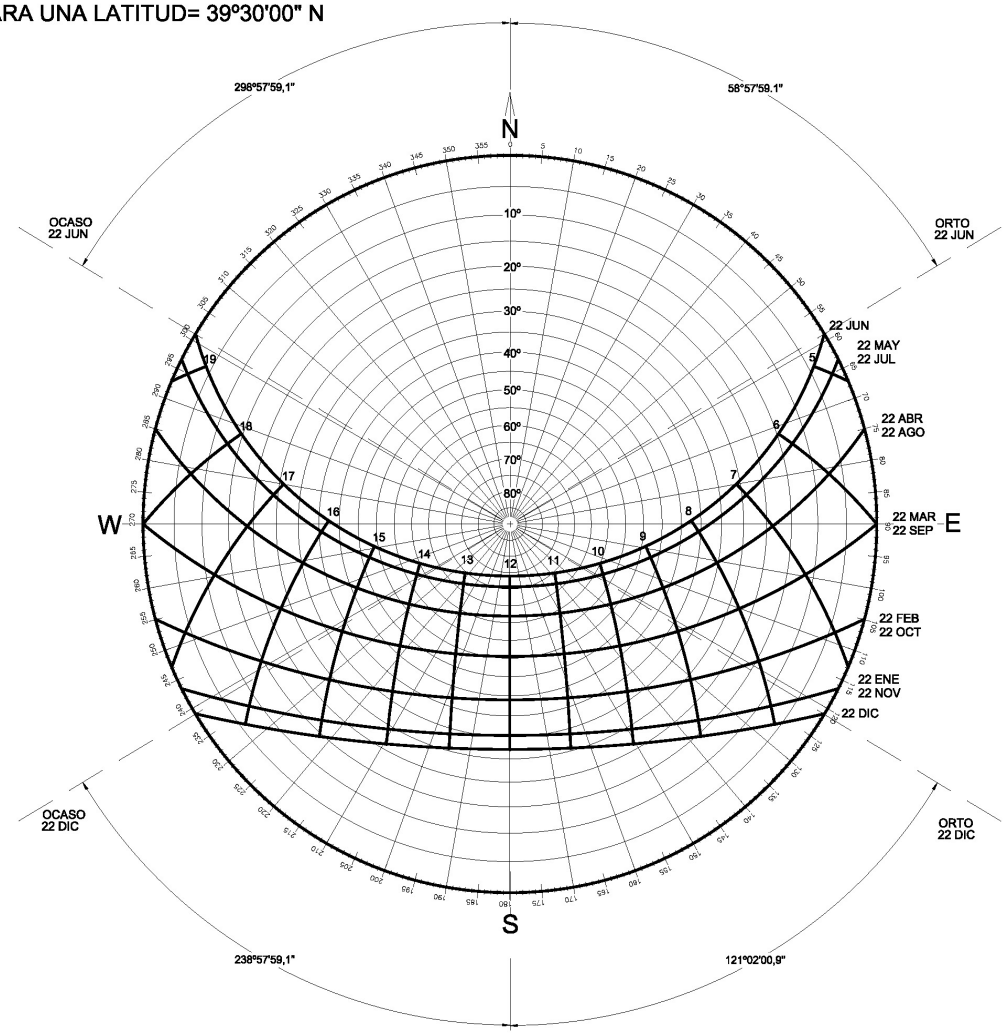
CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA UNA LATITUD 39º30´00´´N

Altura máxima sobre el horizonte
Para Solsticios y Equinoccios

Lat: 39º30'00" N



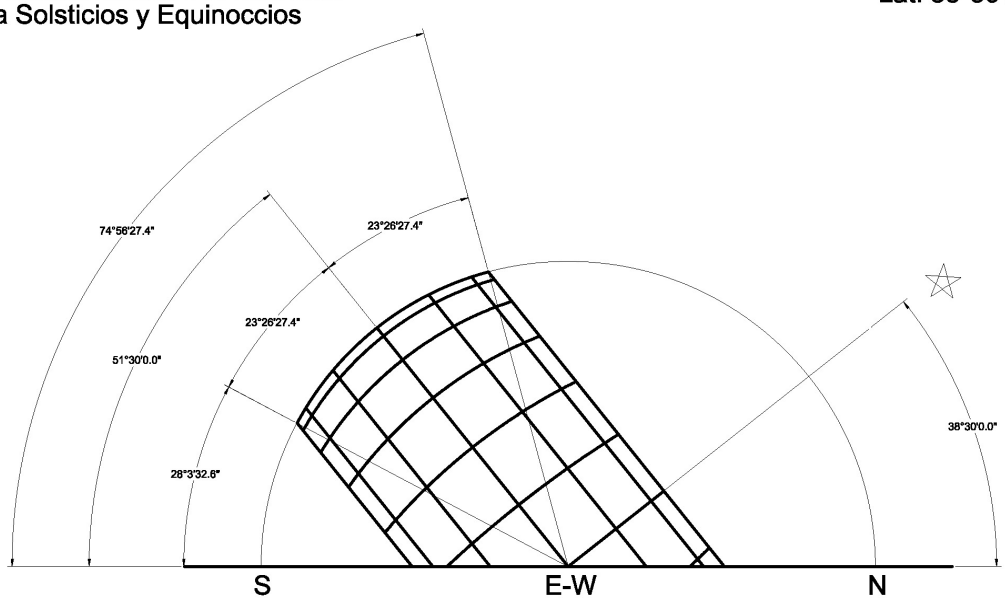
ACIMUT EXTREMO PARA ORTOS Y OCASOS
PARA UNA LATITUD= 39º30'00" N



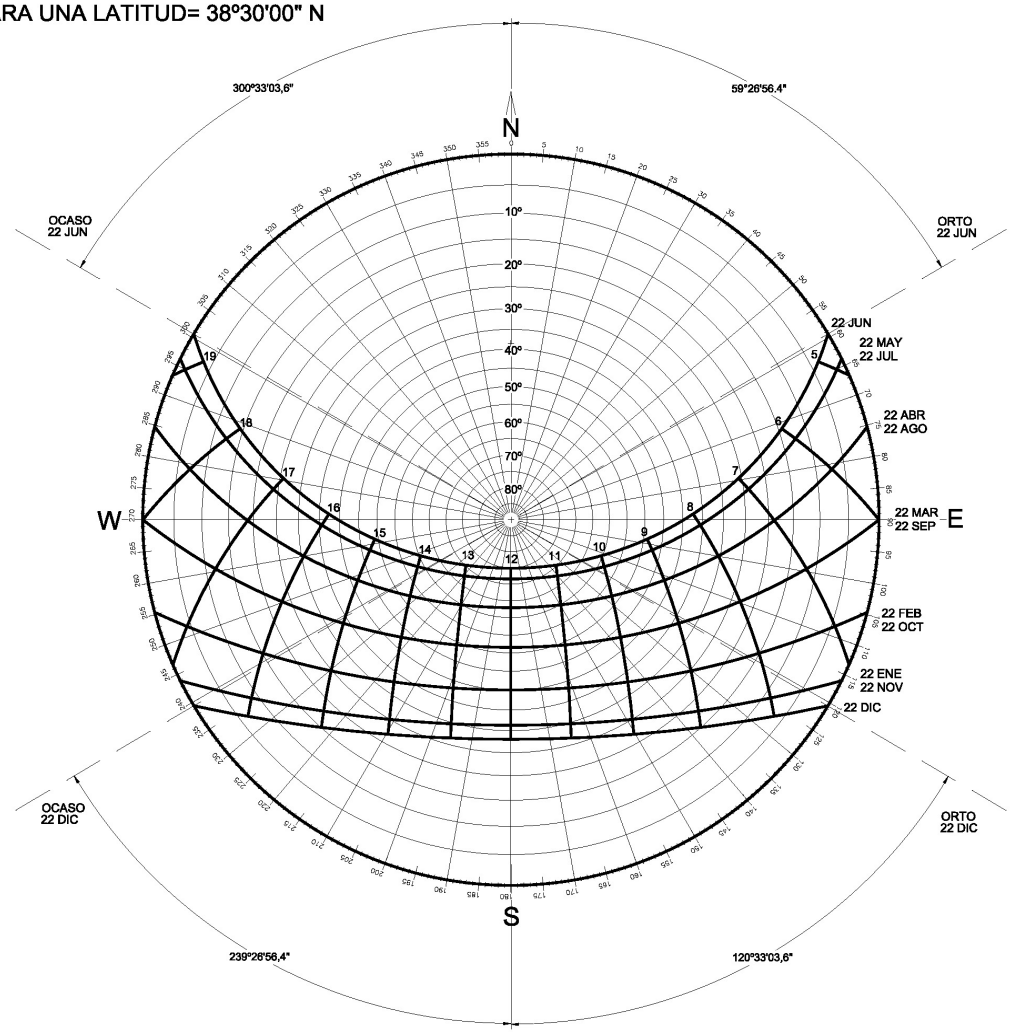
CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA UNA LATITUD 38º30´00´´N

Altura máxima sobre el horizonte
Para Solsticios y Equinoccios

Lat: 38º30'00" N



ACIMUT EXTREMO PARA ORTOS Y OCASOS
PARA UNA LATITUD= 38º30'00" N



Cartas solares cilíndricas

La carta solar cilíndrica[45] utiliza el sistema de proyección cónico para la representación de la bóveda celeste. Se sirve como centro de proyección del centro de la bóveda celeste y como superficie de cuadro, un cilindro de revolución cuyo eje coincide con la vertical del lugar y es tangente a la bóveda celeste en el círculo del horizonte. El cilindro que actúa como superficie del cuadro debe ser desarrollado sobre un plano, con el fin de hacer observable la imagen obtenida por proyección sobre su superficie.

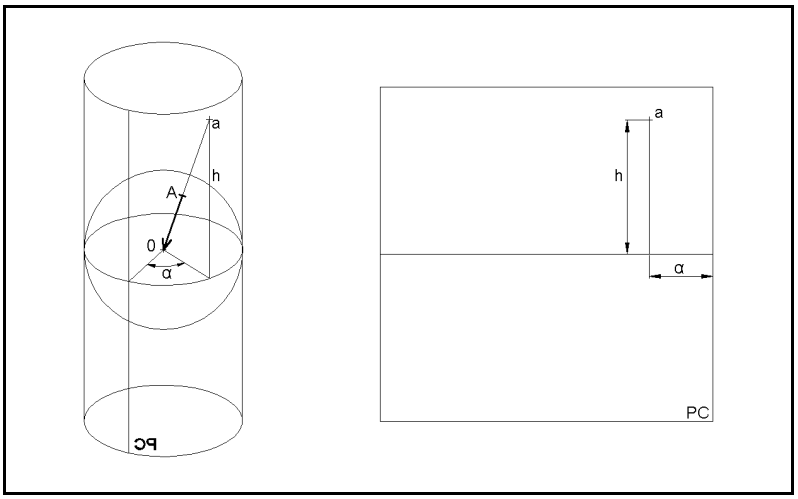


Figura A1.6 Elementos del sistema cilíndrico de proyección

Un punto (A) situado sobre la esfera celeste queda proyectado sobre la superficie interior del cilindro, (a) que al ser desarrollado permite localizar sobre su superficie las coordenadas de acimut (α) y de altura sobre el horizonte (h) que identifican la proyección. La escala del azimut resulta de desarrollar la circunferencia de tangencia entre el cilindro y la bóveda celeste. La escala de la altura sobre el horizonte es una escala lineal afectada por el valor de la tangente del ángulo que representa.

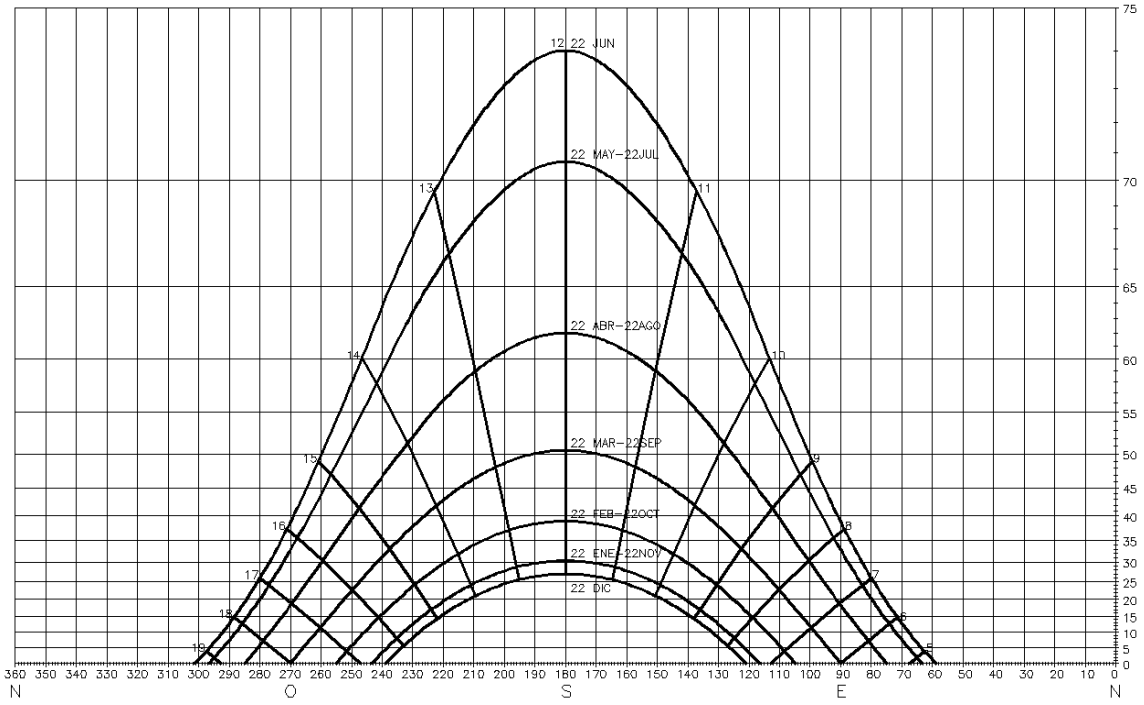


Figura A1.7 Carta solar cilíndrica para una latitud de 39°30'

[45] *Marzria, E. (1983): El Libro de la Energía Solar Pasiva. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.*

La carta solar cilíndrica no puede representar el punto sobre la esfera celeste que se encuentra sobre la vertical del lugar, dado que dicho punto no tiene imagen sobre la superficie del cilindro, por ser su rayo proyectante paralelo al eje de éste. La representación del cenit del lugar sobre una carta cilíndrica obligaría a utilizar una escala vertical de longitud infinita. Por ello, los puntos con altura del horizonte próxima a la vertical del lugar, no aparecen representados en las cartas cilíndricas

La carta cilíndrica obtenida por proyección y desarrollo de la esfera celeste sobre una superficie cilíndrica se suele sustituir por otra carta, donde los valores de altura sobre el horizonte no están afectados por el valor de la tangente del ángulo de elevación. De este modo, la carta pierde la relación de proyección directa con la bóveda celeste, pero gana en legibilidad, al distribuir uniformemente los valores de altura sobre el horizonte entre 0º y 90º.

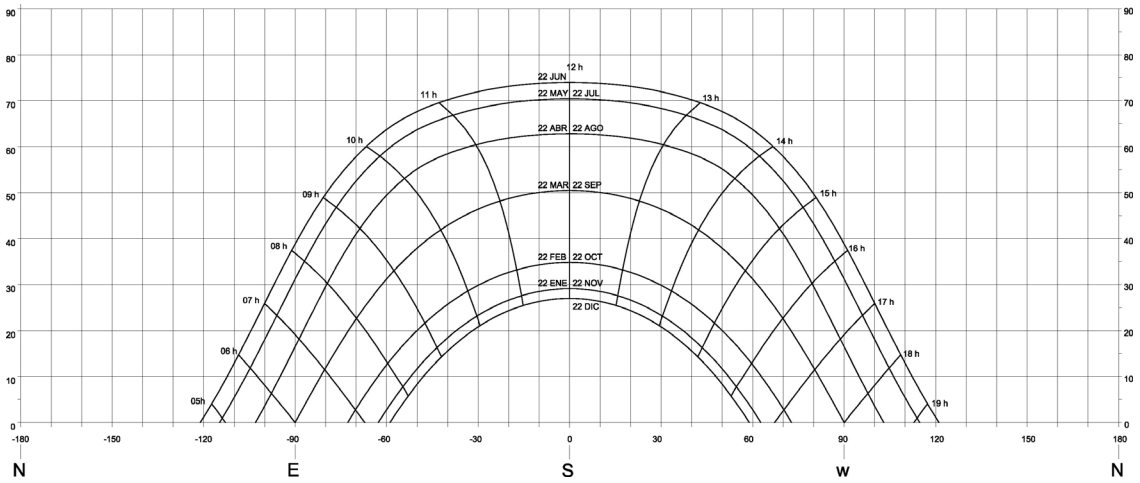


Figura A1.8 Carta solar cilíndrica con distribución lineal de las alturas para una latitud de 39º30'

El uso de la carta solar cilíndrica permite, definida para una latitud concreta, conocer las coordenadas angulares del vector solar (acimut y altura sobre el horizonte) para un día y una hora concretos. Para ello, basta con elegir la trayectoria correspondiente a un día, y la línea correspondiente a una hora. El punto en el que se cortan, presenta unas coordenadas de acimut (en la escala horizontal) y de altura sobre el horizonte (en la escala vertical) que son las correspondientes al momento considerado.

A1.2. Acceso al sol

Las estrategias pasivas de calefacción, tienen como aporte primario de energía la radiación solar. La energía que proporciona la radiación solar permite durante el invierno aproximar las condiciones de temperatura a las de confort sin aporte energético adicional. Teniendo en cuenta esta circunstancia, la posibilidad de aplicación de la estrategia de **Calefacción Solar** está condicionada directamente por el acceso al sol de la envolvente del edificio.

De igual modo, la **Protección Solar** como estrategia básica a partir de los 20ºC, será más o menos necesaria en función de la exposición a la radiación de las distintas partes que conforman la envolvente del edificio.

Como paso previo a la aplicación de cualquier estrategia, es necesario un análisis de la ubicación y de su entorno inmediato a efectos de cuantificar las posibilidades de aprovechamiento de la radiación solar o las necesidades de protección.

La ubicación y orientación de la parcela en la que construir un edificio es un dato previo insoslayable. La conveniencia o no de aplicación de las estrategias relacionadas con la incidencia del sol sobre el edificio puede cuantificarse de antemano mediante el análisis pormenorizado de la orientación de cada una de sus fachadas en función de su exposición al sol

La cuantificación del acceso al sol a partir de la ubicación de un edificio y la orientación de sus fachadas se puede evaluar por aplicación del procedimiento propuesto en el CTE denominado 'Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras', recogido en el punto 3.6 del HE4 y en el punto 3.4 del HE5. En esencia, el procedimiento propuesto es un cálculo de obstrucciones solares, tal como se describe a continuación:

Cálculo de acceso al sol mediante el procedimiento propuesto en DB HE

El cálculo de obstrucciones solares permite, definida una ubicación geográfica, y la geometría de un entorno, calcular durante qué intervalos de tiempo dentro del periodo anual, un punto concreto incluido en dicho entorno se encuentra en sombra; es decir, cuando no recibe la incidencia directa de los rayos solares.

Dado que el procedimiento de cálculo de obstrucciones solares precisa de la superposición de dos imágenes en proyección cónica, los resultados que se obtengan son válidos exclusivamente para el punto considerado. El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición **acimut** (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y **elevación** (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal)[46]. Para ello puede utilizarse un teodolito[47].

2. Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura 3.4, en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año[48]. Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,..., D14).

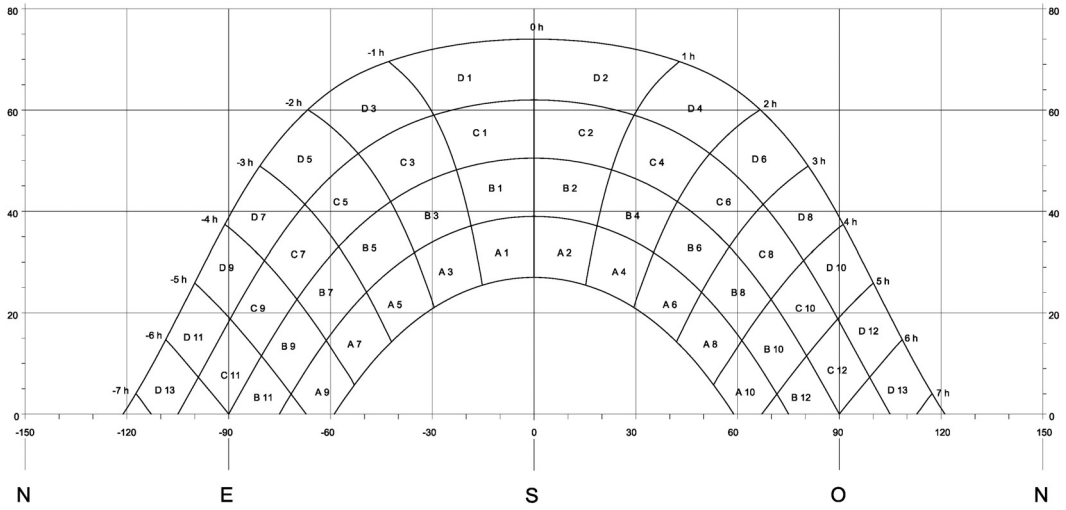


Figura A1.9 CTE HE4 Figura 3.4

3. Cada una de las porciones de la figura 3.4 representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse para el cálculo la tabla de referencia más adecuada de entre las que se incluyen en el anejo B.

4. La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de

[46] Las cartas solares proporcionan información sobre el acimut y la elevación del sol, pero también es necesario medir esos mismos valores para los obstáculos que tapan el sol.

[47] Un teodolito es un instrumento utilizado en topografía que permite la medición de los ángulos necesarios para la aplicación del procedimiento, tanto la desviación respecto del sur (acimut) como sobre el plano horizontal (elevación).

[48] Válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse 12º en sentido vertical ascendente)

todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

A los efectos del cálculo del acceso al sol, se puede hacer una reinterpretación de la figura 3.4 CTE HE4. Las trayectorias solares en el cielo quedan representadas sobre una carta cilíndrica mediante líneas que a su vez delimitan junto con las líneas horarias determinadas regiones sobre el cielo del lugar. Dichas divisiones son utilizadas a efectos de cuantificar si una instalación de paneles solares (ya sea fotovoltaica o de ACS) recibe suficiente irradiación como para ser funcional.

En el caso del análisis de acceso al sol, las necesidades de cuantificación van dirigidas a decidir si las superficies de la edificación proyectada pueden recibir la radiación solar en los momentos en que ésta es necesaria para la aplicación de la estrategia de Captación Solar. Considerando una temperatura interior de confort del edificio, con un límite inferior de 20ºC, se puede considerar que la radiación solar produce ganancias térmicas favorables cuando la temperatura al exterior del edificio es inferior a 20ºC. En este caso, la radiación solar incidente sobre ventanas y fachadas produce un incremento de temperatura interior del edificio, que lo aproxima a las condiciones de confort. Esta situación hace que sea recomendable la aplicación de la estrategia de **captación solar**. Por el contrario, cuando la temperatura al exterior del edificio es superior a 20ºC, la radiación incidente sobre ventanas y fachadas introduce en el edificio una carga térmica que habrá que disipar de algún modo, fundamentalmente mediante ventilación. Esta situación hace que sea recomendable la aplicación de la estrategia de **protección solar**.

En general, el sol recibido por las mañanas de todo el periodo anual y durante el otoño e invierno se puede considerar como favorable a la aplicación de la estrategia de captación solar, mientras que el sol recibido durante las tardes de la primavera y el verano hace que sea necesaria la aplicación de la estrategia de protección solar. Bajo este punto de vista, la reinterpretación de la figura 3.4 HE4. CTE produce la siguiente figura:

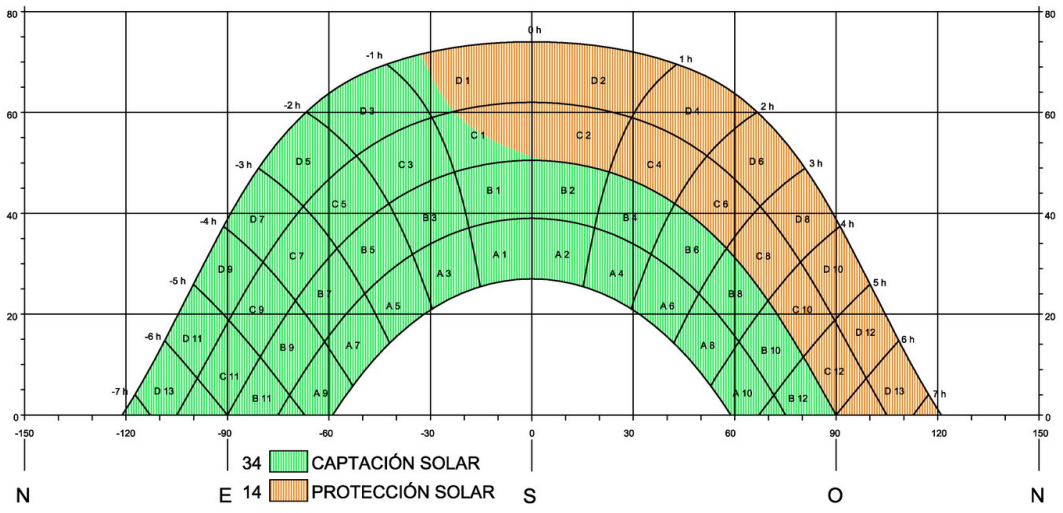


Figura A1.10 Reinterpretación de la figura 3.4 del CTE HE4

Dicha figura puede ser utilizada, tanto en el análisis de orientaciones como en el estudio de las volumetrías del entorno. En ambos casos, se trata de obtener un perfil de obstáculos, que por superposición con la figura, muestra la porción de cielo observable desde dicho punto, y por tanto permite calificar de antemano una situación como favorable o desfavorable.

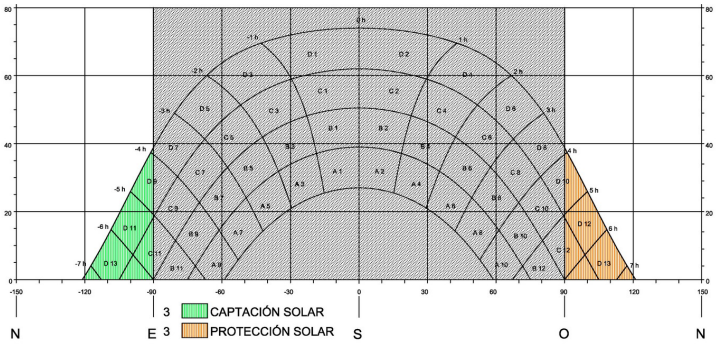
El espacio recorrido por el sol en el cielo queda así dividido en 48 sectores, de los cuales, podemos calificar 34 como aptos para la aplicación de la estrategia de captación solar y 14 como aptos para la aplicación de la estrategia de protección solar.

La situación óptima para la aplicación de la estrategia de Captación Solar se produce siempre que la porción de cielo observable calificada como favorable sea suficientemente grande (al menos de 17 sectores

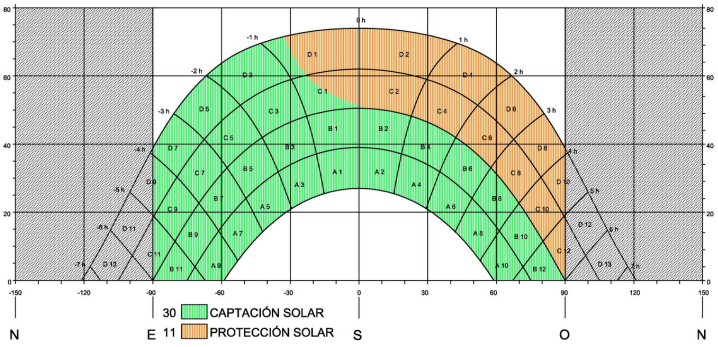
observables de los 34 sectores disponibles). El hecho de observar también sectores desfavorables no impide la aplicación de la estrategia, dado que se puede corregir disponiendo sobre las ventanas y las fachadas las protecciones solares correspondientes.

Análisis de la orientación de las fachadas

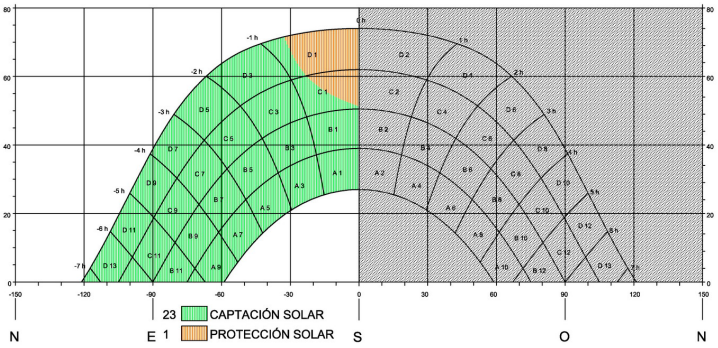
A efectos de analizar la exposición al sol de la orientación de las fachadas, se utiliza como base la reinterpretación de la figura 3.4 CTE HE4. Sobre dicha imagen se puede representar el plano vertical que define una fachada delimitando el espacio exterior de la misma mediante el acimut de sus límites. Definido el acimut del plano de una fachada mediante un vector normal a la misma, los límites observables de la misma se obtienen sumando +90 y -90 al valor considerado. Así, y como ejemplo, una fachada orientada al Sureste, con un acimut de -45 muestra la región de cielo comprendida entre el acimut -45+90 (hacia el Oeste) y el acimut -45-90 (hacia el Este) pasando por el Sur. La región interior a estas dos líneas queda oculta por la fachada, y se representa en el gráfico mediante una trama punteada. Representado el plano de la fachada sobre la figura, el conteo de sectores calificados como aptos para la captación solar o aptos para la protección solar que quedan a la vista informa sobre la conveniencia de la aplicación de cada estrategia.



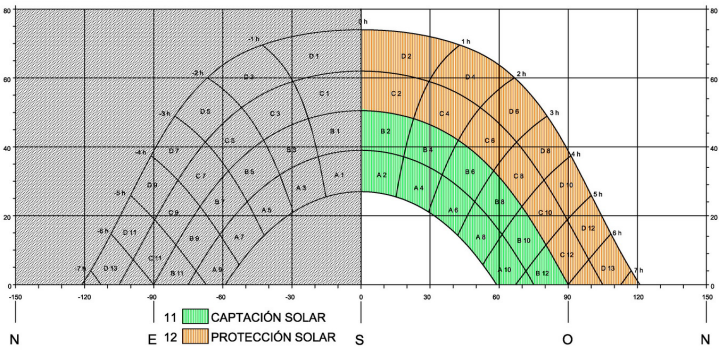
Fachada Orientada a Norte
La porción de cielo observable, solo con tres sectores favorables no permite el aprovechamiento de la estrategia de Captación Solar para esta orientación. Sin embargo, resulta una orientación muy favorable a efectos de la iluminación natural, dado que permite la recepción de luz difusa constante.



Fachada Orientada a Sur
Resulta la orientación más adecuada a la aplicación de la estrategia de Captación Solar, dado que permite recibir casi la totalidad de la radiación disponible. Conviene atender a las necesidades de protección solar, a efectos de evitar el sobrecalentamiento, dado que también recibe la radiación desde sectores desfavorables.

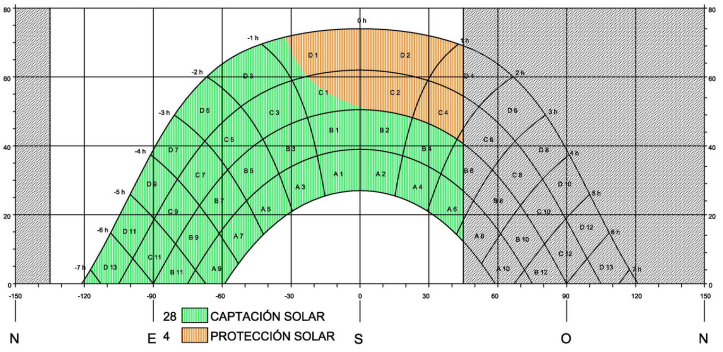


Fachada Orientada a Este
Resulta una orientación adecuada, con una cantidad de radiación suficiente para la aplicación de la estrategia de Captación solar, siendo casi innecesarias las medidas de protección solar.



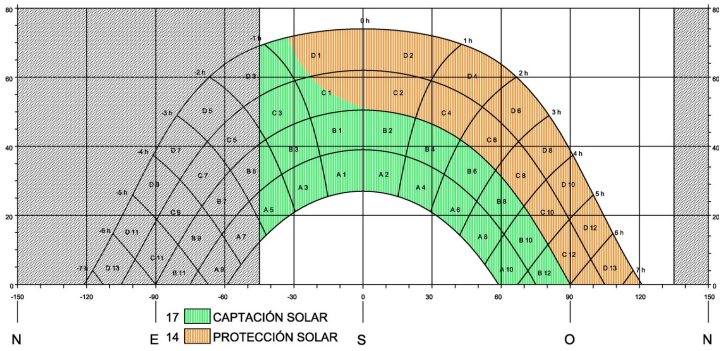
Fachada Orientada a Oeste

Resulta una orientación inadecuada a la aplicación de la estrategia de Captación Solar, dado que además de no disponer de una cantidad suficiente de sectores favorables, está muy expuesta a la radiación solar desfavorable, lo que implica necesariamente la aplicación de mecanismos de protección solar para evitar sobrecalentamientos.



Fachada Orientada a Sureste

Resulta una orientación casi tan adecuada a la aplicación de la estrategia de Captación Solar como la orientación Sur, dado que permite recibir casi la misma cantidad de la radiación disponible. Respecto a sus necesidades de protección solar, son algo menores que en el caso de la orientación sur, dado que evita de un modo más efectivo la radiación del poniente.



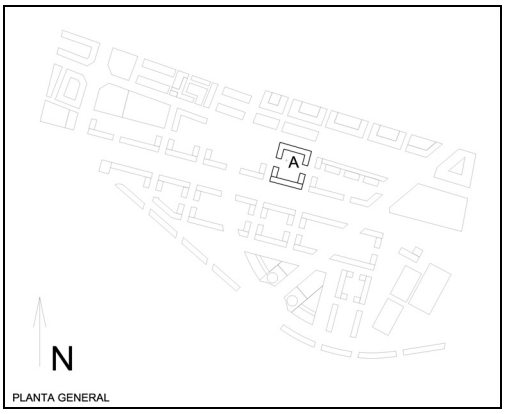
Fachada Orientada a Suroeste

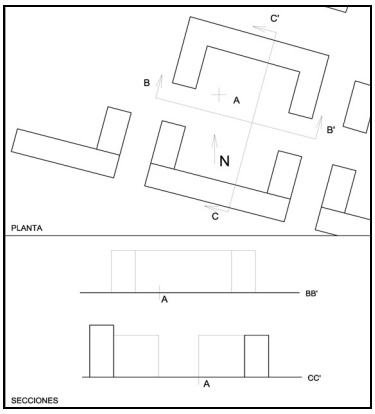
Resulta una orientación admisible a la aplicación de la estrategia de Captación Solar, dado que dispone de suficiente radiación favorable, aunque al recibir también toda la radiación desfavorable necesita de la aplicación de mecanismos de protección solar, a efectos de evitar el sobrecalentamiento.

Trazado Urbano

La recepción de la radiación solar en el caso de un punto concreto situado en un entorno urbano, queda directamente condicionado por las sombras que los objetos de dicho entorno puedan arrojar sobre él. En este sentido, la capacidad de un punto concreto de recibir radiación solar queda condicionada por la forma de la trama urbana, y por el acceso al sol que la geometría de la trama permita. En general, las zonas compuestas por edificación abierta, que liberan superficie en la cota cero son más permeables al sol que los centros históricos, donde la relación entre el ancho de calle y la altura de las edificaciones puede dificultar el acceso al sol. Se propone el estudio de dos emplazamientos urbanos, cada cual con una distinta forma en su trama urbana a efectos de analizar la repercusión de la forma de la trama respecto del acceso al sol. En ambos casos se estudiará el acceso al sol de un punto situado a cota cero, y rodeado de edificaciones. El modo de evaluar el acceso al sol es obtener una proyección de los obstáculos del entorno del modo en que queda definido en el DB HE del CTE, y superponer dicha imagen con las trayectorias solares.

Edificación Abierta:





Se propone el estudio del acceso al sol de un punto situado a cota cero entre las edificaciones de una trama urbana de edificación abierta. El punto 'A' se sitúa en este caso en el espacio definido por dos bloques edificados que cierran un espacio en forma de patio. A efectos de obtener el perfil de los obstáculos, el DB HE del CTE propone definir algunos puntos del perfil mediante sus coordenadas angulares (Acimut y Altura sobre el Plano Horizontal). Obtenida una cantidad suficiente de puntos, estos pueden ser representados sobre la reinterpretación de la figura 3.4 CTE HE4, permitiendo de este modo la evaluación del acceso al sol en dicho punto concreto. El análisis así obtenido es válido en exclusiva para el punto considerado, dado que al variar la posición del punto analizado, también variará el perfil de los obstáculos. Otra manera relativamente ventajosa de obtener el perfil de obstáculos es mediante el uso de cualquier programa informático que permita la obtención de vistas panorámicas.

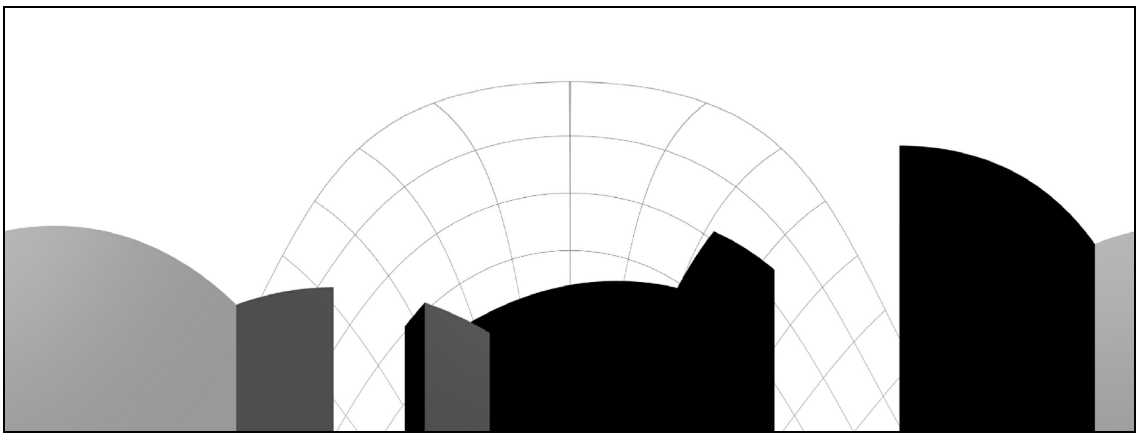


Figura A1.11 Análisis de acceso al sol

Obtenida la imagen, ya sea por uno u otro procedimiento, de su análisis se puede concluir lo siguiente:

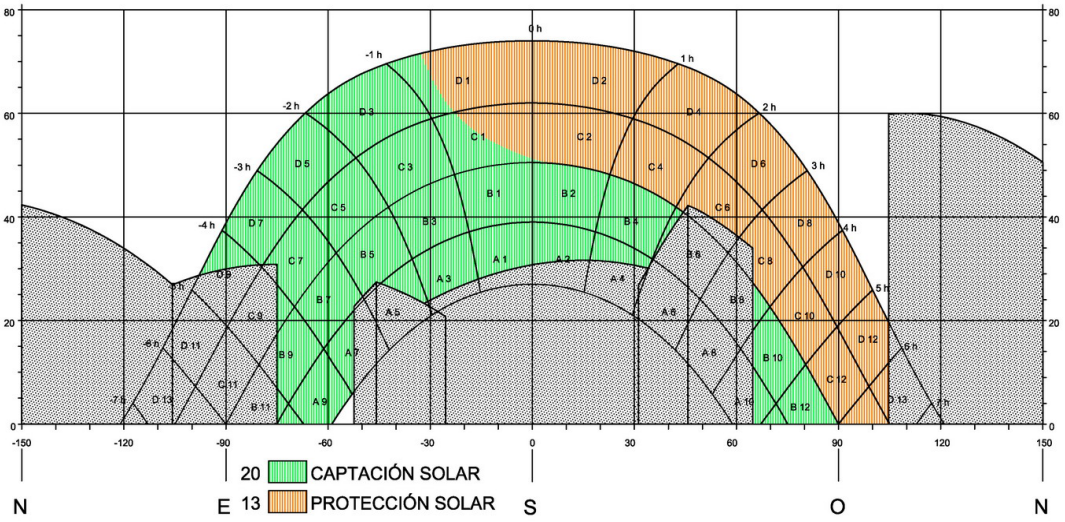
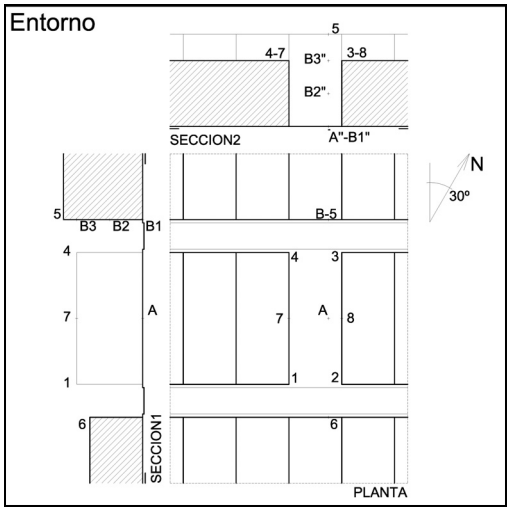


Figura A1.12 Análisis de viabilidad de las estrategias de captación y protección solar

Si bien es cierto que durante el solsticio de invierno (la trayectoria más baja) el punto considerado no recibe la radiación solar, en el conjunto del año, su exposición a la radiación Favorable es suficiente para permitir la aplicación de estrategias de Captación Solar. Por otra parte, es necesario considerar la necesidad de protección solar, dado que el punto recibe también toda la radiación desfavorable. En general, las tramas urbanas de edificación abierta, permiten, sobre las fachadas con buena orientación, la aplicación de la estrategia de Captación Solar.

Centros Históricos:



En general, la trama urbana de los centros históricos se caracteriza por disponer de pocos espacios abiertos, y por la predominancia de la altura frente a la anchura en la forma de las secciones viarias. En este caso se propone el estudio de un punto situado a cota cero (A) en un espacio abierto, limitado a sureste y noroeste por un viario, y a noreste y suroeste por una medianera. También se estudiará un punto sobre una fachada (B), haciendo variar su altura .Tanto en las secciones de viario como en las dimensiones del espacio propuesto predomina la altura frente a la anchura.

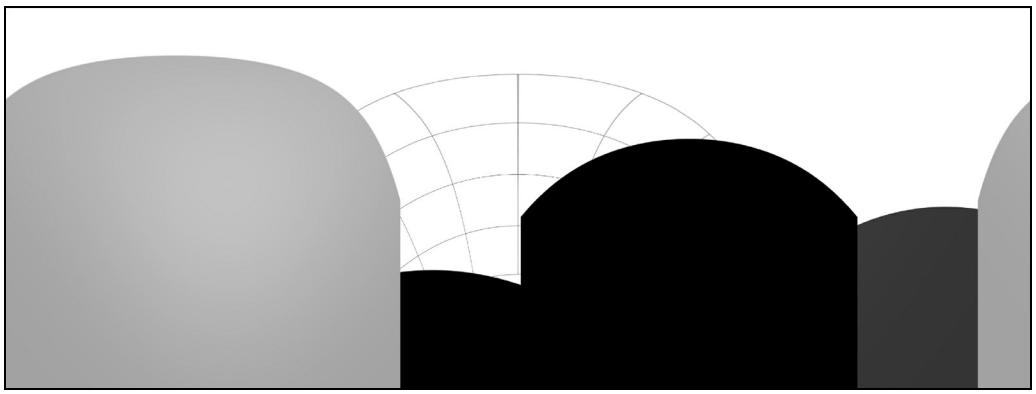


Figura A1.13 Análisis de acceso al sol

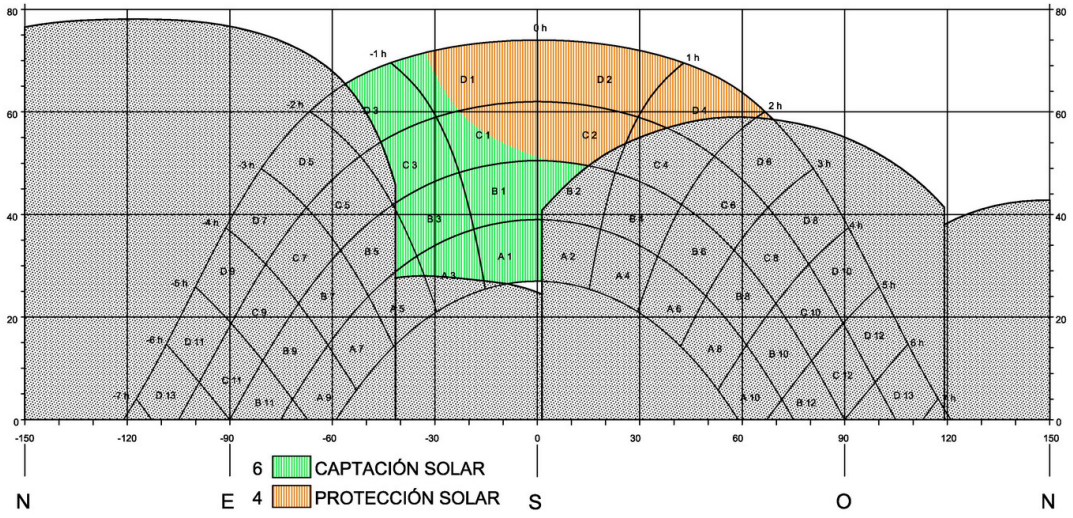
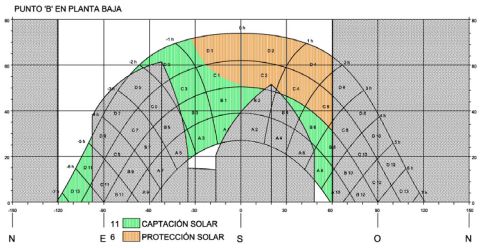
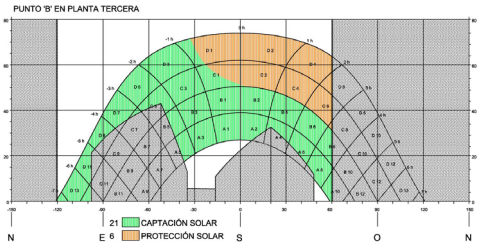
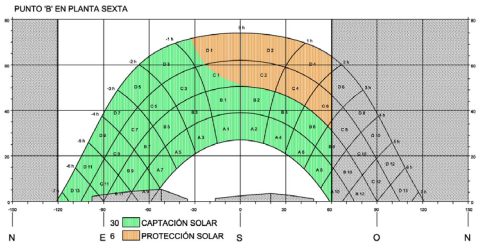


Figura A1.14 Análisis de viabilidad de las estrategias de captación y protección solar

Obtenido el perfil de obstáculos observable desde el punto 'A', y superpuesto con las trayectorias solares, se puede observar que el sol disponible en este punto, tanto favorable como desfavorable, es muy escaso, y por ello no será posible en este caso la aplicación de la estrategia de Captación Solar. Si el punto considerado se encontrara sobre una fachada, como es el caso del punto 'B', el acceso al sol que registraría dependería de la altura, siendo mínima en planta baja, y mejorando en función de la altura.







Para comprobar el efecto de la altura en el acceso al sol, se ha calculado para el punto B la cantidad de sol disponible, cuando dicho punto se encuentra en planta baja, en planta tercera y en planta sexta. A medida aumenta la altura del punto considerado, se produce sobre el horizonte una disminución de la altura de los edificios circundantes, lo que facilita el acceso al sol, como puede comprobarse en las figuras adjuntas.

Figura A1.15 Acceso al sol en función de la planta considerada

A1.3. Máscaras de Sombra

Definida una ventana por su geometría, su permeabilidad a la radiación solar dependerá de la posición del sol en la esfera celeste del lugar. Los planos que limitan la ventana cuyo comportamiento al sol se pretende estudiar; dividen el espacio en dos mitades, de modo que las superficies contenidas en dicho plano (o en uno paralelo) sólo pueden recibir radiación cuando el sol se encuentra en el lado expuesto. Los planos que definen la ventana objeto de estudio pueden representarse en el mismo sistema de representación en el que se representan las cartas solares, permitiendo de este modo delimitar sobre las cartas solares los periodos en que la radiación pueda incidir sobre una superficie estudiada. En el ejemplo siguiente se muestra una ventana sin ningún tipo de protección solar, contenida en un plano vertical cuya orientación se facilita.

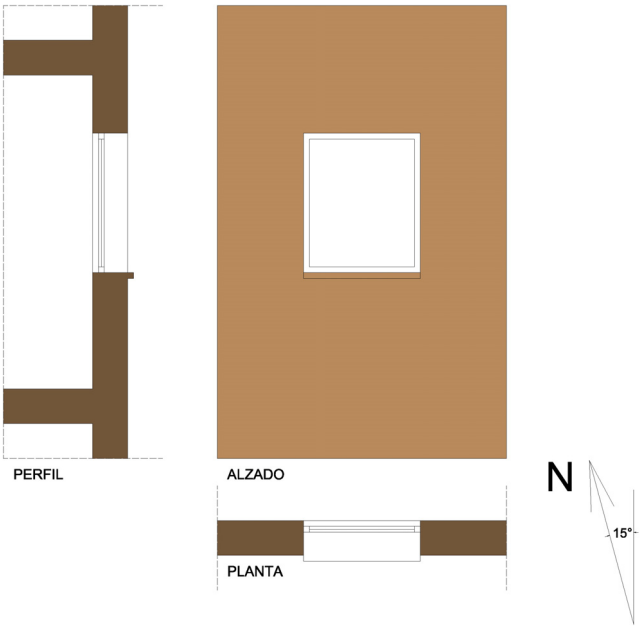
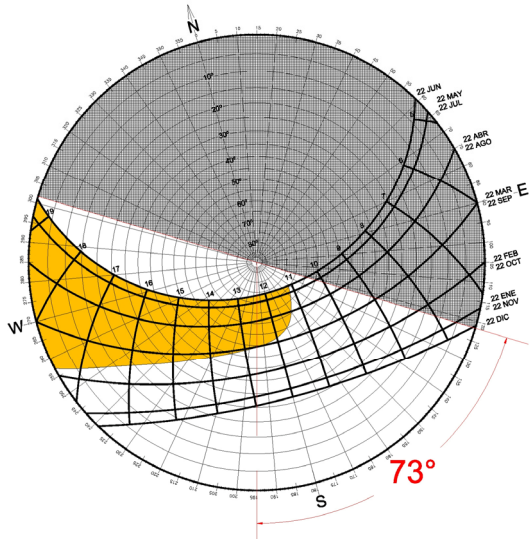


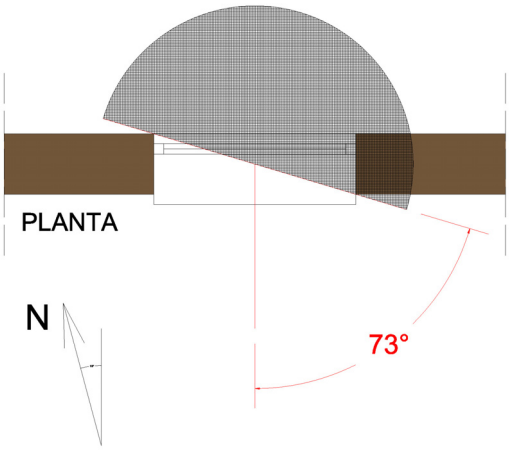
Figura A1.16 Definición geométrica de la ventana objeto de estudio

El cálculo de máscaras de sombra permite analizar cómo la geometría de la ventana estudiada condiciona la entrada de la radiación solar a través del hueco. Para ello será necesario definir los planos que limitan la recepción de la radiación solar. A continuación se definen dichos planos, y se representan en una proyección estereográfica:

Máscara de sombras para una ventana sin protección solar

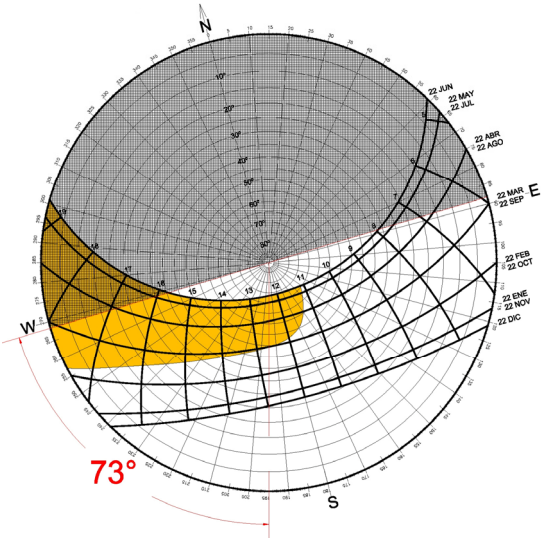
Definición del plano límite para la JAMBA DERECHA

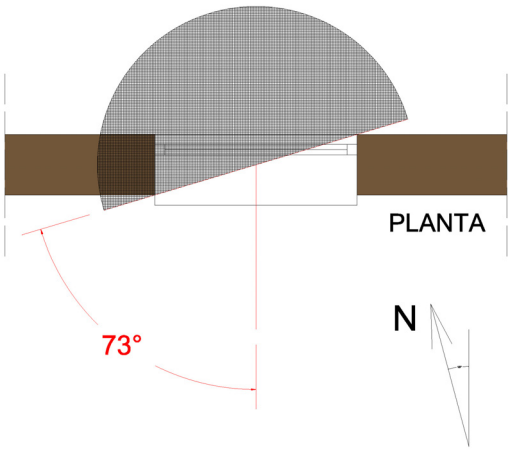




Se trata de un plano vertical, que contiene a la arista que limita la jamba derecha. Cuando el sol se encuentra en el espacio al sur del plano límite es posible que la radiación entre a través del hueco. Su representación en proyección estereográfica es una recta diametral cuyo acimut coincide con el acimut del plano.

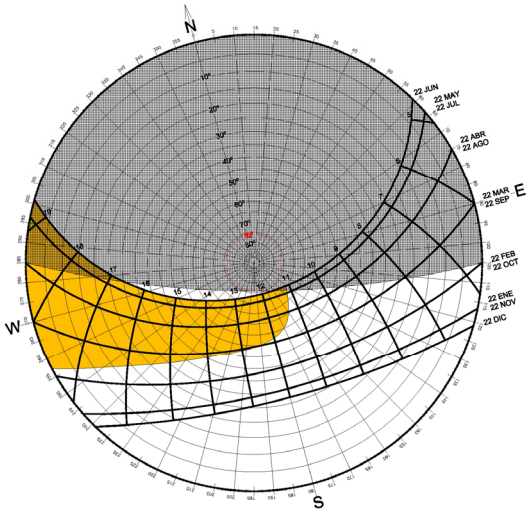
Definición del plano límite para la JAMBA IZQUIERDA

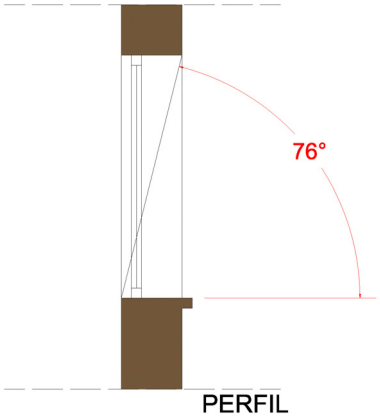




Se trata también de un plano vertical, que en este caso contiene a la arista que limita la jamba izquierda. Cuando el sol se encuentra en el espacio al este del plano límite es posible que la radiación entre a través del hueco. Su representación en proyección estereográfica es una recta diametral cuyo acimut coincide con el acimut del plano.

Definición del plano límite para el DINTEL





En este caso se trata de un plano inclinado 76º sobre la horizontal, cuyo acimut coincide con el de la pared que contiene al hueco. Cuando el sol se encuentra en el espacio bajo el plano límite es posible que la radiación entre a través del hueco, si el sol se encuentra al otro lado del plano, el dintel arroja sombra sobre el hueco, e impide que la radiación penetre. Su representación en proyección estereográfica es un arco de circunferencia definido por tres puntos: el corte con el horizonte de la línea que representa el plano vertical de la pared, y la proyección estereográfica del ángulo definido por dintel sobre la horizontal. Los ángulos medidos sobre el plano horizontal se representas sobre la carta estereográfica mediante circunferencias concéntricas al borde exterior de la carta. Elegida la circunferencia que representa al ángulo de 76º, el arco que representa el dintel pasa por los puntos anteriormente definidos y resulta tangente a la misma.

La superposición de los tres planos límite que definen la geometría del hueco sobre una carta estereográfica muestra una zona sin sombrear, que acota las direcciones desde las que debe proceder la radiación solar para entrar por el hueco. Dicha zona sin sombrear se corresponde con los periodos del año (en fecha y hora) en los que la radiación entra a través del hueco. Cabe destacar que las máscaras de sombra son especialmente útiles para el diseño de protecciones solares, dado que permite conocer de antemano los periodos en que la radiación solar incidirá sobre los vidrios de la ventana.

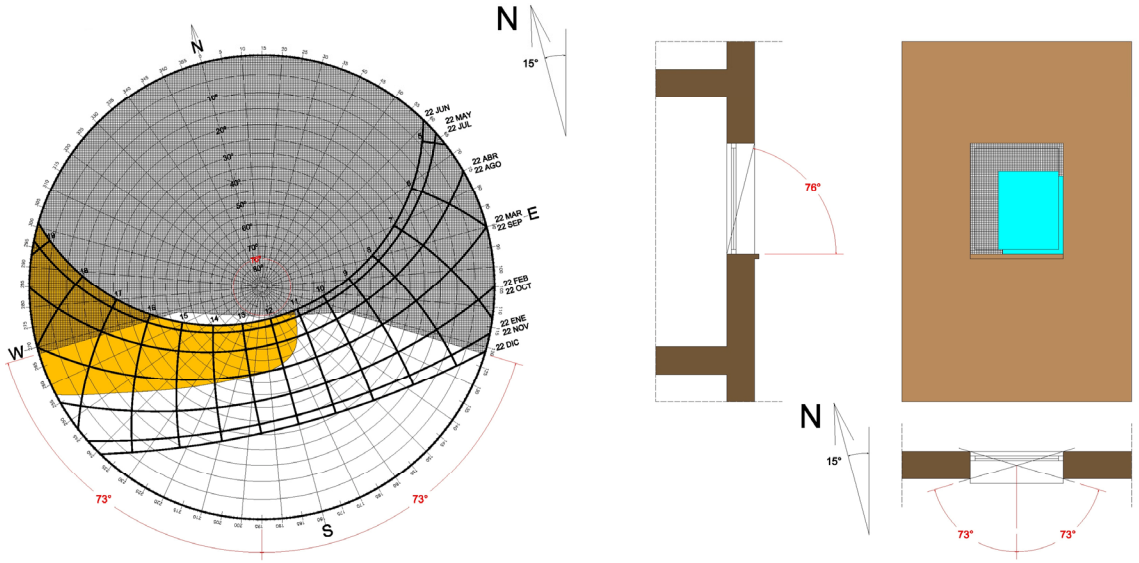


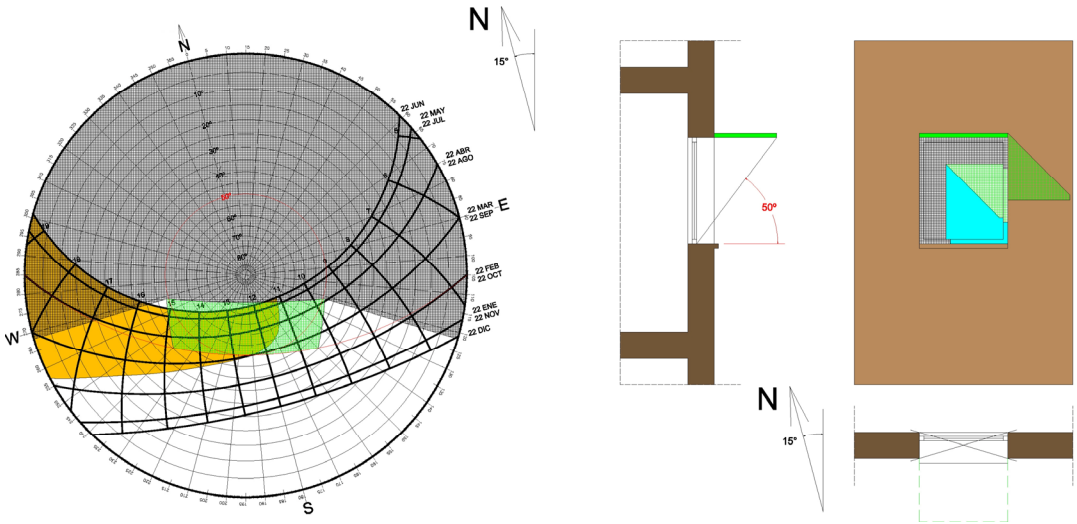
Figura A1.17 Máscara de sombras para una ventana sin protección solar

De la máscara de sombras que producen los planos límite de la ventana puede deducirse que la radiación solar penetra por la misma en periodos en los que puede producir sobrecalentamiento. Puede observarse que la zona de sombreamiento queda expuesta, en tanto que la máscara de sombra no la cubre.

Máscara de sombras para una ventana con protección solar

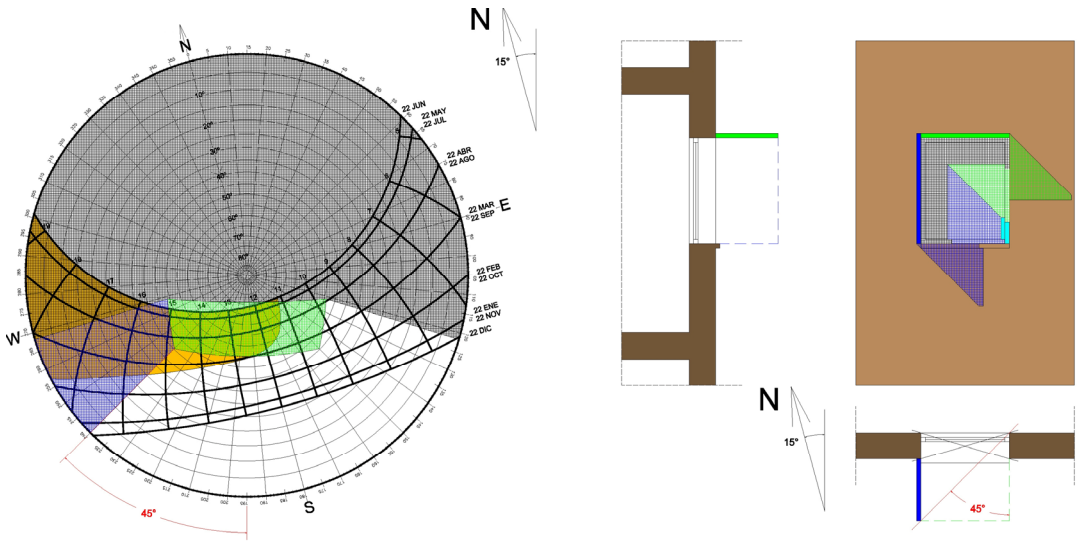
Con el fin de evitar que la radiación solar incida sobre los vidrios en los periodos no deseados, se propone el diseño de protecciones solares, ampliando la máscara de sombra con el fin de cubrir la zona de sombreamiento. Dichas protecciones solares suelen estar compuestas por planos horizontales sobre el hueco, o bien por planos verticales como prolongación de la jamba. Estudiaremos la máscara de sombra que produce cada tipo de protección:

Plano horizontal sobre el hueco



Se trata de un plano que, a modo de voladizo, se dispone como continuación del intradós del dintel. Cuando la fachada está orientada al sur, la sombra producida por dicho voladizo en las horas centrales del día permite cubrir una parte importante del área de sombreamiento. Su representación en proyección estereográfica un arco de circunferencia definido por tres puntos: el corte con el horizonte de la línea que representa el plano vertical de la pared, y la proyección estereográfica del ángulo exterior definido por el voladizo sobre la horizontal. Si las dimensiones del voladizo son estrictamente las del hueco, la máscara de sombras del voladizo queda limitada por sus lados por otros dos arcos de circunferencia. En la ilustración se muestra en verde la máscara de sombras producida por un voladizo que define un ángulo de 50º con la horizontal.

Plano vertical como prolongación de la jamba



En este caso, la protección solar consiste en un plano vertical que protege el hueco del sol del poniente. Grafiado su plano límite sobre el hueco, basta con transportarlo sobre la carta estereográfica con el fin de delimitar la zona de cielo que oculta. La máscara de sombra de dicho plano está representada en azul sobre la carta estereográfica.

Una vez definidas ambas protecciones solares, la máscara de sombras que producen sobre el hueco es la envolvente de las tres; La producida por las jambas y el dintel del hueco, la producida por un plano horizontal, y la producida por el plano vertical como prolongación de la jamba del lado del poniente. Puede apreciarse que prácticamente la totalidad del área de sombreamiento, queda cubierta por la máscara de sombra, impidiendo así el sobrecalentamiento.

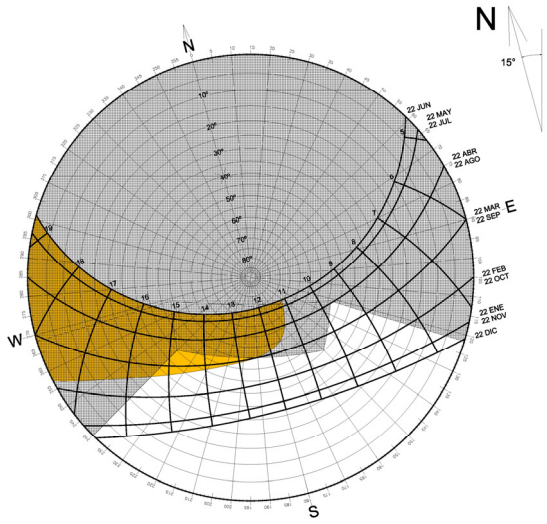


Figura A1.17 Máscara de sombras para una ventana con protección solar

La forma y geometría de las protecciones solares depende fundamentalmente de la orientación que se quiera proteger y de la forma de los huecos. Para las orientaciones cardinales (norte, sur, este y oeste), y atendiendo al área de sombreamiento. La forma ideal de las protecciones solares es la que se indica a continuación.

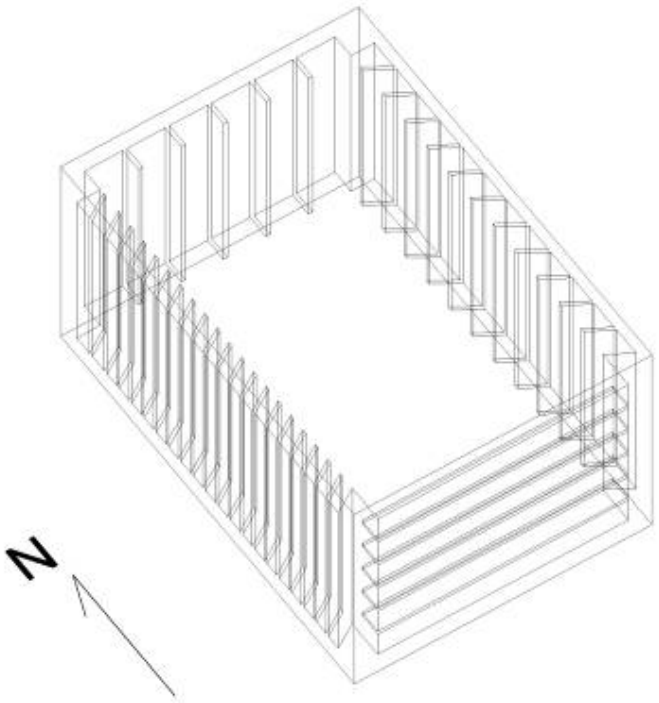


Figura A1.18 Disposición de las protecciones solares en función de la orientación

Diseño de una protección solar ideal en función de la orientación

Fachada SUR

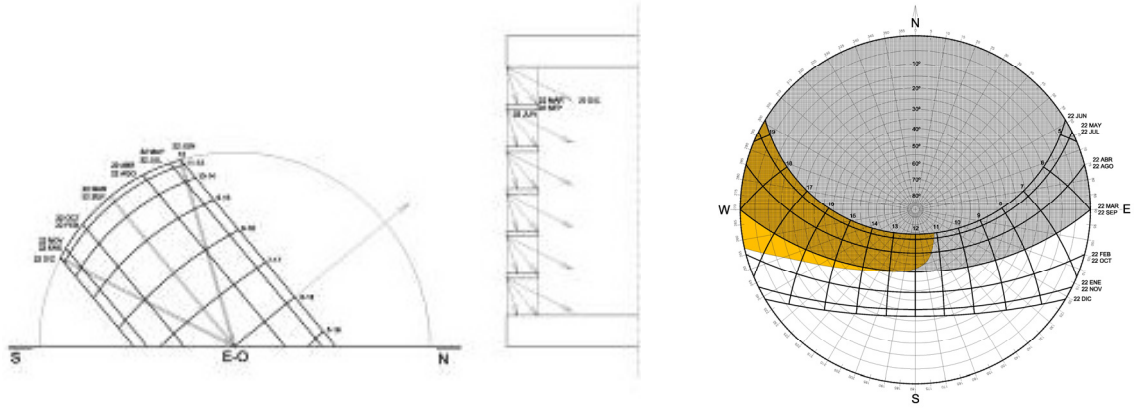


Figura A1.19 Máscara de sombras para una protección tipo orientada a sur

La línea de sombreamiento de 20ºC discurre en las proximidades de la trayectoria solar de los equinoccios. Unas lamas horizontales, o un voladizo de la dimensión adecuada permiten que la radiación atraviese la protección durante el otoño e invierno, de modo que la radiación produzca ganancia térmica, al tiempo que impide la incidencia durante el verano.

Fachada ESTE

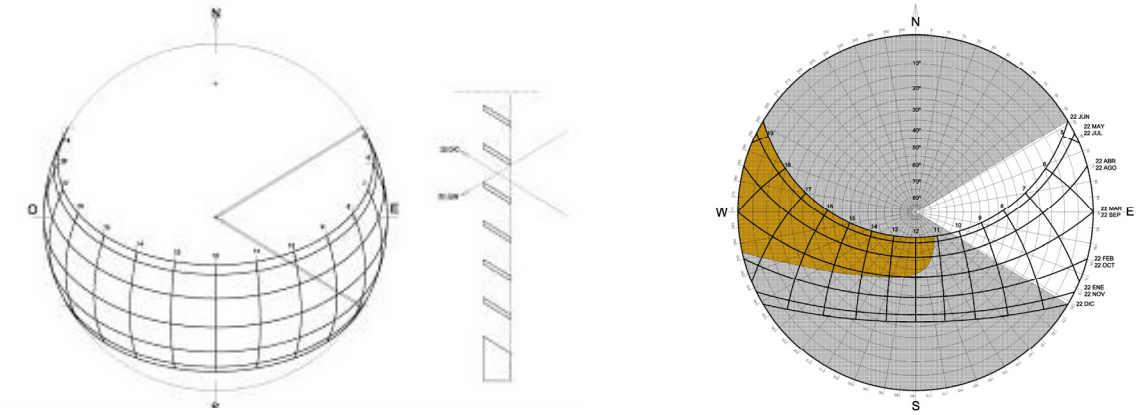


Figura A1.20 Análisis del acceso al sol fachada este

La radiación incidente sobre la fachada este se puede considerar favorable durante todo el año, especialmente en otoño e invierno. La geometría de lamas verticales, cuya orientación coincide con la dirección de salida del sol durante el solsticio de invierno favorece la entrada de radiación al tiempo que se limita dicha entrada a medida se aproxima el solsticio de verano.

Fachada OESTE

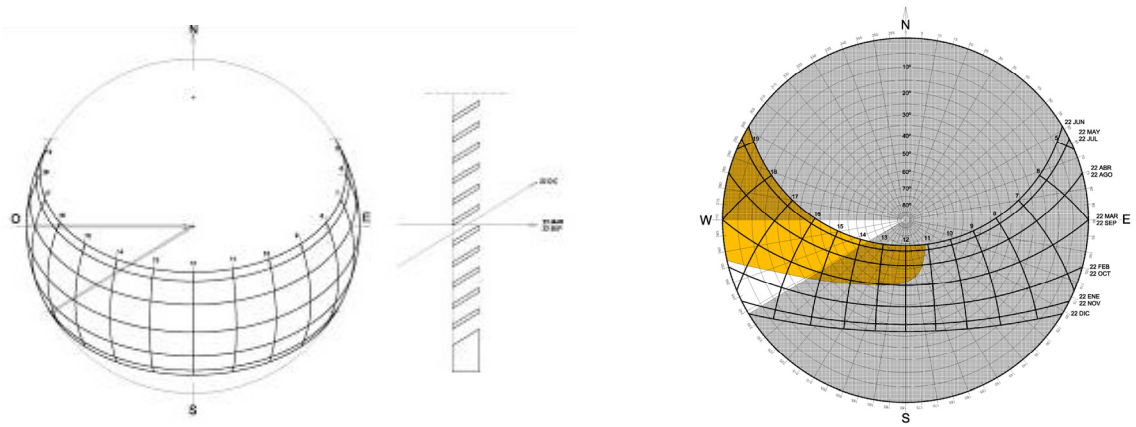


Figura A1.21 Análisis del acceso al sol fachada oeste

La radiación incidente sobre la fachada oeste se debe limitar en lo posible, dado que durante el verano supone una gran entrada de carga térmica. A tal fin se disponen lamas verticales que permiten la entrad de sol durante el invierno, y la impiden a partir del equinoccio de primavera. Este mecanismo debe ser complementado con lamas horizontales que controlen la incidencia de la radiación durante el verano.

Fachada NORTE

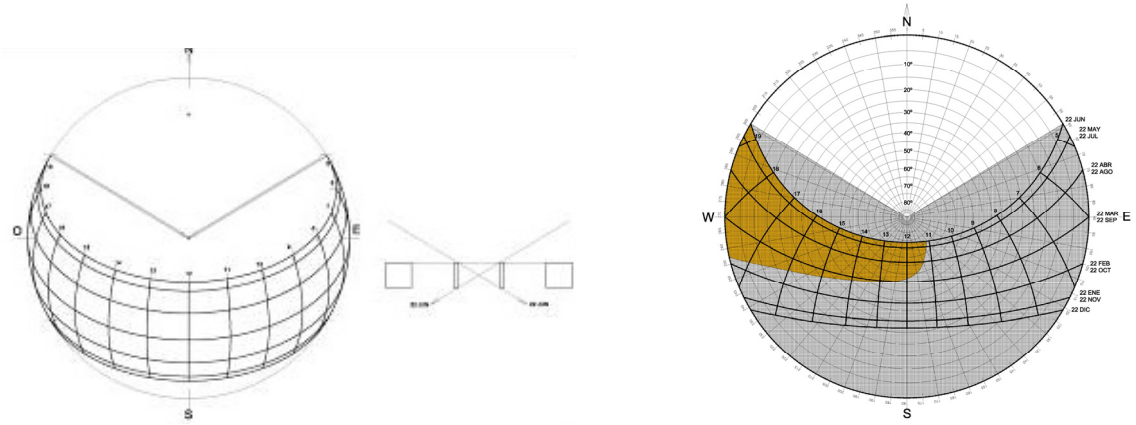


Figura A1.22 Análisis del acceso al sol fachada norte

La función de la protección solar sobre esta fachada es impedir el deslumbramiento durante la salida y puesta de sol en el solsticio de verano. Unas lamas verticales permiten dicho control.

2

ESTUDIO DE ILUMINACIÓN NATURAL

GUÍA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA EDIFICACIÓN

A2

ESTUDIO DE ILUMINACIÓN NATURAL

A2.1. Conceptos previos

Las condiciones de confort lumínico se ven directamente afectadas por los sistemas de protección solar. Se realizan recomendaciones para facilitar los adecuados niveles lumínicos y se describen en el anejo correspondiente, métodos de cálculo del factor de iluminación natural como herramienta de optimización, reduciendo así el uso de la iluminación artificial.

Iluminación natural

La importancia de la luz natural se puede encontrar tanto en investigaciones científicas como en la experiencia propia como usuarios de los espacios. Un hueco en la envolvente exterior de un espacio no sólo permite el paso de la luz natural sino que posibilita una conexión con el exterior, percibiendo si es de día o de noche, las variables situaciones climatológicas etc... Además la luz natural resulta vital por su calidad, composición espectral y variabilidad. Por lo tanto la luz natural cumple dos funciones de cara a los usuarios, es capaz de permitir la percepción de los espacios y facilitar la realización de tareas en los mismos permitiendo la interacción con el exterior. Está comprobado científicamente que trabajar largos periodos de tiempo sin luz natural, únicamente con luz artificial, no es beneficioso para la salud de los trabajadores. Del mismo modo, si las condiciones de iluminación natural son correctas y con una conexión visual con el exterior se reducen los índices de estrés y se aumenta el confort en el ámbito laboral, esto último extrapolable a los usos residenciales propios de esta guía.

Desde el punto de vista de la calidad, la luz natural, por su composición espectral permite una excelente discriminación del color y produce valores altos de iluminancia. Estas dos condiciones proporcionan a la iluminación natural muy buenas condiciones para la visión y la realización de tareas visuales exigentes. Pero precisamente por la gran iluminancia que proporciona, puede provocar problemas que interfieren con la visión como deslumbramientos y reflejos de alta luminancia sobre monitores. Las interferencias en el diseño de los sistemas de acondicionamiento térmico, natural o artificial, producidas por los aportes caloríficos que acompañan a la radiación solar o por las cargas térmicas añadidas al sobre dimensionar los sistemas de iluminación artificial, van en contra de los principios de sostenibilidad de nuestras construcciones.

Estos motivos conducen al planteamiento de la necesidad de implementar desde fases iniciales del proyecto las estrategias y sistemas de iluminación natural de manera coordinada con los sistemas de protección solar. Ya que de lo contrario pueden surgir problemas de confort o bien una disminución de las condiciones de sostenibilidad de la edificación junto con un aumento de los gastos de mantenimiento y explotación.

Luz natural y luz directa

El término inglés Daylight se refiere al nivel de luz natural difusa procedente de la bóveda celeste que rodea al edificio o la reflejada por las superficies adyacentes. Sin embargo el término Sunlight, se refiere a la componente directa del sol y es mucho más brillante que la luz ambiente. La posición del Sol en el cielo es variable a lo largo del día y del año. Además de ser susceptible de ocluirse parcialmente por las distintas condiciones climatológicas. También experimenta cambios significativos en la intensidad en diferentes momentos del año. Por lo tanto, no resulta muy fiable contar con la componente directa para evaluar las condiciones de iluminación natural en espacios interiores. Por otro lado la intensidad de la misma en determinados momentos puede alcanzar valores que puede resultar una importante fuente de deslumbramiento sobre superficies de trabajo o verse reflejada en pantallas. La luz de día, sin embargo, puede ser una fuente de luz muy eficaz, independientemente de las condiciones climáticas. Los niveles de luz del día también presentan una variabilidad estacional y diaria. Sin embargo, existen modelos matemáticos reconocidos por la CIE que permiten su estimación.

A2.2. Estrategias para la resolución espacial de la iluminación natural.

El planteamiento sobre las estrategias de iluminación natural de los espacios se debe acometer en las fases iniciales de desarrollo de proyecto debido a las implicaciones que pueden tener posteriormente.

De cara a facilitar el análisis se propone la siguiente matriz multifactorial como sistema de ayuda a la toma de decisiones en fase de proyecto.

Como punto de partida hay que definir cuatro cuestiones sobre los espacios:

1- **¿Accesibilidad del espacio al exterior?**

2- **¿Qué dimensión de huecos se puede tener en relación con la profundidad de los espacios?** (relación profundidad/altura)

3- **¿Qué tipo de cielo predomina?**

4- **¿Qué necesidades existen de protección solar?** (orientación)

<table>
<tr><th colspan="4">DATOS SOBRE EL ESPACIO INTERIOR</th><th>ESTRATEGIAS</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Accesibilidad exterior</td><td rowspan="6">Directo</td><td rowspan="3">Una fachada</td><td>Exterior</td><td>E1 Iluminación Unilateral</td></tr>
<tr><td>Patio</td><td>E1 Iluminación Unilateral</td></tr>
<tr><td>Cubierta</td><td>E2 Iluminación Unilateral Cenital</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Más de una fachada</td><td>Exterior</td><td>E3 Iluminación Bilateral</td></tr>
<tr><td>Patio</td><td>E3 Iluminación Bilateral</td></tr>
<tr><td>Cubierta</td><td>E3 Iluminación Bilateral</td></tr>
<tr><td>Dimensionado huecos</td><td colspan="3">Indirecto</td><td>E4 Redireccionamiento flujo luminoso</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tipo de cielo</td><td colspan="3">P/h < 2</td><td>E1 Iluminación Unilateral</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">P/h > 2</td><td>E3 Iluminación Bilateral</td></tr>
<tr><td>E4 Redireccionamiento flujo luminoso</td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="3">Protección solar</td><td>Sur</td></tr>
<tr><td>Este - Oeste</td></tr>
<tr><td>Norte</td></tr>
</table>

Tabla 10 Estrategias de iluminación en función de las características del espacio

Formas de captación

E1 Iluminación Unilateral

Este es el caso más habitual, si bien su incorporación se debe de realizar con cuidado ya que la iluminación unilateral de espacios profundos puede no proporcionar los niveles adecuados de iluminación en determinadas zonas y en las próximas a los huecos producir deslumbramientos. Para evitar estos problemas, se puede dividir los huecos funcionalmente con sistemas de control adecuados. Hasta una profundidad de dos veces la altura del hueco se puede considerar la zona de iluminación natural, para profundidades mayores hay que recurrir a la incorporación de sistemas de direccionado de parte del flujo luminoso entrante, por ejemplo brise soleil en la zona superior del hueco que reflejen el flujo hacia el techo.

E2 Iluminación cenital unilateral.

Este sistema únicamente puede ser empleado en los espacios que tengan contacto con la cubierta de las construcciones. Las claraboyas captan la luz de las zonas más brillantes del cielo, por esta razón son fuentes luminosas muy potentes. Sin embargo no pueden facilitar un contacto visual con el exterior. Por lo que, caso de emplearse esta estrategia exclusivamente, estará reducida a espacios en los cuales el contacto con el exterior no sea prioritario. De lo contrario se tendría que recurrir a la combinación con otro tipo de iluminación que facilite esta relación. Como los lucernarios están expuestos, por su situación, a una elevada incidencia solar el empleo de sistemas de sombra es esencial para evitar el sobre calentamiento de los espacios inferiores. En este sentido las dimensiones y número de los mismos deben de ser estudiados para conseguir un equilibrio entre el confort térmico y el visual así como con las necesidades de sombra. Los tragaluces habitualmente están acristalados con vidrios traslúcidos para proteger el interior de los rayos directos del sol, como estos vidrios no aportan sombra cuando reciben el sol directo se vuelven muy brillantes pudiendo provocar deslumbramiento. El empleo de brise soleil que difunden el sol directo, en los tragaluces no orientados a norte (Iluminación difusa), resulta un recurso habitual para la resolución de los conflictos generados por estos elementos.

Los lucernarios, se han utilizado extensivamente en arquitecturas de regiones de latitudes más altas a la nuestra y con situaciones climatológicas de cielos cubiertos más frecuentes que en nuestro caso. En estas regiones los problemas de sobre calentamiento y sol directo tienen menos importancia. Pero con la aparición de nuevos elementos tecnológicos capaces de resolver sistemas de sombra.

E3 Iluminación bilateral

Ante la dificultad de iluminar espacios profundos surge la necesidad de plantear un sistema de iluminación bilateral, esta segunda vía de iluminación de un espacio puede resolverse mediante un patio de dimensiones adecuadas a la altura de la construcción. Una potente herramienta de cara a obtener una iluminación natural de alta calidad consiste en dividir funcionalmente las dos fachadas expuestas al flujo luminoso, exterior y de patio. Mientras una facilita la visión y relación con el exterior mediante elementos de sombra que lo permitan, la interior se orienta a una difusión de la luz por el espacio mediante huecos en la zona superior, aumentando los niveles de iluminancia en las zonas alejadas de las fachadas. Otra posibilidad consiste en combinar la iluminación lateral con lucernarios. Estos últimos con la función de obtener una iluminancia uniforme en el espacio y los huecos verticales permitiendo un contacto visual con el exterior.

En este planteamiento estratégico de la iluminación de un espacio no se pueden dejar de lado las relaciones entre los distintos espacios. En el caso de edificios de oficinas con dos fachadas exteriores, y oficinas a ambos lados de un corredor central, la incorporación de huecos altos en las particiones entre oficinas y pasillo junto con un techo reflectante se consigue tener unas condiciones suficientes de iluminación en la zona de circulación. Otro ejemplo son los patios o atrios con techos acristalados, en este caso el acristalamiento del mismo reduce el flujo luminoso si el atrio se resuelve con materiales de alta reflectancia se puede llegar a aumentar la profundidad de penetración de la luz natural en los espacios recayentes al patio.Finalmente, los acabados superficiales, el uso y el amueblamiento de los espacios también deben de intervenir en el proceso. La reflectancia de los materiales superficiales va a afectar a una correcta difusión de la luz natural captada y de los sistemas artificiales. Los techos de los espacios son elementos de reflexión de la luz captada, esta reflexión debe de ser difusa para evitar problemas de deslumbramiento. Un techo difuso con una alta reflectancia puede ser muy útil para conseguir una uniformidad en la distribución de iluminancias en un plano de trabajo. La reflectancia de las superficies verticales también tiene una importancia en la percepción del espacio, lo mismo que las características del suelo que deben tener reflectancias no inferiores a 0,3. En lo relativo al uso del espacio también es importante ya que si bien en la mayor parte de las ocasiones tomamos unas condiciones uniformes para todo el espacio, en determinadas ocasiones por elevadas exigencias visuales de las tareas a realizar, la disposición de los puestos de trabajo o de exposición (como ocurre con los espacios expositivos) deben de estar determinadas en el proyecto.

E4 Redireccionamiento del flujo luminoso

El redireccionamiento del flujo más que una estrategia consiste en sistemas que cuando las condiciones de dimensionado, obstrucción o accesibilidad al exterior no facilitan unos buenas condiciones de iluminación natural mejoran la situación. Estos sistemas tradicionalmente se han limitado a los brise-soleil pero tecnológicamente hay sistemas igualemnte válidos como los paneles difusores cortados con láser, sistemas ópticos holográficos o baldas de luz tratadas ópticamente.

Diseño de huecos

En el diseño de los huecos y sistemas de control de la iluminación uno de los parámetros iniciales son la posición de la abertura con respecto al cielo así como el tipo de cielo, difuso claro, difuso nublado o sol directo.

Estrategias para tragaluces, claraboyas y lucernarios

Estos dispositivos se pueden utilizar tanto para cielos claros como predominantemente nublados, la clave de su optimización reside en como manejan la luz directa del sol. En estos casos el empleo de sistemas adecuados de sombra es necesario, siempre y cuando no se trate de un hueco orientado a norte o de cubiertas con un grado de obstrucción elevado. Independientemente del grado de obstrucción el empleo de sistemas que incluyen sombra es una garantía para evitar el deslumbramiento sobre todo en situaciones de cielo muy claro.

C1 Estrategias para cielos predominantemente claros

Por contraste con las situaciones anteriores en los climas en los que predominan los cielos claros, como en la Comunidad Valenciana, las estrategias de distribución de la luz natural tienen que trabajar con sol directo a lo largo del día, salvo para orientaciones a norte. En estos casos es imprescindible el uso de sistemas de sombra. Las aberturas no necesitan estar dimensionadas para las situaciones de baja luminosidad en los días nublados y los sistemas de sombra más adecuados son aquellos que permiten la distribución de luz difusa.

C2 Estrategias para cielos predominantemente nublados

Para estas situaciones el objetivo es distribuir la luz en el interior cuando el sol no está presente, por este motivo los huecos deben de ser relativamente amplios y estar situados en la zona superior de la fachada. Bajo condiciones soleadas, estas aberturas son un punto crítico, provocando un sobre calentamiento y en algunos casos deslumbramiento. Para evitar estas situaciones siempre se debe de tener previsto un sistema de protección frente al sol directo, sistemas que faciliten la distribución de la luz difusa y eviten la luz solar directa serían aplicables en este caso. Teniendo en cuenta que estos sistemas provocan una pérdida de niveles luminosos, en la medida que sean adaptables a ambas situaciones estaremos aprovechando de un modo óptimo la disponibilidad de luz natural.

C3 Estrategias para luz solar directa

La luz del sol directa es muy brillante, por este motivo el aprovechamiento de la misma para obtener una iluminación de calidad mediante una simple apertura no es posible ya que puede provocar situaciones de deslumbramiento, junto con el problema del sobre calentamiento. Un aprovechamiento adecuado de la misma se tiene que obtener mediante sistemas ópticos de guiado de la luz, fácilmente incorporables por asimilarse el Sol a una fuente paralela. Los huecos para el desarrollo de estos sistemas además de ser de reducidas dimensiones, no permiten la vista del exterior por lo que deberán de emplearse en combinación con otro tipo de ventanas que si permitan la relación con el exterior.

A2.3. Relación entre los sistemas de protección solar y la iluminación natural.

Un parámetro más a la hora de proyectar los sistemas de control solar es su influencia sobre la iluminación natural. Hay que tener en cuenta que una adecuada selección de sistemas no puede solucionar defectos en la concepción general del proyecto. Es decir que los sistemas no son elementos superpuestos en unos huecos concebidos formalmente. En la selección de los sistemas se debe de asimilar tanto la función de la apertura como la interacción entre sistemas.

Una razonable selección de sistemas de acuerdo con las anteriores funciones puede mejorar los efectos de las aperturas y mejorar las condiciones de iluminación de los espacios interiores respetando la necesidad de protección solar según las características climáticas. Se pueden efectuar muchas catalogaciones de los sistemas en función de sus usos, propiedades etc... Pero a la hora de su incorporación en un proyecto, el técnico tiene que ser consciente, no sólo de todas sus propiedades relacionadas con la **propagación de la luz**, sino también las implicaciones del sistema en el **coste de la solución** y los detalles con las soluciones de fachadas y cubiertas. Siendo consciente que el objetivo final es el correcto funcionamiento global del edificio.

Los sistemas de control solar de cara a un aprovechamiento de las condiciones de iluminación natural además de la función propia de protección solar deben aportar, protección frente al deslumbramiento y un redireccionamiento del flujo luminoso.

Otro parámetro fundamental de los sistemas de protección es su **ubicación** con relación al plano de fachada o cubierta. Las posibles posiciones son en el exterior, en el hueco, en el interior o una combinación exterior, interior.

La ubicación del sistema afecta fundamentalmente al comportamiento térmico en el espacio interior. Los sistemas exteriores son más adecuados para reducir los aportes energéticos por la radiación solar, mientras que los sistemas interiores aumentan las cargas térmicas resultando más adecuados en climas fríos. Los sistemas incorporados en el hueco como elementos en el interior de los vidrios o sistemas de dobles fachadas pueden ser aplicados como parte del acondicionamiento térmico pasivo del edificio en forma de elementos de extracción en verano y colectores en invierno. La combinación de elementos interiores y exteriores se beneficia de las ventajas de ambos grupos y estarían formados por sistemas avanzados de control, diseñados para dirigir y difundir la luz natural en espacios profundos.

Desde el punto de vista del coste final de las soluciones, los sistemas que incluyen elementos exteriores son más costosos ya que deben de resistir frente a cualquier condición climatológica y desde el punto de vista del mantenimiento este es más laborioso, sobre todo si se trata de elementos móviles. Los sistemas con elementos interiores son menos efectivos frente a la protección solar pero tienen una repercusión menor en el coste final de la solución y su mantenimiento es más sencillo.

Posibilidad de cambio. La facilidad de adaptación de los sistemas de un edificio a las siempre cambiantes condiciones de lumínicas del exterior es otra de las características fundamentales de los sistemas de control. En función de la sofisticación de los sistemas, esta adaptación puede ser manual o automática. Las soluciones automáticas siempre plantean una complejidad mayor de cara a su ejecución, funcionamiento y mantenimiento.

Como sistemas más extendidos de protección solar figuran los aleros y los sistemas de lamas.

A2.4. Métodos de cálculo

Factor de luz natural

El factor de iluminación natural (FIN) se define como el cociente entre la iluminancia en un punto interior y la iluminancia que tendría ese mismo punto supuesto exterior, libre de obstáculos en el mismo instante.

$$FIN = \frac{E_i}{E_e}$$

El factor de iluminación natural es el parámetro más extendido y reconocido para evaluar las condiciones de iluminación natural de un espacio.

De acuerdo con los valores medios del *FIN* los espacios se pueden clasificar en tres niveles de iluminación natural.

FIN (%)	Apariencia espacial
< 2%	Iluminación natural pobre
2% - 5%	Iluminación natural adecuada, en determinadas ocasiones se necesita apoyo artificial
>5%	Iluminación natural buena, pero pueden presentar sobrecalentamiento por una excesiva ganancia solar

Tabla 11 Clasificación de los espacios en función del Factor de Iluminación natural FIN

En función del uso de los espacios los valores recomendados para el FIN se muestran a continuación:

Tipología	Ubicación	*FIN* med (%)	*FIN* min (%)
Escuelas	Vestíbulos	2	0,6
	Clases	5	2
	Salas de reuniones	1	0,3
Oficinas		2	0,6
Residencial	Zonas de día	1,5	0,3
	Zonas de noche	1	0,3
	Cocinas	2	0,6

Tabla 12 Factor de Iluminación natural recomendado por uso

Para la estimación de los valores del *FIN* se pueden utilizar métodos **manuales** o bien recurrir a **modelos numéricos**.

Método manual

En el caso del método manual, reconocido por la CIE se calculan las tres componentes del *FIN*[49]

- **CC** Componente del cielo simbolizado.
- **CRE** Componente reflejada externa.
- **CRI** Componente reflejada interna.

Por la proliferación de los sistemas informáticos. Los métodos manuales han dejado de utilizarse.

[49] *"Guía técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. IDAE*

Modelos numéricos.

Estos modelos pueden gestionar geometrías complejas y se basan en dos conceptos de simulación, la radiosidad y el trazado de rayos.

El método de la radiosidad supone dividir las superficies del espacio en un gran número de elementos de esta forma se modelan las reflexiones entre los distintos elementos receptores de luz. El número de cálculo es igual al cuadrado del número de subdivisiones por lo que este número va a influir en el tiempo de cálculo y en la precisión de los resultados.

El método del trazado de rayos se puede acometer el problema desde dos técnicas:

Trazado de rayos inverso donde el rayo es trazado desde la posición del receptor hasta la intersección con la superficie reflectante y desde la superficie reflectante hasta la fuente luminosa.

Trazado de rayos directo donde los rayos son trazados desde la fuente de luz hacia las superficies y receptores.

Simulaciones

Para las simulaciones incorporadas en la guía se ha seguido el método del Trazado de rayos con la aplicación Radiance Desktop® desarrollada por el LBNL[50]

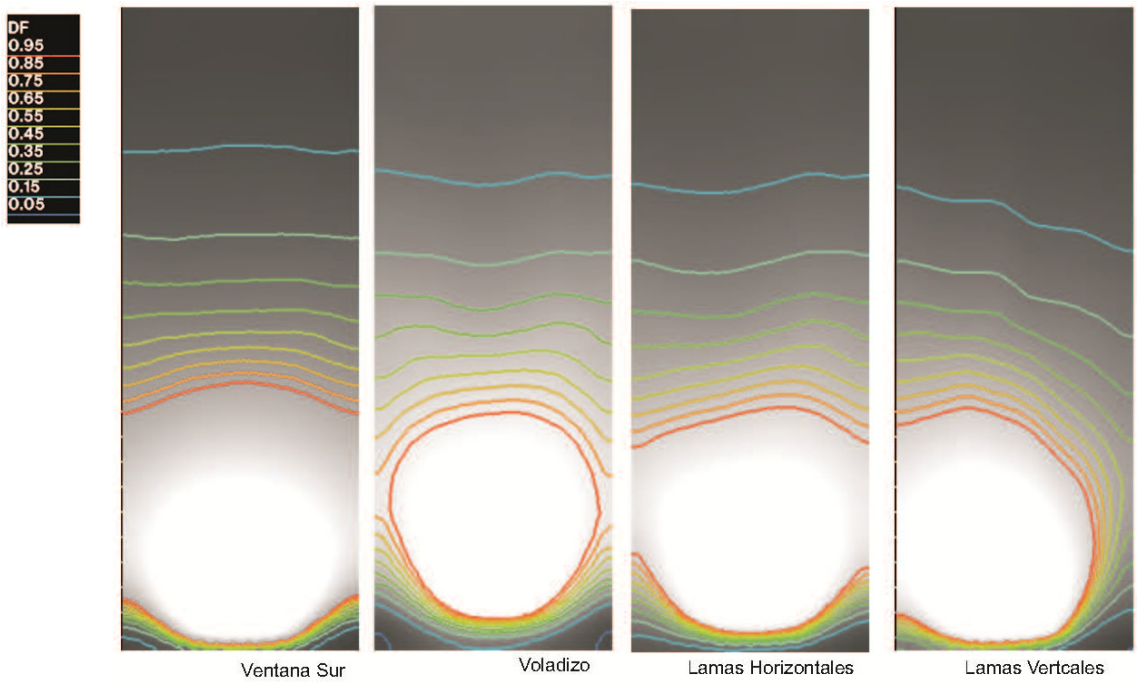
El caso analizado es un recinto con una profundidad de 8 metros con distintas estrategías de iluminación y protección solar, para situaciones sin obstrucciones y con una obstrucción elevada.

Para los huecos en fachada se presentan los resultados con un hueco cuadrado de 1,2m de lado, un hueco con unas dimensiones de 1,2 de altura por 3m de anchura y para una puerta de 1,2 de anchura por 2,1 de altura.

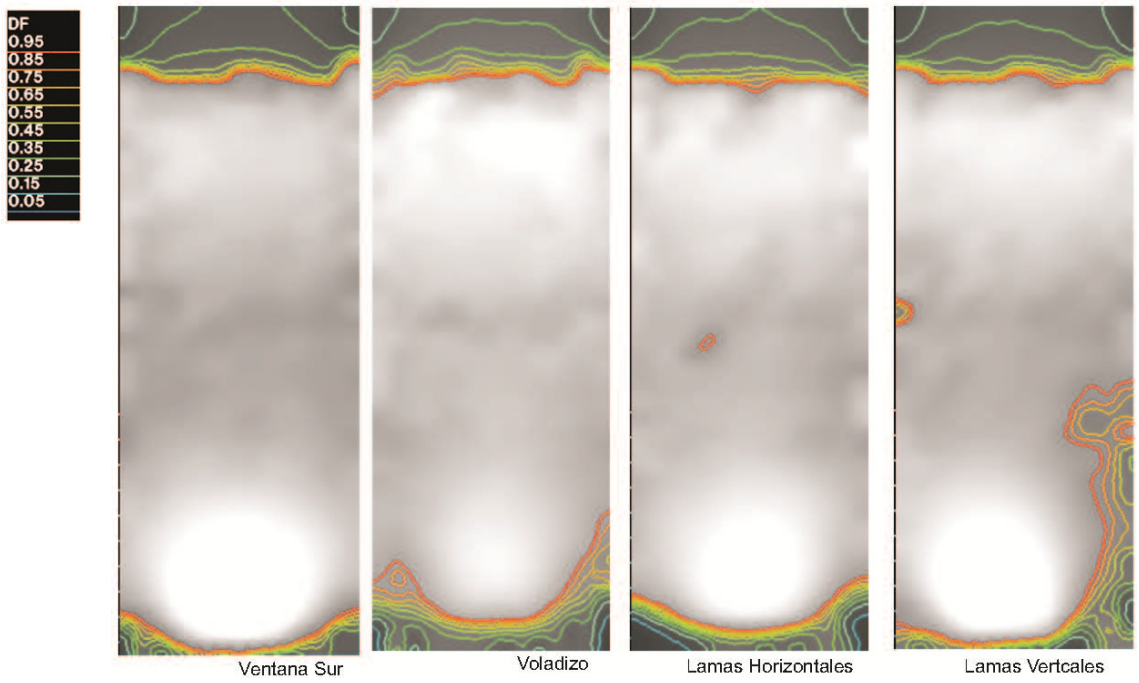
Los sistemas de protección solar analizados reproducen las características definidas en función de las necesidades de protección solar. Los sistemas reproducidos son en un alero, sistema de lamas horizontales y sistema de lamas verticales, para las tres tipologías de huecos analizadas.

[50] *Desktop Radiance. Lawrence Berkeley National Laboratory. http://radsite.lbl.gov/radiance/HOME.html*

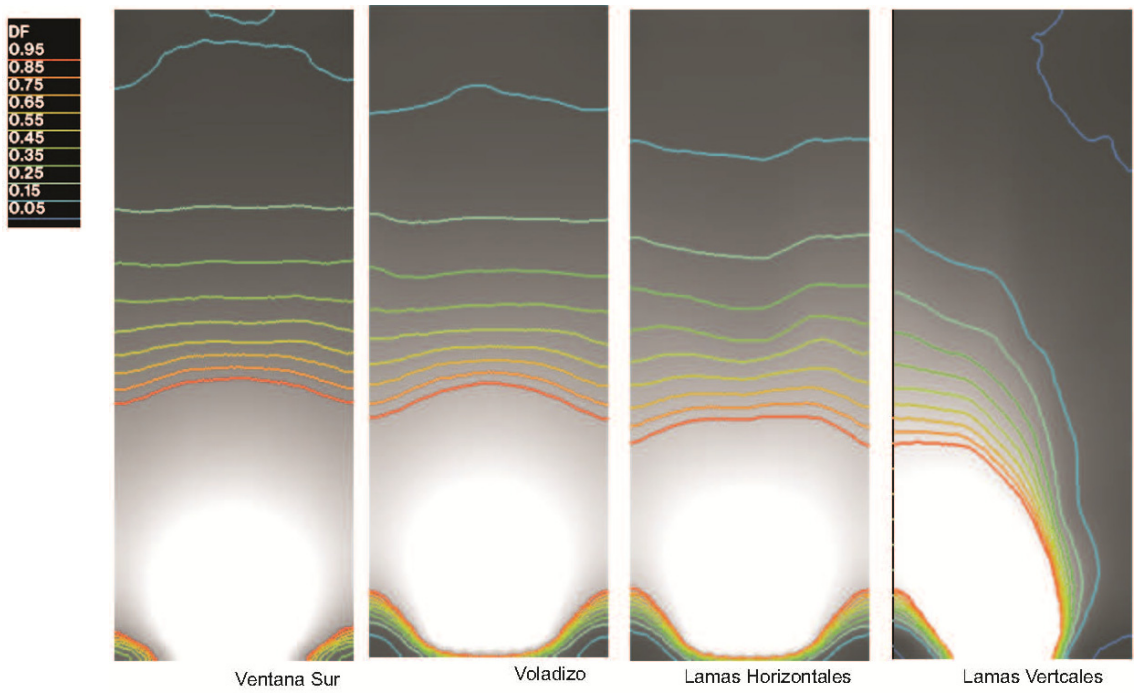
Espacio 8x3 Unidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x1,20**



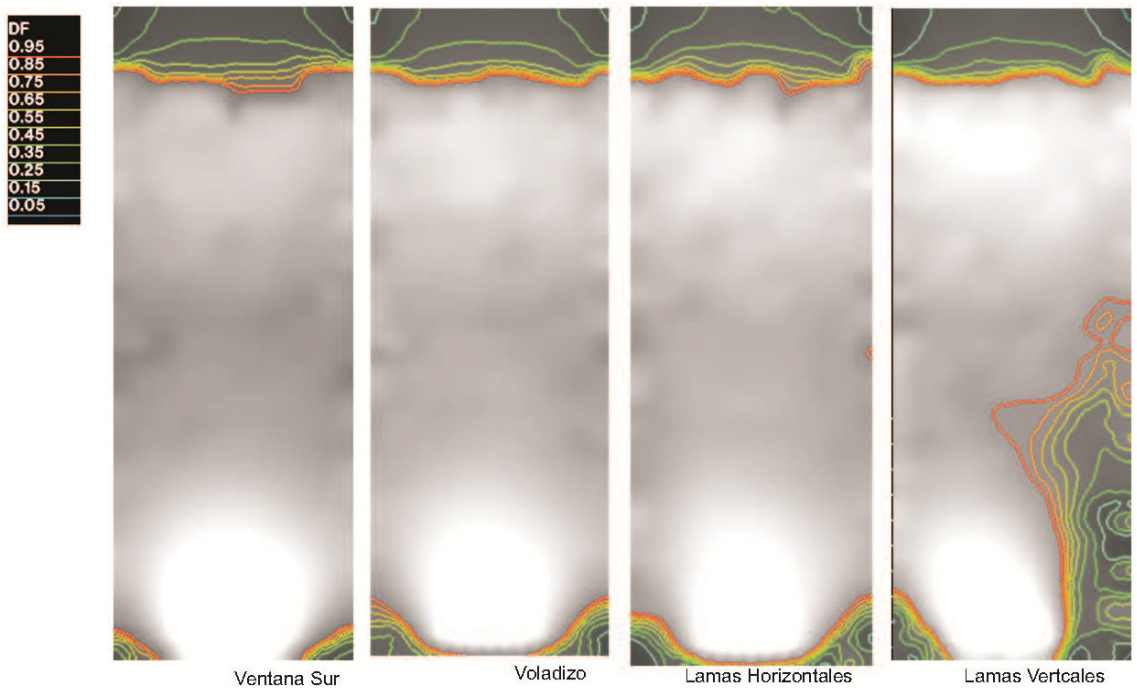
Espacio 8x3 Bidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x1,20**



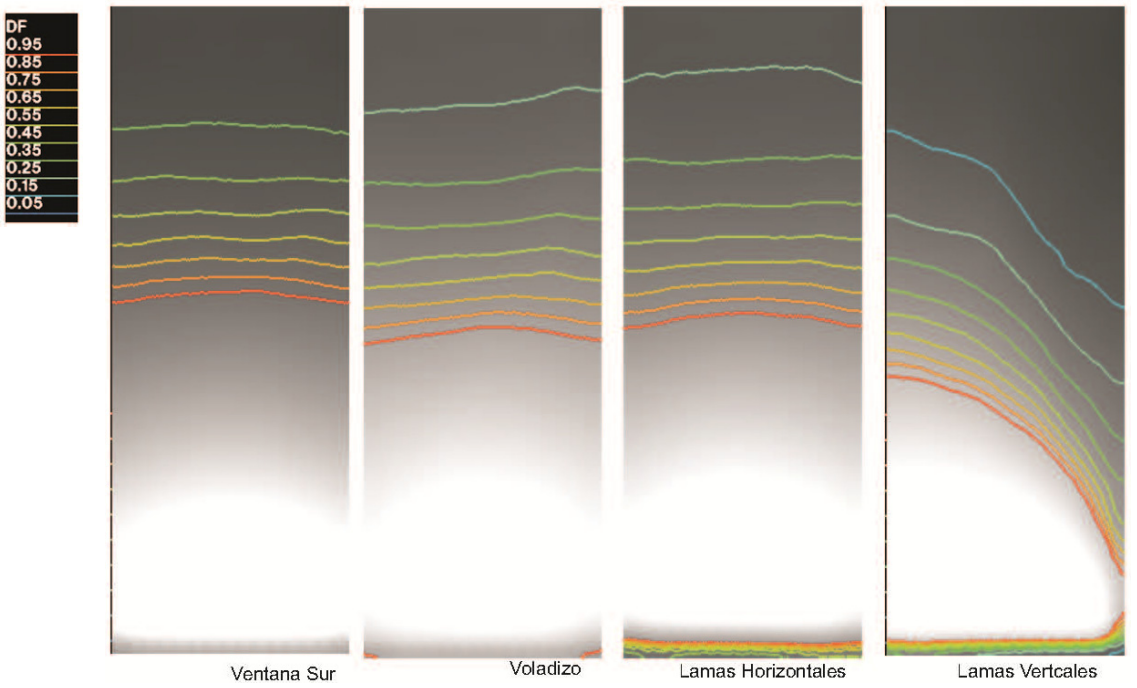
Espacio 8x3 Unidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x2,10**



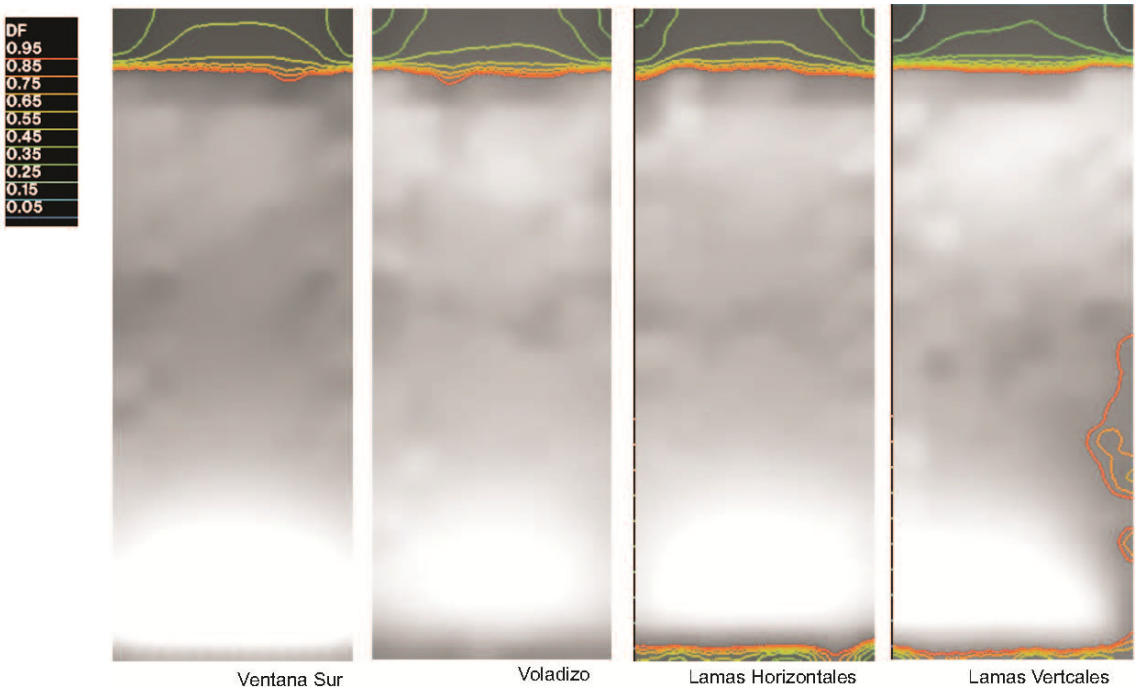
Espacio 8x3 Bidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x2,10**



Espacio 8x3 Bidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x2,10**



Espacio 8x3 Bidireccional – Sin obstrucciones **Hueco 1,20x2,10**



3

ESTUDIO DEL RÉGIMEN DE VIENTOS

GUÍA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA LA EDIFICACIÓN

A3

ESTUDIO DEL RÉGIMEN DE VIENTOS

La necesidad de ventilación se relaciona con el movimiento del aire en el interior de la edificación, muy en relación con el viento circundante. Al contrario que los sistemas mecánicos, que dependen únicamente de su propio diseño, los sistemas de ventilación natural deben ser diseñados en relación con la envolvente del edificio y teniendo en cuenta las condiciones ambientales del mismo desde el mismo momento de la selección del emplazamiento.

En primer lugar se caracterizará el régimen predominante en base a los parámetros obtenidos de las mediciones realizadas en los observatorios. Estos parámetros característicos son la velocidad, dirección y frecuencia, los cuales se representan mediante cuadros de frecuencia y de manera gráfica con rosas de viento.

Una vez definidos estos parámetros, hay que analizar los elementos del entorno inmediato que pueden modificar las características generales del viento, como las obstrucciones o barreras naturales o artificiales, la propia disposición del edificio respecto a la dirección del viento o respecto a edificaciones colindantes e incluso la forma en planta y altura del edificio.

A3.1. Caracterización gráfica

El tratamiento más comúnmente empleado de las mediciones de dirección y velocidad del viento es la elaboración de los **cuadros estadísticos de frecuencias de simultaneidad** de dirección y velocidad construidas a partir de observaciones regulares de viento efectuadas a horas fijas. En estos cuadros se clasifican las mediciones por intervalos de dirección, cuyos valores medios son los 16 rumbos NNE, NE, ENE, E,..., WSW, W, WNW, NW, NNW, N, y por intervalos de velocidad como pueden ser 1-3 m/s, 3-5 m/s, 5-7 m/s, 7-9 m/s, 9-11 m/s, > 11 m/s.

Análisis de Frecuencias																	
		0 N	1 NNE	2 NE	3 ENE	4 E	5 ESE	6 SE	7 SSE	8 S	9 SSW	10 SW	11 WSW	12 W	13 WNW	14 NW	15 NNW
A	<0,5 m/s	3,2	7,6	2,4	1,2	0,6	0,6	0,6	0,8	1,8	3,2	4,1	1,7	0,6	0,8	0,4	1,4
B	0,5-1 m/s	3,5	3,6	0,6	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	1,1	2,0	1,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4
C	1-2 m/s	4,6	3,6	0,9	0,2	0,2	0,3	0,6	1,2	4,3	3,5	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	1,0
D	2-3 m/s	1,7	0,8	0,5	0,3	0,2	0,4	0,8	2,0	7,1	2,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9
E	3-4 m/s	0,6	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,8	5,8	1,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,8
F	4-5 m/s	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
G	5-6 m/s	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
H	>6 m/s	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
	Frecuencia	14,2	16,0	4,8	2,2	1,5	1,7	2,5	5,3	22,3	12,4	6,2	2,4	0,9	1,1	1,1	5,4

Tabla 13 Tabla de frecuencias de intensidades y direcciones del viento

A partir de la serie cronológica continua de observaciones de viento tomadas a intervalos de tiempo relativamente pequeños (observaciones hora a hora), o bien de un registro continuo de mediciones, se puede construir el cuadro de persistencia de dirección del viento. En este cuadro se representa el número de veces que se ha presentado viento en una determinada dirección y durante un determinado número de horas consecutivas. Además, se incluyen también los valores correspondientes a los distintos intervalos de calma. Con estos cuadros se pone de manifiesto la persistencia, en un determinado sentido, de los arrastres de contaminantes, junto con el número de veces que se presenta cada situación; estos valores son mucho más expresivos que el factor de constancia anterior.

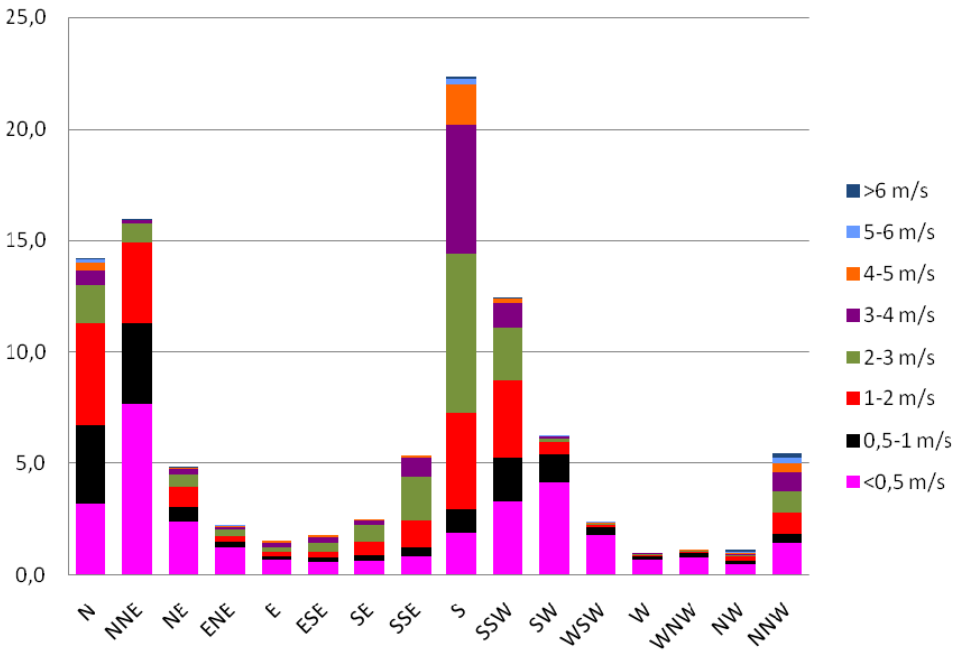


Figura A3.1 Representación gráfica de las frecuencias del viento

Para representar los campos de viento y poder considerar las acciones que el mismo tiene en los edificios y elementos circundantes se utilizan **rosas de vientos**, que resumen de forma gráfica los cuadros estadísticos de frecuencias de simultaneidad de dirección y velocidad, construidas a partir de observaciones regulares de viento efectuadas a horas fijas.

La representación gráfica de los cuadros estadísticos de frecuencias es la llamada "rosa de los vientos", y se puede evaluar para la totalidad de mediciones de varios años (al menos 10, si es posible), para cada año, para diferentes estaciones del año o para las distintas horas de medida. Una rosa de vientos es una representación circular de las distintas direcciones desde las que sopla el viento en una localización geográfica determinada.

Para realizar las rosas de vientos de una zona por tanto, se requiere un tratamiento de los datos climáticos de la lectura de velocidades. El análisis profundo de la misma, determinará para cada dirección, la probabilidad de existencia de velocidades del viento procedentes de un rumbo determinado en cada una de las direcciones consideradas con una cierta frecuencia.

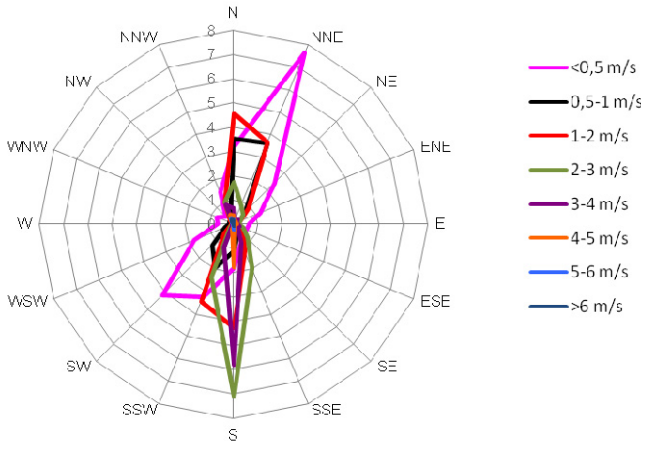


Figura A3.2 Rosa de vientos construida a partir de los datos de frecuencia de mediciones

También se puede determinar la estratificación atmosférica correspondiente a cada medición y elaborar el cuadro estadístico anterior y la rosa de vientos para cada categoría de estabilidad, resultando con ello la llamada matriz cúbica de estabilidad (dirección-velocidad-categoría de estabilidad).

Cuando la velocidad del viento es inferior al umbral de sensibilidad del anemómetro, el viento se considera como **calma**; en este caso no se asocia ninguna dirección al viento. Sin embargo, en algunos casos puede ser interesante incluir los vientos en calma, que suelen ser los menores a 1 m/s, en el cuadro de frecuencia anterior; para ello se reparte la frecuencia total de vientos en calma entre las 16 direcciones de viento, proporcionalmente a la frecuencia que resulta en cada dirección para los vientos de la clase más baja, en el caso anterior 1-3 m/s. Las clases de velocidad se ampliarán así con la correspondiente a 0-1 m/s.

Para la determinación de una rosa de vientos, y de las direcciones principales en cada uno de los puntos de la Comunitat Valenciana, en base a las frecuencias más probables en los rumbos, se hace necesario un análisis de los datos de los campos de viento y mediciones en la estación más cercana. En ocasiones no es la estación más cercana la que representa mejor la situación de un punto determinado, puesto que es importante considerar los obstáculos, como la orografía o la edificación existente entre las estaciones de lectura y los puntos a considerar.

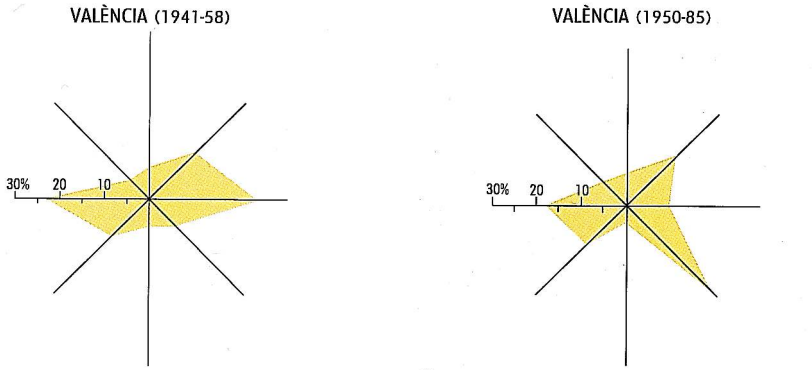


Figura A3.3 Comparación entre dos rosas de frecuencias anuales de orientación del viento en Valencia, durante dos periodos distintos, en las que se observa el efecto de las nuevas edificaciones. Sanjaume, 1985. Atlas Climático de la Comunidad Valenciana

A3.2. Efectos y variaciones de los flujos de viento

A3.2.1 Variación estacional y diaria

En la Comunitat Valenciana, por lo general, las intensidades medias de viento no suelen sobrepasar los 15-20 km/h. Las máximas velocidades se producen en los meses fríos de invierno y al principio de la primavera, predominando la componente W, mientras que en la mitad más cálida del año predomina la componente E y SE, debido al efecto de los vientos marinos reforzados por las brisas, por lo que se produce una clara alternancia estacional.

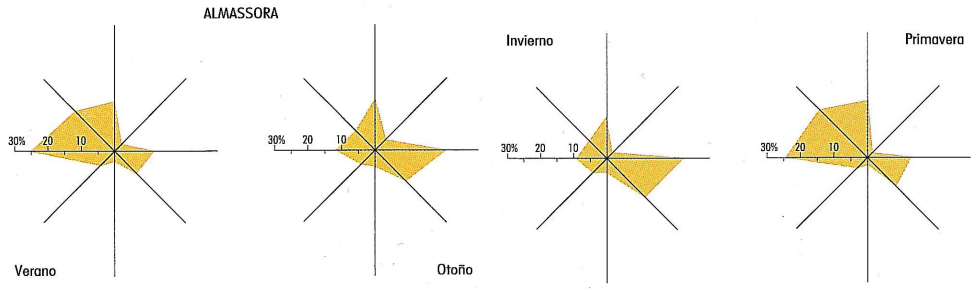


Figura A3.4 Régimen de vientos de Almassora por estaciones

En los meses de primavera verano se produce el máximo número de días con brisas, las cuales se originan de mar a tierra durante el día (brisas marinas) y de tierra a mar durante la noche (brisas terrestres).

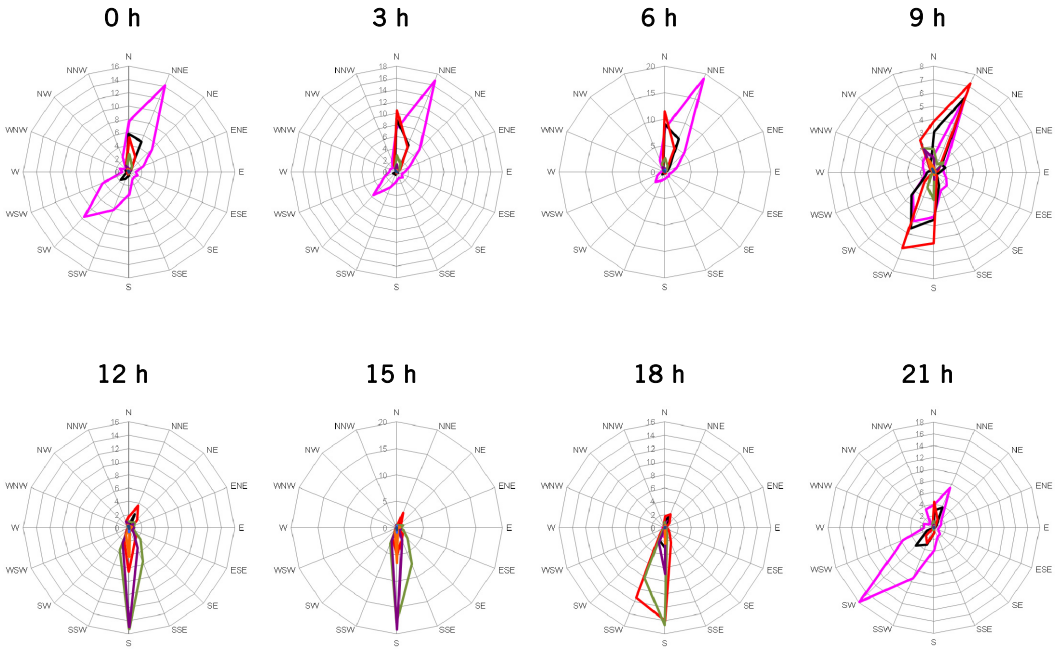


Figura A3.5 Rosas de vientos horarias

A3.2.2 Ámbito territorial

Variación en altura: perfil de velocidades

Los perfiles de velocidad y temperatura en la capa límite planetaria se podrían evaluar integrando el sistema de ecuaciones formado por aquellas que representan la continuidad de la masa de aire y la cantidad de movimiento.

Sin embargo, y ante la dificultad que representa resolver este sistema para las distintas situaciones meteorológicas de interés, máxime en los casos de topografía del terreno compleja, el método que generalmente se adopta es el perfil potencial de velocidades:

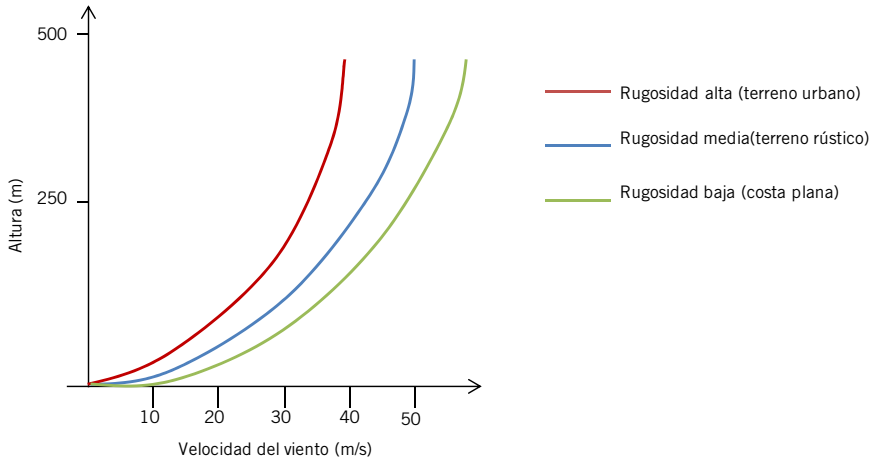


Figura A3.6 Perfil de velocidad del viento en la baja atmósfera

Las observaciones de la velocidad media del viento en la capa límite atmosférica a distintas alturas indican que el perfil de viento puede describirse adecuadamente por una ley potencial, en la cual el exponente varía entre 0'1 y 0'4, en función de la rugosidad del terreno y de la estratificación atmosférica.

Terreno	Exponente
Campo	0’16
Suburbios	0’28
Urbano	0’40

Tabla 14 Valores estimados del exponente

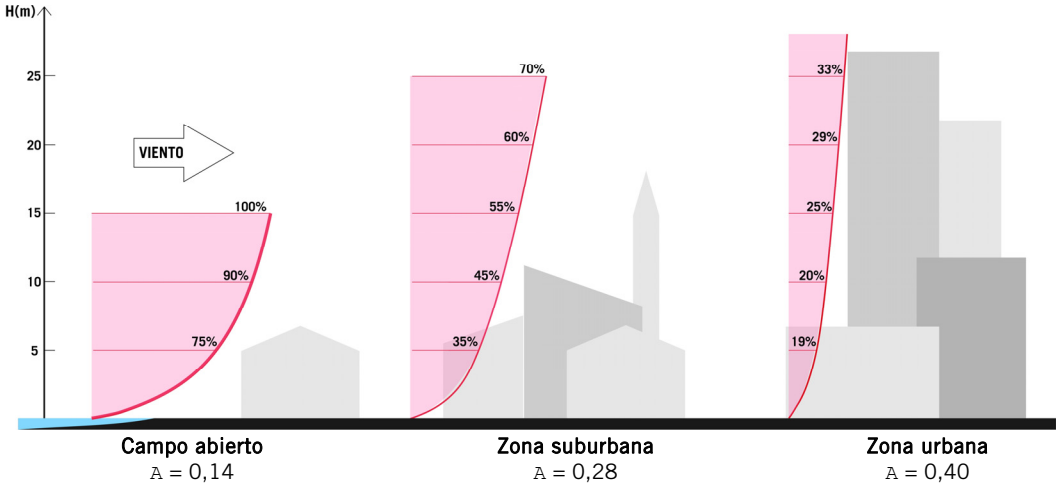


Figura A3.7 Gradiente de la velocidad del viento en función de la altura y el entorno

Además de los efectos producidos por los distintos elementos orográficos, las variaciones más importantes se deben a la configuración propia de los edificios. Su forma en planta y altura, o la posición relativa entre los volúmenes construidos respecto a la dirección predominante de los vientos, puede hacer que se produzcan determinados efectos aerodinámicos que modifiquen la dirección y velocidad de los flujos de aire de manera significativa.

Cuando se desea aprovechar al máximo la ventilación natural, la ubicación de un edificio deberá obtener la mayor entrada de aire potencial considerando el relieve y la edificación en la envolvente, ya que la dirección y velocidad finales del viento están determinadas por los obstáculos que encuentra a su paso.

Además del régimen general de vientos dominante, a escala territorial se deben tener en cuenta las perturbaciones provocadas por la topografía o las grandes masas de agua ya que alterarán la distribución de los flujos de viento, según las siguientes pautas:

Montañas y valles

En las formaciones montañosas, la radiación diurna actúa calentando el terreno de forma más intensa en las partes más altas, de forma que se producen corrientes ascendentes de aire caliente. Por el contrario al anochecer, se invierte el sentido de la corriente de aire produciéndose en sentido descendente, debido a que la parte superior de la montaña se encuentra más expuesta a la bóveda celeste y por tanto se enfría más rápidamente.

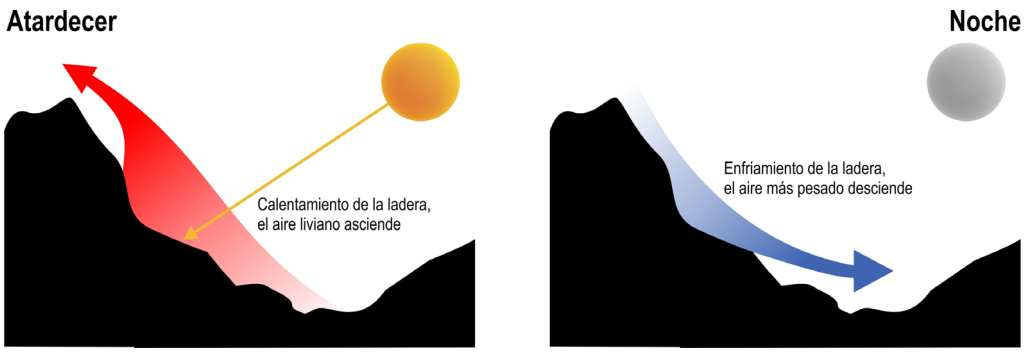
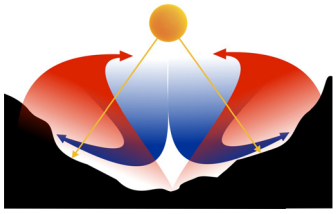
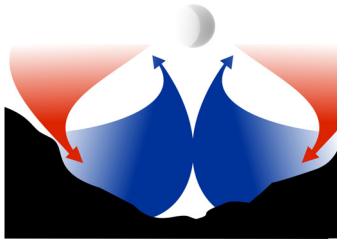


Figura A3.8 Vientos catabático (montaña) y anabático (valle)



La dirección de los vientos en configuraciones montañosas se produce de manera inversa por la noche con respecto al día. Durante el día se calienta el terreno, debido a la influencia de la radiación solar, se produce un calentamiento del aire que tiende a elevarse, produciéndose corrientes de aire caliente ascendentes.



Por la noche, al desaparecer el efecto de la radiación, se produce un rápido enfriamiento de la parte más alta de la montaña, debido en parte por la exposición a la bóveda celeste, de manera que el aire tiende a descender desde la parte más fría hacia la más caliente, produciéndose corrientes de aire frío descendentes.
Debido a este fenómeno, se produce un embolsamiento de aire frío y húmedo en el fondo del valle (cinturón térmico).

Los valles también, pueden servir de elemento canalizador de los vientos predominantes. Si el edificio se encuentra en un valle muy encauzado, los vientos dominantes serán en la dirección del mismo.

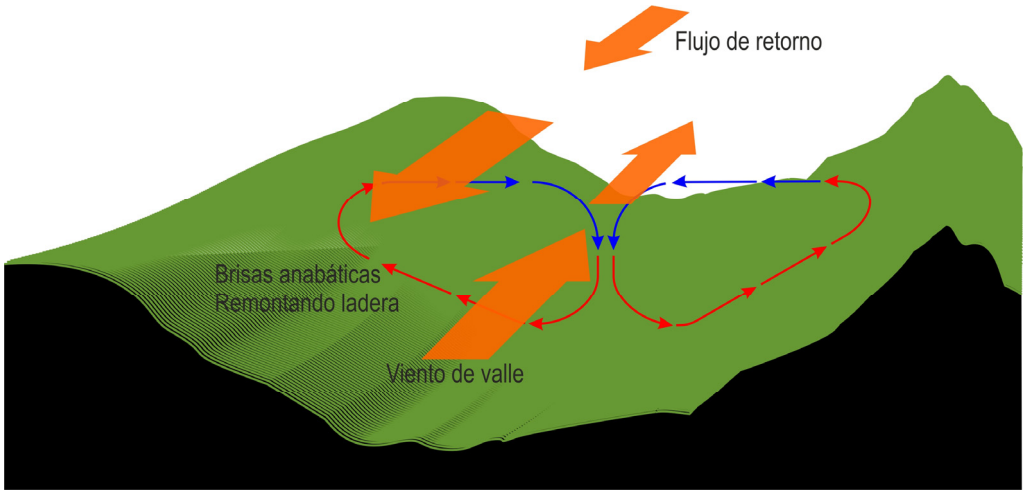
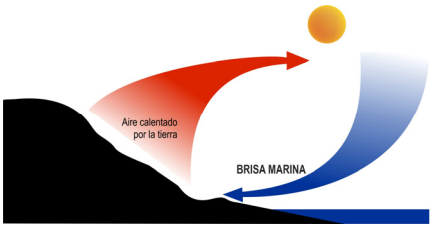
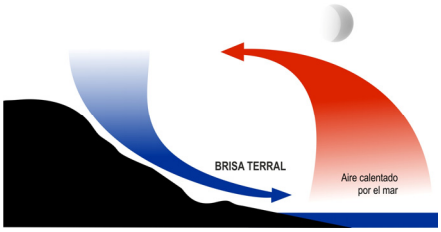


Figura A3.9 Comportamiento del viento en los valles

Mar



Las grandes masas de agua, como el mar, se calientan y se enfrían más lentamente que la tierra, debido a la capacidad calorífica del agua. Esta diferencia hace que la tierra más caliente que la superficie del mar, produzca movimientos de aire ascendente, haciendo que entre aire fresco del mar, provocando brisas marinas diurnas.



Por la noche, el mar conserva el calor durante más tiempo y la tierra se enfría más rápidamente, de modo que se invierte la dirección de las brisas, circulando el aire desde la tierra hacia el mar, produciéndose lo que se conoce como viento de terral. Si el edificio se encuentra en la línea de costa, los vientos dominantes serán perpendiculares a la misma.

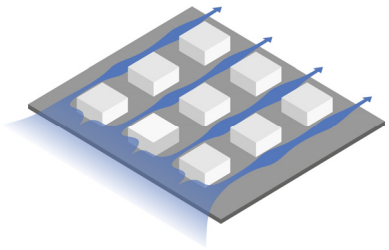
Figura A3.10 Regímenes de brisas costeras diurnas y nocturnas

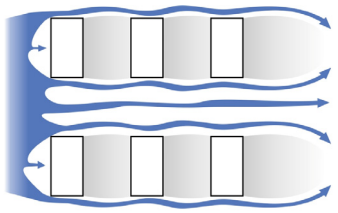
A3.2.3 Ámbito local

Influencia de la trama urbana

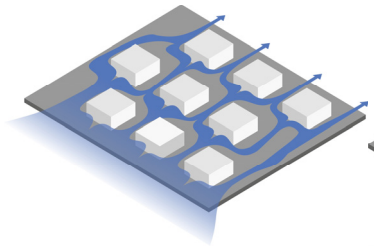
La disposición de los edificios y la relación con otros dentro de la estructura urbana y su orientación respecto al régimen de vientos predominante, puede hacer que se produzcan efectos de conjunto a favor o en contra de una buena ventilación.

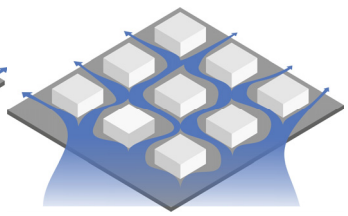
La disposición lineal de las edificaciones con las caras paralelas a la dirección del viento, proporcionará una mala ventilación al conjunto.





Por el contrario, si se orienta con las caras oblicuas en la dirección del viento o se disponen los edificios de manera escalonada, será más probable que se produzca una buena ventilación del conjunto.





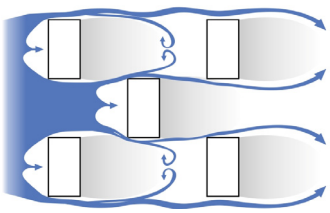


Figura A3.11 Influencia de la trama urbana en el régimen de vientos

La separación entre los edificios y la diferencia de altura entre ellos condiciona su acceso a la ventilación:

Los espacios reducidos provocan poco movimiento de aire entre edificios. Es una buena protección en climas fríos, no apto para ventilación cruzada.

Los espacios amplios favorecen la ventilación cruzada en el edificio situado a sotavento. Apropiado para climas cálido - húmedos. La distancia entre edificaciones de al menos 5 veces su altura facilita el acceso a la ventilación.

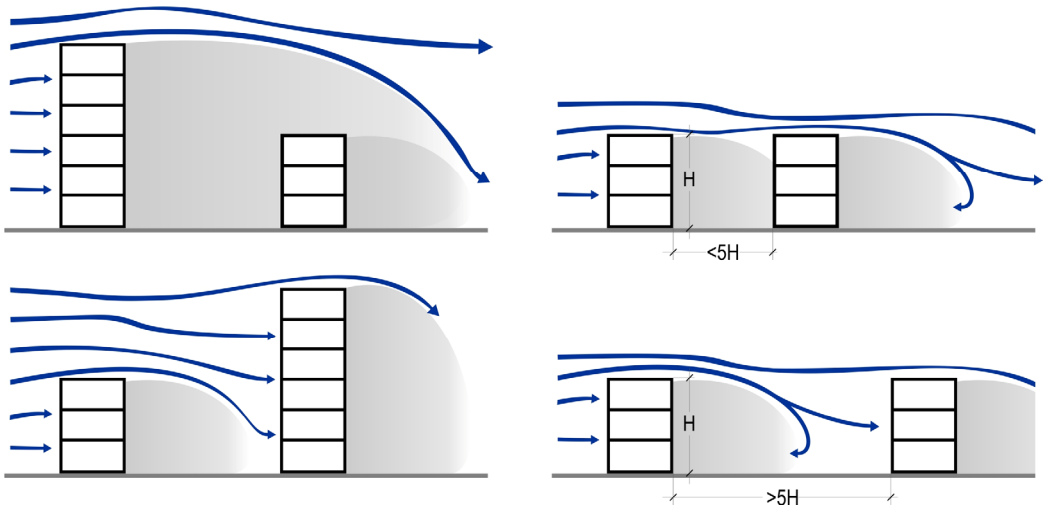
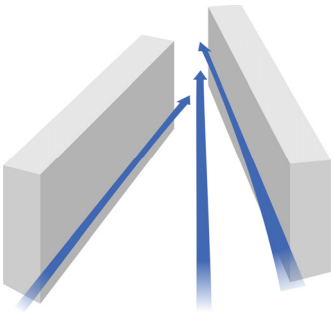


Figura A3.12 Influencia de la separación entre los edificios y la diferencia de altura en el acceso a la ventilación

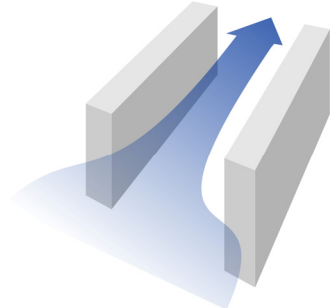
Algunos efectos que se pueden producir ocasionados por la interacción de los edificios entre sí son los siguientes:

Efecto Venturi



Puede ocurrir cuando dos edificios largos se ubican de manera convergente, o se encuentran en una urbanización con un estrechamiento por alguna causa. En estos casos, la velocidad se acelera en este punto consiguiendo un pasaje angosto en que la acción del viento se acelera en la dirección del paso entre los edificios.

Efecto de canalización



Es el efecto de canalización del aire que puede producirse en las calles angostas, largas y en la misma dirección del viento.

Influencia de los elementos exteriores a la edificación

Los elementos fijos existentes en el entorno próximo a la edificación, pueden modificar los parámetros característicos del viento. Las dimensiones y el grado de permeabilidad de las pantallas naturales o artificiales condicionarán el paso del aire a través de ellos, modificando su trayectoria y reduciendo su intensidad. El efecto producido dependerá de la altura de la pantalla y de su distancia respecto al edificio.

Pueden forzarse zonas de presión positiva y negativa con la presencia de arbustos densos alrededor del edificio. La posición de los arbustos y de las aberturas debe ser considerada teniendo en cuenta el régimen de vientos, permitiendo que el aire circule hacia las aberturas, sin impedir el flujo a través de las mismas.

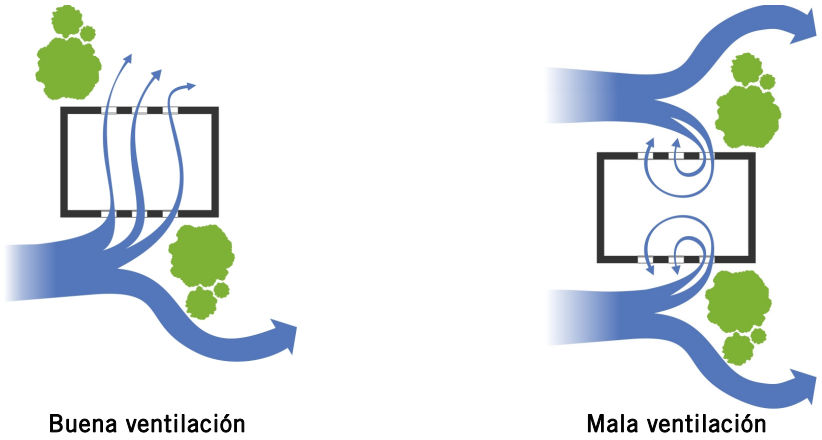
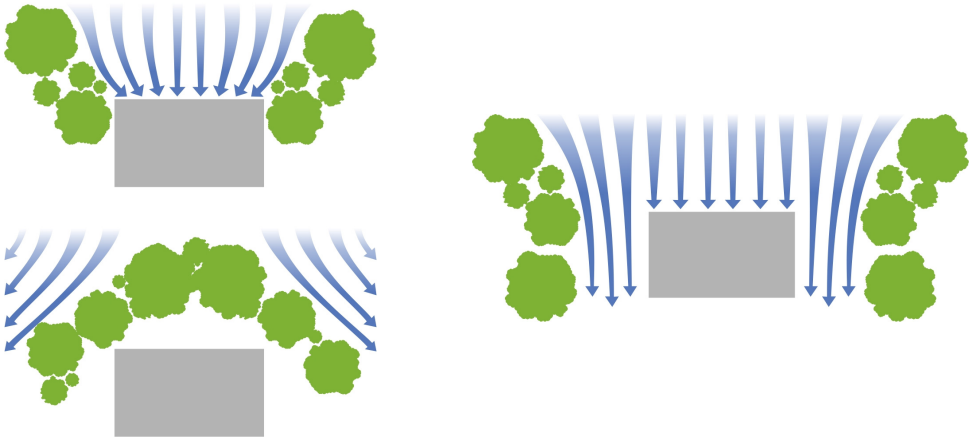


Figura A3.13 Interacción de la vegetación exterior en la envolvente inmediata del edificio

El aire puede asimismo ser dirigido para acercarse o alejarse del edificio mediante un efecto Venturi, como se muestra en la figura siguiente. Las zonas en las que se fuerza la mayor velocidad del aire son aquellas en las que se va a generar menor presión, por lo que deberían ser estas las que albergaran las ventanas en las que se desea un flujo de salida a través de ventanas en estas fachadas



La vegetación exterior acerca el aire o lo aleja de las fachadas del edificio

La vegetación exterior genera aceleraciones en las fachadas laterales por efecto Venturi

Figura A3.14 Efecto Venturi provocado por la vegetación adyacente

Efectos debidos a las dimensiones y permeabilidad de los edificios

La variación de los flujos de aire que se producen alrededor del edificio, son función de las condiciones propias del emplazamiento del mismo, como la disposición de la trama urbana, la relación existente con las edificaciones colindantes o las debidas a la propia forma del edificio.

Los flujos de aire incidentes sobre las edificaciones generan una serie de presiones positivas y negativas alrededor de ellas que deben tenerse en cuenta para el aprovechamiento de la ventilación natural.

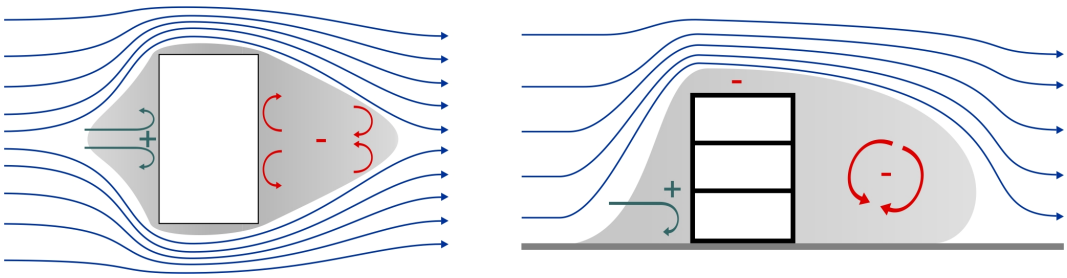
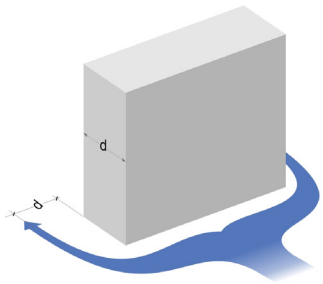


Figura A3.15 Presiones positivas a barlovento y negativas a sotavento

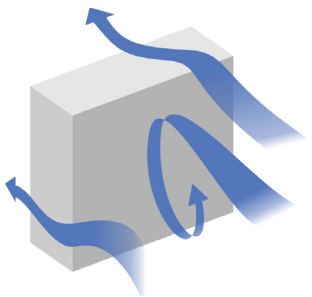
A continuación se describen algunos efectos que pueden producirse en las proximidades de los edificios, debidos a la obstaculización de los vientos dominantes:

Efecto de esquina



En las esquinas de los edificios se acelera la velocidad del viento, puesto que estos representan un obstáculo y es por estas zonas por las que el aire tiene que avanzar. Por ello la velocidad del viento tangente a la edificación es mayor en las esquinas, creciendo ésta conforme lo hace la superficie de fachada en la dirección del viento, ya que el caudal de aire interceptado es mayor.

Efecto de rodillo



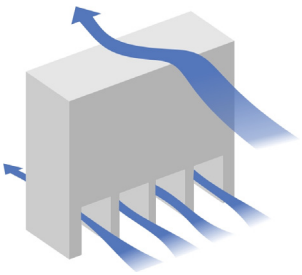
En la cara expuesta al viento de edificios con una altura superior a 15 metros aproximadamente, y con predominio de la anchura frente a la altura, se produce un efecto de torbellino que termina girando en la parte inferior del mismo, produciéndose un movimiento circular del aire.

Efecto de rebufo



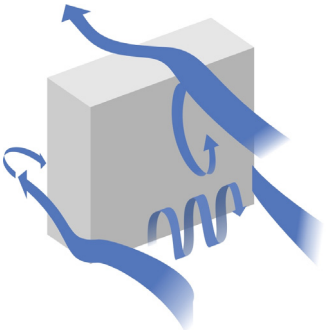
En la **cara posterior** de los edificios, como consecuencia del aire que avanza rodeando las esquinas del edificio, se producen turbulencias debido a las diferencias de presiones positivas y negativas de las caras.

Efecto de abertura



Con edificios altos, de más de cinco alturas, la propia edificación supone un obstáculo al viento, que tiene que sobrepasar el mismo. Si en estos casos se diseñan aberturas en la parte baja, se fuerza a que a mayoría del flujo de viento pase por estas zonas, de manera que las velocidades en estos pasajes se hacen especialmente grandes.

Efecto de barrera



Los edificios altos no permeables suponen una barrera frente a la acción del viento, de forma que se generan turbulencias en la parte expuesta y en la posterior. La amplitud de la zona protegida a sotavento dependerá de las dimensiones de la barrera e irá variando en función de la relación entre alto y ancho que tenga el edificio (ver apartado 4 y 5 sobre sombra de vientos).

Efectos debidos a la forma en planta y orientación del edificio.

La forma y orientación del edificio va a determinar aspectos aerodinámicos relacionados con el movimiento del mismo y la estela que genera la edificación.

Los movimientos del aire son complejos y vienen regidos por la turbulencia del mismo, lo cual es un aspecto complicado y difícil de simplificar. Sin embargo, en la Figura se presentan algunos esquemas que pueden representar casos genéricos de acción del viento y presencia de turbulencias y estelas a partir de diversas plantas.

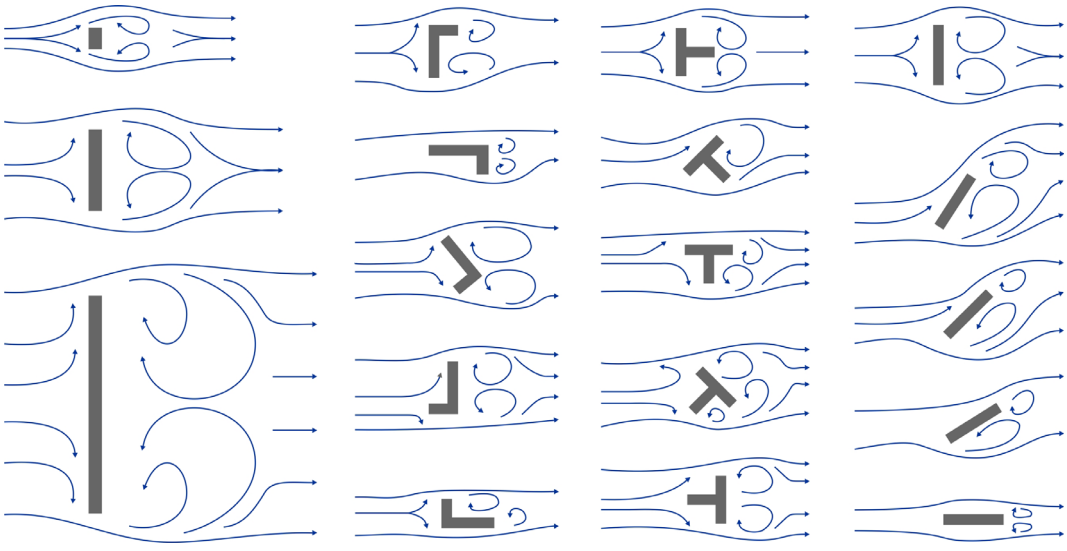


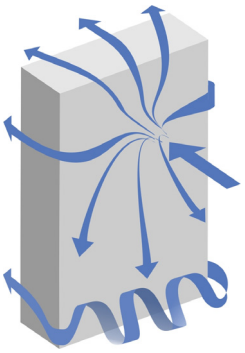
Figura A3.16 Patrones de flujo de aire en función de la forma y disposición de la edificación

Efectos debidos a la altura de los edificios

La altura del edificio es un parámetro muy importante en la ventilación. Los edificios altos se encuentran mejor ventilados porque no encuentran la estela de otros en la dirección del viento y porque la velocidad del mismo crece con la altura, de manera que las corrientes de aire en las

plantas superiores pueden ser importantes, teniendo en cuenta que la presencia de escaleras que comuniquen todas las plantas puede favorecer fuertemente un flujo vertical. Asimismo puede darse también una diferencia de temperaturas entre unas plantas y otras que puede llegar a favorecer una ventilación vertical importante.

Flujo bajante en edificios altos



La velocidad del viento no es constante en la dimensión vertical. En edificios altos, de más de cinco alturas, las velocidades son considerablemente mayores que en la parte baja, por lo que la entrada de aire por las aberturas superiores es mucho mayor que por las de las plantas bajas, pudiéndose llegar incluso a forzar un flujo inverso, entrante por las plantas altas y saliente por las bajas.

La relación entre las distintas dimensiones del prisma que envuelve el edificio (alto x ancho x largo), hace variar la extensión de la zona de calma o sombra de viento que se produce en la parte posterior del edificio. Esta área se puede estimar según los siguientes diagramas:

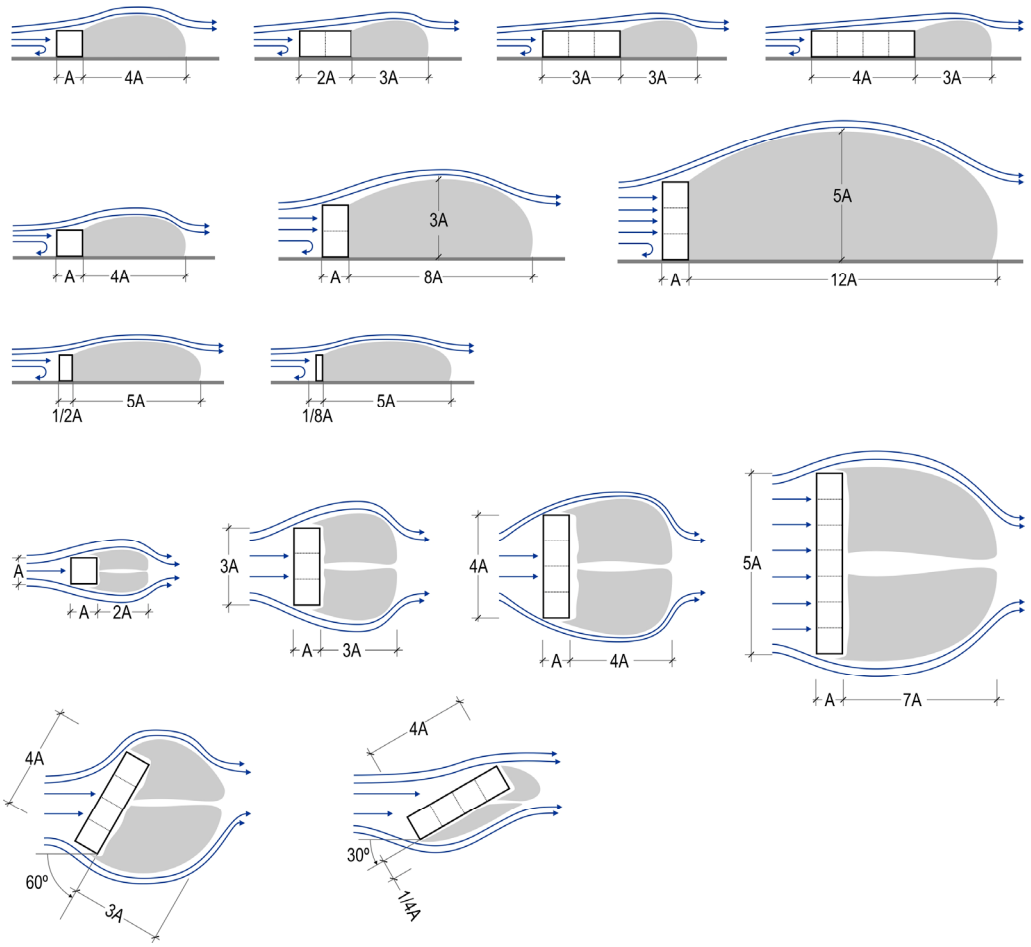
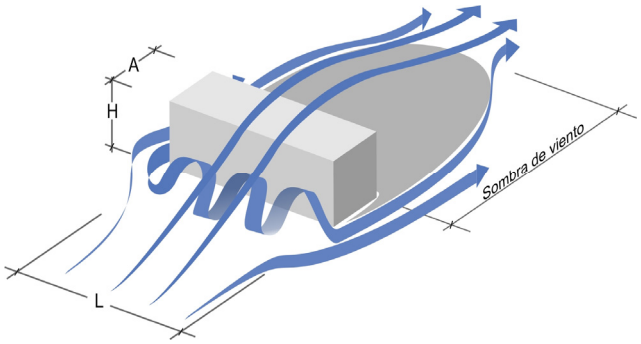


Figura A3.17 Sombra de viento en función de la geometría y disposición del edificio



Sombra de viento según la forma						
Sección del edificio		L Largo del edificio				
▶ Viento		2H	4H	8H	16H	24H
	H=A	2,5	3,75	5,25	8	8,75
	H=2A	2	2,75	3,75	6	7
	H=3A	2,25	3,25	4,24	5,75	5,5
	H=1/2A	2,5	4	6	8	9
	H=1/3A	2,25	3,75	5,5	6,25	7
	45º	1,5	2,5	4,5	6,5	7,5
	30º	2	2,5	4	6,25	7,5
	15º	2,5	4	6,5	9	11,5
	15º	2	3,25	5	8,75	10,75

Figura A3.18 Sombra de viento en función de la forma del edificio.
Fuente John Martin Evans. Centro de Investigación Hábitat y Energía

Forma de la cubierta

La forma de la cubierta de la edificación afecta al movimiento del aire por delante y por detrás del edificio. En general, los techos planos o con inclinaciones menores de 15º se encuentran en depresión en la totalidad de su superficie. Cualquier apertura en esta zona será de succión y funcionará como apertura de salida. Los techos con inclinaciones superiores o a dos aguas, o con formas alabeadas, tendrán una distribución de presiones diferente y las aberturas serán de entrada o salida, según sea el campo de presiones. A modo orientativo se indica la Figura, donde se muestra la acción positiva y negativa de la presión en la dirección del viento, dependiendo de la orientación de la superficie de tejado.

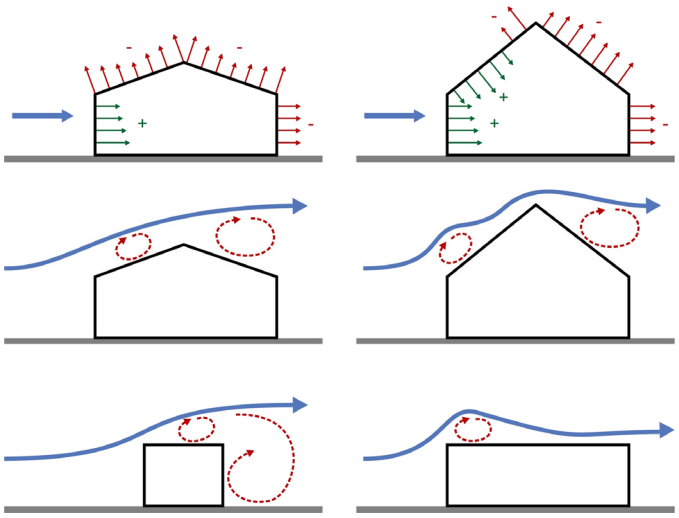


Figura A3.19 Presiones en diferentes morfologías de cubierta

Asimismo, los salientes del techo tienen consecuencias sobre las ventanas que se encuentran en la parte inferior. Estos salientes son "captadores de viento" que hacen que las ventanas directamente debajo de los mismos tengan más flujo de entrada.

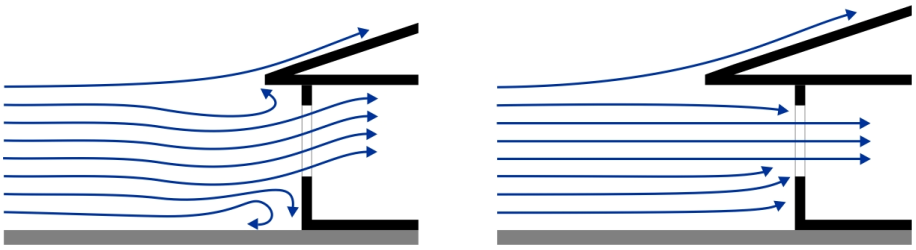


Figura A3.20 Efecto de los aleros superiores sobre las ventanas

B

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

B

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

B.1. Bibliografía

- ÁLVAREZ, Servando et al (2006-2008): "Proyecto RECONSOST. Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas". Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción.
- BUSTAMANTE, Waldo et al (2009): "Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social". Colección: Monografías y Ensayos. Serie: II Tecnología de la Construcción. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago de Chile.
- DE LUXÁN, Margarita et al (2011): "Guía para el diseño de edificios de viviendas sostenibles y energéticamente eficientes en el ámbito del Principado de Asturias". Fundación de Estudios Calidad de la Edificación en Asturias, FECEA.
- EDWARDS, L. y TORCELLINI, P. (2002): "A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants". National Rewenable Energy Laboratory – NREL.
- FONT, Inocencio (2007): "Climatología de España y Portugal". Ediciones Universidad de Salamanca
- GARCÍA, Arturo et al (1983): "Bases para el diseño solar pasivo". Equipo de Ahorro de Energía en la Edificación. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. CSIC.
- GIVONI, Baruch (1969): "Man, Climate and Architecture". Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney.
- GONZALO, Guillermo E. (2004): "Manual de arquitectura bioclimática". Nobuko.
- GRANADOS, Helena (2006): "Principios y estrategias del diseño bioclimático en la aquitectura y el urbanismo. Eficiencia energética". Monografías CATS. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.
- HERNÁNDEZ, Agustín, et al (2013): "Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas". Instituto Politécnico de Bragança. Portugal.
- HIGUERA, Esther (2006): "Urbanismo bioclimático". Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- IBAÑEZ, Manuel et al (2004): "Tecnología solar". Colección energías renovables. Mundi-Prensa S.A.
- IVE (2009): "Guía de Proyecto del Perfil de Calidad específico de Ahorro de energía y Sostenibilidad". Instituto Valenciano de la Edificación (www.five.es).
- IVE (2010): "Catálogo de Elementos Constructivos". Instituto Valenciano de la Edificación (www.five.es).
- IVE: "Cuadernos de rehabilitación". Instituto Valenciano de la Edificación (www.five.es).
- IZARD, Jean Louis y GUYOT, Alain (1980): "Arquitectura bioclimática". Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Manual del Vidrio, Saint-Gobain Glass, 2001.
- Manual Técnico Valycontrol.
- MAZRIA, Edward (1983): "El libro de la energía solar pasiva". Tecnología y Arquitectura. Editorial Gustavo Gili.
- NEILA, F. Javier (2004): "Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible". Arquitectura y tecnología. Editorial Munilla-Leira. Madrid.
- OCHOA, José Manuel (1999): "La vegetación como instrumento para el control microclimático" [Tesis doctoral]. Tesis Doctorales en Xarxa. UPC (www.tdx.cat).
- OLGYAY, Víctor (1998): "Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas". Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- PÉREZ, Alejandro J. (1994): "Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)". Serie: Publicaciones de Divulgación Técnica. Colección: Territorio. Número 4). Conselleria d´Obres Públiques, Urbanisme i Transports.
- PILATOWSKY, Isaac (2002): "Psicrometría, métodos de humidificación y deshumidificación y sus aplicaciones en el diseño arquitectónico". Universidad de Guadalajara. Jalisco. México.
- SERRA, Rafael y COCH, Helena (2001): "Arquitectura y energía natural". Arquitext. Edicions UPC. Barcelona.
- SERRA, Rafael (1989): "Clima, lugar y arquitectura". CIEMAT.
- VELASCO, Luis (2006): "El movimiento del aire condicionante del diseño arquitectónico". Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento.

B.2. Normativa

- REAL DECRETO 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (BOE 28-marzo-2006).
  Orden FOM/1635/2013, de 10 de sepriembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación.
  Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía" del Código Técnico de la Edificación.
- Versión consolidada del REAL DECRETO 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (BOE 9-septiembre-2013).
- UNE-EN 12464-1:2003: "Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte1: lugares de trabajo en interiores". AENOR.
- UNE-EN ISO 7730 (2006): "Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local". AENOR.

B.3. Sitios de interés

www.ceam.es	Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.
www.riegos.ivia.es/red-siar	Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío.
www.aemet.es	Agencia Estatal de Meteorología.
www.ign.es	Instituto Geográfico Nacional
www.euleb.info	Proyecto euleb: european high quality low energy buildings
www.cie.co.at	Comisión Internacional de Iluminación - CIE

GENERALITAT VALENCIANA

INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN

FORO PARA LA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE COMUNITAT VALENCIANA

COACV COL·LEGI D'ARQUITECTES DE LA COMUNITAT VALENCIANA