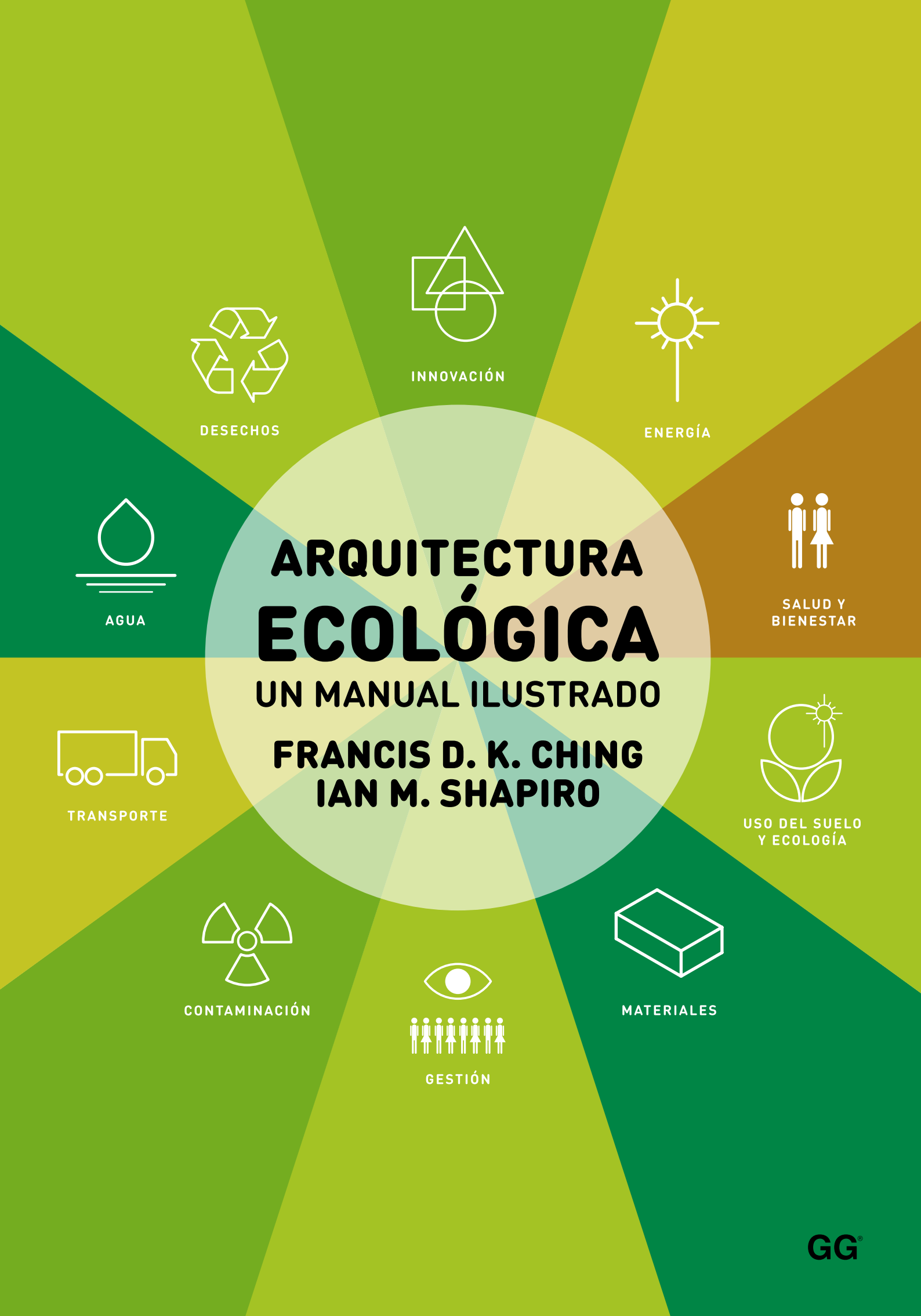


ARQUITECTURA ECOLÓGICA

UN MANUAL ILUSTRADO

FRANCIS D. K. CHING
IAN M. SHAPIRO

GG®

Editorial Gustavo Gili, SL

Via Laietana 47, 2º, 08003 Barcelona, España. Tel. (+34) 93 322 81 61
Valle de Bravo 21, 53050 Naucalpan, México. Tel. (+52) 55 55 60 60 11

ARQUITECTURA ECOLÓGICA

UN MANUAL ILUSTRADO

FRANCIS D. K. CHING
IAN M. SHAPIRO

GG®

Título original: *Green Building Illustrated*, publicado por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (Nueva Jersey), 2014.

Versión castellana: Carlos Jiménez Romera
Diseño de la cubierta: RafamateoStudio

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

La Editorial no se pronuncia ni expresa ni implícitamente respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© de la traducción: Carlos Jiménez Romera
© John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (Nueva Jersey), 2014
Todos los derechos reservados. Traducción en lengua castellana
según acuerdo con John Wiley & Sons, Inc. Hoboken (Nueva Jersey).
y para esta edición:
© Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona, 2015

ISBN: 978-84-252-2744-8 (PDF digital)
www.ggili.com

Índice

Prólogo.....vii

1 **Introducción**.....1

2 **Principios básicos**.....13

3 **Normas, estándares y guías**.....25

4 **Contexto y emplazamiento**.....35

5 **Forma construida**.....57

6 **Elementos externos al edificio**.....73

7 **Envolvente exterior**.....83

8 **Espacios sin acondicionar**.....113

9 **Envolvente interior**.....125

10 **Zonificación y compartimentación térmica**.....137

11 **Iluminación y otras instalaciones eléctricas**.....145

12 **Agua caliente y fría**.....159

13 **Calidad del ambiente interior**.....167

14 **Climatización**.....187

15 **Energías renovables**.....205

16 **Materiales**.....211

17 **Ejecución y presupuesto**.....227

18 **La calidad del proyecto y la arquitectura ecológicos**.....233

19 **Conclusiones**.....253

Sistema de evaluación LEED.....259

Glosario.....261

Bibliografía.....265

Índice.....269

Nota

En este libro se utilizan las referencias a los puntos cardinales consideradas desde el hemisferio norte. Invitamos a los lectores del hemisferio sur a que establezcan las respectivas correspondencias.

Prólogo

La arquitectura ecológica es un campo relativamente nuevo, cuyo objetivo es reducir sustancialmente el impacto medioambiental de los edificios, sin que dejen de proporcionar un entorno saludable a sus ocupantes. Este libro pretende introducir el tema de la arquitectura sostenible y explorar una serie de conceptos fundamentales del proyecto y de la construcción sostenibles, con el objetivo de que sirva de manual tanto para los estudiantes como para los profesionales de la arquitectura.

Proyectar y construir edificios consiste en llevar a cabo una serie de elecciones al empezar el proyecto, en evaluar las distintas opciones durante el proceso del mismo, en asumir ciertas decisiones junto al cliente, y en trasladar dichas elecciones a los dibujos o ejecutarlas en la fase de construcción. Por ello, en este libro hemos intentado plasmar una amplia diversidad de alternativas para abordar el proyecto y la construcción de edificios ecológicos.

El libro comienza explorando los objetivos de la arquitectura ecológica y definiendo en qué consiste un edificio ecológico, teniendo siempre en cuenta que el objetivo en este caso es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que conlleva la construcción y mitigar los impactos cada vez mayores del cambio climático. También aporta diferentes normativas, estándares y guías que definen con más detalle los requisitos asociados a la arquitectura ecológica.

En él se realiza una exploración metódica del proyecto ecológico, desde un enfoque estructurado "de fuera adentro": del emplazamiento y su entorno, pasando por las diversas envolventes del edificio, para acabar con el análisis de los aspectos medioambientales de la iluminación o los sistemas de calefacción y refrigeración. En este recorrido se exploran distintos temas transversales, como el ahorro de agua o materiales, la calidad medioambiental interior o el uso de energías renovables.

Los temas relacionados con la energía se han planteado desde la diversidad de principios físicos cuya combinación recibe cada vez con más frecuencia la denominación de "ciencia de la construcción". Por ejemplo, los principios básicos de transferencia de calor se aplican al cálculo y a la reducción de las pérdidas térmicas. Los aspectos de la iluminación se exploran en relación con el consumo energético y la interacción con las personas y la ergonomía. Los principios de la dinámica de fluidos sirven como base para tratar fenómenos como el efecto chimenea en los edificios. Los principios de la termodinámica se aplican a la generación y a la distribución eficiente de calor o frío dentro del edificio y a la aplicación de recursos eficaces asociados a la temperatura, con el fin de reducir el consumo de energía.

Tanto las ilustraciones, que explican con detalle todos estos principios, como el texto conforman un manual para el proyecto y la construcción de edificios ecológicos. Presenta también una serie de buenas prácticas lo suficientemente flexibles como para que los arquitectos puedan encajar los principios de la arquitectura ecológica en sus encargos. Las ilustraciones también intentan transmitir este carácter integral y plasmar la amplia gama de opciones posibles para desarrollar una arquitectura ecológica.

Por último, el tema del control de calidad se aprovecha para explorar cómo el proyecto y la construcción pueden lograr de manera efectiva los objetivos de la arquitectura ecológica.

Recomendamos al lector que considere los distintos métodos tratados en este libro como herramientas para el desarrollo de sus proyectos. No es imprescindible que un edificio incorpore todos los temas que aquí se tratan para que pueda ser considerado ecológico. En todo caso, el libro plantea los aspectos generales, ya que es difícil cubrir todos los enfoques, métodos y productos que están surgiendo en la actualidad para mejorar los aspectos ecológicos de los edificios. Por el contrario, el foco del libro se centra en las herramientas y en las estrategias generales que sirven de fundamento al proyecto y a la construcción de edificios ecológicos de altas prestaciones.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Florence Baveye los esquemas de investigación y conceptualización, y a Marina Itaborai Servino las tareas de comprobación y cálculo. Zac Hess y Daniel Clark hicieron una segunda revisión de estos cálculos.
Un agradecimiento especial a Roger Beck por animarme a escribir este texto hace cuarenta años y por revisar el manuscrito cuarenta años después. También agradezco las revisiones realizadas por Mona Azarbayjani, de la University of North Carolina en Charlotte, y Jonathan Angier, funcionario del Departamento de Aguas de la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) de Estados Unidos. Otras personas que han revisado el manuscrito y aportado comentarios de valor incalculable han sido mi esposa Dalya Tamir, mi hija Shoshana Shapiro, Susan Galbraith, Deirdre Waywell, Theresa Ryan, Jan Schwartzberg, Daniel Rosen, Shira Nayman, Ben Myers, Bridget Meeds y Courtney Royal. Gracias también a Lou Vogel y Nate Goodell por la información sobre licitaciones, a Javier Rosa y Yossi Bronsnick por su ayuda en materia de estructuras, y a Umit Sirt por su asesoría en modelos. Gracias a Nicole Ceci por los análisis energéticos iniciales. Gracias a todos mis colegas de Taitem Engineering por las investigaciones, las observaciones y los debates que subyacen en gran parte de lo que se dice en este libro. Gracias a Sue Schwartz por permitirme usar su apartamento en el lago Cayuga para escribir el manuscrito. Gracias a Paul Drougas de la editorial Wiley por sus interesantes comentarios editoriales. Gracias a mi familia —Dalya, Shoshana, Tamar y Noa— por su apoyo a lo largo de todo el proceso. Gracias a mi madre, Elsa Shapiro, por ser una fuente cotidiana de sabiduría imprescindible para sacar adelante el trabajo. Y, por último, el mayor agradecimiento de todos al coautor de este libro, Francis D. K. Ching, cuyo trabajo es un gran regalo para el mundo. Mi colega Theresa Ryan lo expresa de un modo mejor: "Nos gustaría vivir en los dibujos de Ching". Las ilustraciones, guías, esquemas de Francis D. K. Ching, así como su colaboración en el diseño editorial, han hecho posible este libro.

Ian M. Shapiro

1
Introducción

En unos pocos años, las disciplinas del urbanismo, la arquitectura y la construcción se han visto agitadas por el debate de la sostenibilidad y de la arquitectura sostenible. Tanto a la hora de proyectar como a la de construir han tenido que aprender a incorporar nuevos objetivos y estándares e, incluso, un nuevo lenguaje. Para muchos profesionales, la incorporación y el aprendizaje de los medios y los significados de este nuevo lenguaje han supuesto un enriquecimiento de sus capacidades y conocimientos. Otros, sin embargo, siguen desorientados, preguntándose de dónde viene todo esto y cómo ha llegado a ocupar un lugar tan importante en la práctica de la profesión.

La sostenibilidad se funda en la promesa de durabilidad: edificios con una larga vida útil, formas renovables de energía y comunidades estables. La arquitectura ecológica es una forma de convertir en realidad estas promesas.

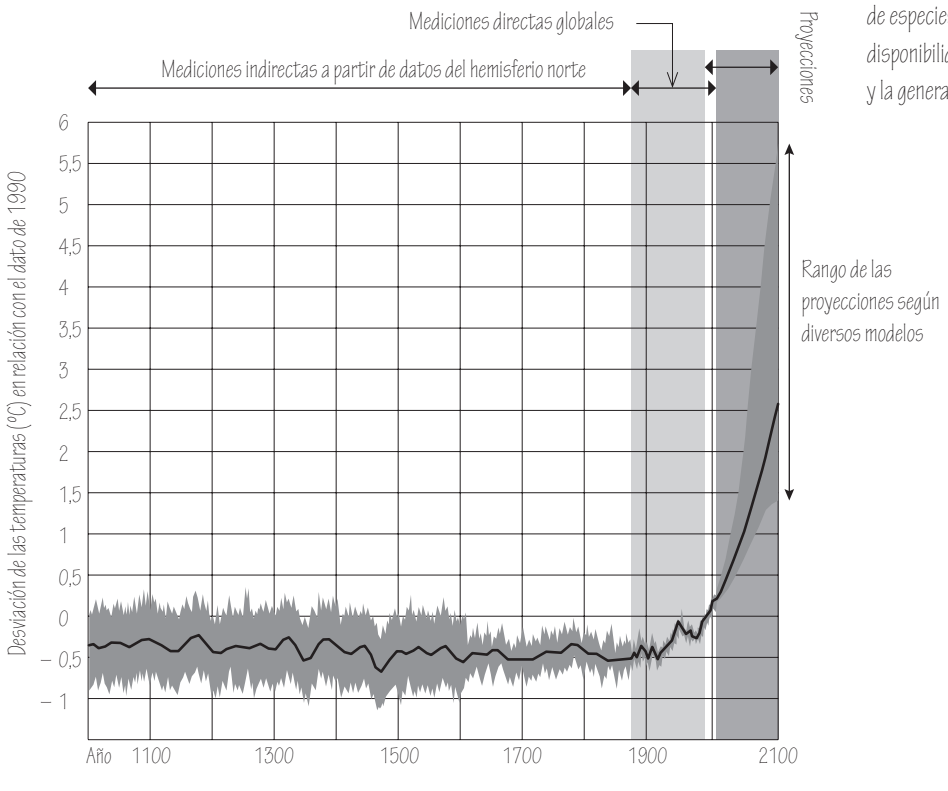
En paralelo a las promesas de la sostenibilidad, incluso exigiendo su cumplimiento, tenemos el recordatorio permanente por parte de los científicos sobre los riesgos medioambientales que, por otra parte, nuestras propias observaciones no cesan de confirmar. En todo caso, si dejamos de ignorar dichas amenazas y empezamos a enfrentarnos a ellas en un trabajo colectivo y desarrollando estrategias para superarlas, descubrimos un potencial de actuación enorme. En última instancia, esta puede ser la principal promesa de la sostenibilidad: el valor para afrontar los desafíos medioambientales y para encontrar formas de superarlos.

1.01 La visión de la Tierra desde el espacio ha enfatizado la fragilidad de la vida en el planeta, como la fotografía tomada por la sonda *Voyager I* en 1990. El astrónomo Carl Sagan describe la Tierra como un pálido punto azul, "el único hogar que conocemos" (Fuente: NASA).

Afrontar los desafíos medioambientales

Diversas crisis medioambientales nos están obligando a que reevaluemos cómo planificamos, proyectamos y construimos los edificios. La contaminación atmosférica y de las aguas que resulta del uso de los combustibles fósiles, las consecuencias de los accidentes nucleares y los efectos incipientes, pero potencialmente devastadores, del cambio climático apuntan a la necesidad acuciante de reducir el consumo de energía. De igual modo, las diversas enfermedades que sufren las personas expuestas a productos químicos tóxicos nos obligan a reexaminar su uso intensivo, especialmente como materiales de construcción.

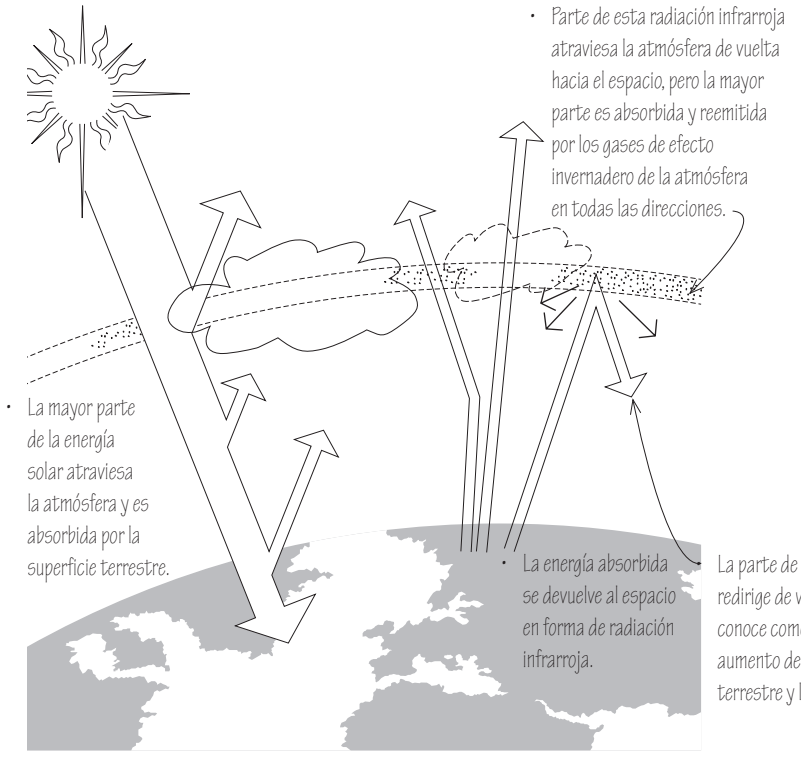
Una cuestión particularmente preocupante es el cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que cuenta con más de 1.300 científicos de todo el mundo, ha llegado a la siguiente conclusión: "El calentamiento global es inequívoco, como ponen de manifiesto el aumento observado en las temperaturas medias globales de la atmósfera y de los océanos, el deshielo creciente y el ascenso del nivel medio de los océanos". Según el IPCC, el impacto del cambio climático ya ha comenzado y solo puede esperarse que empeore. Las consecuencias del cambio climático también comprenden fenómenos atmosféricos extremos, como un incremento de la actividad de los ciclones y los huracanes, olas de calor cada vez más frecuentes, intensas y duraderas; reducción de la superficie cubierta de hielo; mayor incidencia de las inundaciones costeras y continentales; cambios en la distribución de especies animales y vegetales; pérdida de biodiversidad y menor disponibilidad de agua potable para el consumo humano, la agricultura y la generación eléctrica.



1.02 Variaciones de la temperatura superficial de la Tierra entre el año 1000 y el 2100 (Fuente: IPCC).

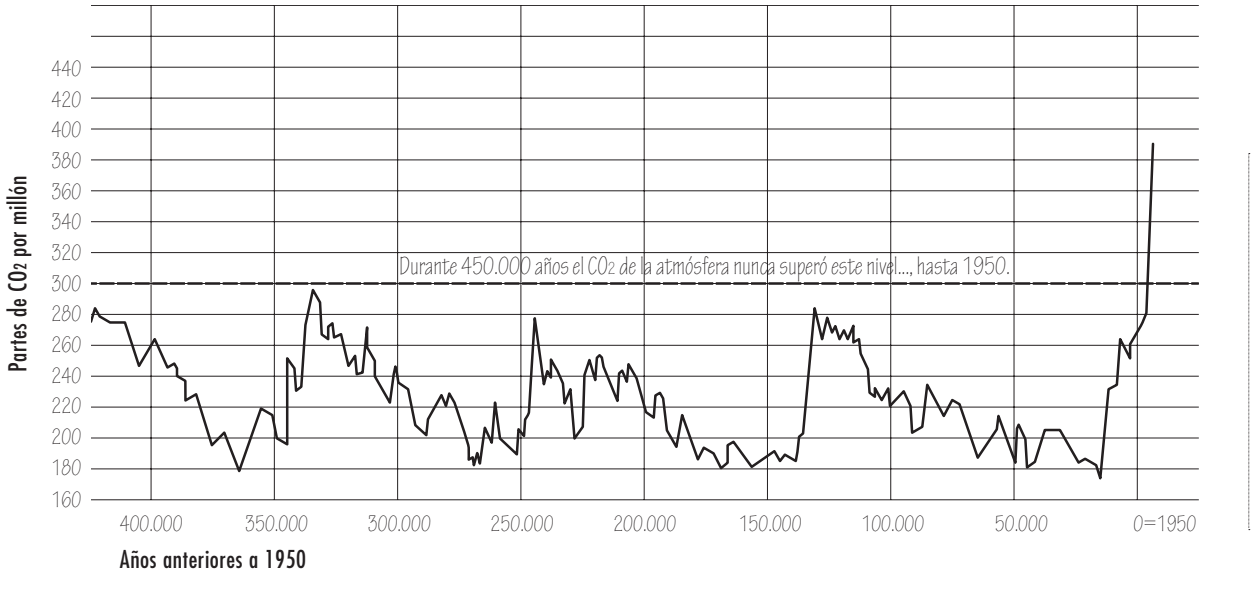
La principal causa del cambio climático es el aumento en la atmósfera de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) generados por actividades humanas como la deforestación, cambios en los usos del suelo y, especialmente, la quema de combustibles fósiles. Estos datos han sido reconocidos por instituciones científicas de todos los países industrializados del mundo.

Los gases de efecto invernadero —que tienen como componente principal el vapor de agua, pero también pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y dióxido de nitrógeno (N_2O)— son emisiones que se emiten a la atmósfera y que actúan como bloqueadores térmicos, absorbiendo calor y distribuyéndolo en todas las direcciones. La parte de esta radiación que retorna a la superficie terrestre es conocida como "efecto invernadero", y sirve para mantener la temperatura de la superficie y de la capa inferior de la atmósfera en torno a los 15 ºC, requisito que posibilita la vida en el planeta. Sin este efecto invernadero de carácter natural no sería posible la vida tal como la conocemos en la Tierra.

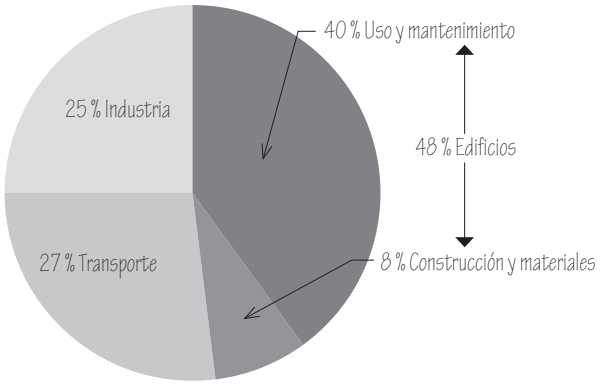


1.03 El efecto invernadero.

Sin embargo, con el comienzo de la Revolución Industrial, el uso de combustibles fósiles en cantidades cada vez mayores ha contribuido a concentraciones crecientes de dióxido de carbono, metano y dióxido de nitrógeno en la atmósfera, intensificando el efecto invernadero natural y contribuyendo a un calentamiento global y al actual cambio climático.

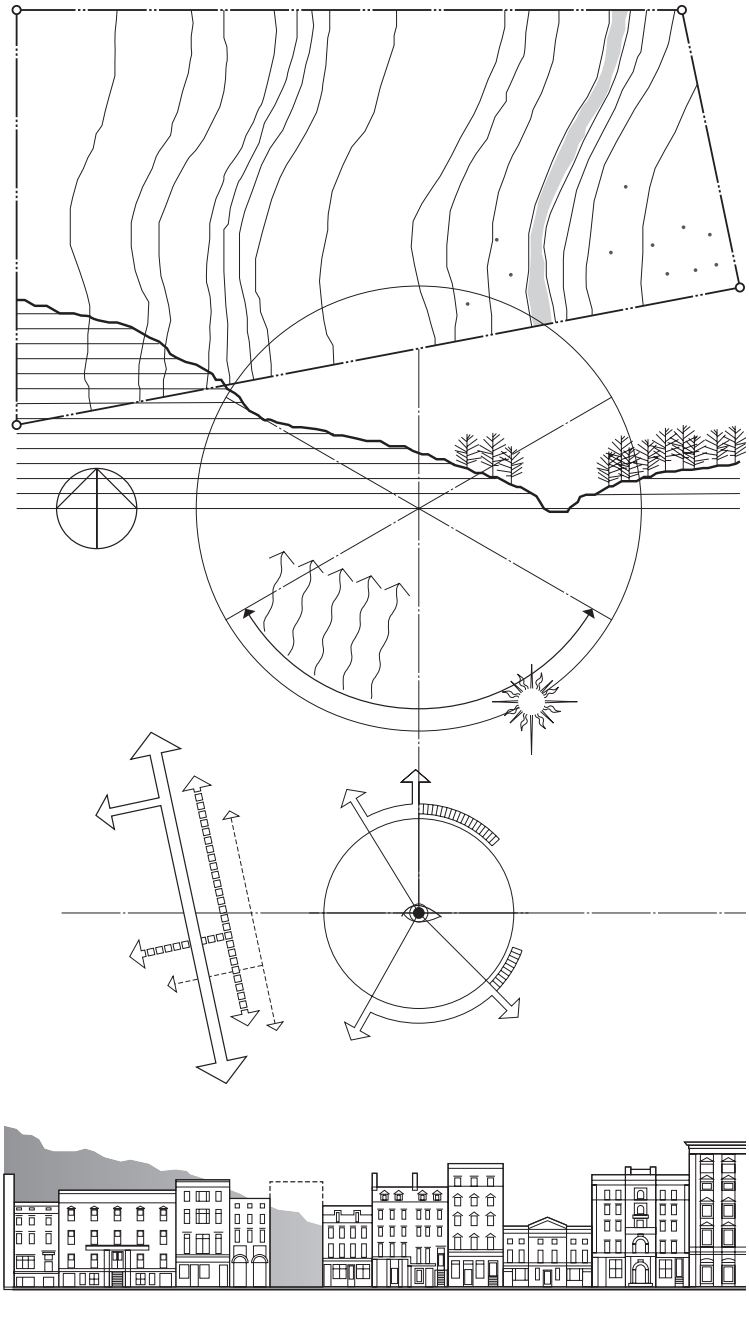


1.04 Muestras atmosféricas contenidas en los casquetes polares y mediciones directas en los tiempos más recientes demuestran que el CO_2 de la atmósfera ha aumentado desde la Revolución Industrial. (Fuente: NOAA).



1. 05 Consumo energético por sector. Se ha identificado el consumo asociado a la construcción como uno de los mayores causantes de la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente CO_2. (Fuente: Sistema de Información Energética de Estados Unidos).

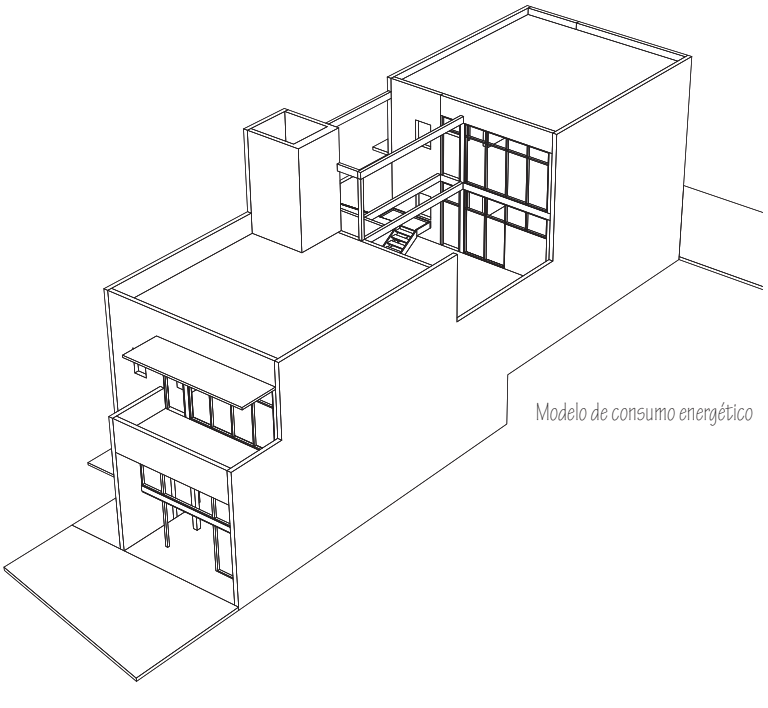
Datos del Sistema de Información Energética de Estados Unidos indican que la construcción es responsable de casi la mitad de las emisiones totales anuales de gases de efecto invernadero del país; en el ámbito global el porcentaje puede ser incluso superior. Lo más relevante en cualquier discusión en torno al proyecto sostenible es que la mayoría de estos consumos energéticos no pueden atribuirse a los materiales o al proceso de construcción, sino al propio uso y mantenimiento de los edificios, como la calefacción, la climatización o la iluminación. Esto implica que, para reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el uso y el mantenimiento del edificio a lo largo de su vida útil, es preciso proyectarlo adecuadamente, teniendo en cuenta su localización y su uso para incorporar estrategias de calefacción, climatización, ventilación e iluminación eficientes.



1. 06 Los edificios adecuadamente ubicados y proyectados en función de la eficiencia energética también pueden reducir las emisiones de carbono en otros sectores, por ejemplo, disminuyendo la energía necesaria para fabricar y transportar los materiales de construcción o para que los usuarios accedan al mismo. Además, los beneficios potenciales de reducción en el futuro del consumo energético pueden entenderse como una compensación al incremento de la inversión inicial que requiere reducir las emisiones de carbono.

Termografía de infrarrojos

Objetivos de ahorro energético



Modelo de consumo energético

1. 07 *Cada año surgen nuevos enfoques, herramientas y productos que ofrecen vías para reducir el consumo de energía y de materiales en los edificios.*

Nuevos datos, nuevos riesgos, nuevas oportunidades

A medida que, durante las últimas décadas, han ido conociéndose datos sobre el cambio climático y otros riesgos medioambientales, la investigación, tanto formal como informal, en el campo de la arquitectura ha ido ofreciendo avances sobre cómo funcionan los edificios, qué fallos pueden tener desde un punto de vista medioambiental y, lo más importante, cómo puede evitarse que se produzcan tales problemas. Las múltiples crisis medioambientales y las demandas convergentes que han planteado, así como los datos relativamente nuevos acerca del rendimiento ecológico de los edificios y las posibilidades de proyecto sostenible, ofrecen oportunidades para enfocar el proyecto arquitectónico desde nuevos ángulos. El campo de la arquitectura ecológica es joven y ofrece infinitas posibilidades. Plantea nuevas formas para proyectar y construir mejorando la eficiencia energética y el ahorro de recursos, reduciendo el uso de materiales tóxicos y mejorando también los costes financieros.

En cualquier caso, existen numerosos riesgos y obstáculos a los que hay que enfrentarse en el desarrollo de una arquitectura y una construcción ecológicas. Resulta tentador dejarse llevar por los nuevos productos o enfoques que presumen de ser ecológicos pero que, en la práctica, resultan tan poco eficaces o tan costosos que acaban limitando las inversiones en otras mejoras más razonables. Nuestro desafío consiste en utilizar el sentido común y rechazar los enfoques más anecdóticos, espectaculares o ineficaces, sin dejar de estar abiertos a cualquier idea o herramienta potencialmente válida. Hay una necesidad urgente tanto de análisis crítico de cualquier idea nueva como de flexibilidad para adaptarse a un cambio que se está produciendo de un modo muy acelerado.

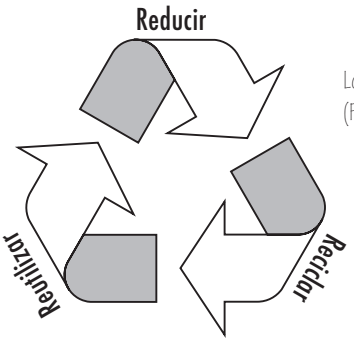
El proyecto de edificios ecológicos no puede enfocarse exclusivamente añadiendo nuevos elementos a los edificios para hacerlos más ecológicos. Si bien aumentar el aislamiento térmico mejorará, sin duda, su eficiencia energética, y añadir paneles fotovoltaicos reducirá la dependencia de fuentes no renovables de energía, puede ganarse mucho más a través de un proyecto razonable que no sea simplemente aditivo, sino más integrado y orgánico. Por ejemplo, pueden utilizarse superficies más reflectantes en los acabados interiores para reducir la necesidad de iluminación artificial sin que afecte a los niveles de iluminación. Podrían utilizarse formas arquitectónicas más compactas que reduzcan la superficie de contacto con el exterior, obteniendo menores consumos energéticos para la misma superficie construida que en el caso de edificios con formas más complejas.

Teniendo en cuenta la naturaleza estética del proyecto, también podemos preguntarnos qué efectos puede tener el proyecto ecológico en la belleza del entorno construido. Afortunadamente, no es necesario sacrificar la belleza por la ecología. Los edificios ecológicos pueden desafiar las nociones convencionales de belleza, pero también son una oportunidad para reevaluar dichas nociones, reexaminar cómo definimos la belleza de los edificios y explorar la belleza de nuevas formas arquitectónicas.

.

Logotipo oficial del US Green Building Council

Logotipo oficial de Consejo de Administración Forestal (Forest Stewardship Council)



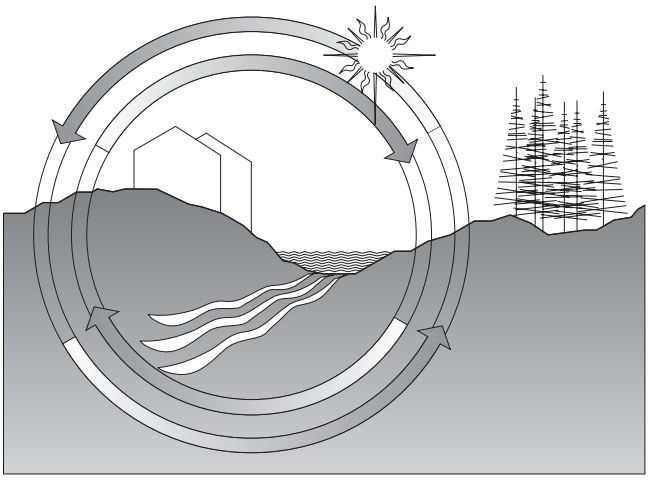
1. 08 Símbolos de materiales, procesos y prácticas ecológicos.

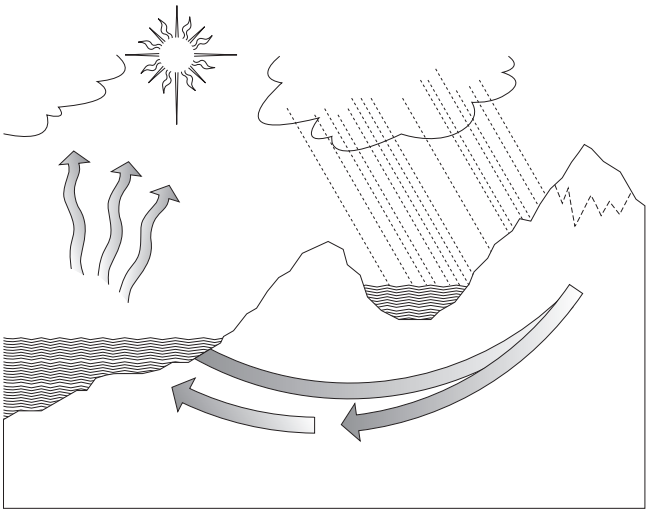
¿Qué es un edificio ecológico?

La cuestión de qué es un edificio ecológico se plantea de forma permanente a lo largo de este libro. Esta pregunta se formula de diversas maneras: ¿es ecológico un edificio que es más ecológico de lo que podría haberlo sido?, ¿lo es aquel que cumple cierta normativa medioambiental?, ¿lo es el que tiene un impacto mínimo o nulo sobre el medio ambiente o la salud humana?, ¿son los edificios ecológicos una moda pasajera?, ¿siguen siendo ecológicos los edificios ecológicos con el paso del tiempo?

La respuesta a estas preguntas aún está en proceso de evolución. Algunos edificios certificados conforme a alguno de los estándares existentes de arquitectura ecológica han resultado ser, de hecho, grandes consumidores de energía, o más contaminantes en otros ámbitos. Por el contrario, se han construido edificios de consumo energético nulo, o casi nulo, que, sin embargo, no podrían ser certificados como ecológicos por ninguno de los sistemas de certificación existentes. Esto no quiere decir que pongamos en cuestión el rendimiento medioambiental de todos los edificios certificados como ecológicos. Los estándares y los sistemas de certificación han contribuido de forma indiscutible al avance del proyecto sostenible, y continuarán haciéndolo, pero aún queda un largo camino por recorrer para que dichas certificaciones garanticen un alto grado de eficiencia energética o un bajo nivel de contaminación.

Paralelamente a la cuestión de qué es un edificio ecológico, existe otra similar, aunque muy distinta: ¿qué es un edificio "más ecológico"? En muchos campos específicos del proyecto arquitectónico pueden compararse los diversos enfoques planteando cuál de las distintas soluciones aportadas es la más ecológica. Esto no implica defender un enfoque de pequeñas mejoras incrementales; el objetivo general sigue siendo aproximarse al concepto de un edificio significativamente ecológico, pero, a la hora de tomar una decisión concreta de proyecto, puede resultar útil preguntarse si un determinado enfoque es "más ecológico", al margen de que cumpla determinado estándar o sistema de certificación.





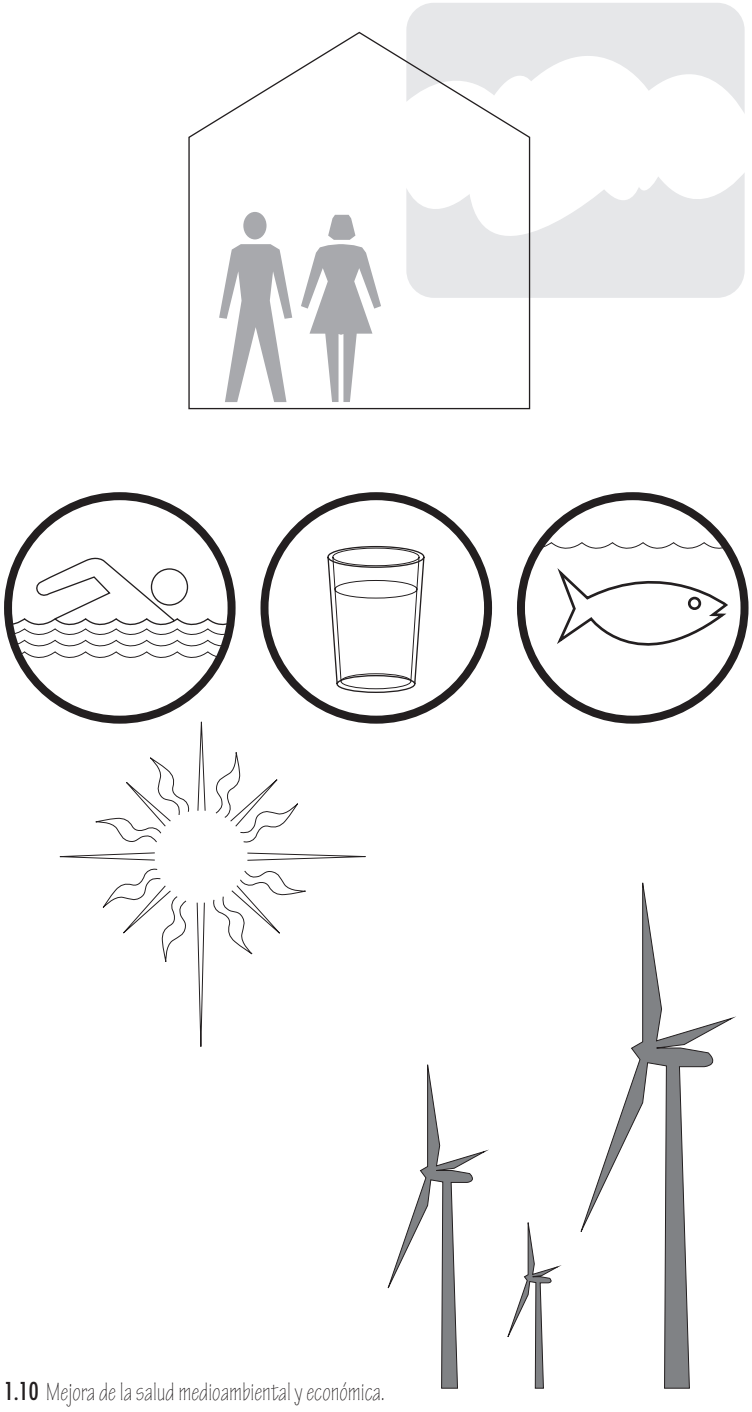
Objetivos de la arquitectura ecológica

Son numerosos los objetivos que justifican la planificación y el proyecto de edificios ecológicos.

Tal vez los más ampliamente aceptados responden a la degradación medioambiental:

- Mitigar el calentamiento global mediante el ahorro energético, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el secuestro de carbono a través de procesos biológicos, como la reforestación y la restauración de humedales.
- Minimizar el impacto medioambiental resultante de la extracción de carbón, gas natural y petróleo, así como los derrames accidentales; la remoción de suelos por la minería de carbón y la contaminación asociada a la fractura hidráulica para la extracción de gas natural.
- Reducir la contaminación del aire, del agua y de los suelos.
- Proteger las fuentes de agua potable.
- Reducir la contaminación lumínica que puede perturbar los ecosistemas nocturnos.
- Proteger los hábitats naturales y la diversidad biológica, en especial las especies amenazadas o en peligro de extinción.
- Evitar la conversión innecesaria e irreversible de suelos agrícolas a usos no agrícolas.
- Proteger la cobertura del suelo y reducir el impacto de las inundaciones.
- Reducir el uso de vertederos de basura.
- Reducir el riesgo de contaminación nuclear.

1.09 Mitigación de la degradación medioambiental a través de la conservación, la reducción de emisiones y vertidos contaminantes, y la protección del agua, de los hábitats y de los recursos naturales.



1.10 Mejora de la salud medioambiental y económica.

Los objetivos de la arquitectura ecológica también contemplan la mejora de las condiciones de confort y la salud de las personas:

- Mejorar la calidad del aire en ambientes interiores.
- Mejorar la calidad del agua servida.
- Mejorar el confort térmico.
- Reducir la contaminación acústica.
- Mejorar el ánimo de las personas.

Puede considerarse que algunos de ellos tienen una naturaleza económica:

- Reducir los costes energéticos.
- Mejorar la productividad.
- Generar empleos ecológicos.
- Mejorar el atractivo comercial.
- Mejorar las relaciones entre las personas.

Otros objetivos pueden considerarse políticos:

- Reducir la dependencia de los recursos fósiles situados en otros países.
- Mejorar la competitividad nacional.
- Evitar el agotamiento de combustibles no renovables, como el petróleo, el carbón o el gas natural.
- Reducir la presión sobre la red eléctrica y el riesgo de cortes de suministro.

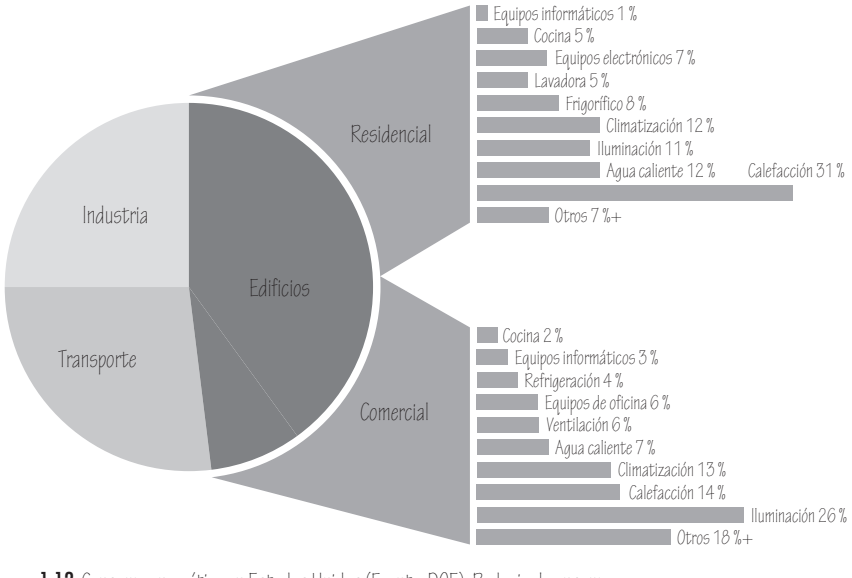
Algunas personas consideran que en los objetivos de la arquitectura ecológica deben contemplarse algunos de carácter social:

- Seguir prácticas laborales más justas.
- Facilitar el acceso a las personas discapacitadas.
- Proteger a los consumidores.
- Proteger las zonas verdes.
- Preservar los edificios históricos.
- Proporcionar viviendas asequibles.

Algunos objetivos reflejan las necesidades específicas del espíritu humano:

- Expresar la conexión y el profundo amor hacia la Tierra y la naturaleza.
- Confiar en uno mismo.
- Satisfacer las inquietudes estéticas.

1.11 Respuesta a los objetivos sociales.



1.12 Consumo energético en Estados Unidos (Fuente: DOE). Reducir el consumo energético y las emisiones asociadas de carbono sigue siendo primordial para definir la forma en que planificamos, proyectamos y construimos edificios.

Algunos objetivos no se definen explícitamente, pero representan algunas de nuestras necesidades menos nobles, como la búsqueda de estatus o prestigio.

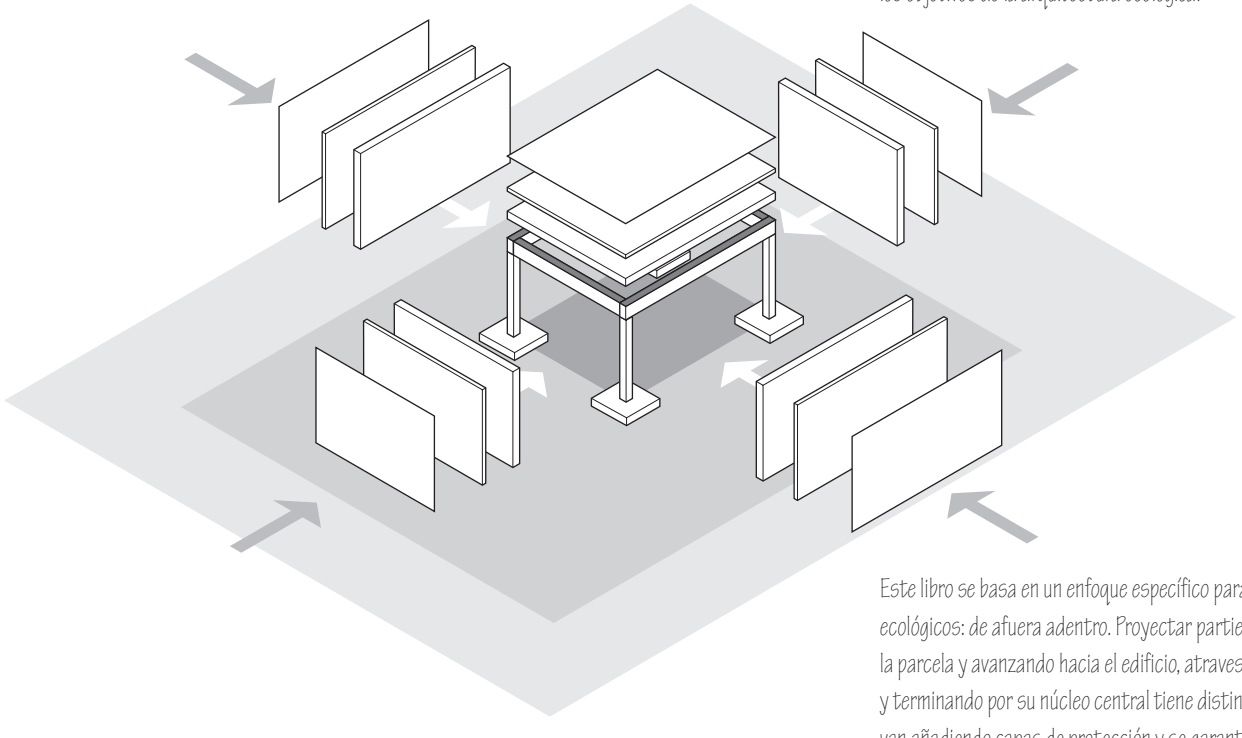
Con independencia de cómo se agrupen los objetivos citados, se plantea un debate permanente y legítimo sobre cuáles deben ser dichos objetivos y cómo deben priorizarse. En la mayor parte de los casos, la construcción de edificios ecológicos da respuesta a uno o varios de estos objetivos de una forma armónica. Sin embargo, hay casos en los que pueden producirse conflictos entre dos o más de estos objetivos, y su resolución exige aclarar qué es más importante para nosotros como seres humanos.

A la vista del consenso prácticamente unánime entre la comunidad científica en lo que se refiere a las consecuencias del cambio climático y su impacto, que ya se está mostrando, como la modificación de la distribución de especies animales y vegetales, las inundaciones más frecuentes de las tierras bajas o la reducción de los casquetes polares, el foco principal de la arquitectura ecológica se centrará en la reducción del consumo energético y de las emisiones de carbono asociadas.

.

Aproximaciones a la arquitectura ecológica

En el proyecto y la construcción de edificios ecológicos suele ser útil aplicar el sentido común. Pueden cuantificarse los costes en lo que se refiere a la eficiencia energética y el uso del agua de la mayor parte de las tecnologías y soluciones disponibles, lo cual facilita el proceso de toma de decisiones. Los materiales tóxicos están identificados y se conocen relativamente bien, de modo que puede evitarse su uso. El sentido común puede también resultar muy útil a la hora de responder a algunos de los problemas más complejos, evaluar la conveniencia de nuevas tecnologías, prevenir los bloqueos creativos a la hora de elegir entre una multitud de opciones, o afrontar incertidumbres o indeterminaciones en relación con los objetivos de la arquitectura ecológica.



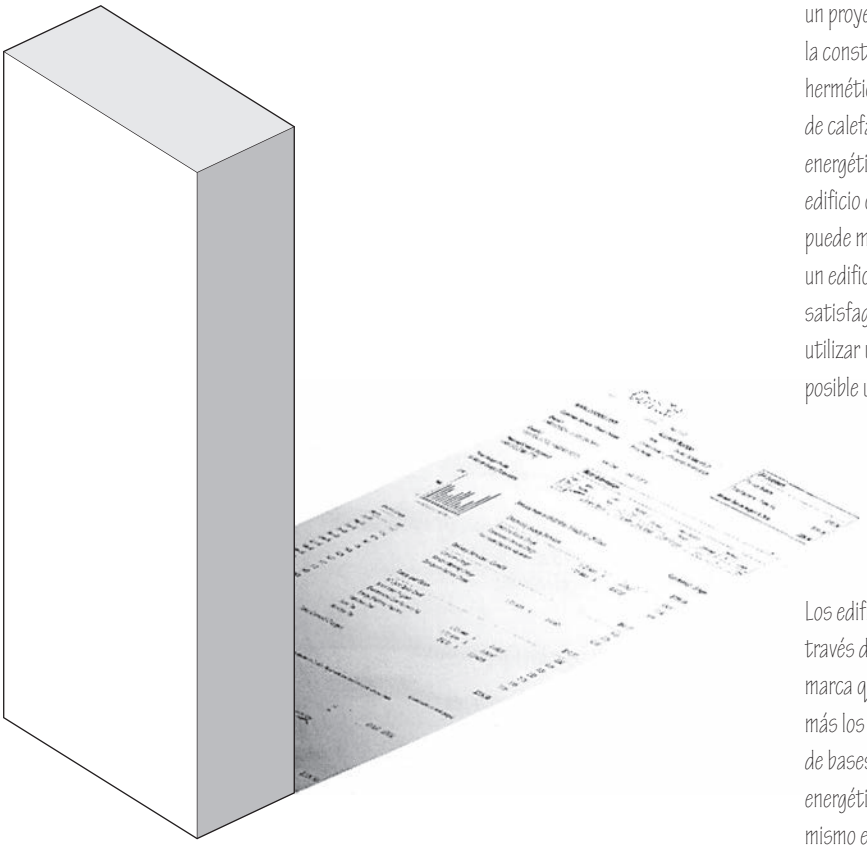
1. 13 Proyectar de afuera adentro añadiendo capas de aislamiento y protección.

Este libro se basa en un enfoque específico para proyectar edificios ecológicos: de afuera adentro. Proyectar partiendo del perímetro de la parcela y avanzando hacia el edificio, atravesando su envolvente y terminando por su núcleo central tiene distintas ventajas. Si se van añadiendo capas de protección y se garantiza la integridad y la continuidad de cada una de ellas pueden reducirse significativamente las necesidades energéticas. Mediante este método, la acumulación de mejoras de carácter ecológico permite reducir los costes de la construcción, haciendo posible que los edificios no solo consuman menos energía, agua o materiales, sino que su construcción resulte además más económica.

Sobre la base de algunos notables avances recientes de la ciencia de la construcción, este libro se centra en las estrategias de proyecto de edificios ecológicos, más que en cumplir determinados requisitos definidos por una normativa, estándar o sistema de certificación específico. En cualquier caso, el objetivo es que los principios y los métodos que se presentan sean lo bastante sólidos como para cumplir, e incluso superar, los requisitos que plantean los códigos, las normativas y los estándares actualmente existentes, así como para ser aplicables a todo tipo de edificios, ya sean viviendas de madera o rascacielos de hormigón y acero.

Generalmente, los diversos estándares de proyecto y construcción sostenible son compatibles con el enfoque que sugerimos de proyectar de afuera adentro. Sin embargo, varios de estos estándares calculan el ahorro energético respecto de un hipotético edificio de referencia o se centran en el consumo energético por unidad de superficie en planta, tomando la forma arquitectónica como algo dado. Los estándares de arquitectura ecológica tienden a no poner en cuestión la forma de la planta o el volumen. En el proyecto de afuera adentro todo se cuestiona, incluso la planta y el volumen del edificio.

Algunos métodos para proyectar edificios ecológicos plantean un proyecto específico, invierten en mejorar algunos aspectos de la construcción (muros más gruesos con mayor aislamiento, más herméticos, ventanas energéticamente más eficientes o sistemas de calefacción de alta eficacia) con objetivos concretos de ahorro energético, por ejemplo, un 10, 20 o 30 % de ahorro respecto a un edificio convencional. Aunque este enfoque es perfectamente válido, puede mejorarse mediante otro complementario, como no proyectar un edificio tradicional mejorado, sino un nuevo tipo de edificio que satisfaga las mismas necesidades humanas pero cuyo objetivo sea utilizar una cantidad significativamente menor de energía, a ser posible un consumo neto nulo, sin perder de vista los costes.



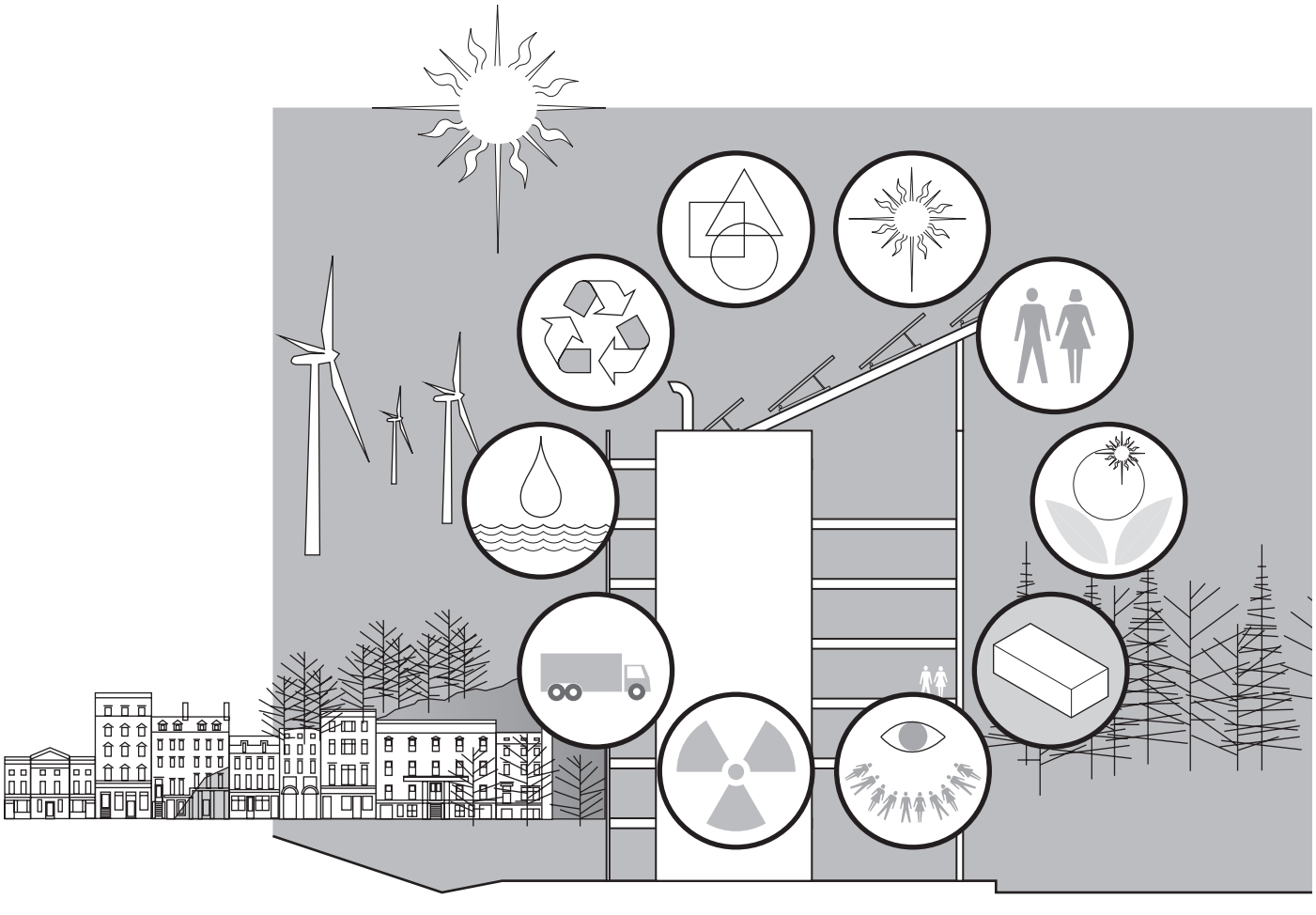
1.14 Puede trazarse el consumo energético de un edificio a partir de las facturas de consumo de suministros.

Los edificios dejan una marca de su eficiencia medioambiental a través de las facturas de los consumos de los suministros, una marca que se acumula a lo largo de los años. Cada vez se valoran más los edificios en función de esta marca, gracias a la existencia de bases de datos *on-line* que hacen un seguimiento del consumo energético de edificios concretos y realizan comparaciones del mismo entre distintos tipos de edificio. Ya ha comenzado el juicio de la historia, que juzgará con mayor dureza aquellos edificios que desperdician energía, especialmente si presumen de ser ecológicos. La buena noticia es que cada vez son más accesibles las herramientas para proyectar y construir edificios energéticamente eficientes; el reto está en aplicarlas correctamente.

La forma y la función arquitectónicas deben responder ahora a un nuevo requisito: el rendimiento. Además de satisfacer las necesidades de sus usuarios y de resultar atractivos a la vista, el intelecto y el espíritu, un edificio debe tener un buen comportamiento energético a lo largo de toda su vida útil, consumir menos energía y materiales sin dejar de proporcionar un alto grado de confort y unas condiciones adecuadas que garanticen la salud de las personas. Por una parte deben añadirse una serie de restricciones en el proyecto del edificio y, por otra, existe la oportunidad de lograr mejores resultados, hacer mejor el trabajo y evitar la construcción de edificios que derrochen energía y sean poco saludables.

Invitamos al lector a unirse a la exploración de edificios con el menor impacto medioambiental posible y que utilicen significativamente menos energía, agua y materiales que los actuales. Exploraremos la posibilidad de proyectar edificios con menores costes que los actuales y que ofrezcan mejores condiciones de confort y de salud a sus usuarios. Investigaremos la posibilidad de edificios más integrados con las comunidades humanas y con el mundo natural. Indagaremos la posibilidad de edificios de los que nos podamos enorgullecer.

Y, después, intentaremos hacer realidad todas estas posibilidades.



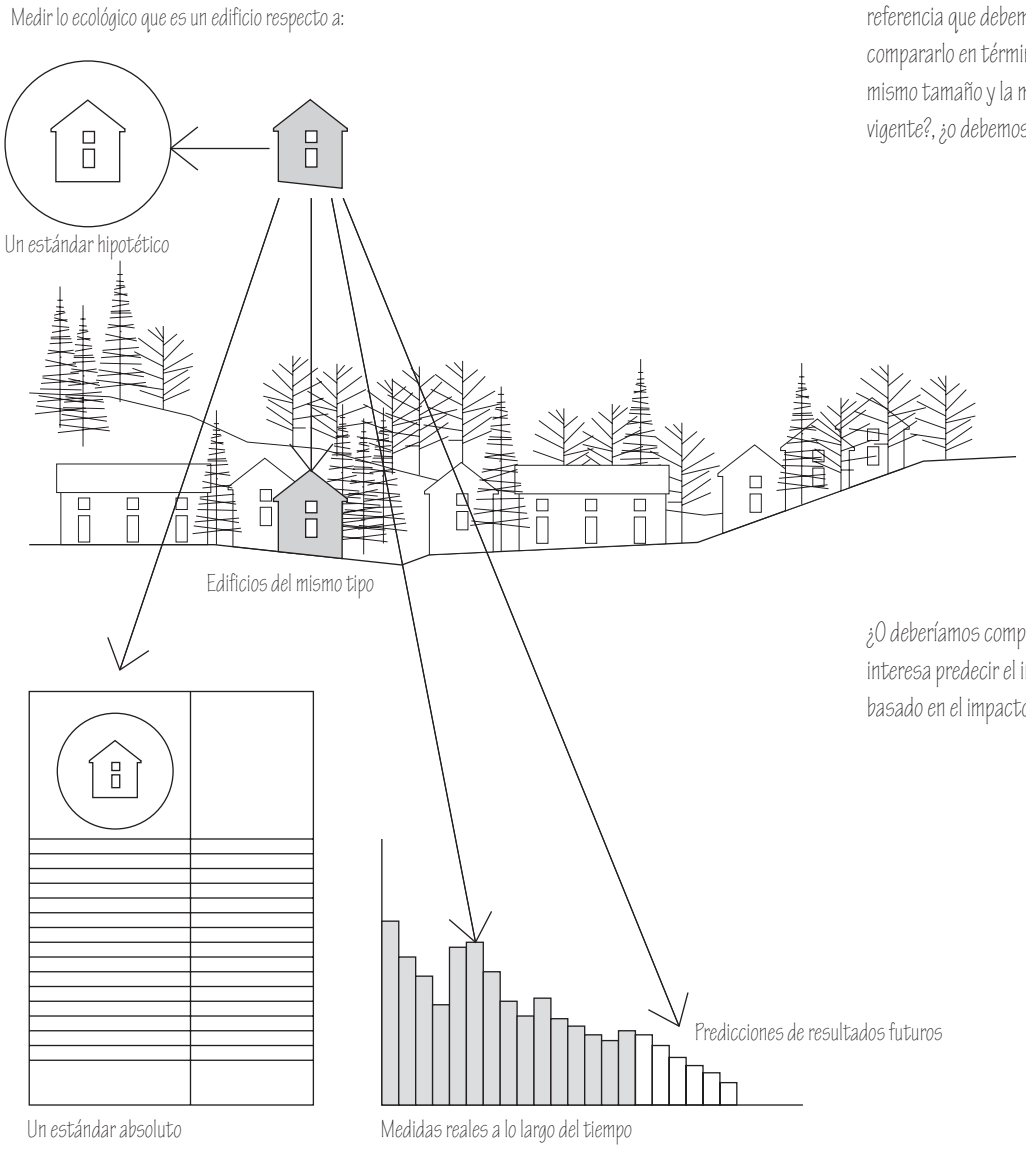
2
Principios básicos

¿Qué es un edificio ecológico? En la introducción examinamos los impactos más significativos de los edificios sobre el entorno natural y defendimos aquellos que mitigan dichos efectos, no solo reduciendo su consumo de agua y energía, sino también reduciendo el volumen de materiales y recursos necesarios para su construcción. Reducir el impacto medioambiental es un objetivo primordial de la arquitectura ecológica.

¿Qué otro factor hace que un edificio sea ecológico? En los debates en torno a la arquitectura ecológica y las diversas normas y estándares, encontramos algunos objetivos ampliamente compartidos que no contribuyen directamente a reducir el impacto medioambiental de los edificios. Algunos de estos objetivos consisten en la mejora de la calidad del aire en los espacios interiores, en proporcionar vistas del entorno o en mejorar el confort térmico. De igual modo, podríamos y deberíamos ampliar el concepto de arquitectura ecológica para incluir el diseño de espacios interiores que beneficien la salud de las personas.

Comencemos con la siguiente definición operativa: un edificio ecológico es aquel que tiene un impacto medioambiental significativamente reducido y que proporciona un ambiente interior beneficioso para la salud de las personas.

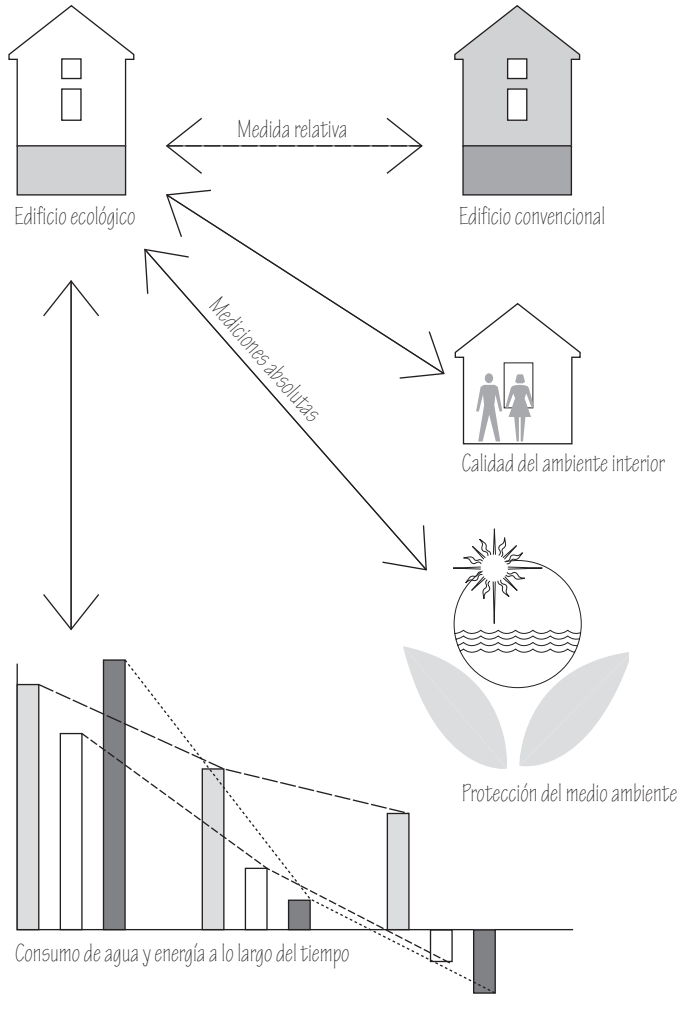
No obstante, enseguida afloran otras cuestiones. Cuando decimos "un impacto medioambiental significativamente reducido", ¿cuán significativa debe ser dicha reducción? Y, para saberlo, ¿hay alguna manera de que podamos medir dicho impacto?, ¿y cuál es la referencia que debemos tomar para calcular su reducción?, ¿debemos compararlo en términos relativos respecto a un edificio hipotético del mismo tamaño y la misma forma que cumpla con la norma o estándar vigente?, ¿o debemos compararlo con otros edificios del mismo tipo?



¿O deberíamos compararlo con algún estándar absoluto? ¿Y nos interesa predecir el impacto futuro del edificio, o hacer un cálculo real basado en el impacto del edificio durante un período ya pasado?

2.01 ¿Cómo deberíamos medir la ecología de un edificio?

Todas estas preguntas tienen su interés y están en permanente discusión en el ámbito de la arquitectura sostenible. Son preguntas que podremos ir respondiendo poco a poco de la manera más humana: debatiendo y enfrentando argumentos.



2.02 Ecología relativa frente a ecología absoluta.

Ecología relativa y absoluta

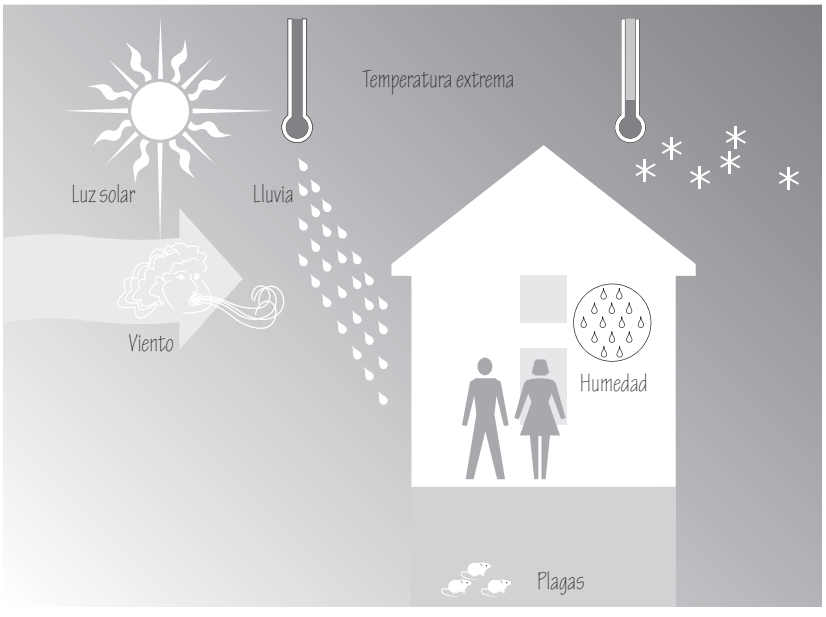
En lo que se refiere a qué referencia base debería utilizarse, podemos avanzar mucho si comparamos una propuesta de edificio ecológico con otro edificio hipotético del mismo tamaño y forma que hubiera sido proyectado y construido sin ninguna "característica ecológica", pero sin dejar de cumplir las normativas y las prácticas convencionales de la construcción. Llamemos a esta forma de comparación "enfoque relativo para el proyecto de edificios ecológicos". El objetivo aquí consiste en obtener un impacto medioambiental significativamente menor y mejores condiciones para la salud de las personas que en un edificio hipotético similar, proyectado sin prestar atención a las "características ecológicas". Sin embargo, cada vez es más importante medir el impacto medioambiental y las condiciones de salud en términos absolutos, y definir los objetivos específicos de consumo de agua o energía por unidad de superficie del edificio, o incluso alcanzar el objetivo de un consumo neto nulo de agua o energía.

En el tema del agua o la energía resulta de vital importancia tener en cuenta los usos previstos del edificio, que guiarán muchas decisiones y definirán los estándares que es necesario aplicar. También se da un consenso creciente en torno a la necesidad de calcular los consumos reales de agua y energía, con el fin de no depender exclusivamente de las predicciones.

Otros temas como la conservación de materiales o la calidad ambiental de los interiores son algo más complicados de definir y cuantificar que el consumo de agua y energía; sin embargo, se han logrado avances para conseguir un consenso sobre en qué consiste ser ecológico en estos ámbitos y, a partir de ahí, cómo pueden medirse las mejoras en relación con estos objetivos.

La respuesta a la pregunta de qué es un edificio ecológico continuará cambiando y evolucionando en paralelo a nuestros propios estándares sobre qué impactos medioambientales son aceptables y qué niveles de salud son deseables. De hecho, para proyectar y construir un edificio ecológico hay que seguir preguntándose constantemente qué es un edificio ecológico y seguir buscando respuestas consensuadas a dicha cuestión.

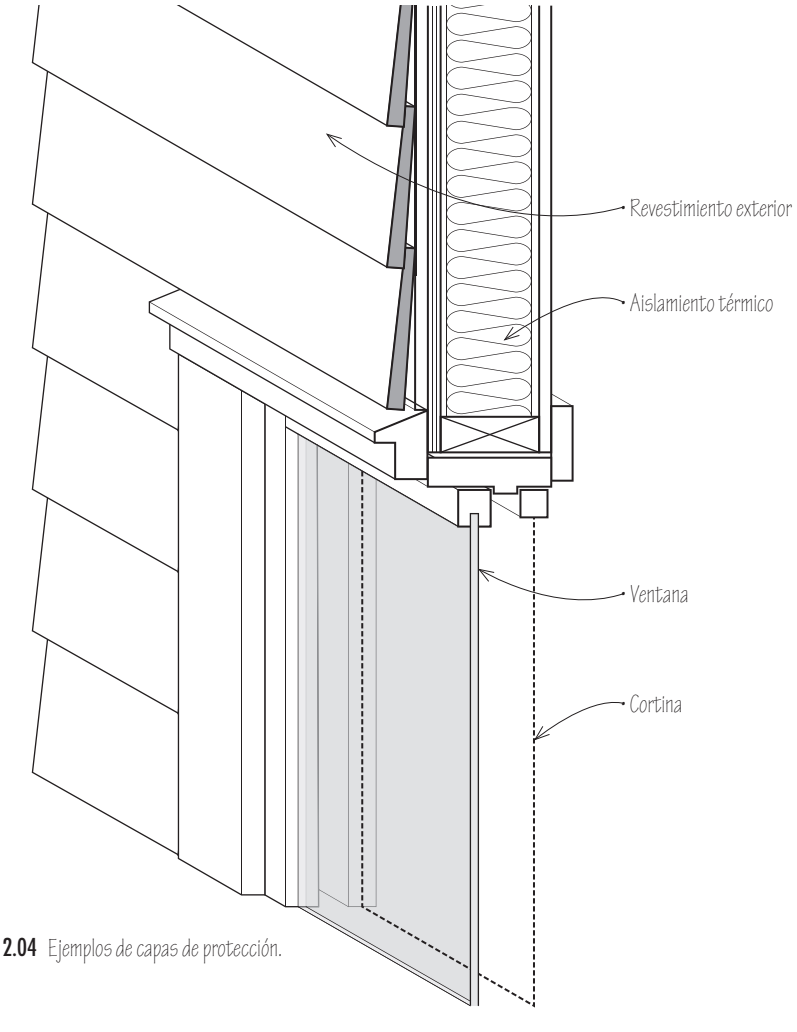
Proyectar y construir un edificio ecológico es un enorme desafío. Se requieren cientos, o miles, de decisiones para completar un único edificio buscando un equilibrio entre programa, forma, calidad, costes, normativa y calendario de ejecución. Un edificio ecológico presenta desafíos incluso más difíciles, con restricciones añadidas y a menudo objetivos de rendimiento difíciles de cumplir. El desafío último consiste en proyectar y construir un edificio ecológico —que se comporte adecuadamente en función de las necesidades de sus usuarios, que no deteriore el medio ambiente y que ofrezca condiciones saludables— que, además, tenga un precio asequible dentro del presupuesto del cliente. Para afrontar un desafío de esta envergadura, podemos definir unos principios generales que pueden guiarnos y ayudarnos a gestionar cómo hacerlo.



2.03 Tipos de cargas.

Cargas y capas

Los edificios protegen a sus usuarios de una diversidad de elementos del exterior, a los que denominaremos cargas. Estas cargas son, en cierta medida, tensiones o presiones tanto para los edificios como para nuestras vidas cotidianas, y unas de las más significativas son las temperaturas extremas, la razón por la que calentamos o refrigeramos los edificios. Hay otras cargas al margen de las temperaturas extremas para las que también demandamos protección: los vientos impetuosos, las lluvias torrenciales o un sol abrasador. Buscamos protección también de la radiación solar ultravioleta, que puede provocar cáncer de piel y deteriorar obras de arte o materiales de construcción. Algunas cargas tienen efectos más sutiles, como la humedad, que puede poner en riesgo la salud de las personas y la integridad del patrimonio. Algunas cargas son sencillas, como la oscuridad; otras son seres vivos —insectos, roedores, pájaros u otros animales— y otras resultado de la actividad humana: el ruido o la contaminación atmosférica o lumínica.



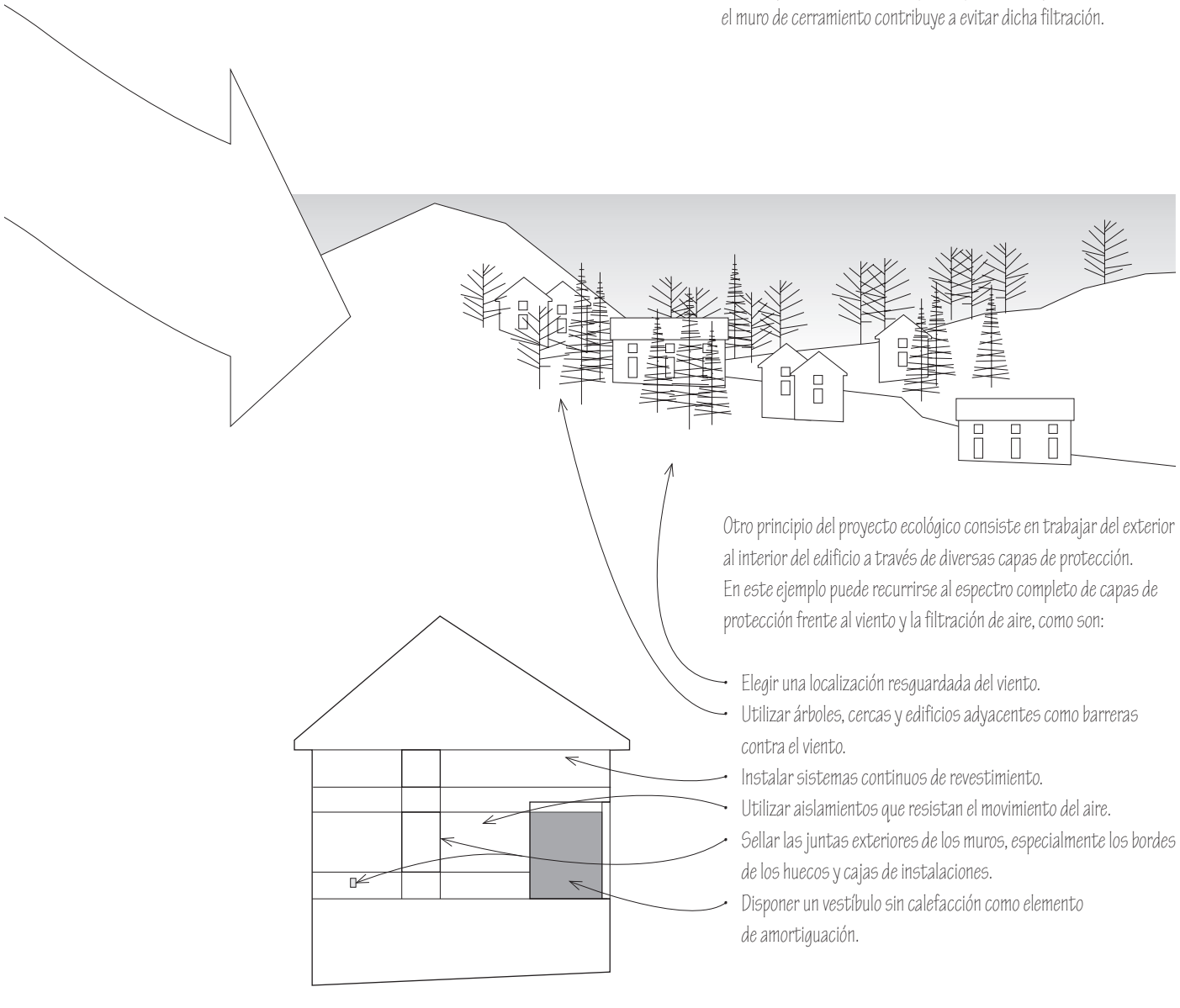
2.04 Ejemplos de capas de protección.

Los edificios son importantes para nosotros porque constituyen el medio en el que vivimos, trabajamos, enseñamos, aprendemos, compramos y nos reunimos para actividades o eventos sociales. También reconocemos el papel fundamental de los edificios a la hora de protegernos de muchas de las inclemencias de nuestro mundo.

Denominamos "capa de protección" a aquellos componentes del edificio que nos protegen de las cargas. El aislamiento térmico de un muro es una capa de protección que sirve para moderar el impacto de las temperaturas extremas, al igual que el revestimiento exterior de un edificio es una capa de protección que asegura la estanquidad frente al viento o la lluvia, y sirve como barrera frente a los efectos de la radiación ultravioleta y otras cargas.

Algunas capas de protección están pensadas para ser selectivas, y permiten el paso de ciertos elementos deseables al tiempo que filtran otras cargas. Por ejemplo, las ventanas permiten el paso de la luz y moderan las temperaturas extremas, mientras que las mosquiteras permiten el paso del aire fresco pero lo impiden a los insectos.

Un principio de proyecto ecológico consiste en utilizar múltiples capas para mejorar la eficacia de la protección frente a las distintas cargas. Por ejemplo, la filtración de aire es decisiva para las cargas de calefacción y refrigeración de los edificios. Los burletes y otras barreras contra el aire resisten mejor la filtración por viento si este antes ha disminuido su velocidad gracias a la presencia de árboles u otras barreras contra él; dicho de otro modo, los árboles pueden servir de manera eficaz como capa de protección. De igual modo, si el muro está bien sellado, especialmente en los bordes de los huecos y en las cajas de las instalaciones, es más difícil que se produzca filtración de aire, ya que cada una de las capas de protección que se ensamblan en el muro de cerramiento contribuye a evitar dicha filtración.



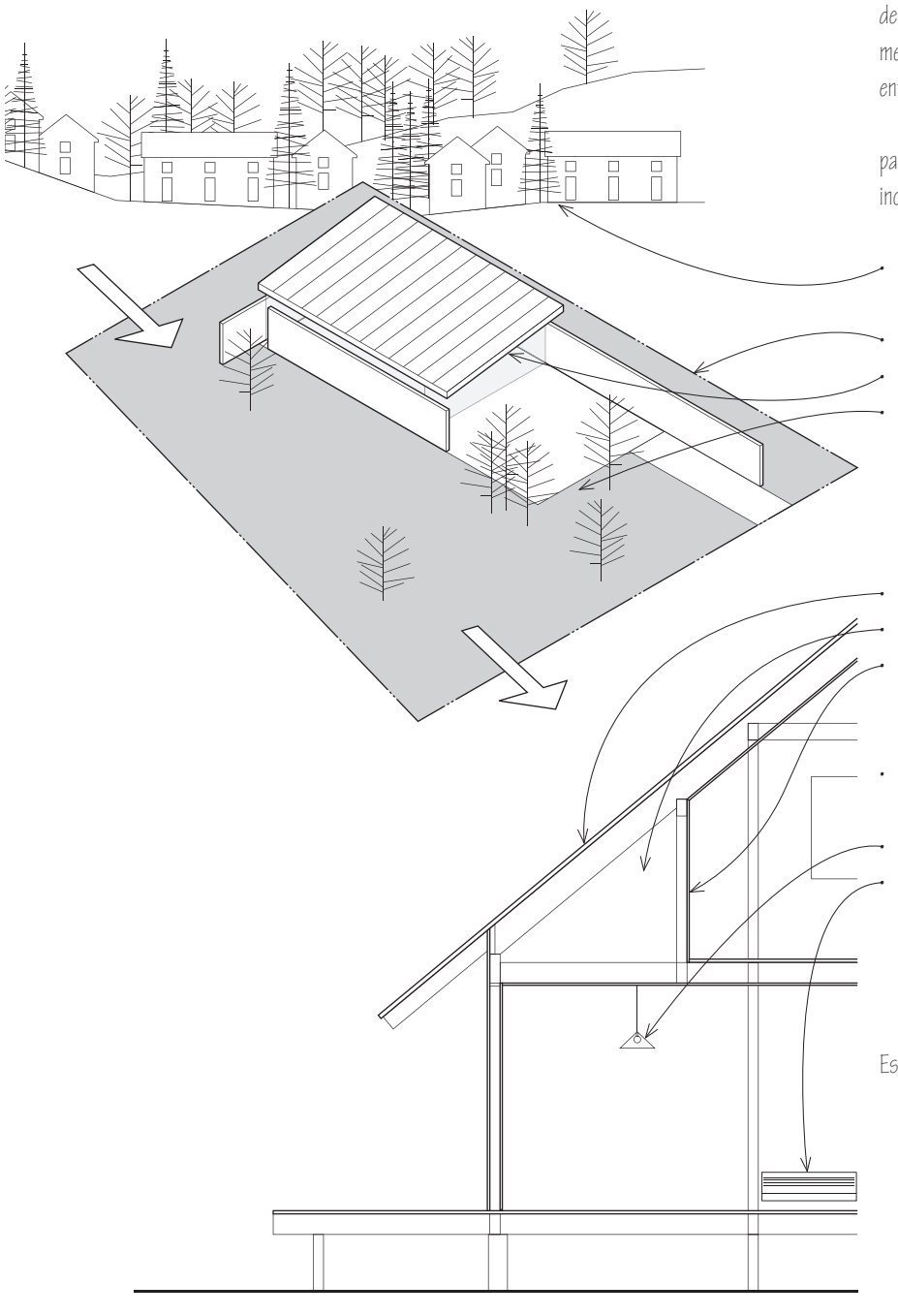
Otro principio del proyecto ecológico consiste en trabajar del exterior al interior del edificio a través de diversas capas de protección.
En este ejemplo puede recurrirse al espectro completo de capas de protección frente al viento y la filtración de aire, como son:

- Elegir una localización resguardada del viento.
- Utilizar árboles, cercas y edificios adyacentes como barreras contra el viento.
- Instalar sistemas continuos de revestimiento.
- Utilizar aislamientos que resistan el movimiento del aire.
- Sellar las juntas exteriores de los muros, especialmente los bordes de los huecos y cajas de instalaciones.
- Disponer un vestíbulo sin calefacción como elemento de amortiguación.

2.05 Protección contra el viento y la entrada de aire.

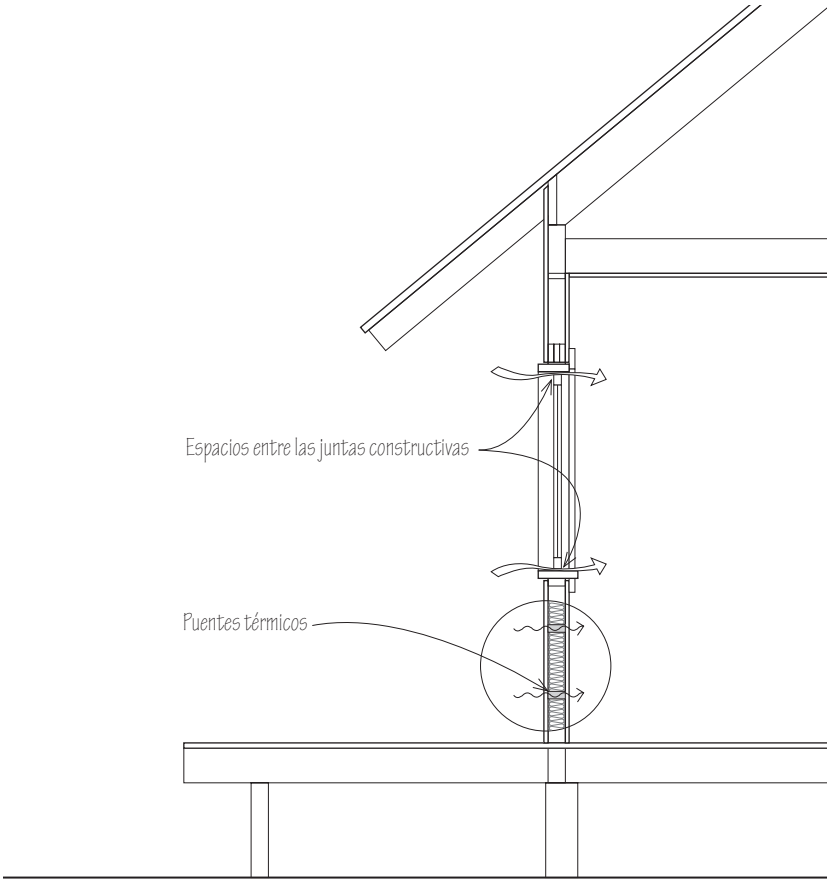
Comenzar en el entorno más alejado del edificio y avanzar hacia su interior es una forma de resolver los problemas cerca de su fuente, en lugar de intentar resolver los síntomas. Si el síntoma es el frío que provocan las corrientes de aire, podría resolverse con calefacción, algo sencillo pero ineficiente. Resolver el problema en la fuente implica reducir las cargas de viento y prevenir la filtración mediante un enfoque estructurado con múltiples capas de protección. Trabajar desde el exterior es equivalente a lo que sucede en el campo de la medicina, que prioriza la prevención frente al tratamiento de las enfermedades.

Una jerarquía de capas de protección que puede emplearse para proteger un edificio de las distintas cargas, de afuera adentro, incluiría las siguientes:



Estos componentes se analizarán de forma secuencial.

2.06 *Jerarquía de las capas de protección.*

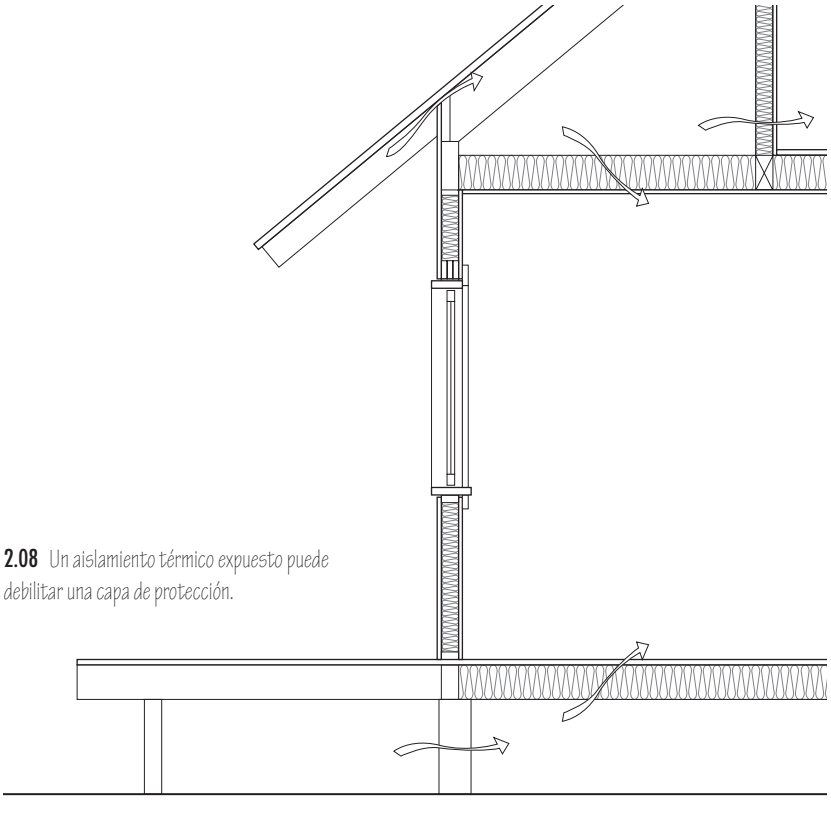


2.07 Una capa de protección será débil si tiene muchas discontinuidades, ya sean huecos o puentes térmicos.

Continuidad

Otro principio del proyecto ecológico no solo reside en proyectar capas de protección fuertes y robustas, sino también en asegurar la continuidad de cada una de ellas. La continuidad de la envolvente térmica del edificio ha cobrado una gran importancia en los últimos años, pues estas capas quedan debilitadas cuando se interrumpen o son discontinuas. La mayor parte de los edificios convencionales contienen muchas discontinuidades de este tipo. Por ejemplo, los desvanes de los edificios con cubiertas a dos aguas tienen discontinuidades en diversos elementos, como rozas sin aislar, cajas de instalaciones sin sellar, chimeneas, *shunts* y conductos de ventilación, así como ventanas con filtraciones.

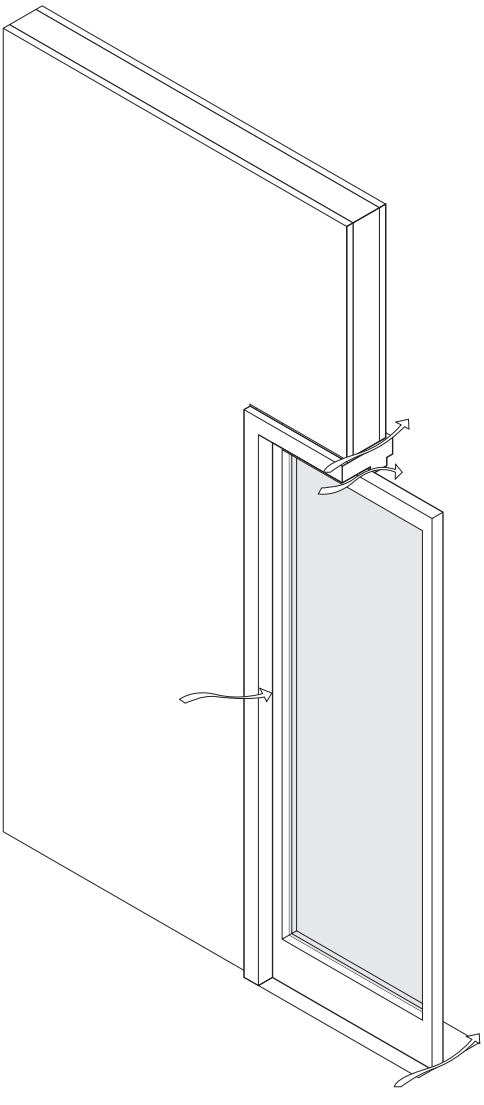
Los huecos o espacios vacíos no son el único tipo de discontinuidades que puede sufrir el aislamiento térmico. Las discontinuidades también pueden producirse por la existencia de puentes térmicos, materiales conductores que penetran o interrumpen el aislamiento térmico en la junta de un muro con un forjado. Por ejemplo, los conectores de madera o metal de un muro entramado pueden actuar como puentes térmicos, permitiendo que el calor se cuele por el muro.



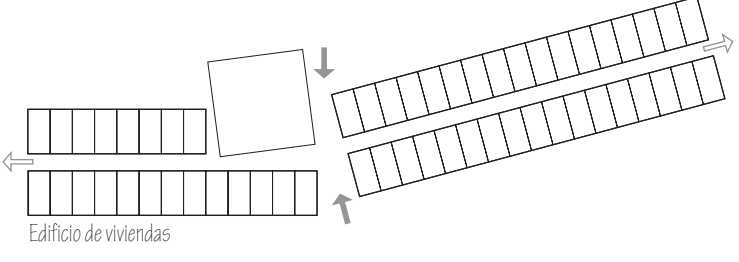
2.08 Un aislamiento térmico expuesto puede debilitar una capa de protección.

Los muros y los forjados con aislamiento térmico expuesto en una de sus caras son casos típicos de una capa de protección débil. Por ejemplo, a menudo los forjados sanitarios o por encima de sótanos sin calefacción tienen el aislamiento térmico en su parte inferior sin ningún tipo de protección; este problema también se da en los áticos, donde el aislamiento aplicado sobre falsos techos y paredes carece de protección y puede moverse o dañarse. Incluso en el caso de que el aislamiento térmico se mantenga en su posición, el aire puede circular alrededor del propio aislamiento y alcanzar la cara fría de las divisiones interiores, aumentando las pérdidas térmicas de los espacios con calefacción.

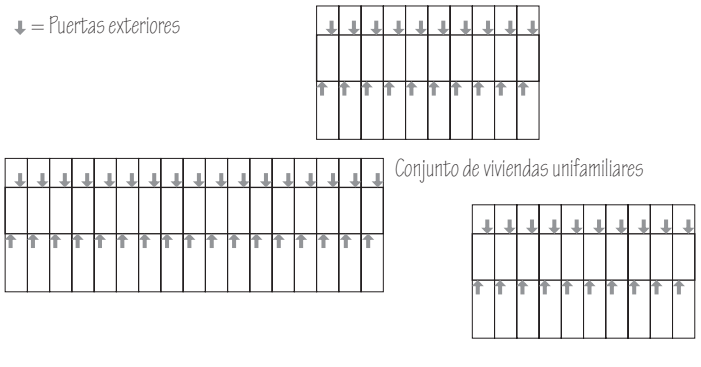
Las capas débiles lo son desde el primer momento. Una capa débil es aquella que puede ser resistente en un principio, pero que se debilita con el paso del tiempo. Una puerta bien aislada, con un buen sellado impermeabilizante, burlete y contrapuerta, puede comenzar ofreciendo una muy buena protección, pero con el tiempo el marco puede descolgarse, se descoloca el burlete, se deforma, se agrieta o desprende el sellado, o la contrapuerta deja de cerrar bien por el fallo de alguna bisagra. Por su propia naturaleza, una puerta y sus juntas son un componente débil, pues el propio uso acaba desgastando y debilitando su función como capa protectora.



2.09 Aunque los muros suelen ser capas de protección robustas, las puertas pueden debilitar esta protección con el paso del tiempo, a medida que se produzcan pequeños descuelgues respecto del marco, o se desprendan o agrieten los diferentes elementos de sellado y aislamiento.



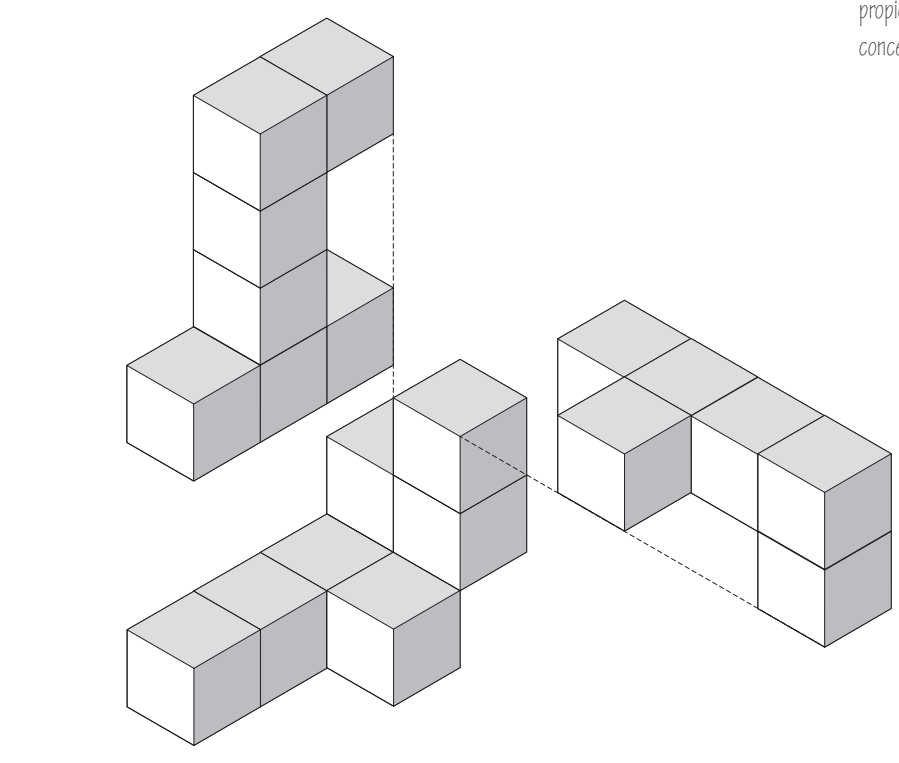
2.10 Comparación entre un edificio de viviendas con pasillos interiores de acceso a cada vivienda y un conjunto de viviendas unifamiliares con accesos independientes a la calle.

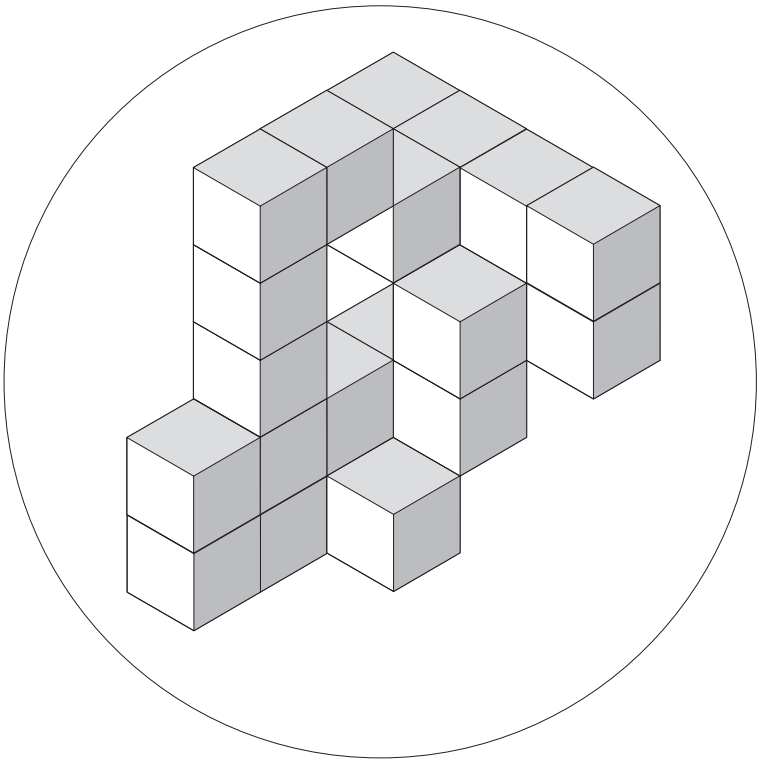


Un muro siempre es más robusto que una puerta, y sirve de capa de protección durante un período más prolongado. Por supuesto, no pueden construirse edificios sin puertas, pero si nos planteamos cuántas puertas exteriores son convenientes, entonces, cuantas menos, mejor. Por ejemplo, un edificio de apartamentos con dos puertas exteriores y un pasillo que dé acceso a cada vivienda tiene muchas menos puertas exteriores que un conjunto de viviendas unifamiliares con uno o dos accesos a la calle cada una.

Proyecto holístico

Otro de los principios del proyecto ecológico reside en un enfoque holístico, capaz de comprender el edificio y su entorno como un todo y analizar todos los componentes de afuera adentro. La energía se utiliza y se desperdicia de múltiples maneras. Por ejemplo, la energía de calefacción es necesaria puesto que se producen pérdidas de calor por conducción y por filtración a través de la envolvente del edificio, pérdidas en el proceso de distribución y pérdidas en los propios equipos de calefacción. Para minimizar dichas pérdidas debe concebirse el edificio como un todo.



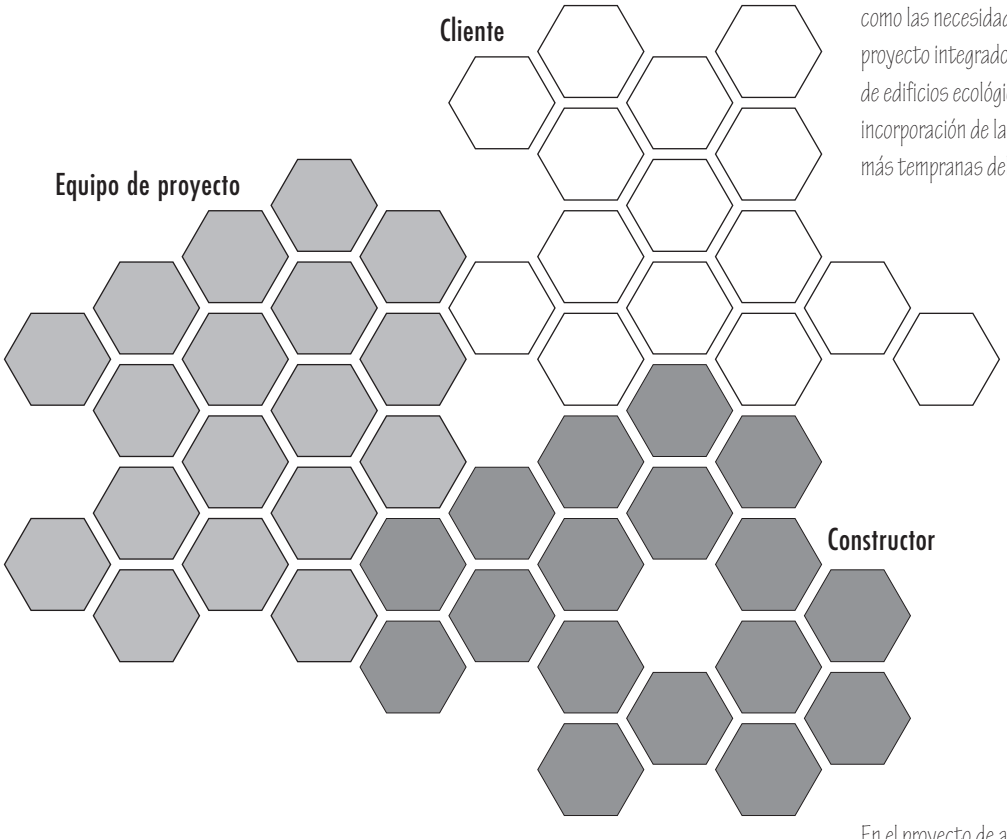


Un edificio concebido holísticamente es aquel en el que todas las pequeñas mejoras se suman para obtener resultados globales significativos. Por sí mismo, un muro hiperaislado de 30 cm de grosor no puede hacer que un edificio sea energéticamente eficiente si sus ventanas tienen una conductividad térmica elevada, si hay constantes filtraciones de aire por las juntas y el desván, o si el sistema de calefacción cuenta con un sistema de distribución del calor ineficaz. A menudo los edificios ecológicos cuentan con un único componente ecológico, aunque muy visible, pero siguen consumiendo una gran cantidad de energía debido a que no se puso la suficiente atención en el edificio como un todo.

2.11 Al igual que cuando resolvemos un rompecabezas tridimensional, un proyecto ecológico eficaz requiere un gran número de pequeños pasos; cada uno de ellos debe tener presente los intereses del cliente para afrontar el complejo desafío de proyectar un edificio que responda a los requisitos ecológicos y de presupuesto.

Proyecto integrado

Una práctica cada vez más común en el ámbito de la arquitectura ecológica es lo que se denomina "proyecto integrado". Esta manera de trabajar implica que todos los participantes en un proyecto —cliente, inquilinos, arquitectos, ingenieros, consultores y contratistas— trabajan conjuntamente desde las primeras fases del proyecto. Este enfoque colaborativo pretende asegurar que todos los agentes contribuyen a mejorar el comportamiento ecológico del edificio y a tener en cuenta la importancia de los puntos de vista, así como las necesidades en todas las fases del proceso de proyecto. El proyecto integrado supone una contribución de gran valor al proyecto de edificios ecológicos, especialmente en lo que se refiere a la incorporación de la evaluación de los costes energéticos en las fases más tempranas del proceso.



2.12 Un proceso integrado de proyecto implica y concierne a una diversidad de agentes y requiere optimizar la comunicación entre el cliente, el proyectista y el contratista.

En el proyecto de afuera adentro no se pretende restar prioridad a las cuestiones que se tratan en las fases finales del proceso, como la distribución y las especificaciones de los puntos de luz, o de los sistemas de calefacción o climatización. Es esencial tratar todas estas cuestiones desde la fase más temprana posible e irlas cerrando durante el proceso de proyecto.

Es preciso identificar con claridad y con el mayor detalle posible las expectativas del cliente en la fase temprana del proceso de proyecto. Para ello, se identificarán aquellos que espacios que deberían contar con un control de la temperatura y el número de personas que está previsto que utilicen el edificio y en qué momentos. Las decisiones que se tomen en esta primera fase tendrán una gran influencia en las decisiones posteriores, como el tipo de calefacción o climatización que es necesario utilizar, que a su vez influirá en la altura del edificio, o si será necesaria la instalación de una sala de máquinas. El proyecto integrado construye el sentido común y permite que todos los componentes del edificio trabajen conjuntamente y no como piezas aisladas.

Costes

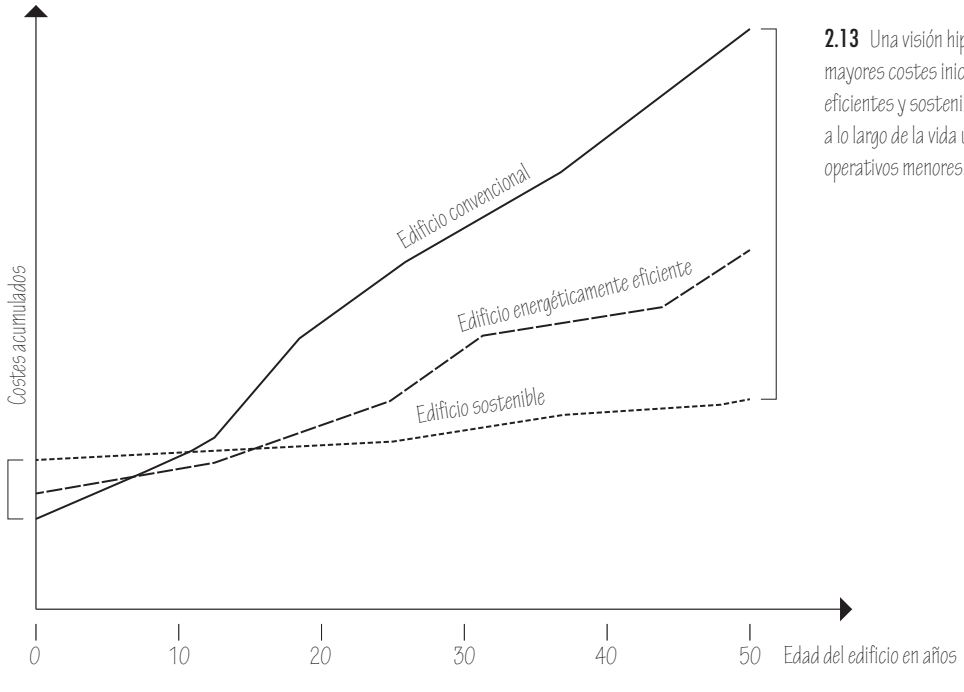
Los costes siempre han jugado un papel central en el proyecto y la construcción de edificios. Los edificios constituyen una de las principales inversiones de nuestra sociedad. La construcción de viviendas asequibles dice mucho de la capacidad de la sociedad para alojar a las clases menos favorecidas. Ser propietario de una vivienda se ha convertido en sinónimo de la realización de un sueño. Los desembolsos de capital que supone la construcción de una vivienda son tan importantes que rara vez puede pagarse al contado; lo más frecuente es que se tenga que pedir un tipo de préstamo especial, la hipoteca, que se devuelve a lo largo de décadas.

Para el proyecto y la construcción ecológicos, los costes tienen unas implicaciones que pueden considerarse tanto obstáculos como oportunidades. La tendencia es creer que los edificios ecológicos son más caros y, por tanto, solo son accesibles para quienes pueden pagar su sobrecoste. Esta percepción es uno de los principales obstáculos para la arquitectura ecológica.

Sin embargo, se está planteando un nuevo punto de vista que asume la necesidad de analizar los costes a lo largo de todo el ciclo de vida, teniendo en cuenta los menores costes operativos de un edificio ecológico durante su vida útil prevista. Los costes energéticos de un edificio ecológico suelen ser menores que los edificios tradicionales. También se ha demostrado que algunos de los componentes ecológicos, como la calefacción y la climatización geotérmica, requieren menos costes de mantenimiento que sus equivalentes tradicionales. Y se ha señalado que la productividad de los trabajadores es mayor en los edificios ecológicos, gracias a la mejor calidad del aire interior y al confort térmico y visual; todos estos factores producen un beneficio a largo plazo que supera el incremento de las inversiones iniciales.

Un análisis de las estrategias de proyecto ecológico muestra una diversidad de posibles mejoras que, en la práctica, pueden reducir tanto los consumos energéticos como los costes de construcción. Por ejemplo, si los techos son bajos se pueden reducir los costes de construcción, el número de puntos de iluminación y las cargas de calefacción y climatización.

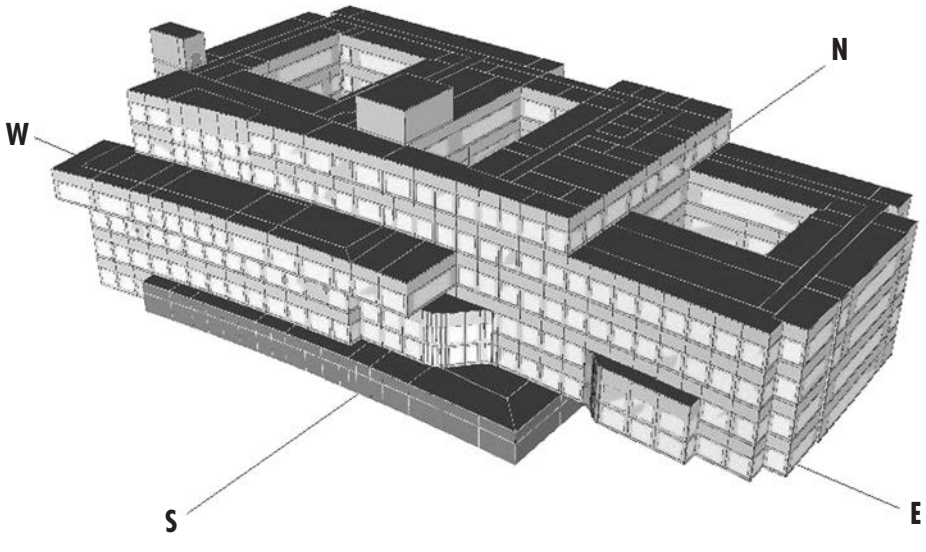
En lo que se refiere a los costes, el proyecto y la construcción ecológicos no son neutros; es imprescindible evaluar con rigor tanto los sobrecostes como los ahorros en la construcción y la posterior vida útil del edificio, y reconocer los impactos reales o percibidos. Si queremos que la arquitectura ecológica vaya más allá de los ámbitos más innovadores de la sociedad, es preciso que el tema de los costes no se convierta en una barrera insalvable, de ahí que siempre es preferible plantear este tema desde el primer momento.



2.13 Una visión hipotética de cómo los mayores costes iniciales de los edificios eficientes y sostenibles pueden compensarse a lo largo de la vida útil gracias a unos costes operativos menores.

Modelos de simulación energética

A medida que se afinan los proyectos arquitectónicos, es relativamente sencillo evaluar sus ventajas e inconvenientes mediante modelos de simulación. El cálculo de muros, ventanas, volúmenes edificados, sistemas de calefacción y otros elementos parametrizables puede prepararse en menos de un día. Los modelos más avanzados, capaces de evaluar en detalle sistemas como la iluminación natural o los controles energéticos, llevan más tiempo de preparación e interpretación, pero esta inversión suele ser rentable cuando se compara con los costes energéticos futuros a lo largo de la vida útil del edificio. Ya no es necesario acudir a la especulación para afinar un proyecto que alcance mayores niveles de eficiencia energética. El uso de estos modelos de simulación energética debería ser considerado una parte esencial del proyecto de edificios ecológicos.

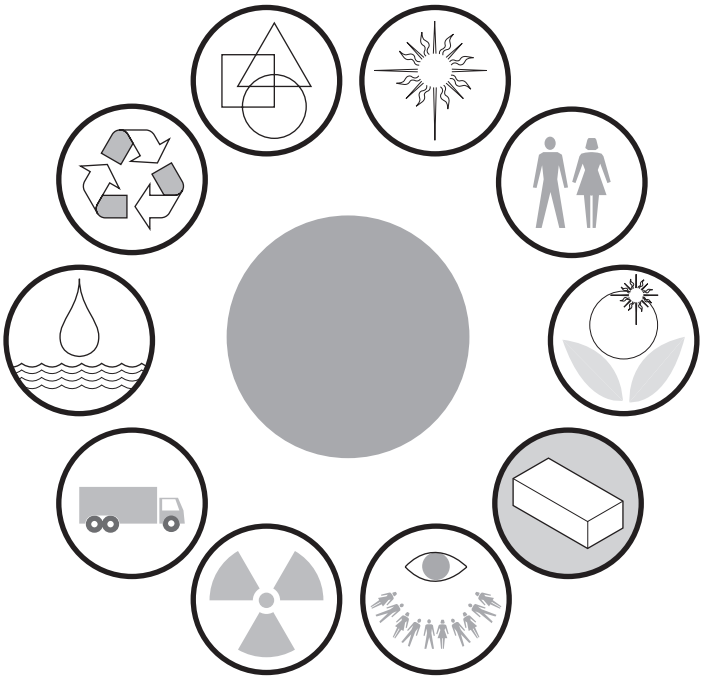


2.14 Centro de salud mental (Seattle, Washington, Estados Unidos), de Stantec Architecture & Consulting. La simulación utiliza un *software* para analizar los numerosos componentes térmicos del edificio, como los materiales de los muros y el resto de la envolvente, el tamaño, la forma y la orientación del edificio; la forma de ocupación y utilización del edificio, el clima local, el rendimiento del sistema y el consumo energético a lo largo del tiempo.

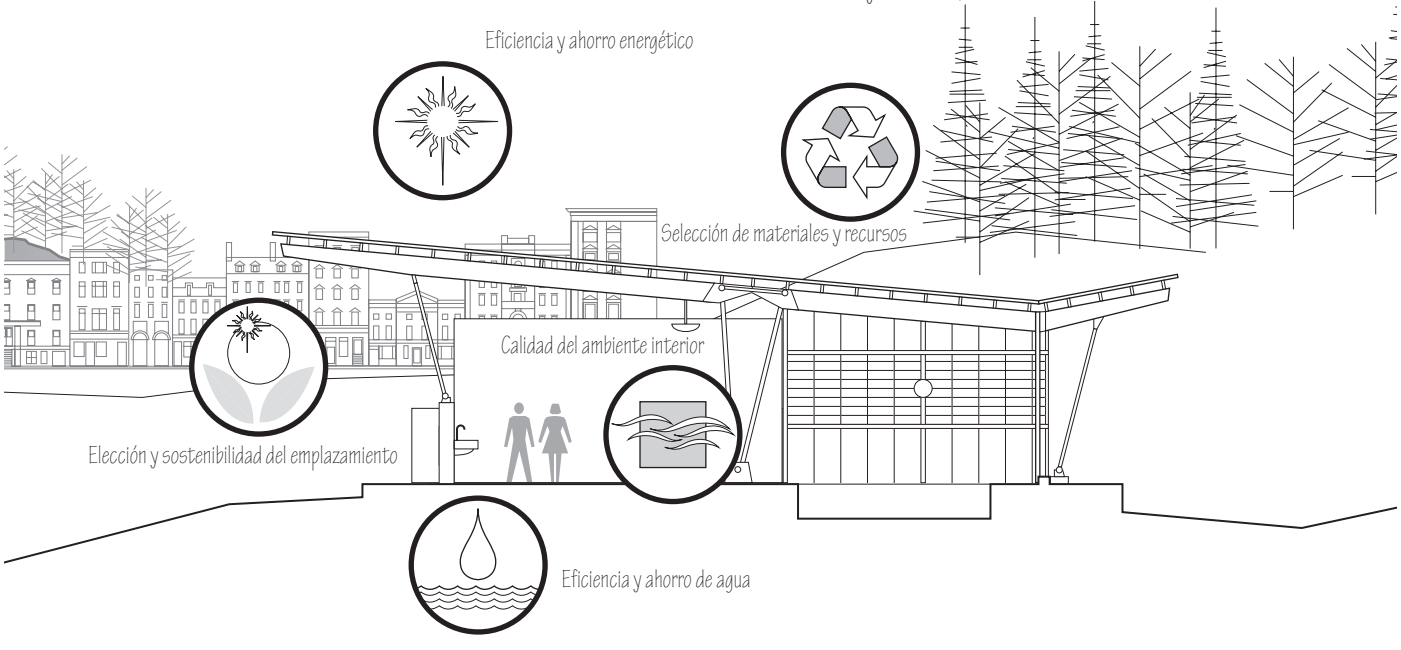
3

Normas, estándares y guías

En los últimos años se han desarrollado una serie de normas, estándares y guías sobre arquitectura ecológica. Cada una de ellas refleja un valioso compromiso con el medio ambiente y la salud de las personas, pero también valores y puntos de vista ligeramente diferentes; como cualquier ser humano, probablemente cada una sea imperfecta en algún aspecto.



Las normas, estándares y guías sobre la arquitectura ecológica suelen incorporar disposiciones sobre la elección del emplazamiento, la conservación del agua y la energía, la selección de los materiales y la calidad del ambiente interior. Algunas contemplan otras cuestiones, como las referentes a las condiciones acústicas, la seguridad y la disminución de riesgos, los aspectos históricos y culturales, o las cuestiones estéticas.



3.01 Categorías habituales de disposiciones de arquitectura ecológica.

Energía y atmósfera (33 puntos posibles)

- [ ] Prerrequisito 1: recepción y verificación básicas (requerido)
- [ ] Prerrequisito 2: mínimo consumo energético (requerido)
- [ ] Prerrequisito 3: contador de energía en todo el edificio (requerido)
- [ ] Prerrequisito 4: gestión básica de refrigerantes (requerido)
- [ ] Crédito 1: recepción mejorada 6
- [ ] Crédito 2: optimización de la eficiencia energética 18
- [ ] Crédito 3: contador de energía avanzado 1
- [ ] Crédito 4: respuesta a la demanda 2
- [ ] Crédito 5: producción de energía renovable 3
- [ ] Crédito 6: gestión mejorada de refrigerantes 1
- [ ] Crédito 7: energía ecológica y compensación de carbono 2

3.02 La energía y la atmósfera son unas de las categorías de impacto medioambiental incluidas en el sistema de LEED 4. Esta categoría contiene cuatro prerrequisitos de obligado cumplimiento para la certificación, pero que no otorgan ningún punto, y siete créditos que, en caso de cumplirse, aportan los puntos necesarios para obtener la certificación LEED.

Muchos de estos sistemas combinan una serie de requisitos absolutos (prerrequisitos) con un conjunto de buenas prácticas para alcanzar un determinado grado de conformidad, la medición de los cuales puede basarse en un sistema de créditos o, en el caso del ahorro energético, en unidades de energía. Este enfoque lleva implícito el reconocimiento de que los edificios ecológicos deben cumplir obligatoriamente unos requisitos determinados y que otros son opcionales. Los obligatorios definen un umbral mínimo que debe cumplir cualquier edificio para ser considerado ecológico, mientras que los opcionales constituyen una especie de menú de posibles mejoras, y permiten cierta flexibilidad y equilibrio, aceptando el hecho de que todo edificio siempre es único. Los créditos que se asignan a cada concepto pueden sumarse, de modo que se obtengan el número suficiente de ellos que posibilite la certificación del edificio.

Está demostrado que estos sistemas de créditos fomentan la arquitectura ecológica. Tal vez por su forma de combinar una serie de tendencias humanas —la autorregulación, la búsqueda de sistemas organizados, el deseo de reconocimiento, el registro de lo realizado y el placer por la competición—, estos sistemas se han convertido en el principal foco para la actividad del proyecto y la construcción ecológicos.

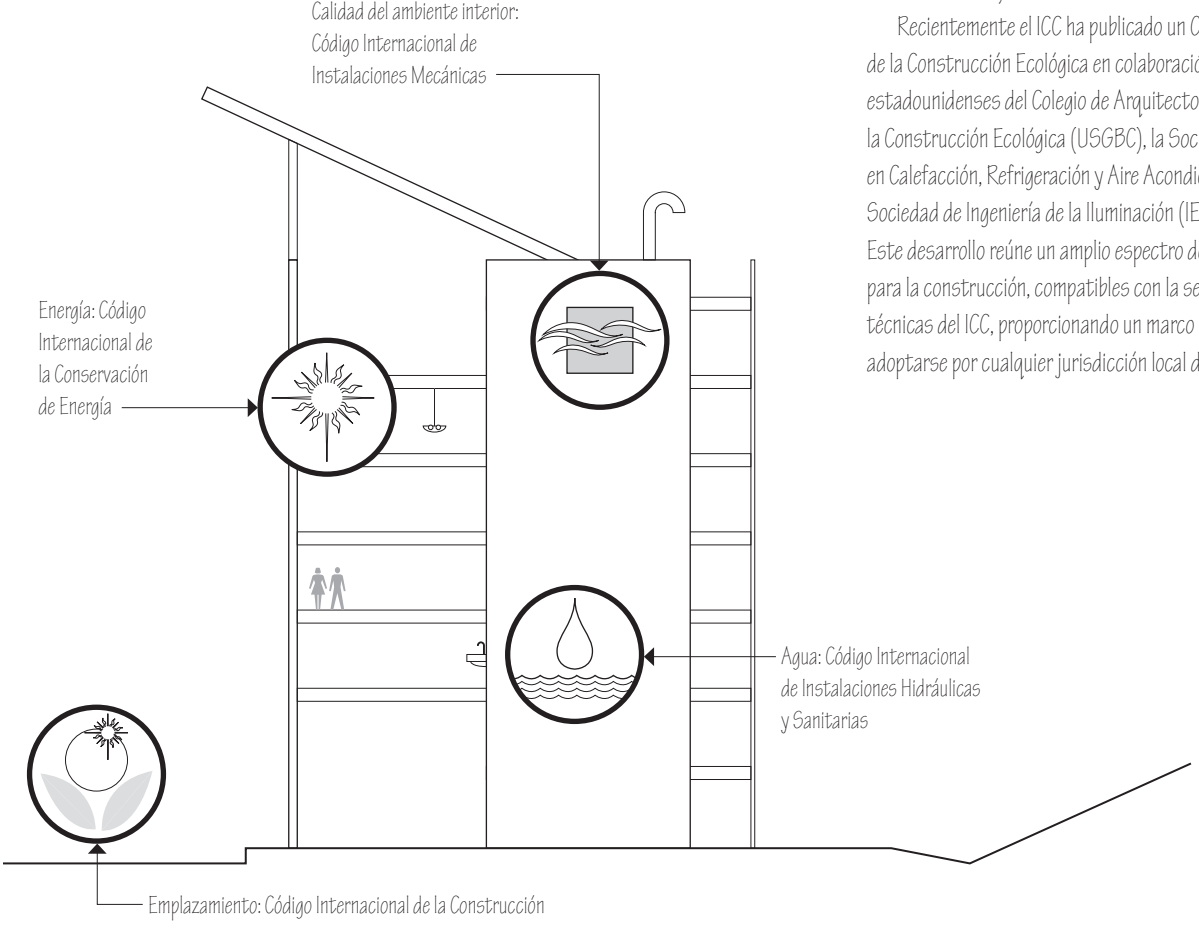
Aunque este libro reconoce la aportación de los sistemas de certificación por créditos al debate, la ciencia y la técnica de la arquitectura ecológica, más que centrarse en cumplir con estos sistemas, plantea la búsqueda de estrategias para el proyecto de edificios ecológicos que analicen las cuestiones más controvertidas sobre qué significa realmente construir de forma ecológica. También intentamos demostrar la vulnerabilidad de los sistemas de certificación y sugerimos algunas formas para proyectar edificios aún más ecológicos, al margen de los puntos que puedan obtener en las normas, estándares o guías de arquitectura ecológica.

Normas

Comenzamos con lo que quizá pueda resultar sorprendente, la inclusión, entre las normas que fomentan la arquitectura ecológica, del Código Internacional de la Construcción (International Building Code, IBC) y sus normas derivadas. El IBC incorpora una amplia gama de disposiciones de carácter ecológico, entre ellas, requisitos de ahorro energético (Código Internacional de Conservación de Energía), de ventilación (Código Internacional de Instalaciones Mecánicas) y de ahorro de agua.

Esta normativa técnica resulta útil porque, en diversas circunstancias, define el valor de referencia para las normas, estándares y guías de arquitectura ecológica, y porque, caso excepcional para los requisitos ecológicos de los edificios, el IBC es de obligado cumplimiento en muchos lugares. Cualquier esfuerzo por hacer más ecológica la construcción debería aprovechar, como mínimo, los requisitos ecológicos definidos por la norma vigente y defender su cumplimiento. El IBC y sus normas subsidiarias son elaboradas y actualizadas por el Consejo del Código Internacional (International Code Council, ICC).

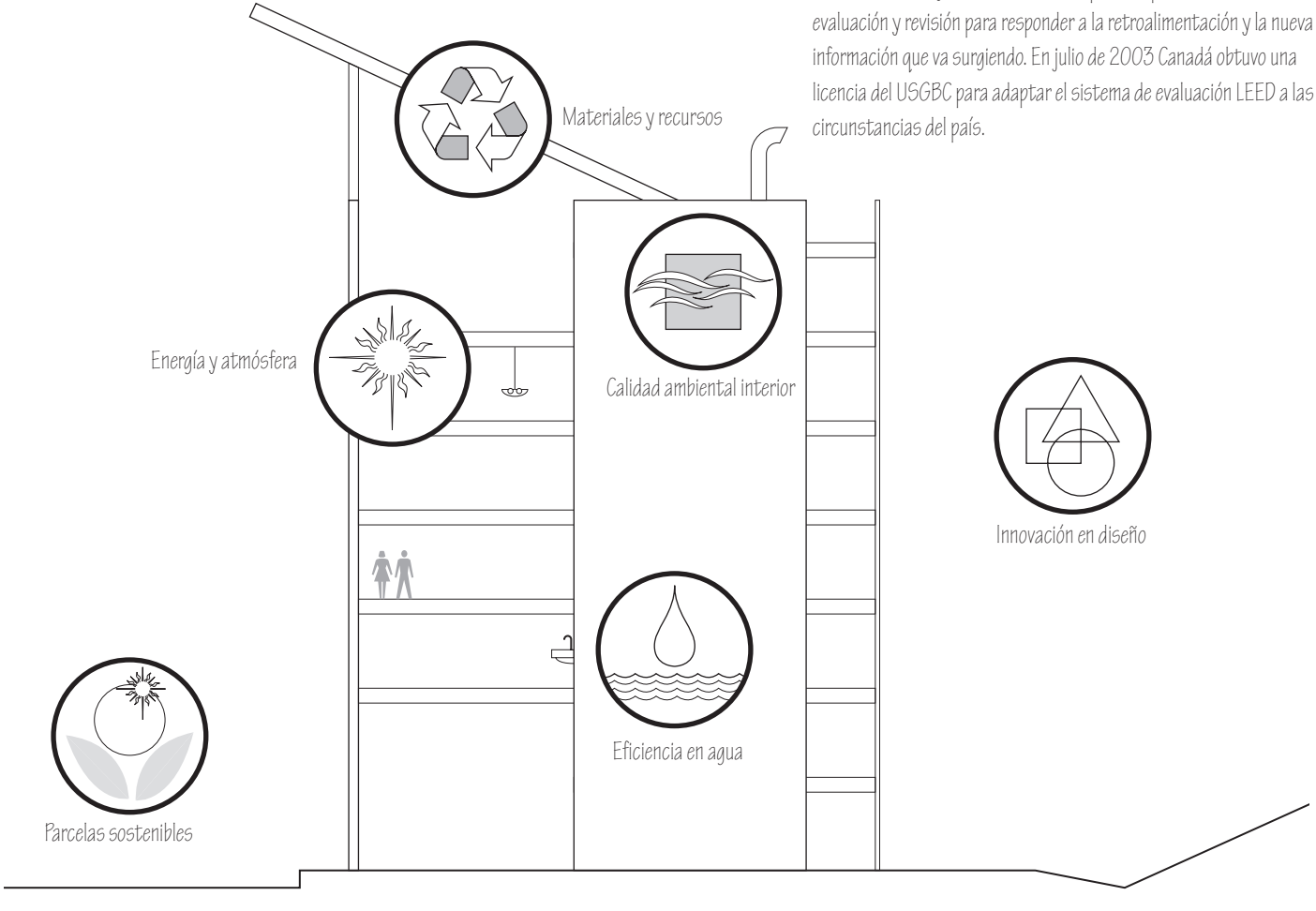
Recientemente el ICC ha publicado un Código Internacional de la Construcción Ecológica en colaboración con los organismos estadounidenses del Colegio de Arquitectos (AIA), el Consejo de la Construcción Ecológica (USGBC), la Sociedad de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), la Sociedad de Ingeniería de la Iluminación (IES) y ASTM Internacional. Este desarrollo reúne un amplio espectro de requisitos ecológicos para la construcción, compatibles con la serie completa de normas técnicas del ICC, proporcionando un marco normativo que puede adoptarse por cualquier jurisdicción local de Estados Unidos.



3.03 El Código Internacional de la Construcción como norma de arquitectura ecológica.

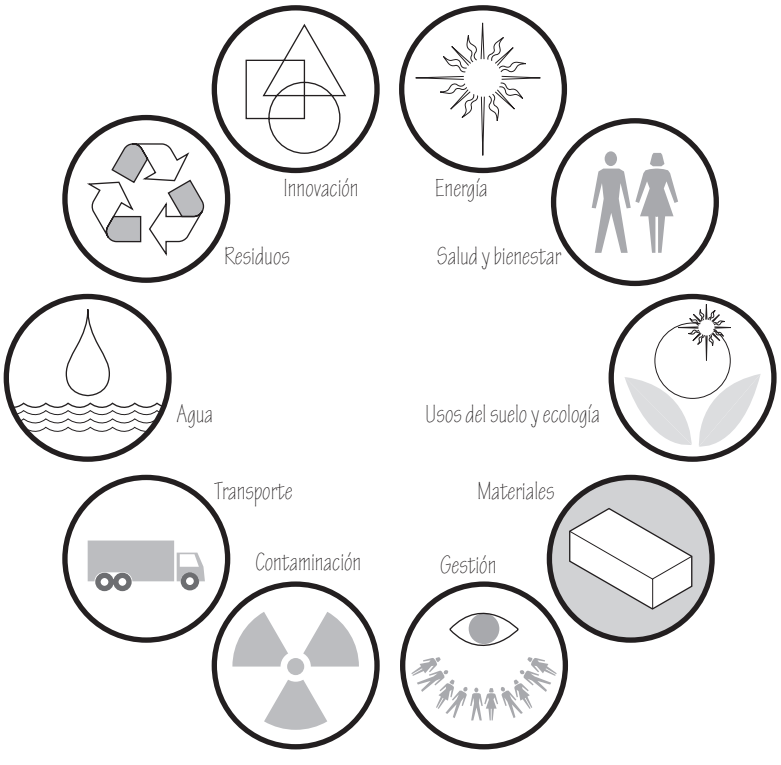
Estándares

El programa de certificación de arquitectura ecológica LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) ha asumido un papel protagonista entre los diferentes estándares de arquitectura ecológica, primero en Estados Unidos y cada vez más en el resto del mundo. Las cinco categorías principales que maneja —parcelas sostenibles, eficiencia en agua, energía y atmósfera; materiales y recursos, y calidad ambiental interior— se han convertido en parte del vocabulario básico de la arquitectura ecológica. Este sistema de evaluación se proyectó a partir del consenso entre los distintos miembros del USBGC —instituciones federales, estatales y locales, arquitectos, ingenieros, contratistas, proveedores y propietarios inmobiliarios— y se encuentra en un proceso permanente de evaluación y revisión para responder a la retroalimentación y la nueva información que va surgiendo. En julio de 2003 Canadá obtuvo una licencia del USGBC para adaptar el sistema de evaluación LEED a las circunstancias del país.



3.04 Categorías principales de requisitos del programa LEED.

La expansión de la aplicación del sistema LEED no solo a nuevas edificaciones, sino también a la rehabilitación de edificios, la planificación de barrios, el desarrollo de proyectos inmobiliarios, la reforma de interiores o el desarrollo de edificios específicos, como viviendas, escuelas, centros de salud o centros comerciales, le han otorgado una amplitud y un alcance singulares.



3.05 Categorías de cumplimiento del sistema BREEAM.

El sistema BREEAM (Building Research Environmental Assessment Method) es una propuesta británica del Building Research Establishment (BRE) para medir y evaluar la sostenibilidad y el comportamiento medioambiental de edificios no domésticos en diversas áreas: gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales y residuos, consumo de suelo y ecología, y contaminación. La escala de evaluación de las certificaciones BREEAM es: aceptable, bueno, muy bueno, excelente y sobresaliente. Puesto en marcha en 1990, este sistema de evaluación medioambiental es uno de los más antiguos y extendidos. Su uso está extendido en Europa y también se ha utilizado en otras partes del planeta. Varios de los enfoques del sistema BREEAM se han incorporado en diversas normas, guías y estándares, también en el sistema de evaluación LEED..

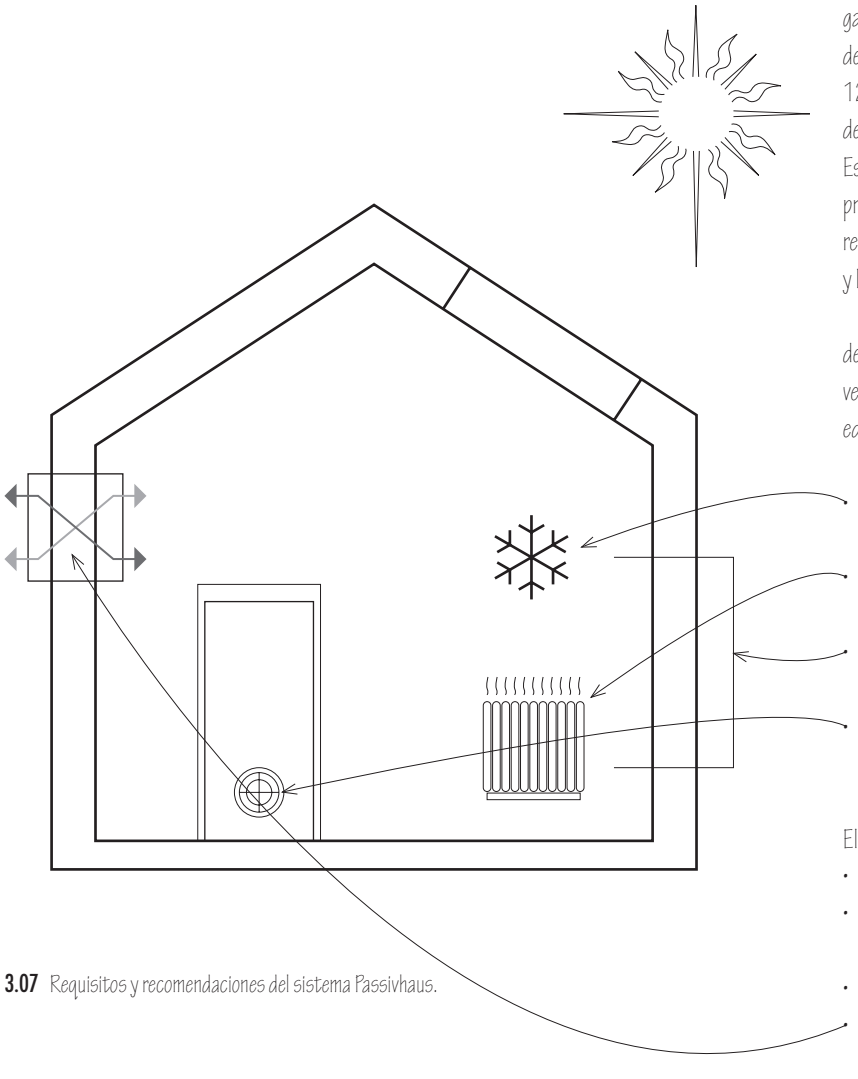
3.06 Logo del sistema Green Globes.

Otro estándar estadounidense de arquitectura ecológica es el Estándar para el Proyecto de los Edificios Verdes de Alto Rendimiento, desarrollado por ASHRAE, USGBC e IES, y generalmente conocido como el Estándar 189.1 de ANSI/ASHRAE/USGBC/IES. Proporciona opciones sencillas de cumplir y otras de rendimiento, más flexibles y desarrolladas en un lenguaje normativo que permite ser adoptadas por las autoridades regionales, estatales y locales. El estándar no está pensado como una guía de proyecto, sino como un complemento a los sistemas de evaluación de la arquitectura ecológica. Aunque el estándar se centra en el ahorro energético, también incorpora unos requisitos mínimos sobre el emplazamiento, la eficiencia en el uso del agua, la calidad del ambiente interior, el impacto en la atmósfera, los materiales y recursos, y la planificación de las obras.

Green Globes es un sistema de evaluación y certificación medioambiental *on-line* para edificios comerciales que pretende ser una alternativa económica y popular al LEED. Se centra en el análisis del ciclo de vida del proyecto, uso y mantenimiento del edificio en siete áreas: gestión del proyecto, emplazamiento, energía, agua, recursos, materiales de construcción y residuos, emisiones y efluentes, y ambiente interior.

Passivhaus es un estándar europeo para maximizar la eficiencia energética de un edificio y reducir su huella ecológica. Aunque su denominación implica la aplicación primaria en el sector residencial, los principios de este estándar también pueden aplicarse a edificios comerciales, industriales y de uso público. La fortaleza de Passivhaus radica en la simplicidad de su enfoque: producir edificios de muy bajo consumo energético mediante la combinación de un excelente rendimiento térmico con un alto grado de estanquidad, por ejemplo, sistemas de ventilación que recuperen el calor al tiempo que suministran aire fresco, para garantizar la calidad del ambiente interior. Este objetivo principal de reducir al máximo el consumo de energía alinea perfectamente al estándar Passivhaus con necesidad apremiante, en la actualidad, de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El estándar cuenta con objetivos de proyecto en términos de consumo energético (demanda máxima de 120 kWh/m^2) y en términos de filtración de aire, con un máximo de 0,6 renovaciones de aire por hora (a una presión de 50 pascales). Este último objetivo se traduce en la necesidad de que el edificio se proyecte meticulosamente de tal forma que limite las filtraciones, reconociendo el papel clave que desempeñan en el consumo energético y la vulnerabilidad de los edificios a la filtración.

Passivhaus requiere niveles de filtración de aire muy reducidos, de aislamiento térmico elevados, con puentes térmicos mínimos y ventanas con un coeficiente U muy bajo. Para cumplir el estándar, un edificio debe tener:

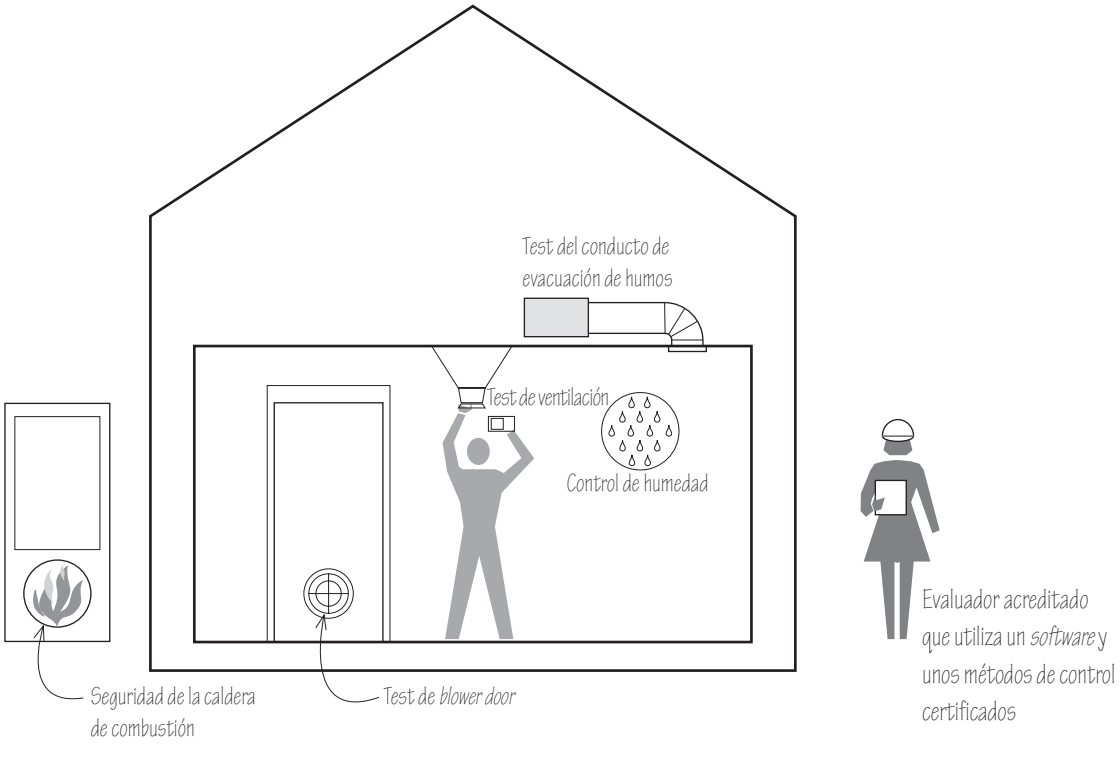


3.07 Requisitos y recomendaciones del sistema Passivhaus.

El confort térmico se logra a través de las siguientes medidas:

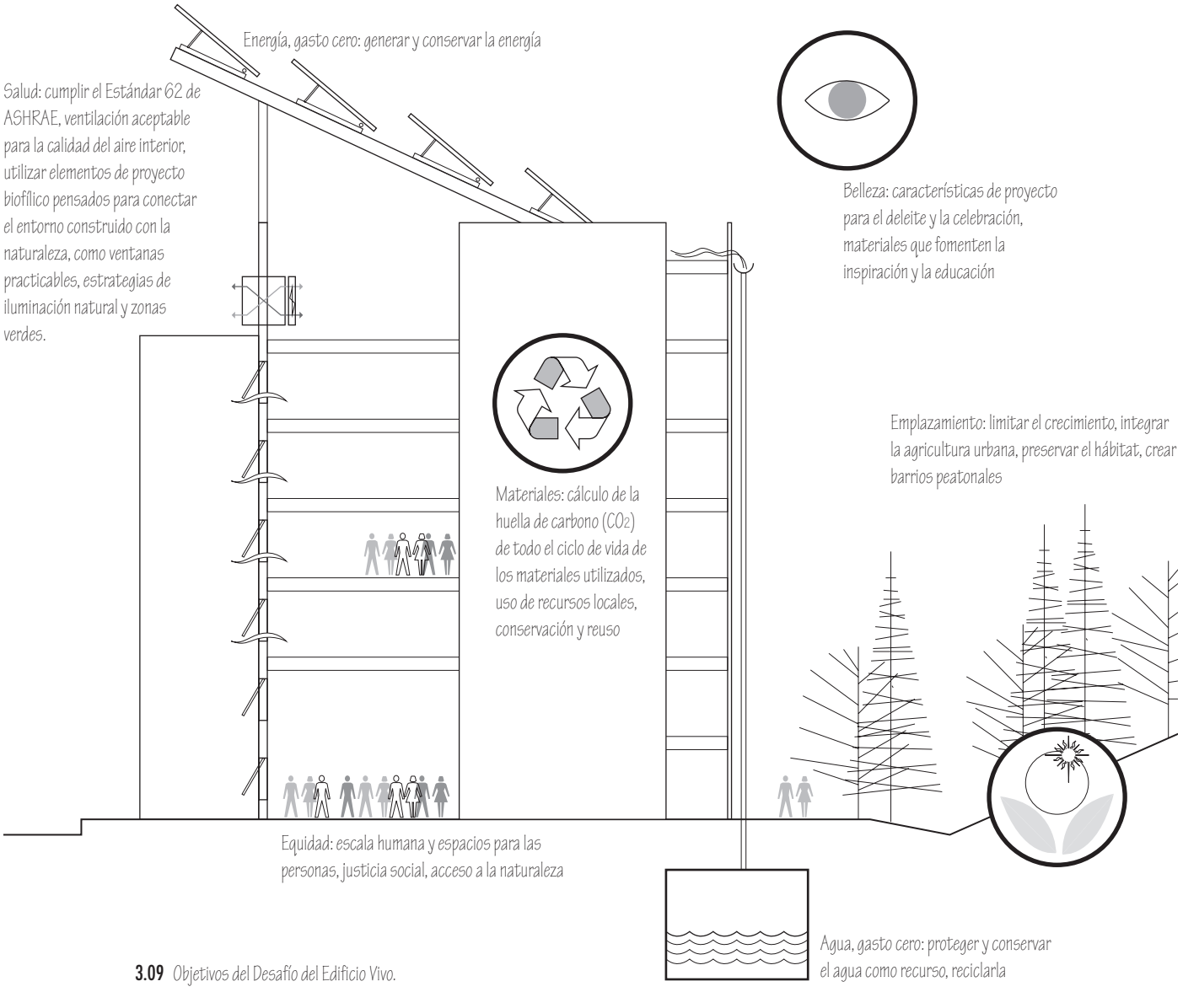
- Altos niveles de aislamiento con puentes térmicos mínimos.
- Ganancias de calor mediante energía solar pasiva y fuentes internas de calor.
- Excelentes niveles de estanquidad.
- Buena calidad ambiental interior mediante un sistema de ventilación mecánica que permita recuperar la mayor parte del calor y que abarque la totalidad del edificio.

Un estándar que se utiliza a menudo en Estados Unidos para el proyecto y la construcción de viviendas es el sistema HERS (Home Energy Rating Systems), desarrollado por la Red de Servicios Energéticos Residenciales (Residential Energy Services Network, RESNET) y la Asociación Nacional de Funcionarios Estatales de Energía (National Association of State Energy Officials). Este sistema de evaluación se centra en el ahorro energético, pero cuenta también con una serie de requisitos que tienen que ver con la calidad del ambiente interior, específicamente, el control de la humedad, la ventilación y la seguridad de las calderas de combustión. El sistema HERS también presta especial atención al control de calidad mediante la inclusión de requisitos exhaustivos para la acreditación de las empresas y profesionales encargados de la evaluación, los sistemas de validación de las previsiones de consumo energético, o los procedimientos de inspección y comprobación in situ. Finalmente, también se utiliza como estándar de referencia para los requisitos energéticos del sistema LEED para viviendas..



3.08 Requisitos del sistema de evaluación HERS.

Un nuevo estándar para la planificación, el proyecto y la construcción sostenibles es el Desafío del Edificio Vivo (Living Building Challenge), creado y gestionado por el Instituto Internacional para un Futuro Vivo (International Living Future Institute) y dirigido a evaluar proyectos de cualquier escala, desde edificios a infraestructuras, proyectos paisajísticos y urbanos. Se caracteriza por defender un gasto cero de agua y energía, y un procesamiento integral de los residuos in situ para períodos superiores a doce meses de ocupación permanente. El estándar también contiene requisitos para otras áreas de la arquitectura ecológica, como las que tienen que ver con la elección y la conservación del emplazamiento, la selección de los materiales y la salud. Debe señalarse que incorpora aspectos como la belleza y la equidad como cuestiones esenciales del proyecto de edificios ecológicos.



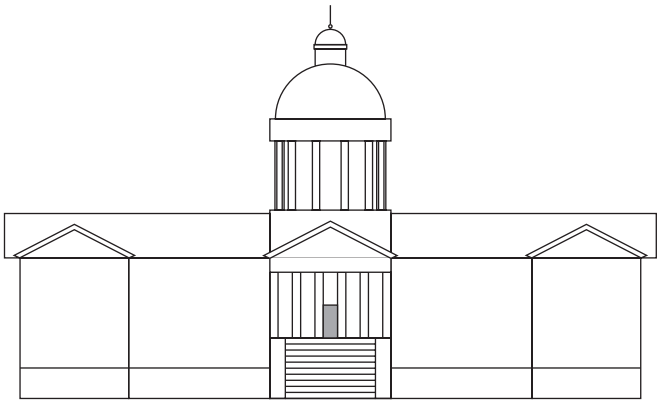
3.09 *Objetivos del Desafío del Edificio Vivo.*

Guías

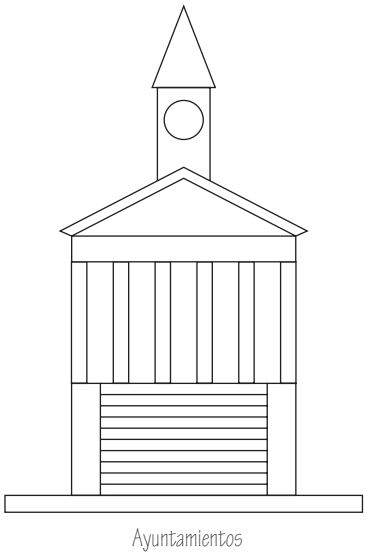
Aparte de las normas y estándares, también se han desarrollado un gran número de guías para la arquitectura ecológica por parte de todo tipo de instituciones públicas (regionales y estatales), universidades, organizaciones no gubernamentales, empresas privadas e incluso gobiernos locales.

Un ejemplo de una guía verde es la Guía Residencial Ambiental (Residential Environmental Guidelines) desarrollada en el Ayuntamiento de Nueva York por la Hugh L. Carey Battery Park City Authority en 1999 y publicada por primera vez en 2000. Al igual que el sistema de certificación LEED, esta guía trata temas como la eficiencia energética, la calidad del ambiente interior, la conservación de materiales y recursos, el ahorro de agua o la gestión del emplazamiento, y contiene también una sección dedicada a la formación para la gestión y el mantenimiento de los edificios.

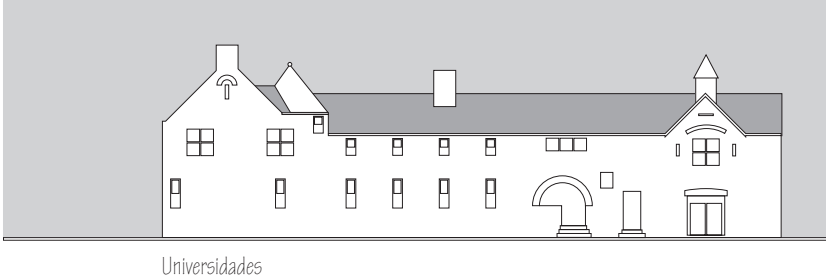
Algunas guías se enfocan hacia un área específica del proyecto ecológico, como la Iniciativa Lugares Sostenibles (Sustainable Sites Initiative), desarrollada por la Asociación Americana de Paisajistas (ASLA), el Lady Bird Johnson Wildflower Center de la University of Texas en Austin y el Jardín Botánico de Estados Unidos. Siguiendo el modelo del sistema LEED, esta guía explora con detalle los espacios más vulnerables desde el punto de vista medioambiental, señalando los beneficios de los diversos servicios medioambientales, como la polinización, articulando un potente conjunto de principios aplicables a dichos contextos, para incluir a continuación un amplio listado de buenas prácticas, con el correspondiente sistema de prerrequisitos y créditos para conformar un sistema de evaluación.



Gobiernos estatales o regionales



Ayuntamientos



Universidades

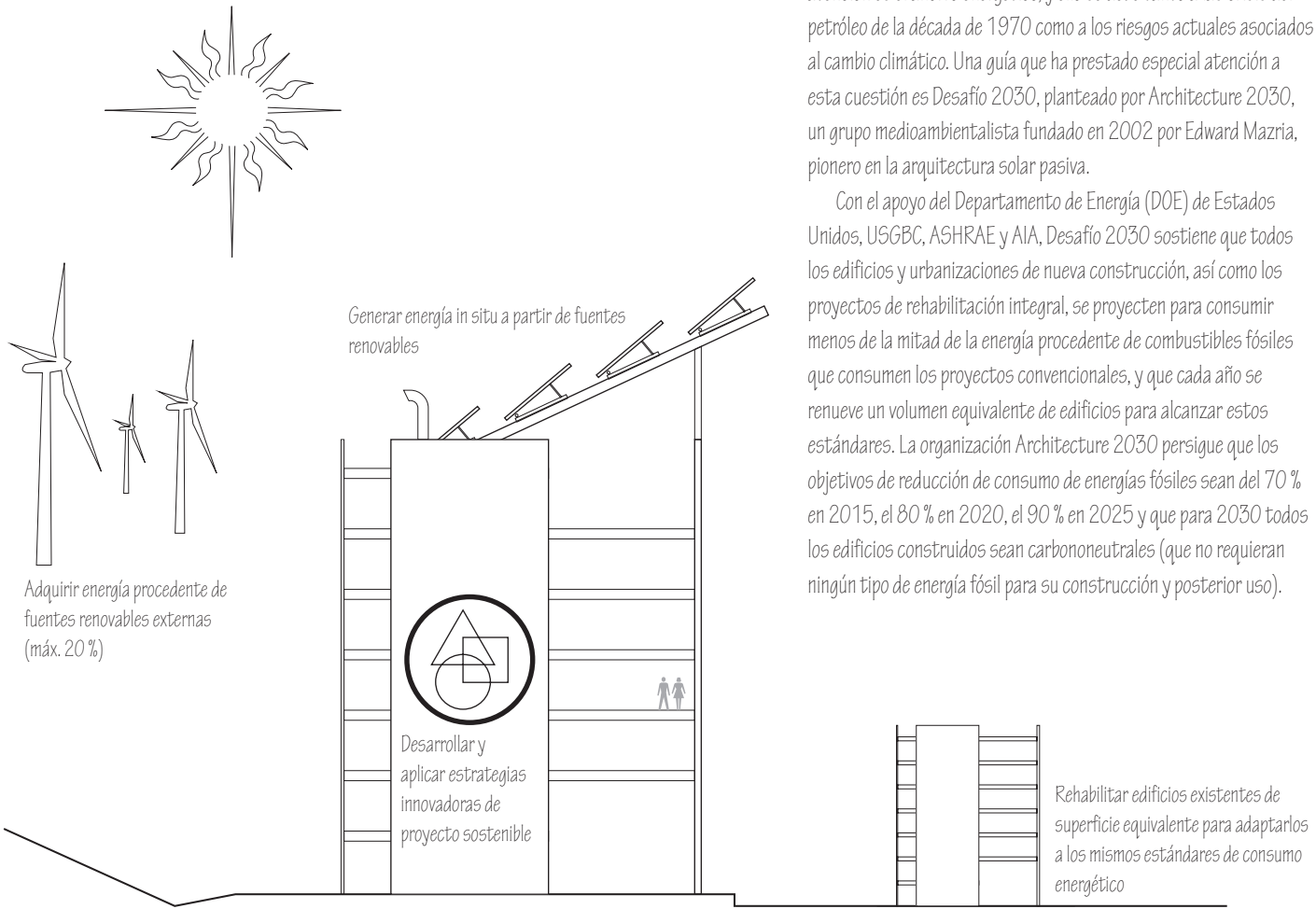
Desarrollos urbanísticos

3.10 Entidades que utilizan guías específicas de arquitectura ecológica.

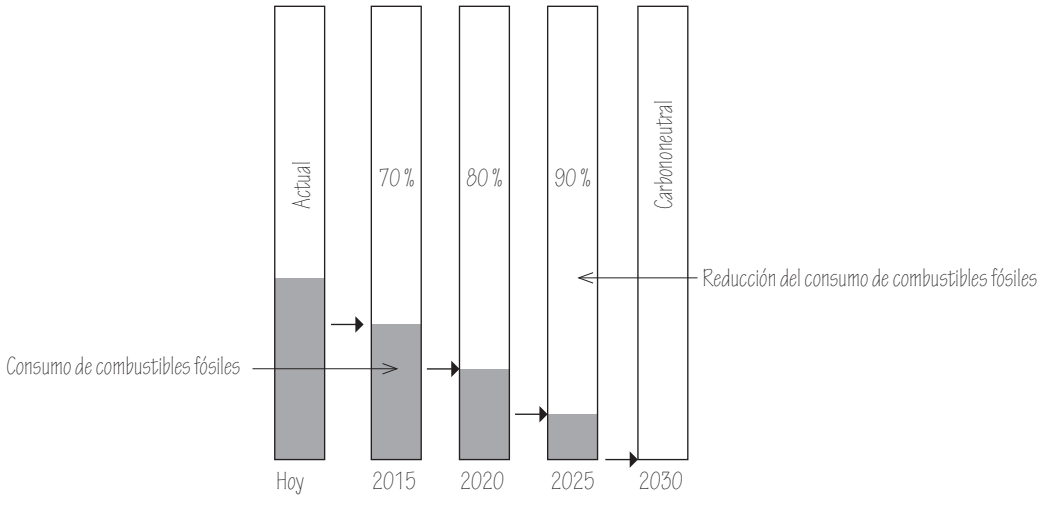
El Desafío 2030

El área del proyecto ecológico que probablemente atrae la mayor atención es el ahorro energético, y ello se debe tanto a las crisis del petróleo de la década de 1970 como a los riesgos actuales asociados al cambio climático. Una guía que ha prestado especial atención a esta cuestión es Desafío 2030, planteado por Architecture 2030, un grupo medioambientalista fundado en 2002 por Edward Mazria, pionero en la arquitectura solar pasiva.

Con el apoyo del Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos, USGBC, ASHRAE y AIA, Desafío 2030 sostiene que todos los edificios y urbanizaciones de nueva construcción, así como los proyectos de rehabilitación integral, se proyecten para consumir menos de la mitad de la energía procedente de combustibles fósiles que consumen los proyectos convencionales, y que cada año se renueve un volumen equivalente de edificios para alcanzar estos estándares. La organización Architecture 2030 persigue que los objetivos de reducción de consumo de energías fósiles sean del 70 % en 2015, el 80 % en 2020, el 90 % en 2025 y que para 2030 todos los edificios construidos sean carbononeutrales (que no requieran ningún tipo de energía fósil para su construcción y posterior uso).



3.11 Estrategias para frenar y en su caso revertir el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los combustibles fósiles.



3.12 Objetivos planteados por Desafío 2030.

4

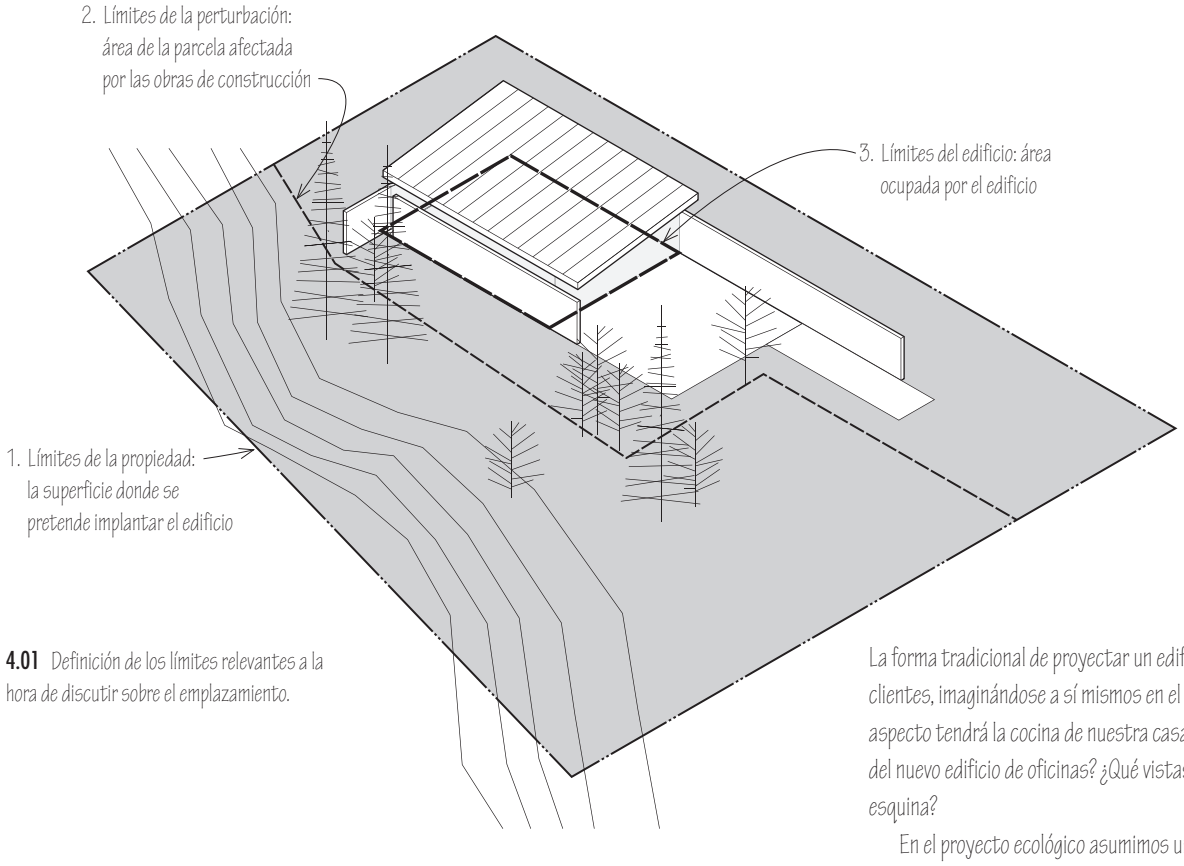
Contexto y emplazamiento

El contexto urbano en el que construimos y su emplazamiento exacto pueden condicionar cualquier aspecto del edificio que planeamos construir.

Los objetivos principales de la selección del contexto y el emplazamiento para un edificio ecológico son proteger los lugares más sensibles, preservar los espacios sin urbanizar, restaurar y reutilizar los espacios ya urbanizados, reducir el impacto sobre la flora y la fauna, promover la conexión con el entorno urbano y minimizar los impactos del transporte, tanto en el entorno natural como respecto al consumo de energía.

En estos objetivos está implícita una profunda reverencia hacia la naturaleza y la búsqueda de un equilibrio entre las áreas urbanizadas y no urbanizadas, en vez de considerar que las áreas naturales son una mera reserva para la implantación de nuevos asentamientos humanos. Al mismo tiempo, debemos intentar reducir la contaminación lumínica, minimizar los residuos de la construcción, gestionar las aguas pluviales y reducir el consumo de agua.

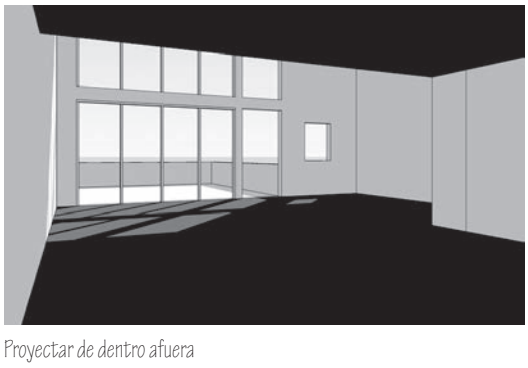
Es interesante señalar que en esta primera fase del proyecto pueden tomarse decisiones que permitirán reducir considerablemente el uso de agua y energía, y mejorar la calidad del ambiente interior del futuro edificio. Se intentarán explorar con cierto detalle estas decisiones, cuyo impacto en el interior del edificio a partir de lo que sucede en el exterior conformarán el punto de partida de una cuestión que se desarrollará a lo largo de todo este libro.



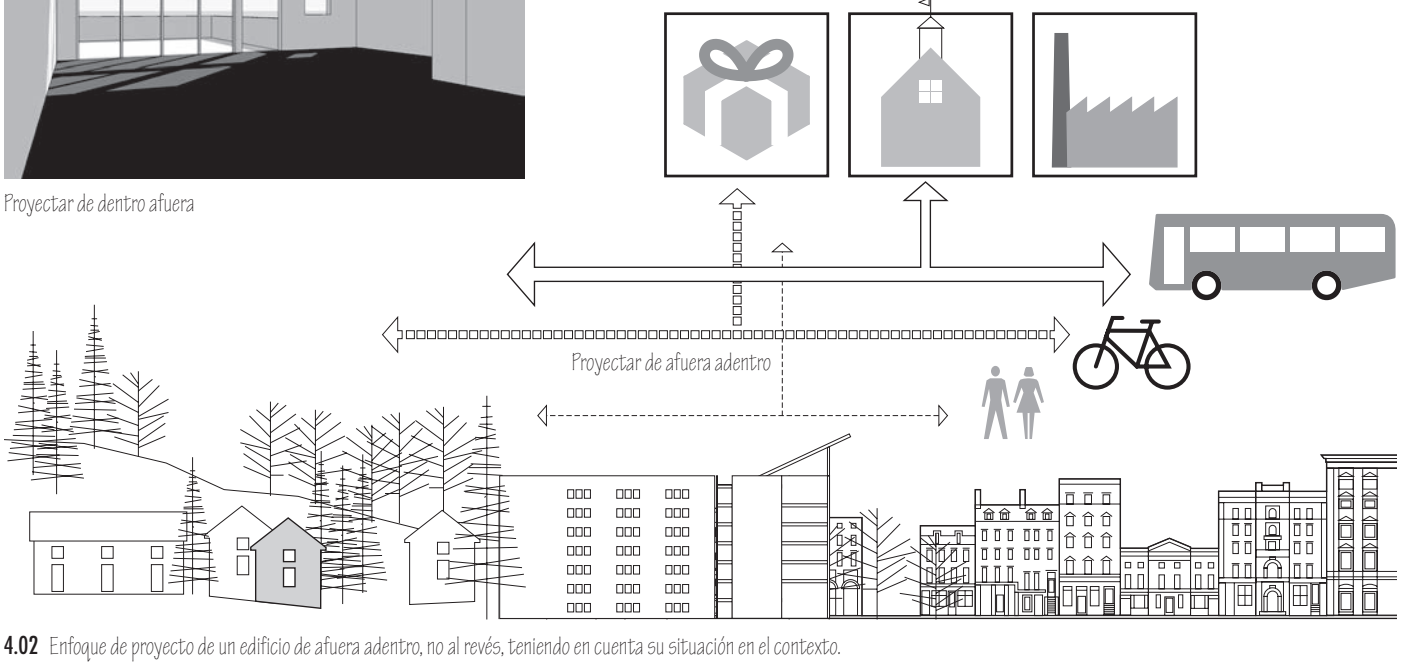
4.01 Definición de los límites relevantes a la hora de discutir sobre el emplazamiento.

La forma tradicional de proyectar un edificio suele comenzar con los clientes, imaginándose a sí mismos en el interior del mismo. ¿Qué aspecto tendrá la cocina de nuestra casa? ¿Será acogedor el acceso del nuevo edificio de oficinas? ¿Qué vistas tendrá la oficina de la esquina?

En el proyecto ecológico asumimos un enfoque diferente, y en lugar de imaginarnos a nosotros mismos dentro del futuro edificio, comenzamos nuestro viaje imaginando al edificio en su contexto. ¿Dónde se situará el edificio en relación con las escuelas, los puestos de trabajo u otros equipamientos públicos?, ¿qué alternativas de transporte habrá?, ¿podrá utilizarse el transporte público?

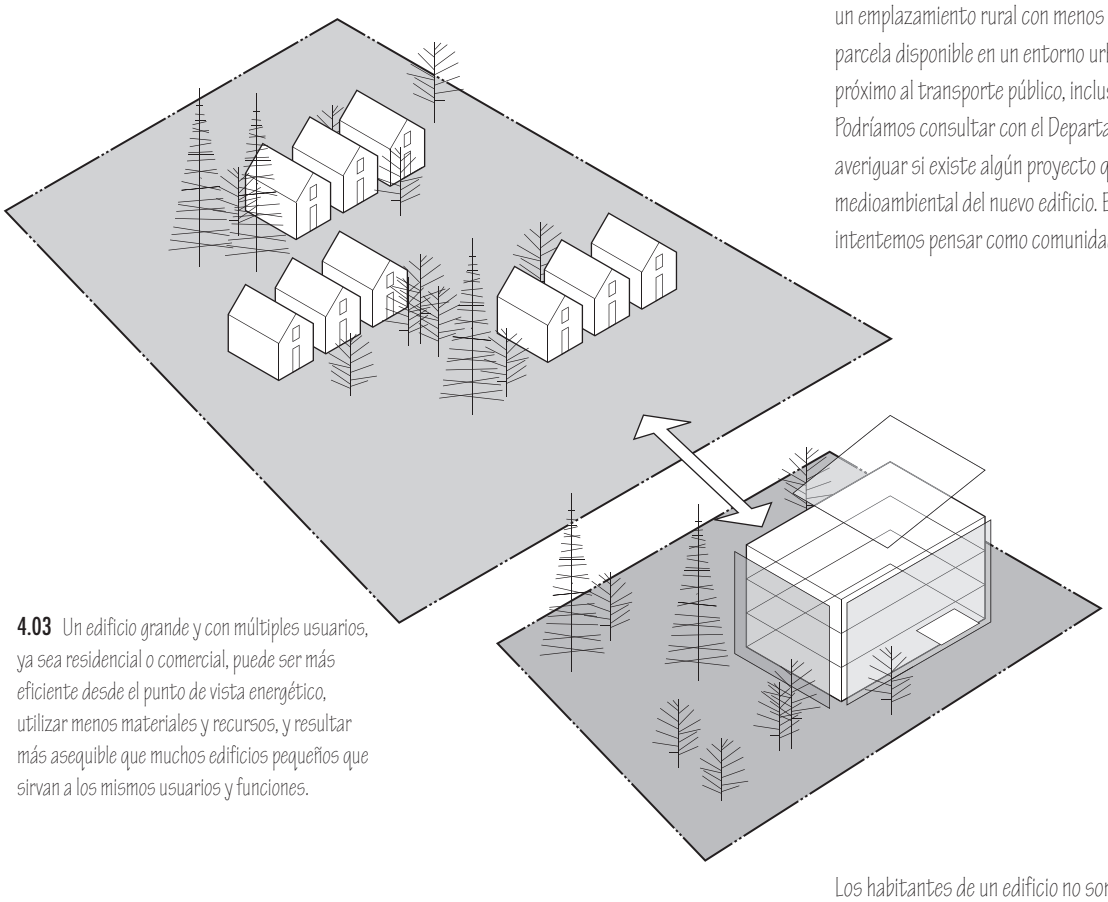


Proyectar de dentro afuera



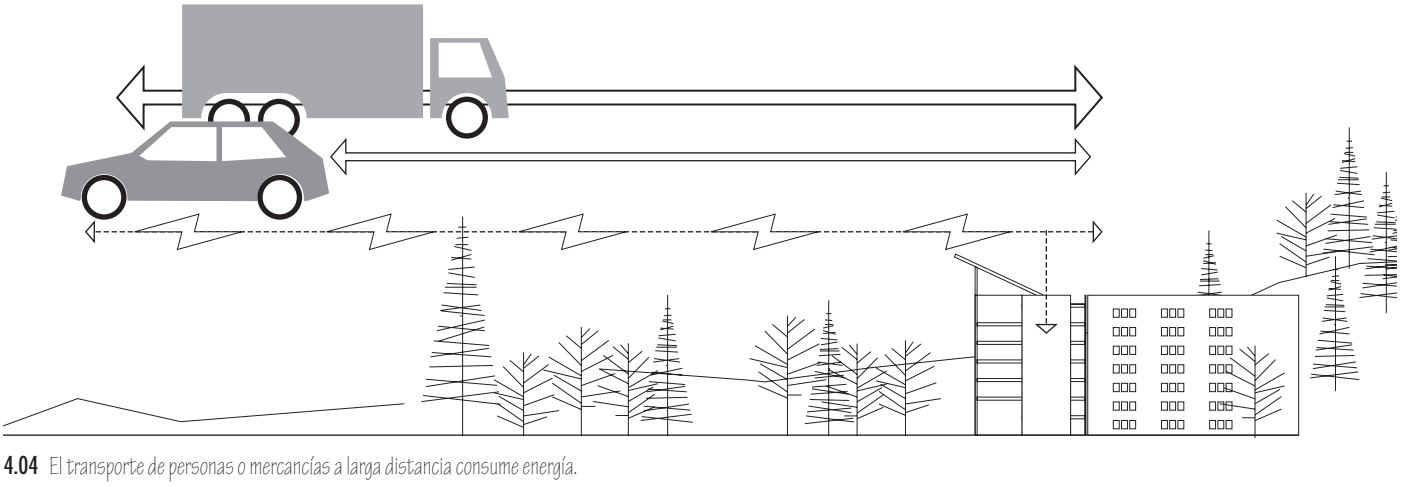
4.02 Enfoque de proyecto de un edificio de afuera adentro, no al revés, teniendo en cuenta su situación en el contexto.

Puesto que buscamos un lugar adecuado para implantar el edificio, podemos plantearnos si la rehabilitación de un edificio abandonado en el centro de la ciudad podría ser mejor opción que construir en un emplazamiento rural con menos servicios. Podemos buscar una parcela disponible en un entorno urbanizado, o un emplazamiento próximo al transporte público, incluso en una zona suburbana o rural. Podríamos consultar con el Departamento de Urbanismo local para averiguar si existe algún proyecto que pudiera mitigar el impacto medioambiental del nuevo edificio. En lugar de pensar como individuos, intentemos pensar como comunidad.

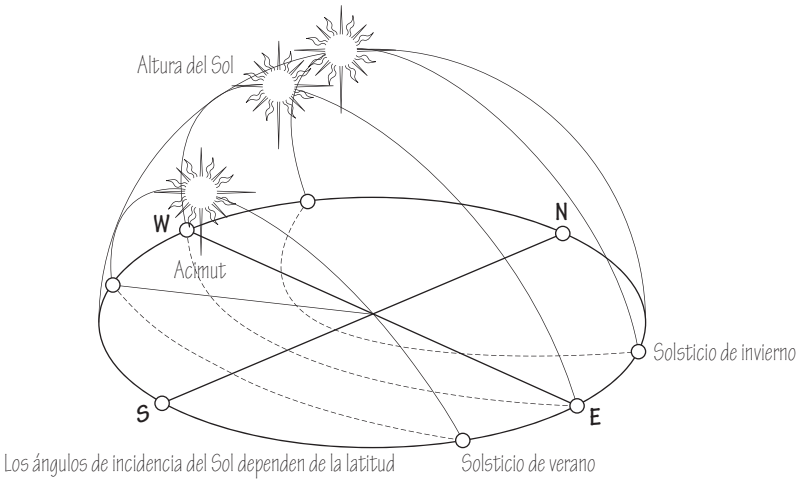


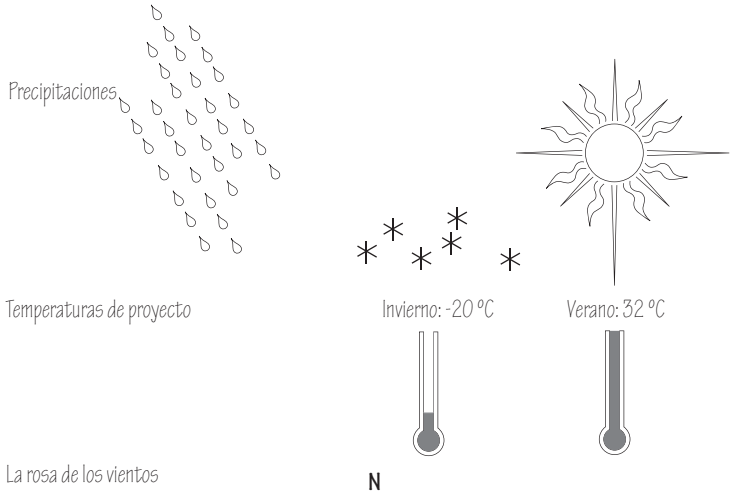
4.03 Un edificio grande y con múltiples usuarios, ya sea residencial o comercial, puede ser más eficiente desde el punto de vista energético, utilizar menos materiales y recursos, y resultar más asequible que muchos edificios pequeños que sirvan a los mismos usuarios y funciones.

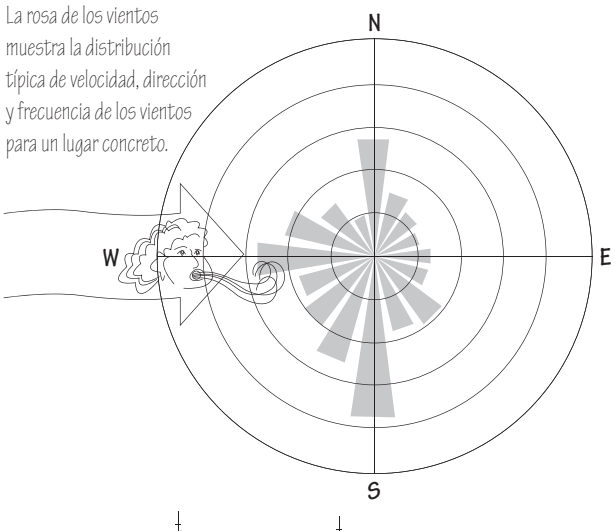
Los habitantes de un edificio no son los únicos usuarios cuyo consumo energético depende de la localización del edificio. En función de la distancia del edificio al centro de la ciudad o de negocios, también varía el consumo energético que deben realizar quienes entregan mercancías y otros servicios. Los costes energéticos del bombeo de agua o del transporte de electricidad también aumentan cuando los edificios están más alejados de los centros urbanos.

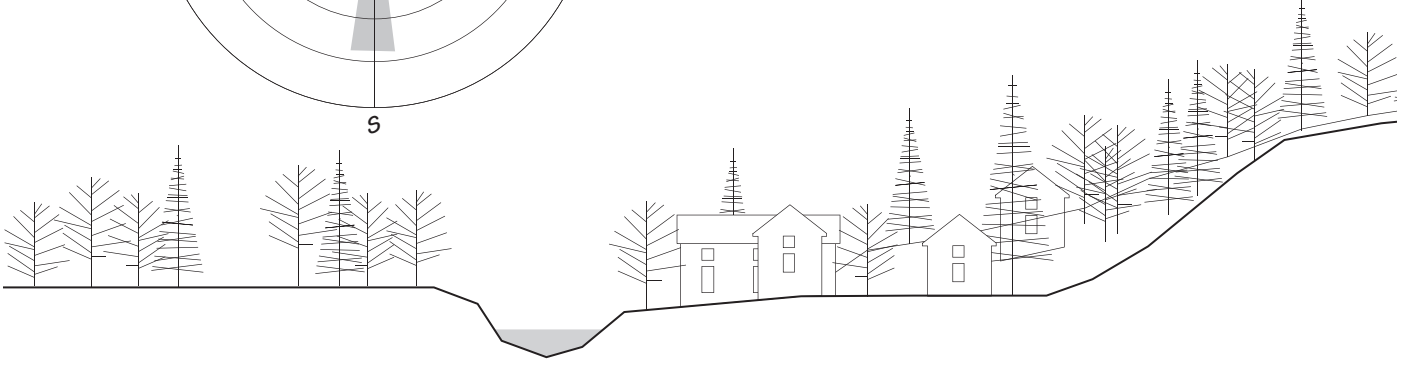


4.04 El transporte de personas o mercancías a larga distancia consume energía.







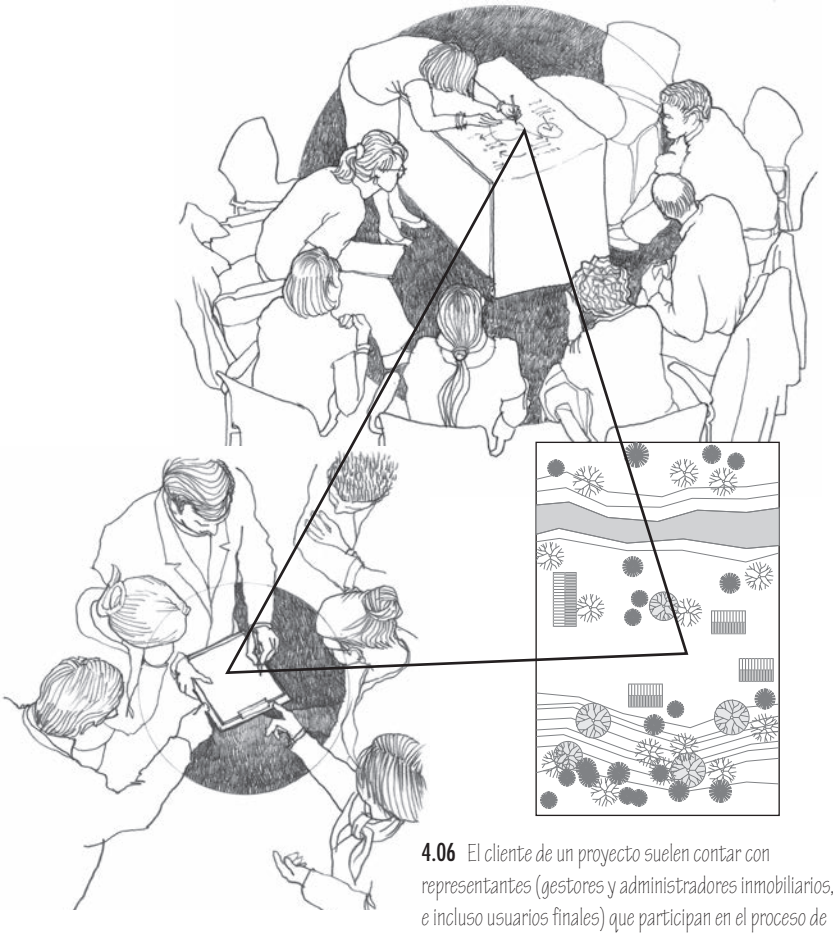


Cuando empezamos observando el contexto urbano surgen aspectos más amplios que los que implica el concepto tradicional de *lugar* que se maneja desde la arquitectura. Las características climáticas tienen un impacto significativo en el proyecto de edificios ecológicos. Sea el clima frío, cálido o cambiante, cálido y húmedo o seco, tendrá un impacto en el proyecto. Las cargas que imponen las características climáticas tienen que ver principalmente con la temperatura y la humedad exteriores, y con la radiación solar. Las diferencias climáticas influyen en todos los aspectos del proyecto, desde los materiales y la construcción del cerramiento hasta el tamaño y la orientación de las ventanas, la elección del sistema de calefacción y los métodos para controlar las humedades producidas por las distintas temperaturas de rocío de la envolvente del edificio. Los microclimas locales también pueden incidir en el número de horas de sol, las precipitaciones, la velocidad del viento y el tipo de vegetación del entorno.

La hidrología local puede contribuir significativamente en el impacto medioambiental del edificio, y causar un impacto en el propio edificio, afectando incluso a la calidad del ambiente interior. Otras condiciones del lugar —de la vegetación a otras urbanizaciones anteriores— se añaden a los efectos del edificio sobre el entorno, y a los efectos de este sobre el edificio.

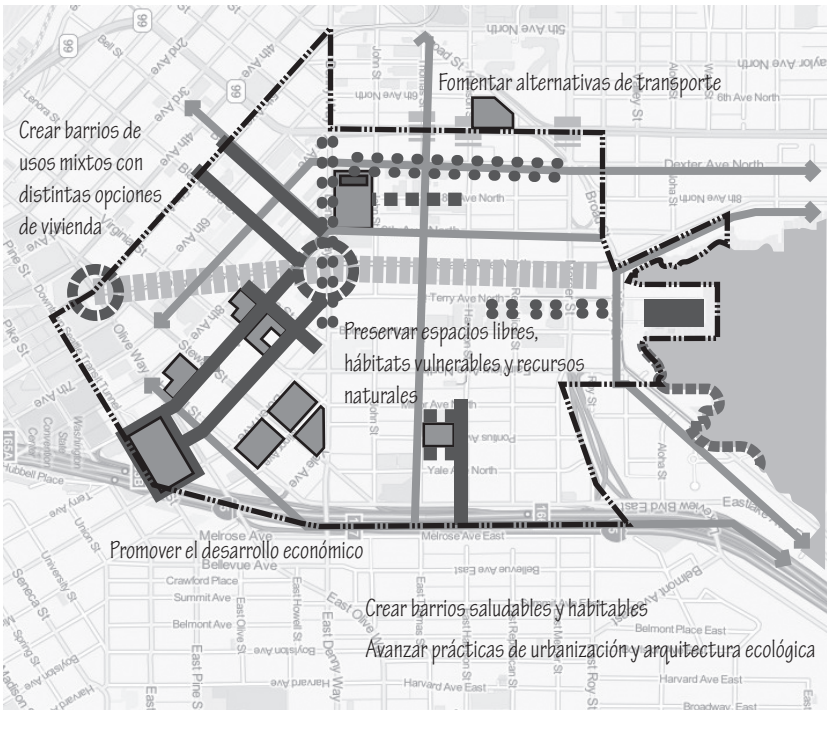
Al comenzar centrándonos en el contexto, podemos identificar una diversidad de factores que influyen en el proyecto ecológico del edificio que van más allá de este y que pueden minimizar el impacto a largo plazo de la elección del emplazamiento de un edificio concreto.

4.05 Al proyectar un edificio deberíamos tener en cuenta la latitud, la geografía y el clima predominante en un lugar y un emplazamiento concretos.



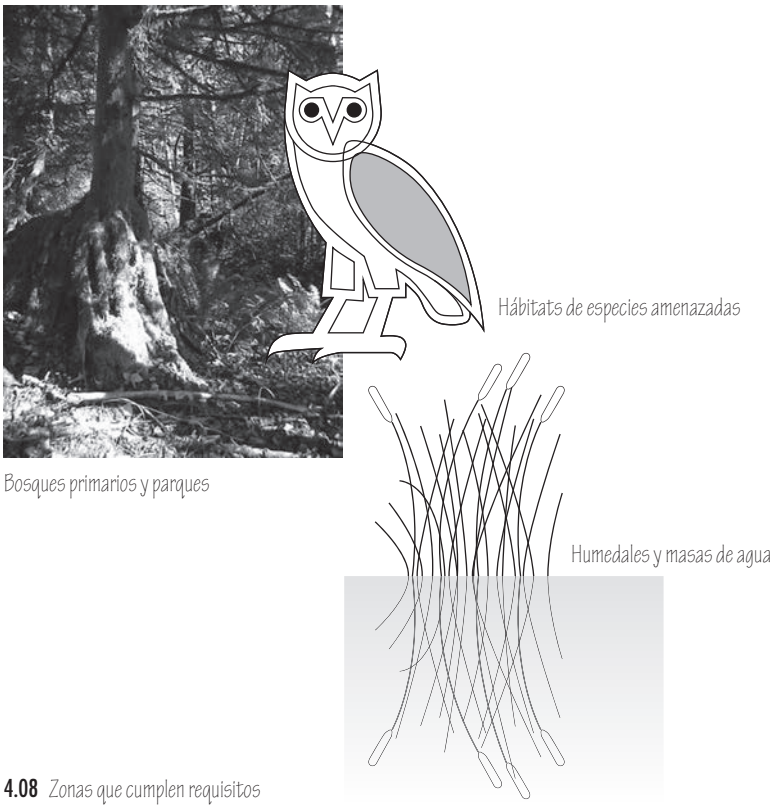
4.06 El cliente de un proyecto suelen contar con representantes (gestores y administradores inmobiliarios, e incluso usuarios finales) que participan en el proceso de proyecto.

En los primeros pasos se fijan los objetivos del cliente y se trasladan a un documento (descrito con mayor detalle en el capítulo 18: La calidad del proyecto y la arquitectura ecológicos) que deben aprobar todas las partes implicadas. Pueden conseguirse beneficios significativos para el proyecto ecológico si se identifican claramente los requisitos del cliente en esta fase temprana del proceso de proyecto. Para muchos clientes, construir un edificio es una experiencia nueva que se convierte en un proceso de aprendizaje que nunca olvidarán, así como en una oportunidad para que los profesionales de la arquitectura y la construcción les guíen adecuadamente. Todo ello es aún más válido en el caso de la arquitectura ecológica, donde las elecciones y los compromisos necesarios implican no solo clarificar los requisitos del cliente, sino también sus propios valores. No hay mejor momento para clarificar todas estas cuestiones que durante los primeros planteamientos en torno a la elección del contexto y el emplazamiento del edificio.



4.07 El sistema LEED para urbanizaciones integra principios de crecimiento inteligente, urbanismo y arquitectura ecológica.

Una discusión más amplia extiende la valoración del vecindario y del solar a los barrios y las ciudades, y las posturas ecológicas que mejoran estas conexiones. Estos temas van más allá del objetivo de este libro, pero son muy relevantes a la hora de escoger un solar concreto para construir. La teoría del crecimiento inteligente se centra en la urbanización alrededor de los vecindarios con un fuerte acento sostenible. LEED ha desarrollado un sistema de clasificación ecológica para los barrios que se dirige a diferentes rasgos ecológicos, como la compacidad, la conectividad y las calles transitables a pie. Muchos de estos temas guardan relación con determinadas elecciones, necesidades y potenciales impactos de la construcción en los vecindarios y en el solar, y tienen un gran valor a la hora de aportar información sobre las elecciones de cualquier proyecto de arquitectura ecológica.



4.08 Zonas que cumplen requisitos de espacios de protección.

Protección de espacios vulnerables

Los proyectos de arquitectura ecológica dan prioridad a la protección de espacios vulnerables, que suelen estar definidos por normativas e incluir áreas de un elevado valor agrícola, zonas verdes, zonas inundables, hábitats de especies amenazadas o en peligro de extinción, sistemas de dunas, bosques primarios, humedales y otras masas de agua, así como zonas protegidas.

4.09 En las zonas protegidas se aceptan excepcionalmente instalaciones que alberguen actividades didácticas, de interpretación o de conservación.

La protección de espacios vulnerables comienza con el inventario de los emplazamientos posibles, y prosigue estudiando las características del emplazamiento definitivo antes de empezar las obras. Proteger implica no solo respetar dichos espacios, sino también dejar una franja de protección. Hay que tener en cuenta que, además de la construcción del edificio, es preciso realizar toda una serie de obras anexas: accesos, aparcamientos y otras infraestructuras de urbanización.

En ocasiones excepcionales puede permitirse la construcción de instalaciones específicamente relacionadas con las áreas sujetas a protección. Por ejemplo, en una zona de conservación de fauna o flora, pueden permitirse edificios cuyo propósito tenga que ver con dicha conservación, según las directrices de la institución u organismo encargado de la gestión del área. A veces esta excepción tiene como propósito permitir actividades didácticas o de interpretación; en otras, la excepción solo se aplica a las instalaciones expresamente dedicadas a la protección de la zona. En el caso de parques y zonas verdes, a veces puede permitirse la construcción a cambio de compensar la superficie ocupada por otra igual o superior, normalmente adyacente a los límites de la propiedad.

Zona verde

Zona urbanizada de baja intensidad

Zona urbana degradada

4.10 Clasificación de zonas de desarrollo urbano.

Preservación y restauración

Las "zonas verdes" se definen como aquellas que nunca han sido urbanizadas; las "zonas urbanizadas de baja intensidad", como aquellas zonas industriales o comerciales abandonadas o con baja intensidad de uso y con problemas de contaminación, reales o percibidos; y las "zonas urbanas degradadas" son las áreas urbanizadas sin problemas de degradación o contaminación, pero con residuos visibles de urbanización o infraestructura, como edificios, servicios o infraestructuras viarias en desuso. Las zonas que ya cuentan con infraestructuras urbanas, que no corresponden a ninguna de las definiciones anteriores, reciben la denominación genérica de "zonas urbanizadas".

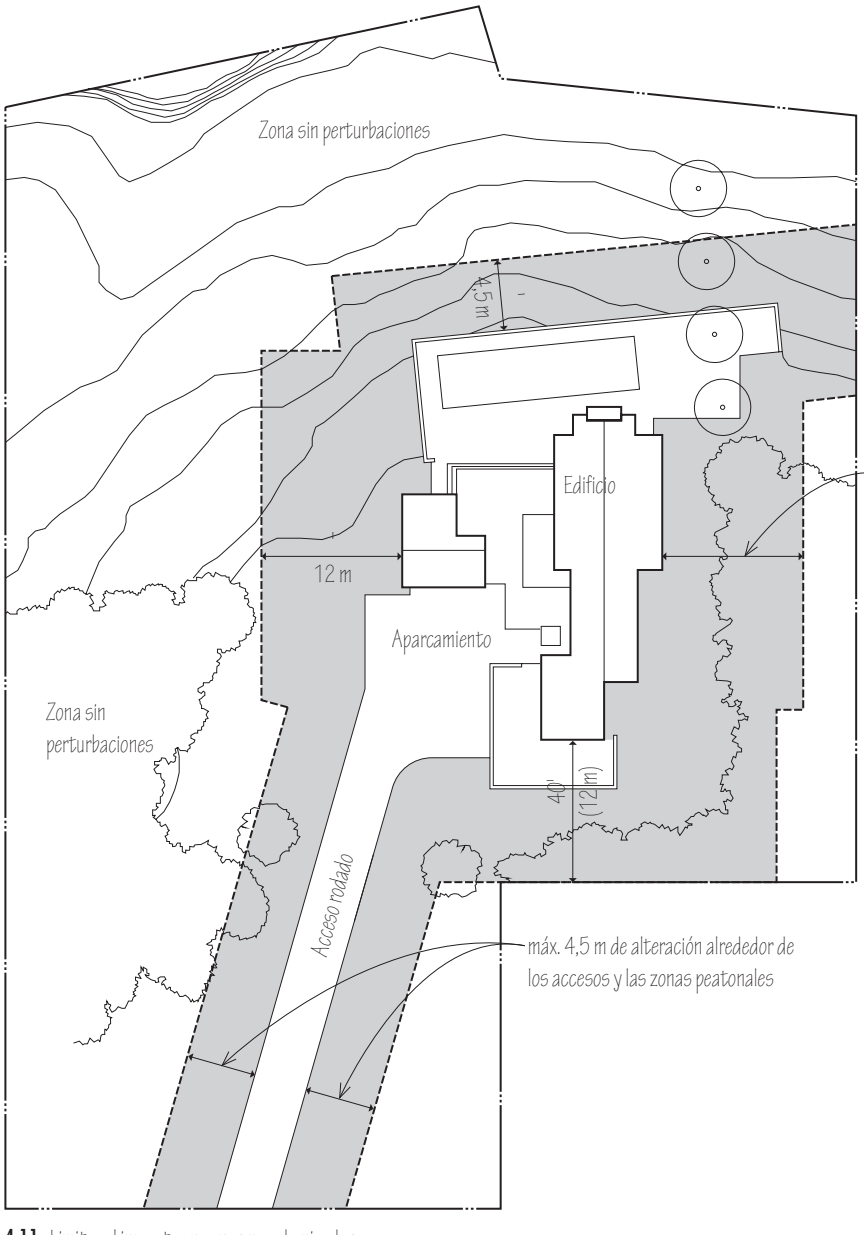
En el caso de los proyectos de arquitectura ecológica, la recuperación y el reuso de zonas urbanizadas degradadas se valora positivamente, pues cumple dos objetivos: primero, evita el desarrollo urbano en zonas no urbanizadas e incluso en zonas vulnerables; segundo, el proceso de reurbanización supone la descontaminación del área. En este sentido, también se recomienda priorizar cualquier lugar que ya cuente con infraestructuras urbanas.

Por otra parte, es desaconsejable urbanizar zonas que no cuenten con servicios e infraestructuras urbanos. El grado de penalización de las nuevas urbanizaciones difiere de un sistema de evaluación a otro. LEED desaconseja indirectamente las nuevas urbanizaciones y favorece la reurbanización de zonas urbanas degradas que fomenten la densidad urbana y limiten las nuevas promociones a zonas próximas a vías, aparcamientos y otros edificios existentes. El Código Internacional de Construcción Ecológica recomienda prohibir cualquier desarrollo nuevo en áreas no urbanizadas, y el Desafío del Edificio Vivo tampoco admite este tipo de urbanizaciones.

Partiendo de la sugerencia de que no solo debemos desaconsejar nuevos desarrollos urbanísticos, sino que incluso debemos descartarlos por completo, se plantea una cuestión fundamental en lo que se refiere al emplazamiento: ¿de ahora en adelante solo podremos construir en zonas ya urbanizadas y edificadas?

Protección de elementos naturales

Cuando se permite construir en zonas no urbanizadas, la perturbación del espacio natural debería ser mínima. Aunque se menciona con diversas expresiones en las distintas normativas y estándares, hay cierto consenso en lo que se refiere al alcance de las alteraciones producidas por los diversos elementos de lo construido: 12 m para la edificación y 4,5 m para accesos rodados y zonas peatonales.

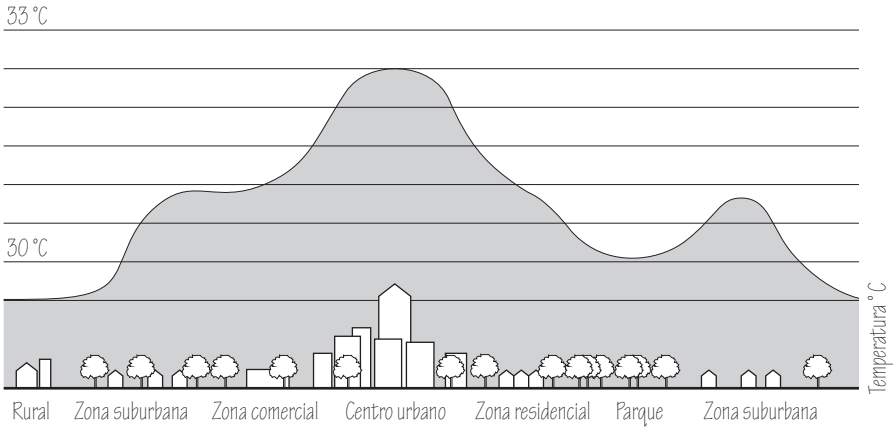


4.11 Limitar el impacto en zonas no urbanizadas.

El proyecto ecológico trata de proteger las características del terreno existente. Un requisito necesario para la construcción de edificios ecológicos es elaborar un plan de protección del suelo, y entre las estrategias disponibles se encuentran: preservar el suelo in situ, apilar y reutilizar las tierras, restaurar el terreno alterado durante las obras, replantar y restaurar el terreno alterado, planificar con detalle todas las fases de la construcción, así como las áreas de acopio de materiales y aparcamiento, y adoptar medidas contra el arrastre y la erosión del suelo durante la construcción. De igual modo, la cobertura vegetal que deba traerse de otro lado nunca debería extraerse de zonas vulnerables.

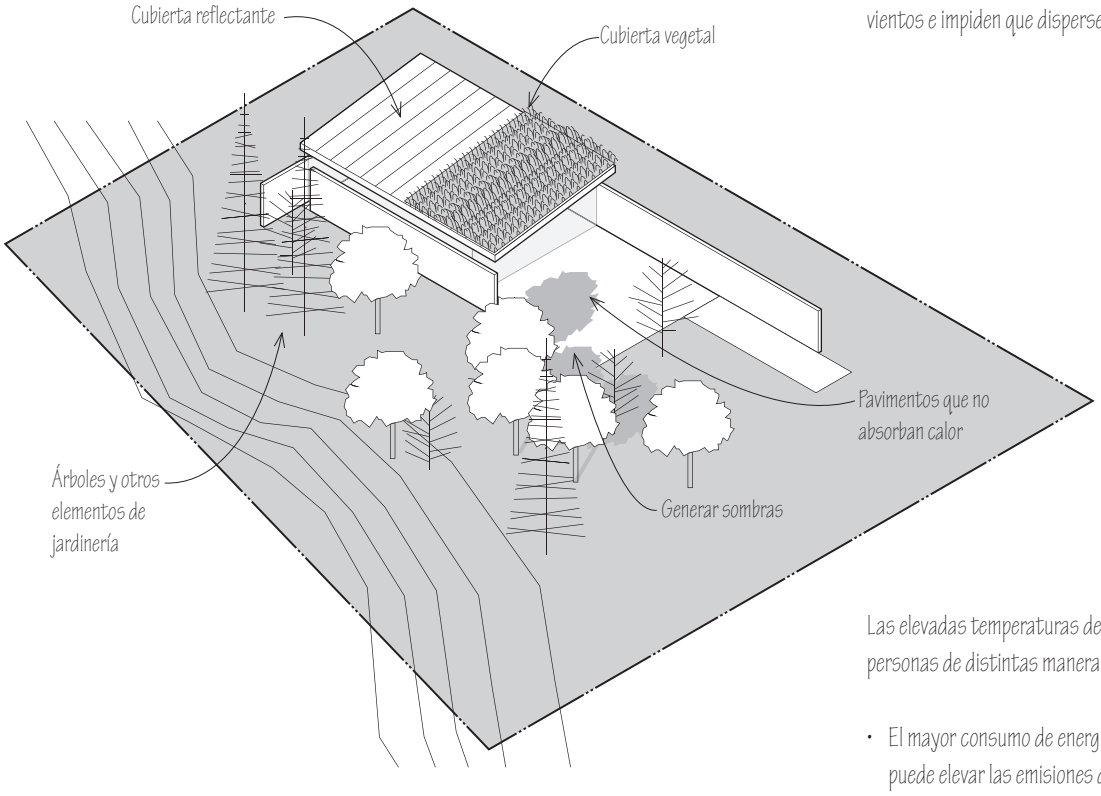
También es recomendable proteger la vegetación existente e introducir vegetación nueva, pues ayuda a absorber las emisiones de carbono.

Reducción del efecto isla de calor



4.12 Las islas de calor se generan por las elevadas temperaturas de los edificios y las zonas pavimentadas, especialmente en zonas urbanas. Fuente: EPA.

El *efecto isla de calor* se refiere a la absorción y la retención de la radiación solar por parte de los edificios y las superficies urbanizadas. Cuando se devuelve este calor a la atmósfera, pueden formarse "islas de calor" que presentan temperaturas superiores a las del entorno rural. El efecto isla de calor puede agravarse debido al consumo de energía de los edificios y porque se convierten en barreras contra los vientos e impiden que dispersen el calor.



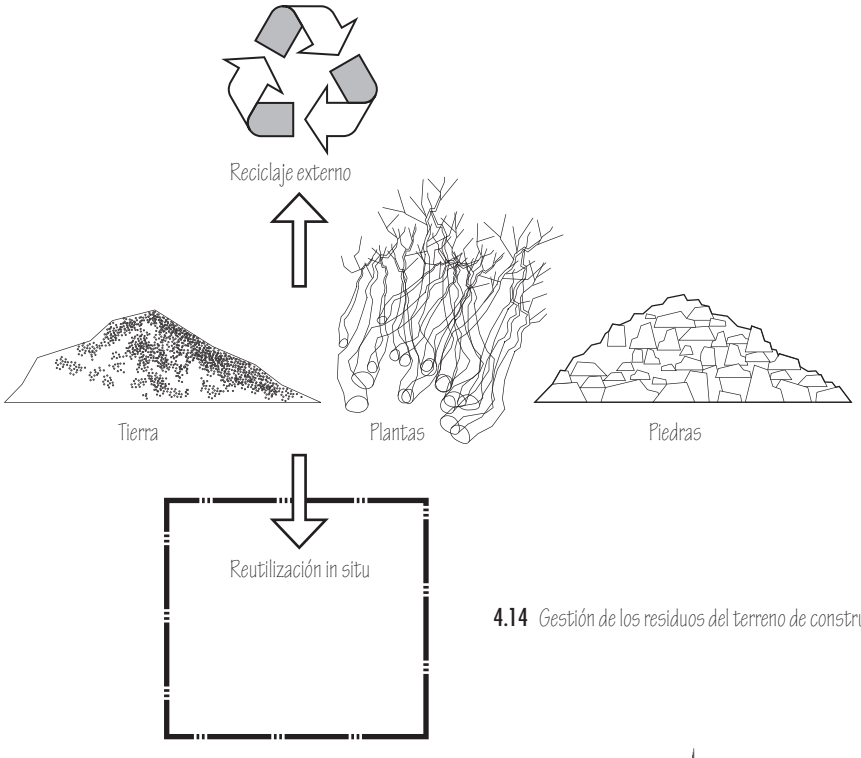
4.13 Algunas medidas que mitigan el efecto isla de calor: utilizar materiales de cubierta de colores claros y de alta reflectancia, o bien cubiertas vegetales. Además de las cubiertas, puede pavimentarse con materiales que no absorban el calor, plantar árboles y otras plantas para proporcionar sombra en las zonas de aparcamiento y otras superficies duras.

Las elevadas temperaturas de las islas de calor pueden afectar a las personas de distintas maneras:

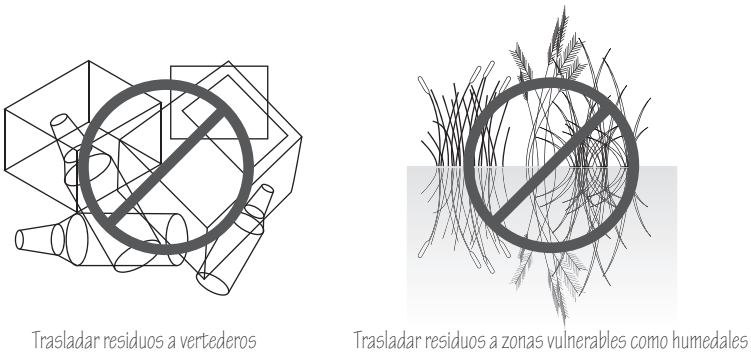
- El mayor consumo de energía para la climatización estival puede elevar las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, y, por tanto, el riesgo de formación de ozono troposférico.
- Las temperaturas elevadas pueden contribuir a aumentar los golpes de calor y la mortalidad asociada a ellos.
- El recalentamiento de las aguas de escorrentía puede elevar la temperatura del agua de los arroyos, ríos, lagunas y lagos, generando estrés en los ecosistemas acuáticos.

Gestión de los residuos del terreno

En la preparación del terreno para la construcción se genera un gran volumen de residuos, a menudo antes incluso de que hayan llegado los materiales. Estos residuos contienen materiales como piedras, tierra y plantas. Los proyectos de arquitectura ecológica deberían evitar que dichos residuos se trasladen a vertederos o a zonas vulnerables. Para conseguirlo, las estrategias pueden pasar por reutilizar dichos materiales en el mismo emplazamiento o bien reciclarlos en instalaciones específicas. De igual modo, los residuos peligrosos deben gestionarse y tratarse de manera adecuada y responsable. Un proyecto de arquitectura ecológica debería contar con un plan de gestión de los residuos generados en la preparación del terreno, preferiblemente integrado en un plan global para gestionar todos los residuos de la obra, aspecto que se tratará más adelante.



4.14 Gestión de los residuos del terreno de construcción.



Cuestiones relacionadas con el transporte

Más allá de la elección del emplazamiento —que tiene un impacto en el transporte y, en última instancia, en el consumo energético y la contaminación asociados al transporte—, pueden tomarse otras decisiones que fomenten formas más ecológicas de transporte.

Una planificación adecuada debe incorporar instalaciones que favorezcan el uso de un transporte menos contaminante. Por ejemplo, pueden contemplarse aparcamientos para bicicletas, incluso protegidos de la intemperie, y accesos peatonales. Puesto que adoptar medidas de seguridad para peatones y ciclistas fomenta el uso de estas formas sostenibles de transporte, es recomendable proporcionar aceras, carriles bici y una señalización adecuada.

Emisiones medias de carbono en Estados Unidos

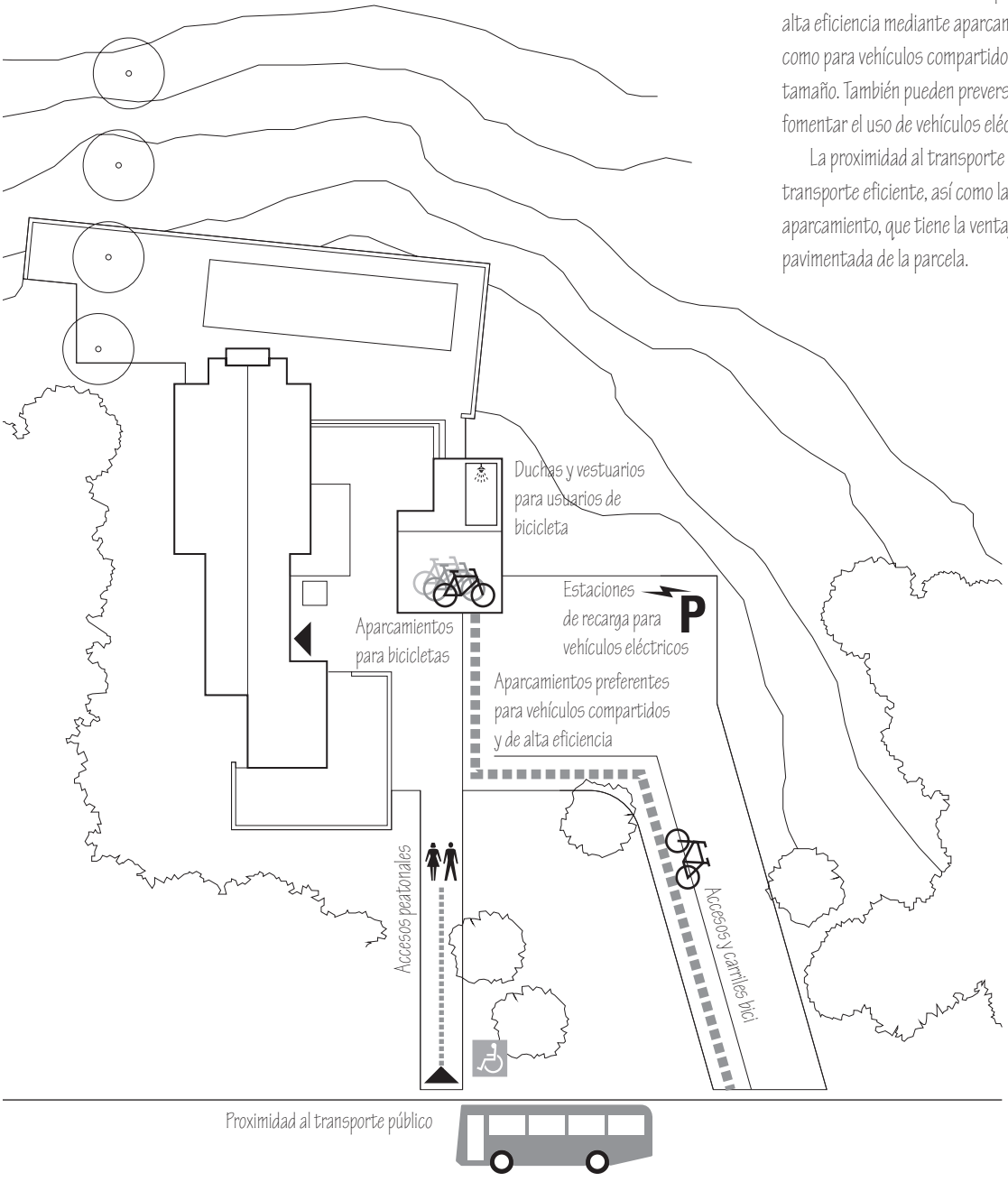
Modo de transporte	kg de CO_2 por pasajero y milla
Automóviles (un solo ocupante)	0,96
Autobús	0,65
Tren de cercanías	0,35
Bicicleta, caminar	0

4.15 Los distintos modos de transporte generan diferentes cantidades de emisiones de carbono.

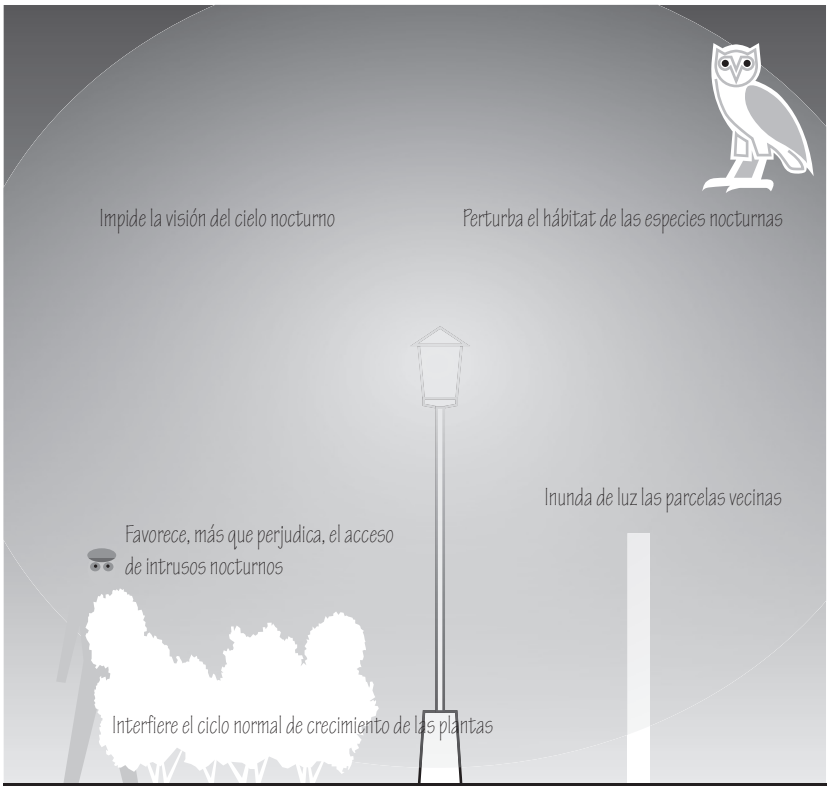
LEED fomenta el uso de la bicicleta y da créditos a los aparcamientos para bicicletas, pero incorpora un requisito que resume la esencia del estándar ecológico: el crédito solo se otorga cuando el edificio contempla duchas y vestuarios que permitan a los ciclistas lavarse y refrescarse después de ir en bicicleta al trabajo.

Puede fomentarse el transporte con vehículos motorizados de alta eficiencia mediante aparcamientos preferentes para ellos, así como para vehículos compartidos, de bajas emisiones o de pequeño tamaño. También pueden preverse estaciones de recarga para fomentar el uso de vehículos eléctricos.

La proximidad al transporte público también promueve el transporte eficiente, así como la limitación del número de plazas de aparcamiento, que tiene la ventaja añadida de reducir la superficie pavimentada de la parcela.



4.16 Medios para fomentar el uso de medios de transporte menos contaminantes.



4.17 La iluminación nocturna puede afectar al entorno exterior de diferentes modos.

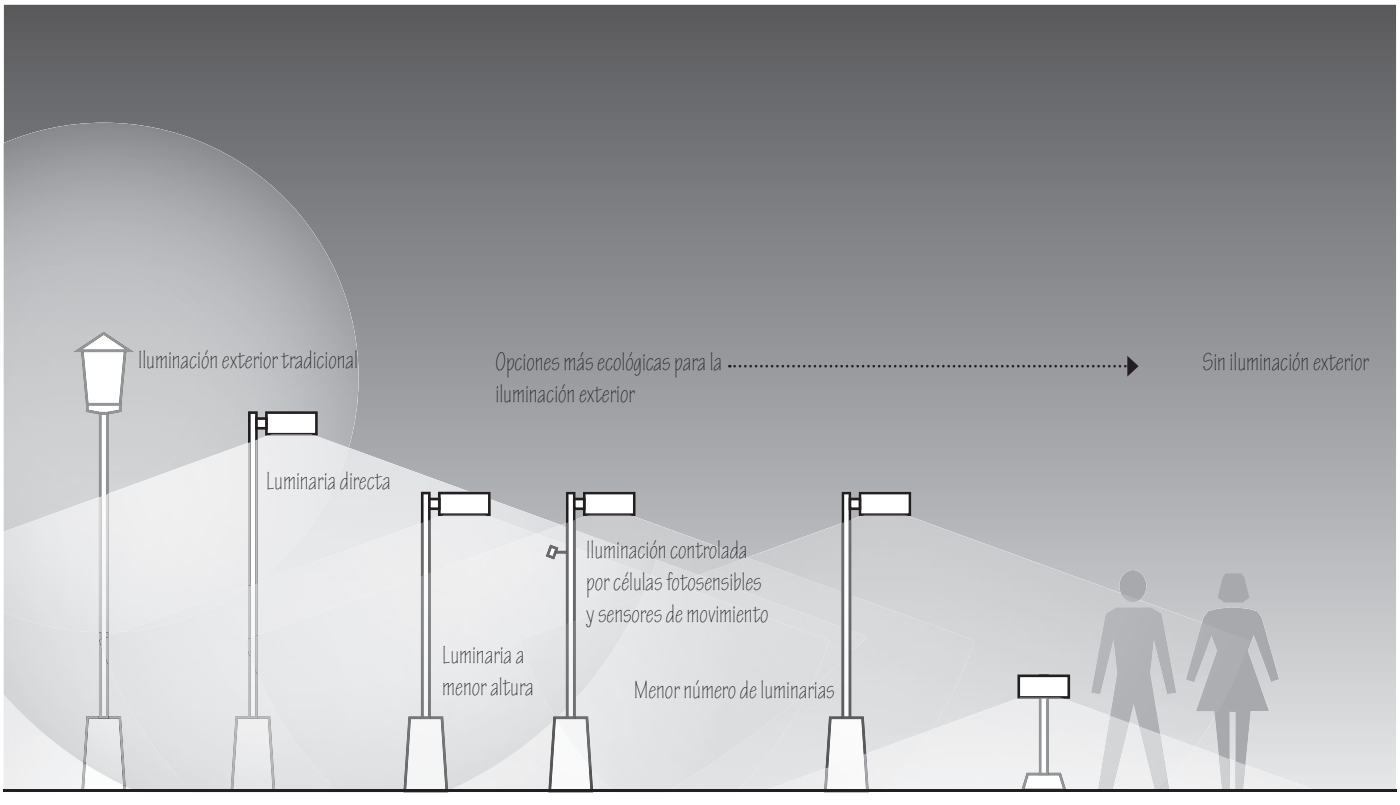
Minimizar la contaminación lumínica

La contaminación lumínica es el resultado de incorporar luz artificial en los exteriores. Su impacto es diverso: perturba los ciclos naturales de luz diurna y oscuridad nocturna y los ritmos vitales de plantas, animales y personas, interrumpe los ciclos circadianos del sueño, interfiere en el crecimiento normal de las plantas y perturba el hábitat de las especies nocturnas.

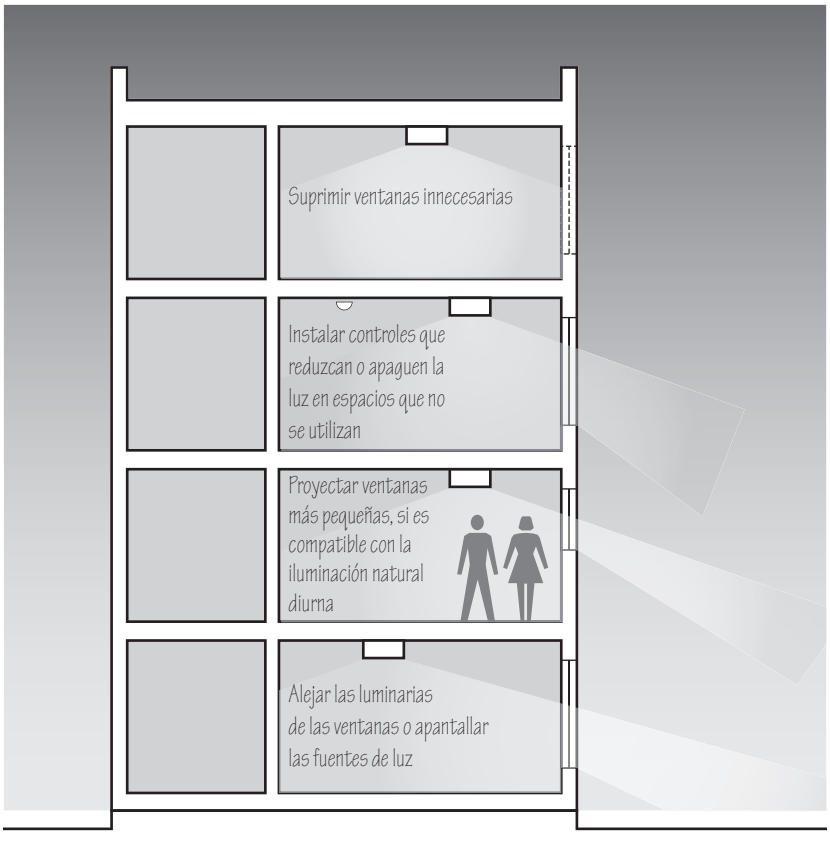
La contaminación lumínica dificulta la observación del cielo nocturno, las estrellas y los planetas. Ilumina los terrenos adyacentes generando un riesgo de conflicto con los vecinos. Puede ocasionar problemas de seguridad, como deslumbramientos y ceguera temporal en los conductores. La contaminación lumínica implica un despilfarro de energía, con el consiguiente impacto medioambiental y económico.

El uso de iluminación nocturna por motivos de seguridad puede, de hecho, tener un efecto contrario. Aunque nos pueda parecer que la iluminación exterior proporciona mayor seguridad, diversos estudios han demostrado que la iluminación nocturna no reduce la delincuencia. La iluminación permanente no avisa de ninguna actividad ilegal, algo que sí se puede conseguir mediante luces activadas por sensores de movimiento, que incluso pueden servir para detectar intrusos. Las luces exteriores, además, suelen dar lugar a una iluminación desigual, con zonas de sombra que pueden facilitar el acceso de intrusos.

Las estrategias para reducir o descartar la contaminación lumínica comprenden la elección de lámparas que minimicen la dispersión de la luz y que la dirijan hacia abajo en lugar de hacia arriba o lateralmente. También pueden utilizarse diseños específicos que reducen la contaminación lumínica: iluminar determinados recorridos, en lugar de zonas completas; utilizar lámparas exentas, en lugar de adosadas a muros; localizar los elementos exteriores, como parques y juegos, próximos entre sí y al edificio al que dan servicio; definir unos niveles de iluminación más bajos y evitar cualquier tipo de iluminación hacia arriba, así como programar los controles y los sensores de movimiento para que las luces estén apagadas la mayor parte del tiempo. Las estrategias para su instalación contemplan que todos los puntos de luz se orienten hacia abajo y que todos los controles se programen con temporizadores y sensores de movimiento. Otra alternativa es suprimir la iluminación exterior en la medida de lo posible.

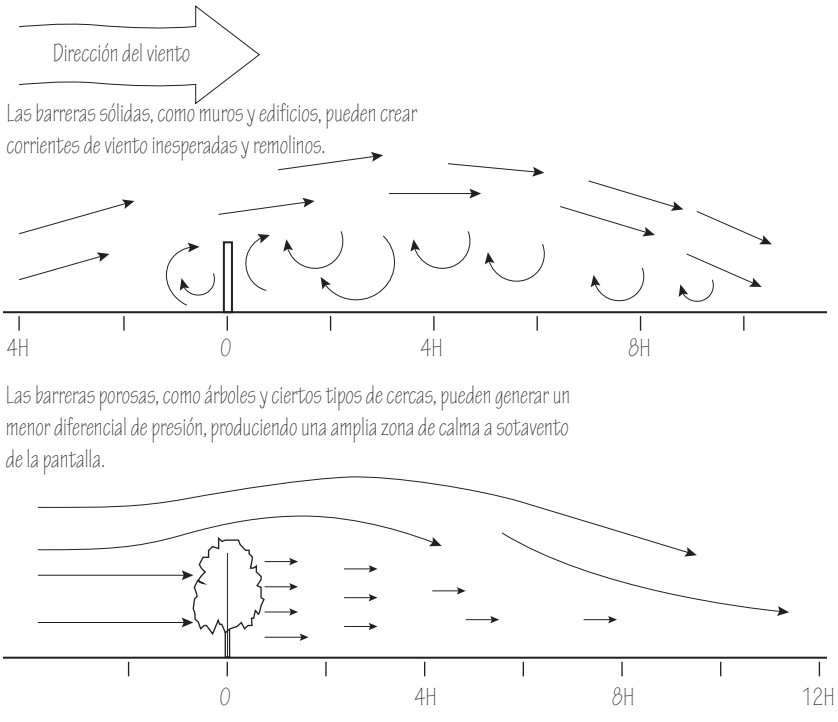


4.18 *Opciones de proyecto para mitigar los efectos de la iluminación nocturna.*



Un tema relacionado con la iluminación es la dispersión de luz del interior hacia el exterior. Entre las soluciones disponibles para resolver este tema está instalar dispositivos de control que apaguen las luces cuando no sean necesarias, reducir los niveles de iluminación a partir de ciertas horas de la noche, suprimir ventanas en aquellos espacios que no las requieran, como pueden ser cajas de escaleras y zonas de servicio, reducir el tamaño de las ventanas a lo estrictamente necesario, ajustar la posición relativa de los puntos de luz respecto de las ventanas, reducir la iluminación en las proximidades de las ventanas, apantallando los puntos de luz, y evitar que las luces estén orientadas hacia el exterior.

4.19 *Formas de reducir la dispersión de la luz de los espacios interiores hacia el exterior.*

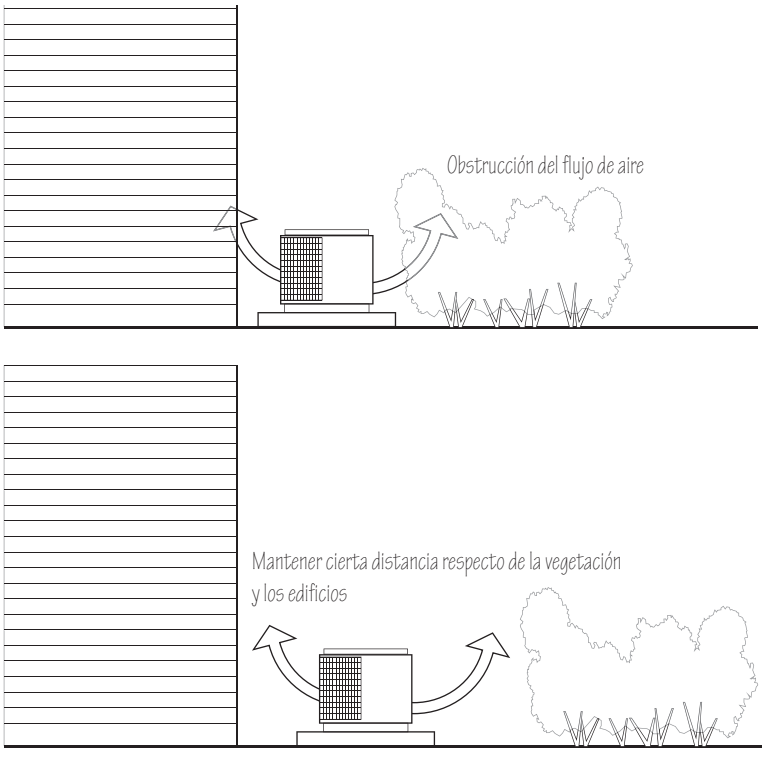


4.20 Árboles, edificios, cercas y otras formas de apantallamiento ayudan a reducir la velocidad del viento. La máxima reducción del viento se produce en un rango de entre 5 a 8 veces la altura de la barrera. H = altura de la barrera.

Estrategias de implantación y consumo de energía

La elección del emplazamiento tiene un efecto significativo en el consumo de energía. Un edificio expuesto en lo alto de una colina necesitará más energía que uno protegido por árboles o edificios adyacentes, pues el viento arrastra consigo el calor del edificio en invierno, y fuerza la entrada de aire caliente del exterior en verano. Una simulación informática que compare el consumo energético de un edificio expuesto frente a otro resguardado muestra que el ahorro en este último es del 12 %. Un estudio sobre el uso de arbolado para proteger edificios de oficinas en Escocia muestra un ahorro anual en el consumo por calefacción superior al 4 %.

Además de los árboles, el edificio puede resguardarse del viento mediante una localización estratégica respecto a edificios adyacentes, garajes, cobertizos, cercas, muros de contención, terraplenes, arbustos y matorrales.



4.21 La vegetación, los muros y otras obstrucciones al flujo del aire alrededor de los condensadores de aire acondicionado o bombas de calor aumentan el consumo de energía.

De igual modo, proteger los edificios del sol con árboles de hoja caduca permite reducir las ganancias solares durante el verano y disfrutarlas durante el invierno. Son muchos los estudios que han ha estimado que el ahorro en climatización puede suponer hasta un 18 %, dependiendo del número de árboles plantados y su emplazamiento, con ahorros también en calefacción, gracias a la protección que proporcionan contra el viento.

La planificación de la implantación no se limita al paisajismo y a la gestión de los elementos naturales. Los edificios suelen necesitar instalaciones exteriores en la parcela, como condensadores de aire acondicionado, torres de refrigeración o transformadores eléctricos.

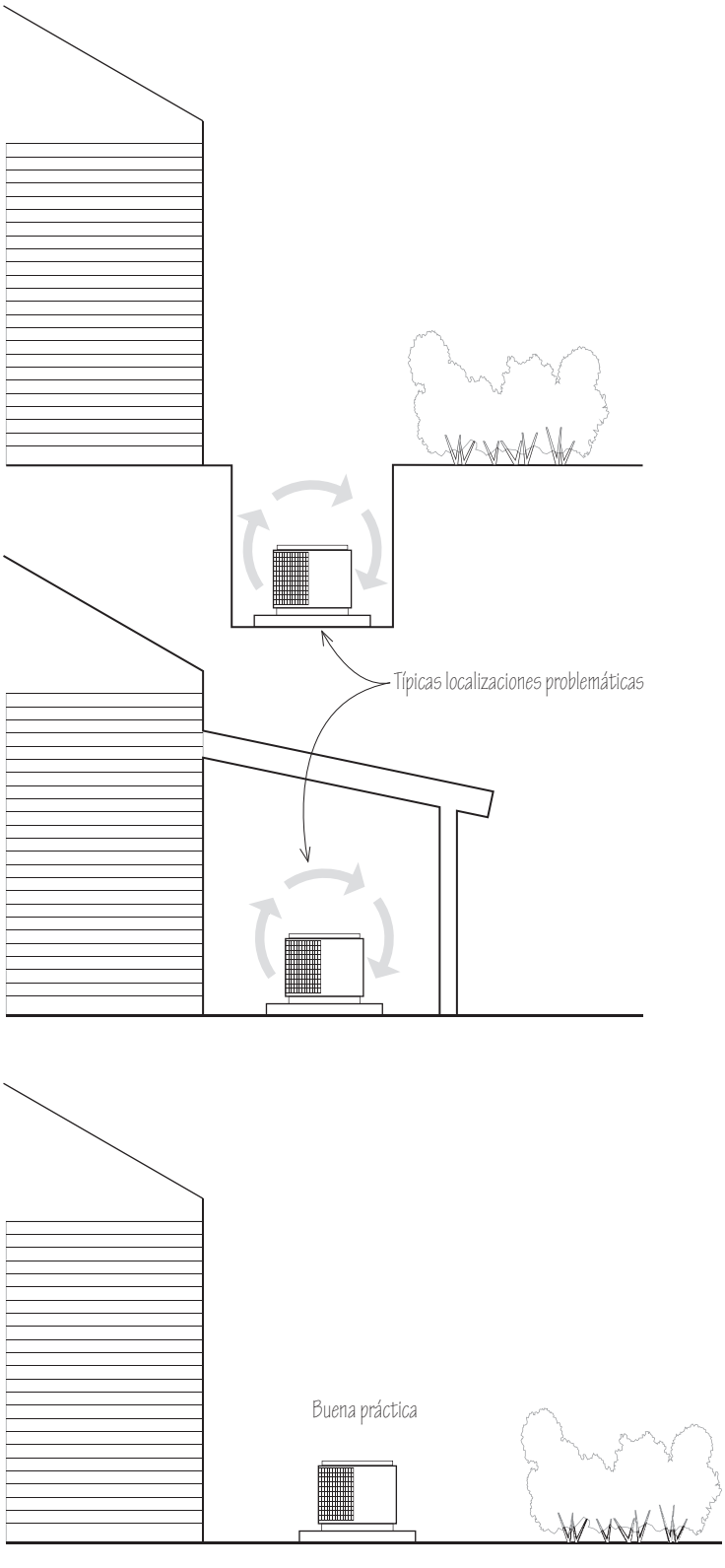
A diferencia de los edificios, las unidades exteriores de aire acondicionado, las bombas de calor o los transformadores eléctricos operan de forma más eficiente cuando no interfiere la vegetación o los edificios.

Este tema es crítico en el caso de los equipos de aire acondicionado, y más aún si estos también funcionan como bombas de calor. Se han identificado tres factores que pueden causar, cada uno de ellos, un aumento del consumo energético del 20 % o superior:

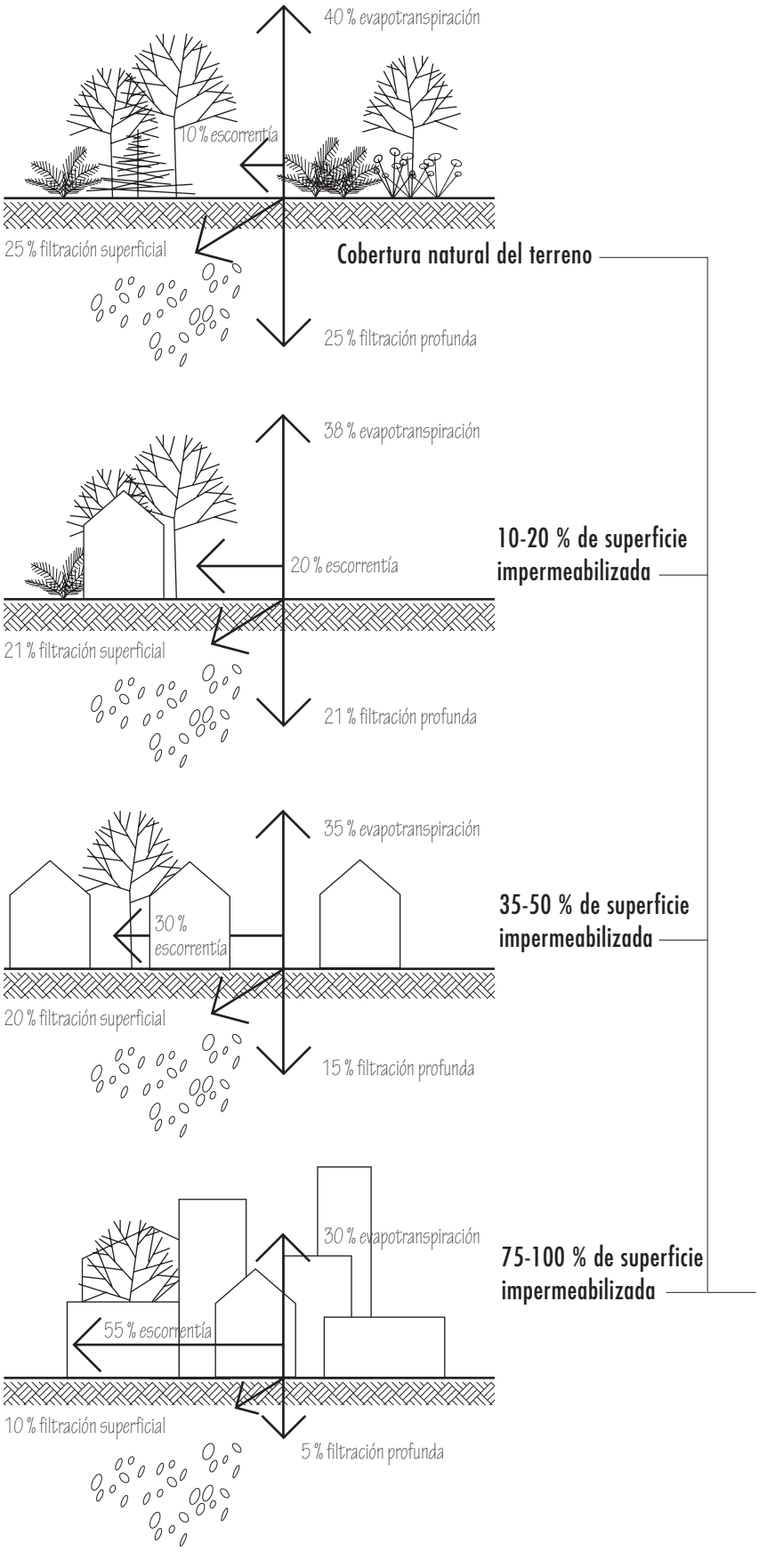
- Bloqueo de la circulación del aire por la vegetación u otros obstáculos.
- Contaminación de los intercambiadores de calor por polvo o polen.
- Recirculación del aire usado.

Los dos primeros riesgos reducen el flujo de aire y, por tanto, la transferencia de calor, por lo que se aumenta la presión del refrigerante, el trabajo del compresor y, en definitiva, el consumo eléctrico. Al intentar camuflar estas instalaciones exteriores, a menudo se colocan demasiado próximas al edificio o escondidas por arbustos que, cuando crecen, cubren con hojas los intercambiadores de calor aumentando significativamente el consumo eléctrico. Dejar una separación entre los equipos y los edificios o la vegetación evita estos problemas. Por otra parte, colocar una toma de agua cerca de estas instalaciones facilita su limpieza.

El tercer riesgo es diferente, pero el resultado es el mismo. Puesto que el condensador del aire acondicionado expulsa el calor del interior hacia la corriente de aire exterior, el aire que sale de dicho condensador está caliente. Por otro lado, cuando funciona como bomba de calor se produce la situación inversa, pues el mecanismo consiste en bombear el calor del aire exterior hacia el interior del edificio, por lo que el aire de salida está frío. Si este aire recircula y vuelve a introducirse en el condensador, ya sea en modo de refrigeración o de calefacción, el consumo de energía aumenta significativamente. Situar el equipo exterior en una localización cerrada o semicerrada —bajo un porche, en un patio inglés o en un patio cerrado— provoca una recirculación del aire y el correspondiente incremento en el consumo energético.



4.22 Los condensadores de aire acondicionado y las bombas de calor no deberían colocarse allí donde el aire pueda retornar a los condensadores, pues incrementa significativamente el consumo de energía.



4.23 Cambios en el ciclo de agua asociados a la urbanización. Fuente: EPA.

Conservación, gestión y calidad del agua del lugar

Además de proteger los humedales y los volúmenes de agua generando una franja de separación respecto del proyecto, la arquitectura ecológica también debe mitigar los efectos medioambientales negativos de la escorrentía de aguas pluviales y reducir el uso de agua potable en las zonas exteriores de la parcela.

Las superficies impermeables, los edificios y los sistemas convencionales de drenaje conforman cauces alternativos muy veloces respecto al ciclo hidrológico natural, y evitan que el agua de lluvia se filtre en el terreno, lo cual origina gran cantidad de problemas, como la erosión del suelo, el daño a los hábitats naturales, las inundaciones, la contaminación del agua, el agotamiento de los acuíferos y la degradación física y química de los volúmenes de agua en los que afluyen. Por otro lado, el uso de agua que debe llevarse a la parcela, normalmente agua potable para riego y funcionamiento de fuentes, solo aumenta la cantidad de escorrentía y agrava los problemas asociados.

Escorrentía de aguas pluviales

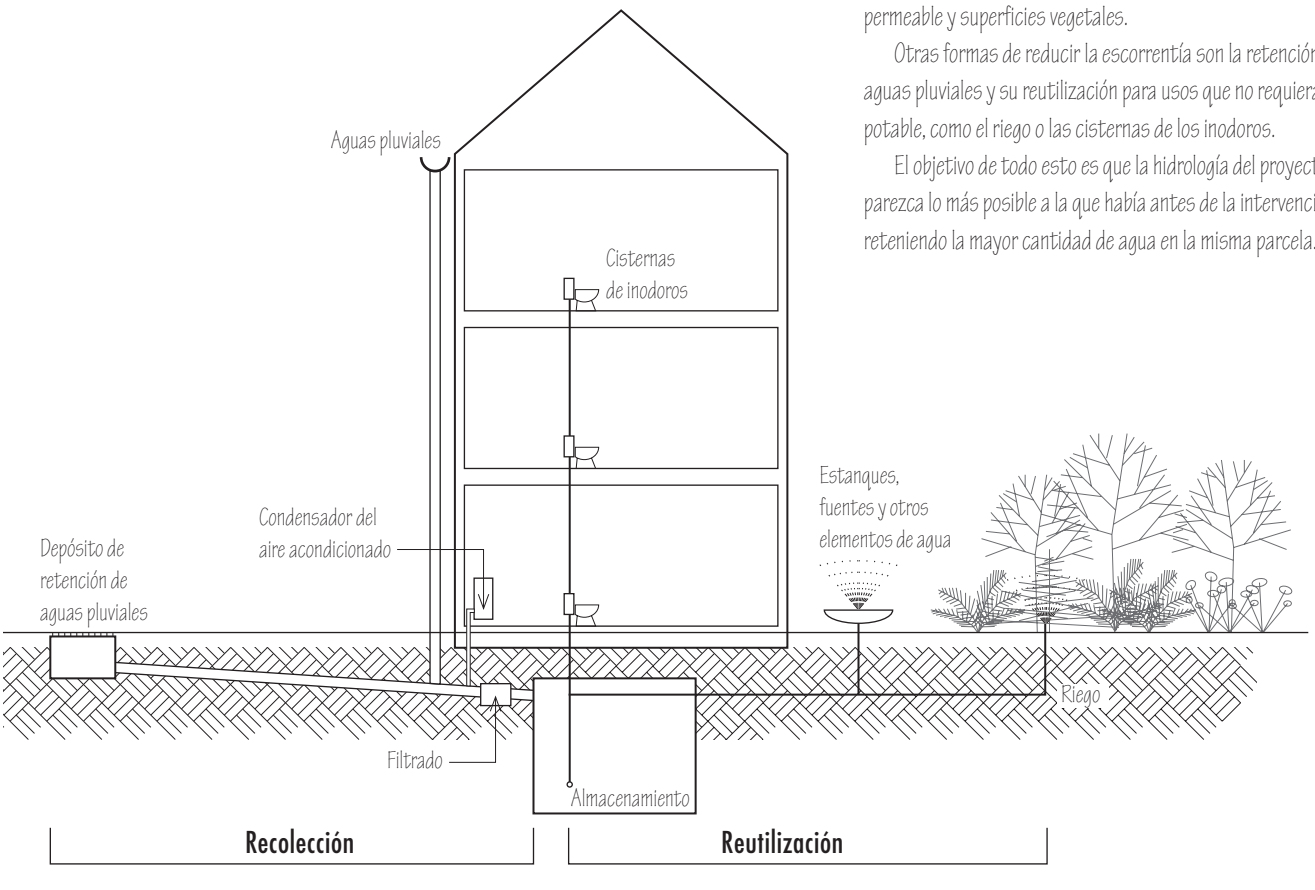
La escorrentía es el flujo de aguas pluviales sobre las superficies pavimentadas, lo cual aumenta la carga del sistema de alcantarillado y el riesgo de inundación y de erosión a lo largo de su cauce. Esta escorrentía también puede desprender y transportar contaminantes en su desplazamiento. La escorrentía también reduce la circulación de aguas pluviales del ciclo hidrológico natural a través del suelo, lo que causa un agotamiento de los acuíferos subterráneos y reduce la filtración y percolación a través de las capas superficiales y profundas del suelo y el subsuelo.

Desde un enfoque de afuera adentro, la elección del emplazamiento intenta reducir la necesidad de superficies duras de aparcamiento, maximizando el uso del transporte público y no motorizado, y minimizando la necesidad de aparcamiento en la parcela para fomentar la conectividad urbana y la densidad de las urbanizaciones.

Otra estrategia para reducir la escorrentía consiste en facilitar la filtración en el terreno sustituyendo superficies impermeables por otras permeables: baldosas permeables, asfalto poroso, hormigón permeable y superficies vegetales.

Otras formas de reducir la escorrentía son la retención de las aguas pluviales y su reutilización para usos que no requieran agua potable, como el riego o las cisternas de los inodoros.

El objetivo de todo esto es que la hidrología del proyecto se parezca lo más posible a la que había antes de la intervención, reteniendo la mayor cantidad de agua en la misma parcela.



4.24 Reducir la escorrentía de aguas pluviales mediante la recolección y la reutilización.

Calidad de escorrentía de aguas pluviales

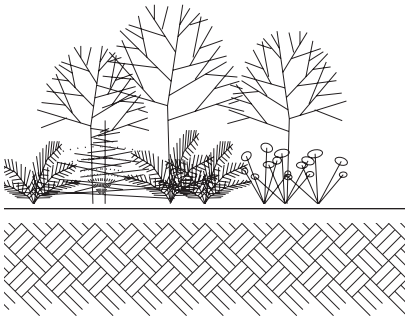
No solo hay que intentar reducir la escorrentía, sino también mejorar su calidad. Los beneficios de esta mejora permiten reutilizar estas aguas en la parcela y mejorar la calidad del agua de ríos, lagos y mares que se encuentren aguas abajo. Una mejor calidad del agua es beneficiosa para la fauna y la flora de los hábitats naturales, así como para el consumo y el uso que hacemos de ella.

La calidad del agua se mejora en parte gracias a la gestión de la cantidad de escorrentía. Reducir la cantidad y la velocidad del agua de escorrentía reduce el arrastre de contaminantes como plaguicidas, metales pesados, aceites y grasas, residuos biológicos, basura y sedimentos.

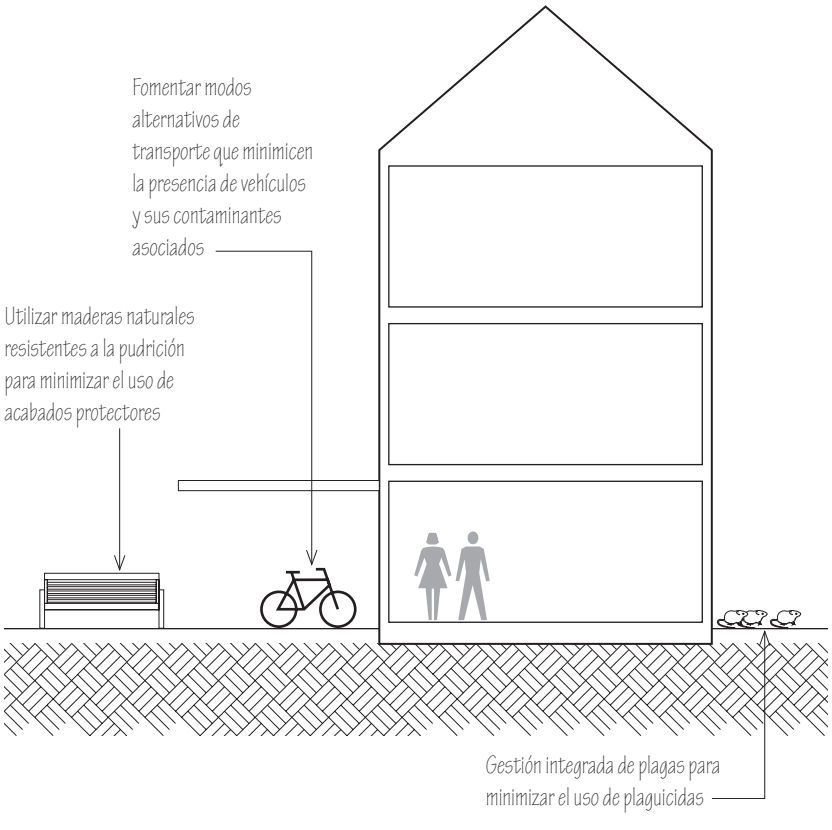
El siguiente paso consiste en minimizar las fuentes de posibles contaminantes, un paso importante que debe hacerse en la elección del lugar, incluso antes de empezar el proyecto. En concreto, que el proyecto se encuentre en o cerca de un centro urbano con acceso al transporte público reduce la necesidad de transporte motorizado y los contaminantes, como grasas y aceites, que los neumáticos de los vehículos arrastran hasta la parcela.

La implantación de edificios ecológicos también debería minimizar las fuentes locales de contaminación (las interiores se tratarán en el capítulo 13: Calidad del ambiente interior). Las fuentes contaminantes del entorno exterior del edificio pueden ser los plaguicidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, residuos animales y materiales de acabados de edificios e instalaciones exteriores. Hay soluciones contrastadas para tratar cada uno de estos problemas, como la gestión integrada de plagas o los métodos de cultivo orgánico.

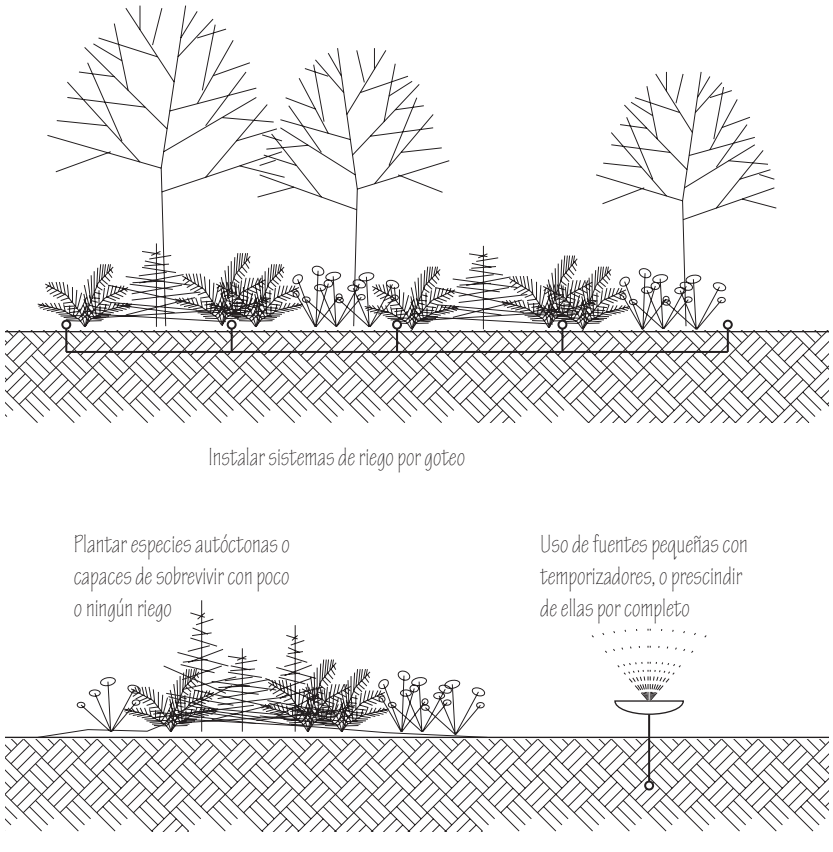
He aquí el desafío de la arquitectura ecológica: ¿cómo puede el proyecto de un edificio dar un mejor soporte a estas prácticas durante su construcción y una vez acabado? Podemos proyectar edificios e instalaciones exteriores con materiales que no requieran tratamientos o acabados tóxicos, y fomentar un ajardinamiento con especies autóctonas y resistentes, minimizando la necesidad de emplear plaguicidas, herbicidas, fungicidas o fertilizantes. En general, a la hora de reducir las fuentes de contaminación, cuanto menos, mejor: menos construcciones exteriores y reducir el ajardinamiento implica menor necesidad de productos químicos de todo tipo.



Plantar especies vegetales autóctonas o resistentes para minimizar el uso de herbicidas



4.25 Estrategias para mejorar la calidad de la escorrentía de aguas pluviales.



4.26 Formas de reducir el abastecimiento de agua para uso en la parcela.

Cuando sea imposible evitar el arrastre de contaminantes, debería facilitarse la filtración de las aguas pluviales en el suelo y su penetración hasta el subsuelo.

Debe ponerse especial atención en reducir la generación y el arrastre de sedimentos y otros contaminantes durante las obras, un proceso que, por su propia naturaleza disruptiva, genera un volumen de contaminación muy elevado, aunque sea temporal, y que puede provocar daños medioambientales significativos y perdurables. Entre otras fuentes de contaminación, la limpieza del hormigón de camiones y otros equipos debería hacerse preferiblemente fuera del emplazamiento; si no queda más remedio que hacerlo in situ, debería realizarse lejos de cualquier volumen de agua o elemento de drenaje, en una piscina temporal que cuente con la protección adecuada, donde pueda disponerse y ser retirada posteriormente y vertida en un vertedero acondicionado. Todo ello debe estar previsto en el plan de obra. Por otra parte, pueden disponerse dispositivos de retención de sedimentos para evitar que estos sean transportados fuera de la parcela o a zonas vulnerables.

Abastecimiento de agua

El abastecimiento de agua se refiere al agua que debe llevarse hasta la parcela (agua potable procedente del suministro municipal o bombeada de un pozo desde un acuífero subterráneo) que normalmente se extiende más allá de los límites de la parcela, y que suele requerir algún tipo de tratamiento.

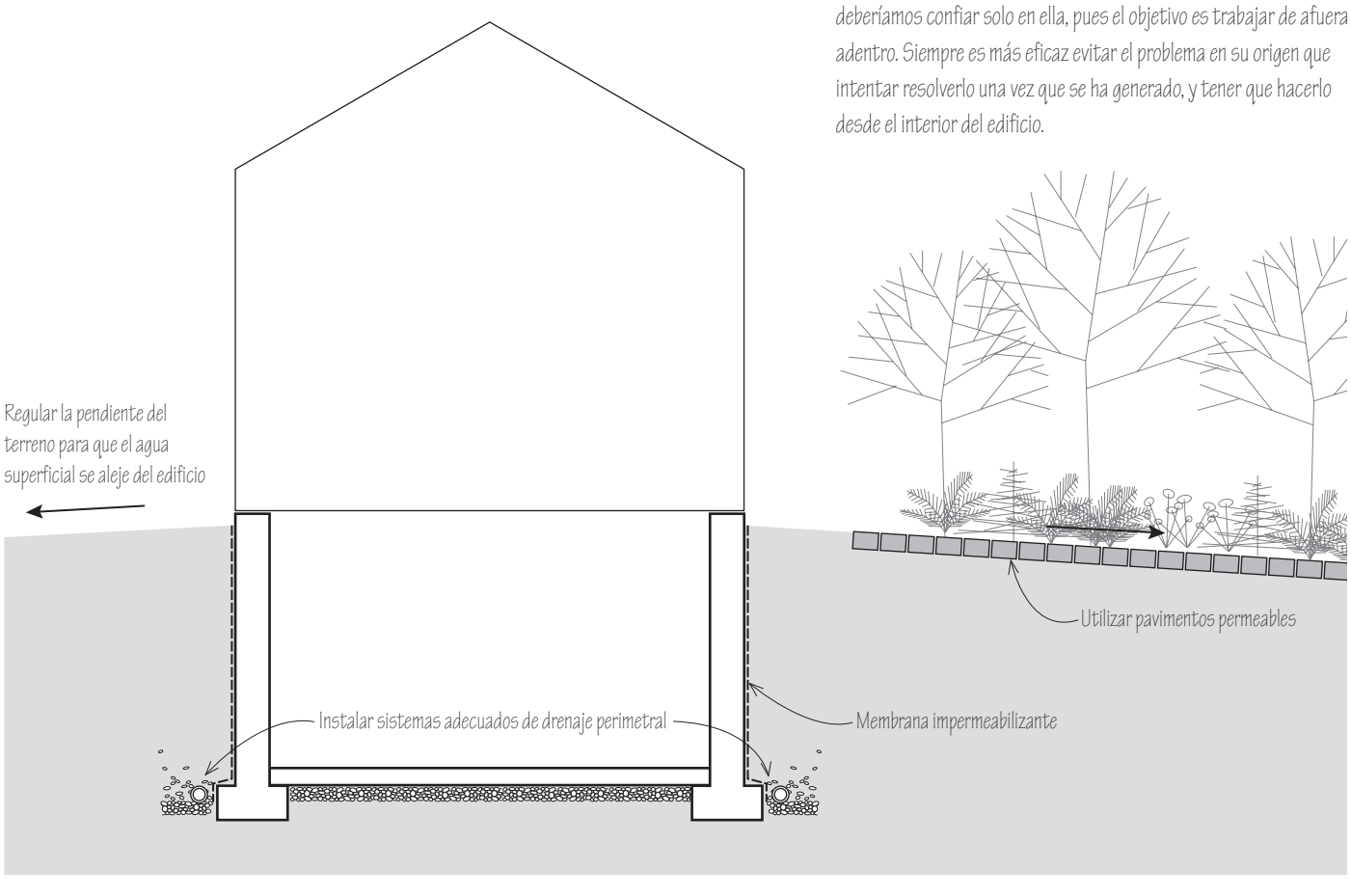
El objetivo principal en lo que se refiere al abastecimiento de agua potable consiste en minimizar su consumo en usos que no lo requieran. Con esto se evita agotar las fuentes de agua potable, se reduce la potencia de las bombas, el uso de productos químicos para tratar el agua y el volumen de la escorrentía. Las estrategias para reducir el abastecimiento de agua son el empleo de medidas de eficiencia en el consumo de agua y, siempre que sea posible, el uso de agua no potable en aquellos usos que lo permitan.

Puede reducirse el consumo de agua potable en la parcela mediante un ajardinamiento que emplee especies autóctonas y resistentes que requieran poco o ningún riego. Para reducir considerablemente el consumo de agua son muy útiles los sistemas de riego de gran eficiencia, como el riego por goteo, que puede ajustarse a las condiciones climatológicas. Las fuentes decorativas también pueden diseñarse para reducir el consumo de agua, escogiendo modelos con un menor caudal y reduciendo el tamaño de las superficies de agua para disminuir la evaporación. El uso de programadores y temporizadores que regulen la operación de las fuentes también reduce el consumo de agua, o puede prescindirse de ellas. Medir el consumo de agua de las fuentes también puede ayudar a realizar un seguimiento del consumo total de agua.

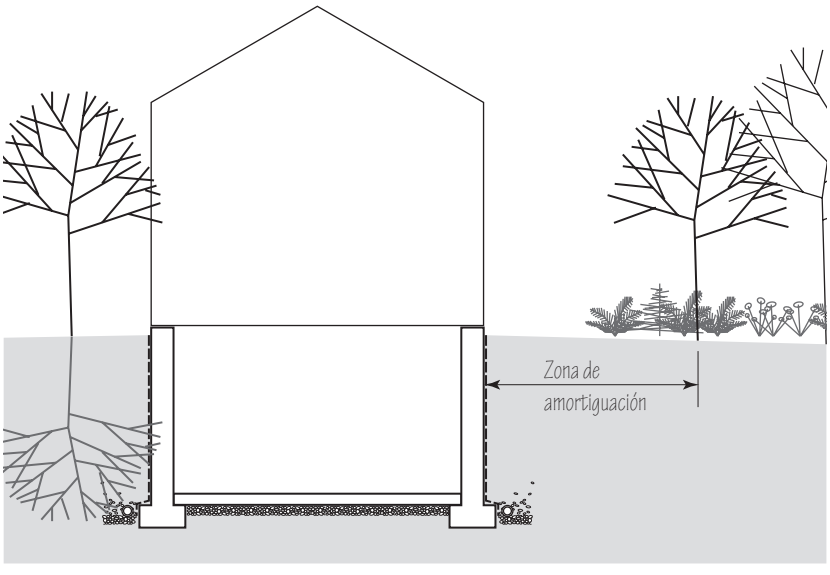
Impacto del agua exterior en la calidad del ambiente interior

Las aguas superficiales sin control pueden tener un impacto negativo sobre la calidad del ambiente interior. El exceso de humedad puede generar problemas serios en los interiores, como el moho, a menudo asociado a la penetración de agua en los edificios, que no solo procede de la lluvia que entra por cubiertas y muros, sino que también puede deberse a aguas superficiales que consiguen atravesar elementos constructivos, como los cimientos. Una vez que la humedad ha penetrado, es difícil resolver el problema, que provoca alergias en los habitantes, malos olores y otras reacciones adversas al moho; sería más fácil resolverlo antes de que penetre el agua superficial.

La disposición de superficies permeables permite que las aguas superficiales se filtren en el suelo en lugar de fluir hacia los edificios. También se puede crear una barrera de protección disponiendo la pendiente del terreno de modo que aleje la corriente superficial del edificio. Un sistema de drenaje perimetral funciona como otra barrera de protección, utilizando capas de grava, bases y tubos perforados de drenaje para interceptar y alejar las aguas subterráneas del edificio antes de que penetren en él. El drenaje y la impermeabilización interiores constituyen la última barrera, pero no deberíamos confiar solo en ella, pues el objetivo es trabajar de afuera adentro. Siempre es más eficaz evitar el problema en su origen que intentar resolverlo una vez que se ha generado, y tener que hacerlo desde el interior del edificio.



4.27 Estrategias para evitar la penetración de agua en los edificios.



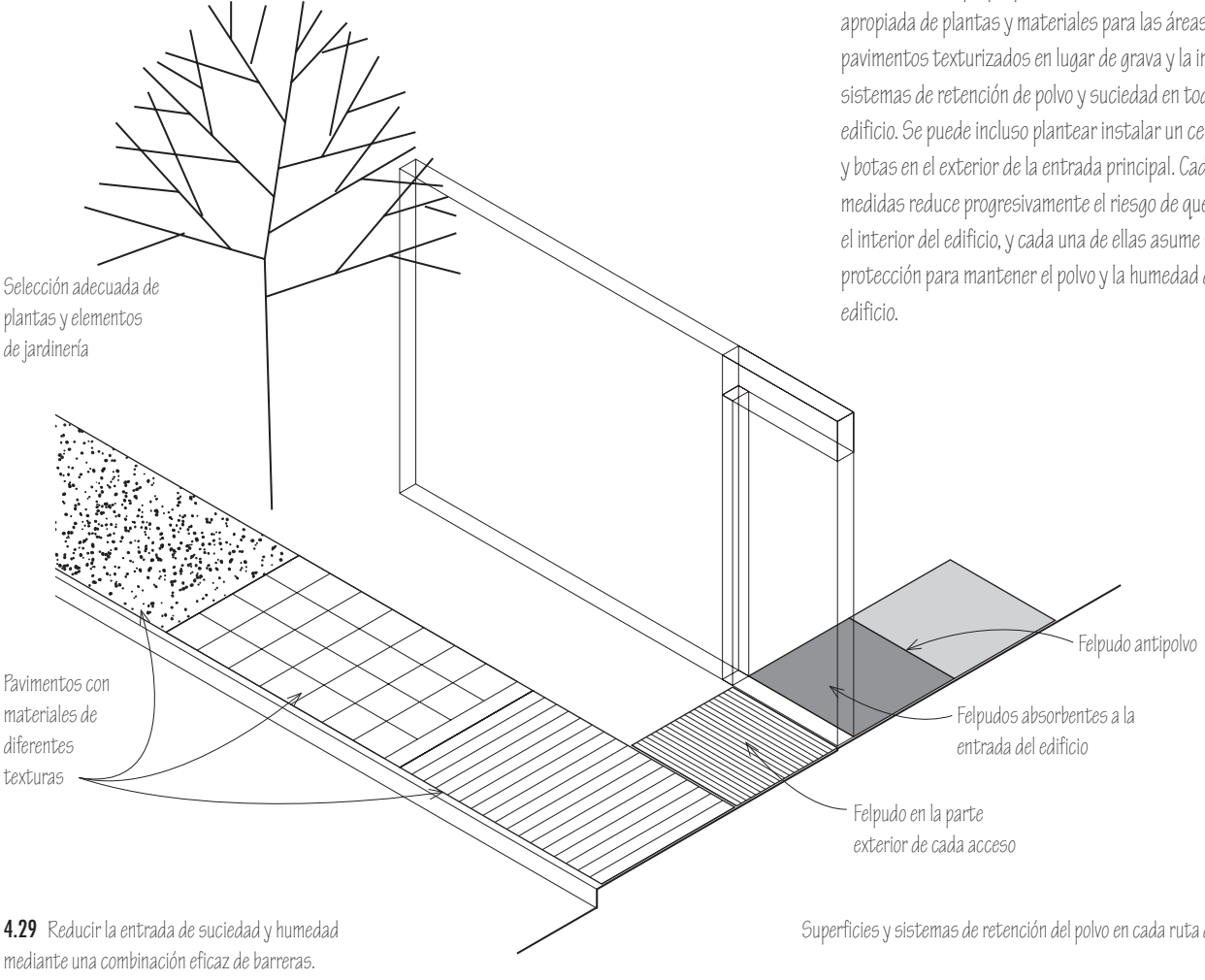
4.28 Es recomendable disponer una zona de amortiguación entre el edificio y la vegetación circundante, pues las raíces y las ramas pueden dañar y perforar la envolvente del edificio.

Otras cuestiones relacionadas con el entorno del edificio

Es interesante señalar que los árboles y la vegetación, tan beneficiosos a la hora de proteger el edificio del sol o del viento, si están demasiado próximos al edificio pueden contribuir negativamente a la calidad del ambiente interior añadiendo más humedad y generando otros problemas. Los árboles y otras plantas pueden poner en riesgo la estructura del edificio con sus raíces y ramas. Las parras pueden atravesar las contraventanas, separar las ventanas de sus marcos y dañar los revestimientos y las cubiertas. Los edificios necesitan una zona de amortiguación para protegerse de la vegetación, zona que también sirve de barrera de protección. La única excepción son las cubiertas vegetales, que proporcionan protección reduciendo el efecto isla de calor, disminuyendo la escorrentía de aguas pluviales y absorbiendo dióxido de carbono de la atmósfera (el tema de la cubierta verde se tratará en el capítulo 7: Envolvente exterior).

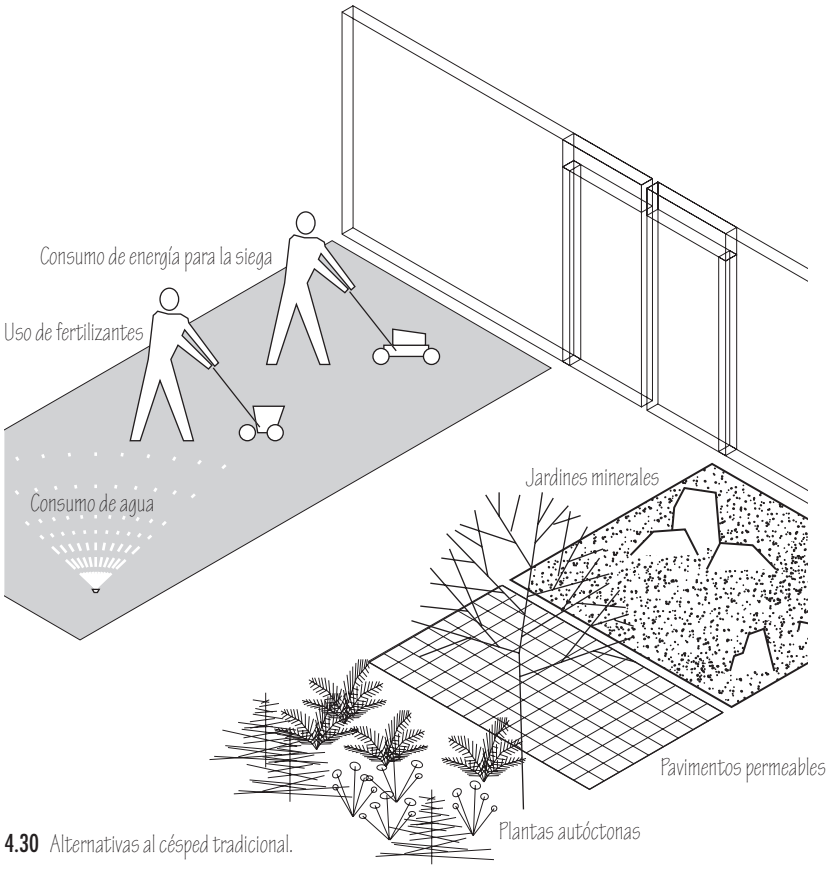
El proyecto ecológico también puede mejorar la calidad del ambiente interior protegiendo al edificio del polvo y de la humedad que arrastran consigo los calzados de los usuarios.

Desarrollar un sistema eficaz para resolver esta cuestión comienza con el propio proyecto del edificio y con una elección apropiada de plantas y materiales para las áreas exteriores, pavimentos texturizados en lugar de grava y la instalación de sistemas de retención de polvo y suciedad en todos los accesos al edificio. Se puede incluso plantear instalar un cepillo para zapatos y botas en el exterior de la entrada principal. Cada una de estas medidas reduce progresivamente el riesgo de que la suciedad alcance el interior del edificio, y cada una de ellas asume su papel de capa de protección para mantener el polvo y la humedad del entorno fuera del edificio.



4.29 Reducir la entrada de suciedad y humedad mediante una combinación eficaz de barreras.

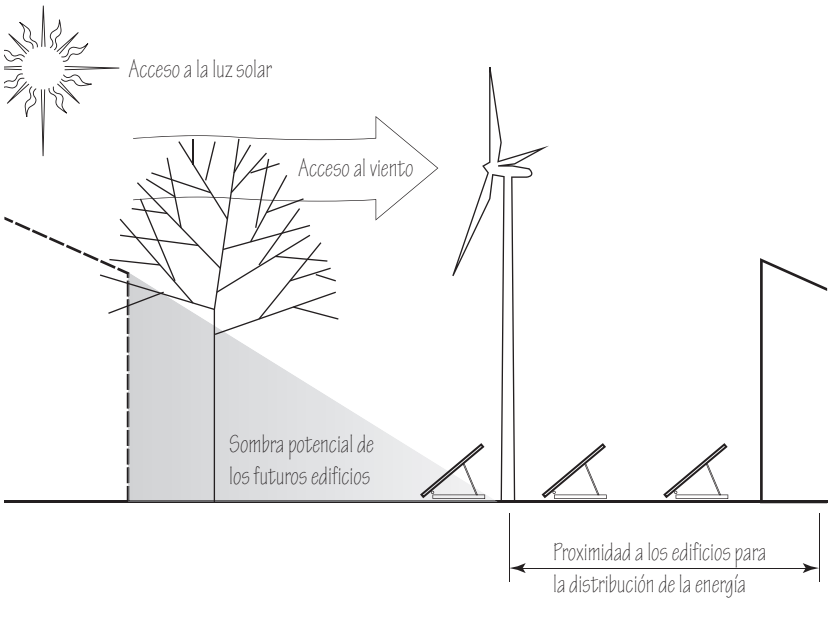
Superficies y sistemas de retención del polvo en cada ruta de acceso



4.30 Alternativas al césped tradicional.

Si se plantea la posibilidad de instalar una bomba de calor geotérmica, es preciso analizar previamente las condiciones del terreno para evaluar su viabilidad. Por ejemplo, si la transmitancia térmica del suelo es baja, se necesitará un pozo más profundo, lo que aumentará el coste total de la instalación.

Una cuestión que siempre se plantea es si el césped tradicional es adecuado para el entorno de un edificio ecológico. Los prados de césped requieren fertilizantes, plaguicidas y otros productos químicos para su mantenimiento, además de riego en climas secos y una siega que consume bastante energía. Algunas alternativas a estos prados pueden ser los jardines minerales, de vegetación autóctona, o bien pavimentos permeables.



4.31 Consideraciones respecto a la instalación de molinos de viento y paneles solares sobre el terreno.

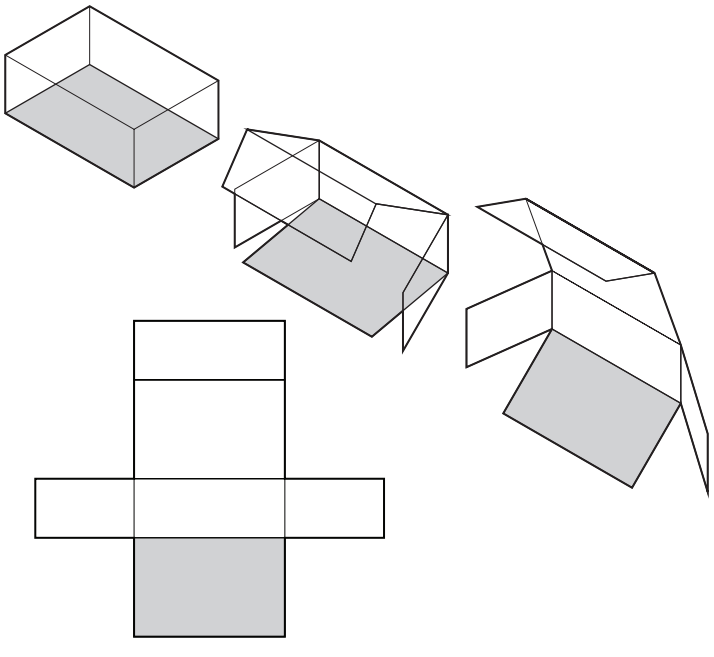
Energías renovables en la parcela

Una nota final en lo que se refiere a las energías renovables dentro del emplazamiento. Por diversos motivos, la cubierta es la mejor ubicación para los paneles solares. Si la cubierta no puede alojar paneles solares, una posible alternativa es colocarlos sobre el terreno de la parcela, lo cual requiere una planificación cuidadosa que tenga en cuenta las sombras arrojadas por la vegetación y los edificios colindantes. Si pensamos en proteger el edificio del viento con árboles, deberían situarse a una distancia suficiente como para no arrojar sombra sobre los paneles solares.

De forma similar, si se piensa en molinos de viento, el mejor momento para realizar un estudio de viabilidad es cuando se está definiendo el emplazamiento del proyecto. La localización de los paneles solares y los molinos también debe tener en cuenta la distancia hasta el edificio, para moderar el coste del cableado. Finalmente, la apariencia de estas instalaciones de energías renovables puede ser una cuestión delicada y debe estudiarse su impacto visual durante el proceso de proyecto.

5
Forma construida

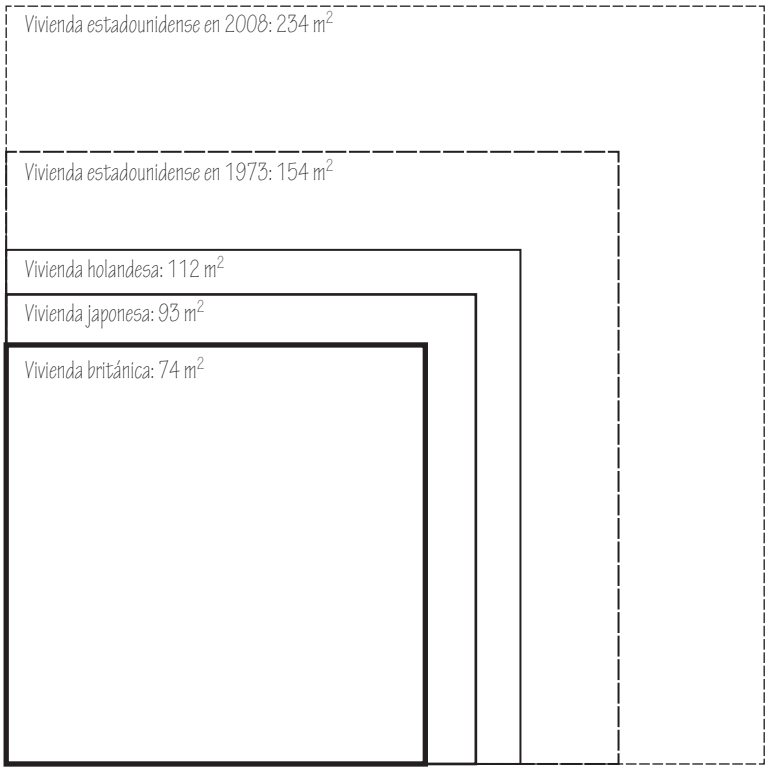
Por forma construida entendemos su huella —el área proyectada sobre la que se levanta el edificio— y además la forma del edificio, su altura, el número de plantas y su configuración general. Tradicionalmente, el centro de la discusión se ha centrado en la orientación del edificio, en cómo se encara hacia el sol, la calle o las vistas. En este capítulo trataremos el tema de la orientación, pero también analizaremos las características geométricas, la planta o la envolvente. Estas dos características tienen un impacto significativo sobre la eficiencia energética, el ahorro de materiales y el coste del edificio.



Superficie en planta

La superficie en planta de un edificio supone un impacto evidente sobre el consumo de energía y materiales de un edificio, simplemente porque cuanto más grande es, mayor es la cantidad de materiales necesaria para su construcción, la energía necesaria para calentarlo y refrigerarlo, iluminarlo o ventilarlo, y para responder en general a cualquiera de las necesidades, que aumentan con el tamaño.

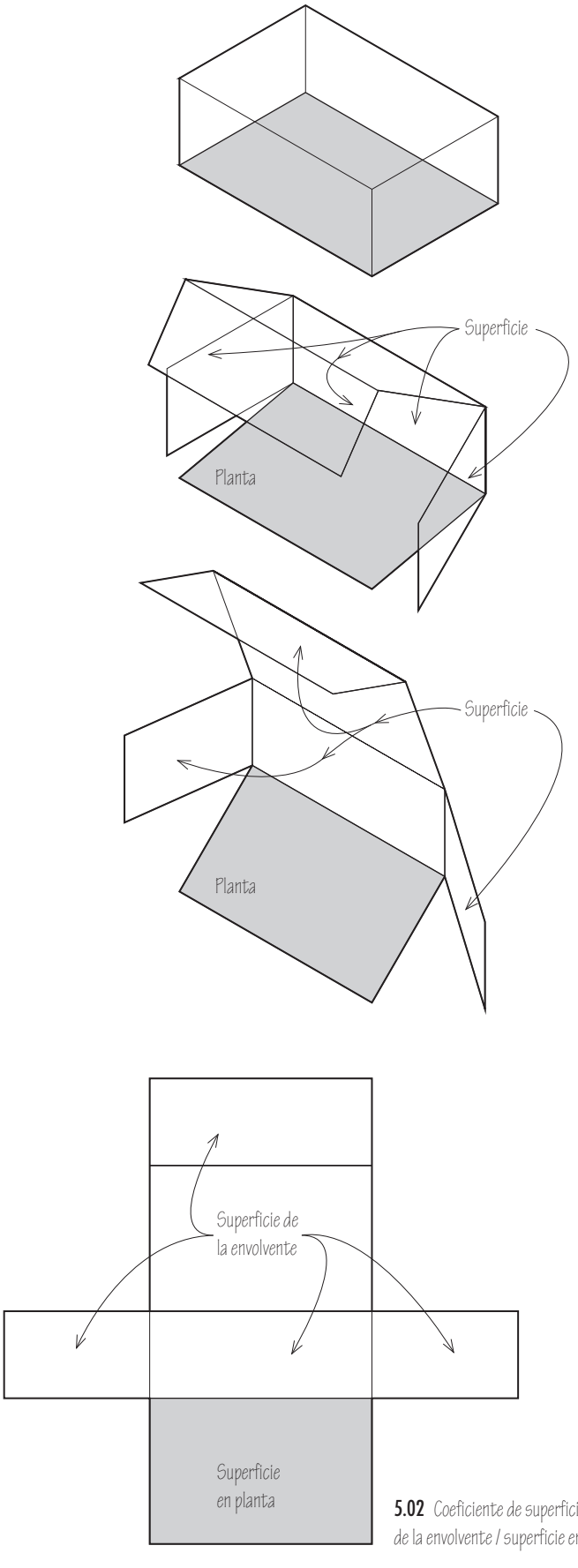
La cuestión del tamaño del edificio es, o debería ser, muy relevante para el proyecto y la construcción ecológicos. Por ejemplo, el tamaño medio de las viviendas en Estados Unidos ha aumentado un 50 % entre 1973 y 2008 (de 154 a 234 m^2). La vivienda estadounidense típica tiene casi el doble de superficie que la vivienda típica holandesa, más del doble que la japonesa y casi el triple que la británica, a pesar de que el número de habitantes del hogar medio en todos estos países es muy similar, unas 2,5 personas por familia. Incluso la más modesta reducción de tamaño, sin perder nada de su funcionalidad, implica reducciones significativas del consumo de energía y materiales y de los costes de construcción.



5.01 Tamaño medio de vivienda.

El sistema LEED para viviendas reconoce la relación entre la superficie de un edificio y el consumo energético, y ajusta sus créditos para recompensar a las viviendas de menor tamaño. Sin embargo, la mayor parte de los sistemas de evaluación de arquitectura ecológica no tienen en cuenta este aspecto.

Esta breve discusión sobre el tema del tamaño debe cerrarse con una cuestión que en sí debería ser evidente pero que vale la pena repetir: un edificio pequeño consume menos energía y materiales que uno grande. Reducir el tamaño de las habitaciones y aumentar la densidad de ocupación es una manera de conseguir este objetivo, pero hay otras opciones, como el uso creativo de los espacios de almacenaje, o el desplazamiento de los espacios no acondicionados al exterior de la envolvente térmica.



5.02 Coeficiente de superficies = superficie de la envolvente / superficie en planta.

Superficie de la envolvente

Para reducir el consumo de energía, también interviene una segunda característica geométrica de los edificios: la superficie de la envolvente, aquella que limita con el exterior del edificio. El calor de un edificio se disipa en invierno de forma proporcional a esta superficie, mientras que, en verano, esta también tiene un fuerte impacto en las necesidades de refrigeración. Debido a que el consumo energético de la mayoría de los edificios está muy condicionado por las necesidades de calefacción y refrigeración, la superficie de la envolvente se convierte en un factor crítico para la eficiencia energética del edificio.

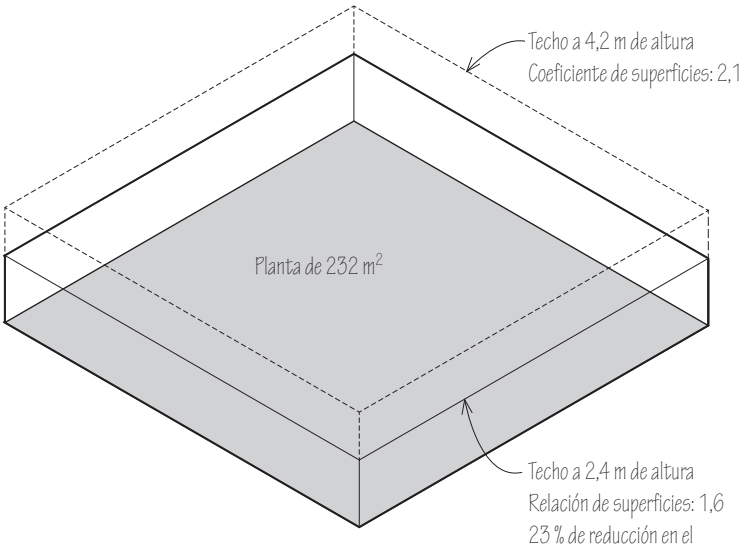
De forma similar, reducir la superficie de la envolvente de un edificio reduce significativamente el consumo de material y los costes de construcción, pues los muros exteriores y la cubierta de un edificio son elementos muy exigentes en términos de materiales.

El impacto de la superficie de la envolvente sobre el consumo de energía puede verse en la ecuación de transferencia de calor que rige las pérdidas térmicas de un edificio:

Pérdida de calor = (S/R) × (T interior – T exterior)
donde:
S es la superficie de la envolvente exterior del edificio
R es la resistencia térmica (factor R)
T interior y T exterior son las temperaturas del aire en el interior y el exterior del edificio, respectivamente.

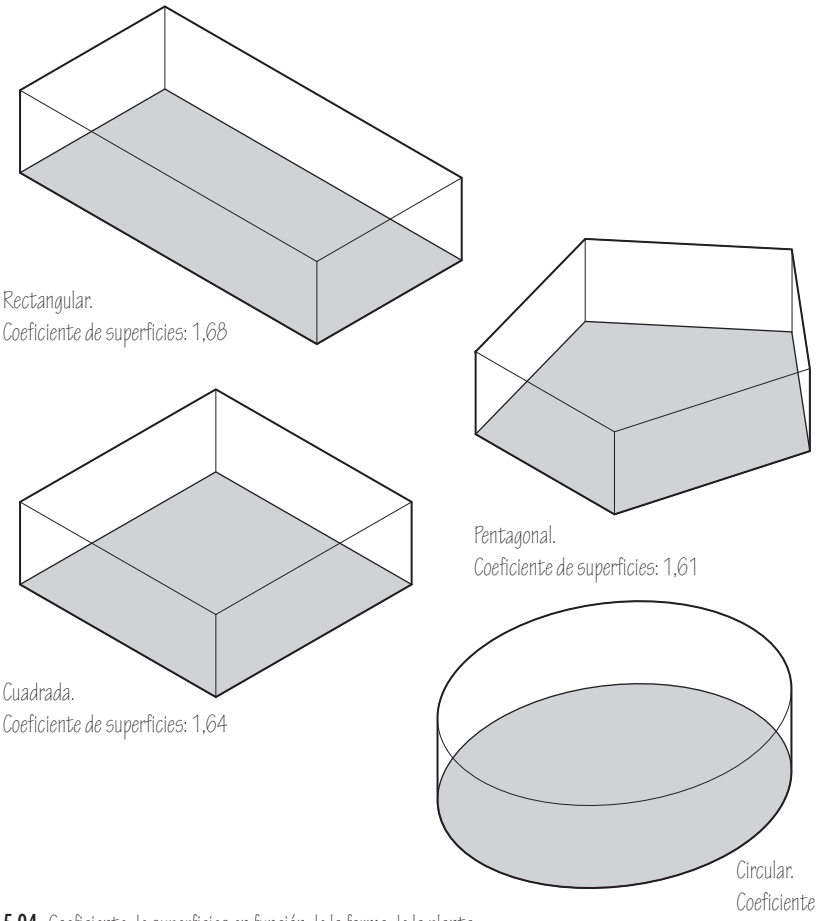
Históricamente, el proyecto y la arquitectura ecológica se centraban en aumentar el aislamiento térmico (factor R) de los elementos de la envolvente para reducir las pérdidas de calor. Este enfoque tiene sentido y funciona, pero es posible que la superficie de la envolvente (S) no haya recibido la atención que merece, a pesar de tener la misma importancia. De hecho, a diferencia de aumentar el aislamiento, que también incrementa el consumo de material y los costes de construcción, reducir la superficie de la envolvente no solo reduce las pérdidas de calor, sino que también disminuye el consumo de material y los costes de construcción.

Ya hemos hablado de la importancia de la superficie en planta. Si se asume que esta está determinada y responde estrictamente al propósito funcional de un edificio concreto, resulta interesante medir la relación entre la superficie de la envolvente y la superficie en planta de un edificio. Esta relación permite comparar distintas formas edificatorias. Definamos la relación entre la superficie de la envolvente y la superficie en planta como el coeficiente de superficies; cuanto mayor sea este coeficiente, mayor energía consumirá un edificio para climatización por unidad de superficie.



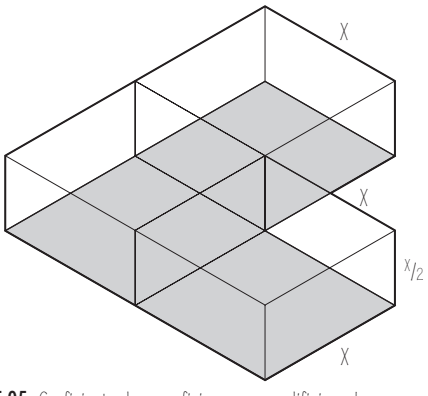
5.03 Coeficiente de superficies en función de la altura de techos.

Por ejemplo, en un edificio de planta rectangular de un solo piso, cubierta plana y una superficie en planta de 232 m^2, podemos analizar el impacto de reducir su altura de 4,3 a 2,4 m. El coeficiente de superficies para una altura de 4,3 m es de alrededor de 2,1, mientras que para una altura de 2,4 m es poco más de 1,6. ¿Cuál es el impacto de rebajar la altura del techo y obtener un menor coeficiente de superficies sobre el consumo energético? Un 23 % de reducción del coeficiente de superficies supone reducir un 27 % el consumo energético para calefacción. El coeficiente de superficies tiene un efecto significativo en el consumo energético, y el ahorro obtenido está muy próximo a la reducción del coeficiente de superficies; de hecho, el ahorro es ligeramente superior al porcentaje de reducción de dicho coeficiente. No es extraño encontrar en el proyecto arquitectónico oportunidades para comparar y poder elegir entre un rango de alturas. Por ejemplo, un supermercado típico tiene una altura libre de entre 3,7 y 5,5 m; sin embargo, el espacio situado a una altura superior a 2,4 m nunca se utiliza porque no es accesible a las personas. El proyecto ecológico no implica necesariamente el uso de techos bajos, sino la conveniencia de cuestionarse si realmente son necesarios techos tan altos. Los techos altos suelen ser ineficientes en términos espaciales, y rebajarlos podría ofrecer un potencial de ahorro significativo en materiales, energía y costes de construcción, sin tener por ello que sacrificar la funcionalidad del edificio.



5.04 Coeficiente de superficies en función de la forma de la planta.

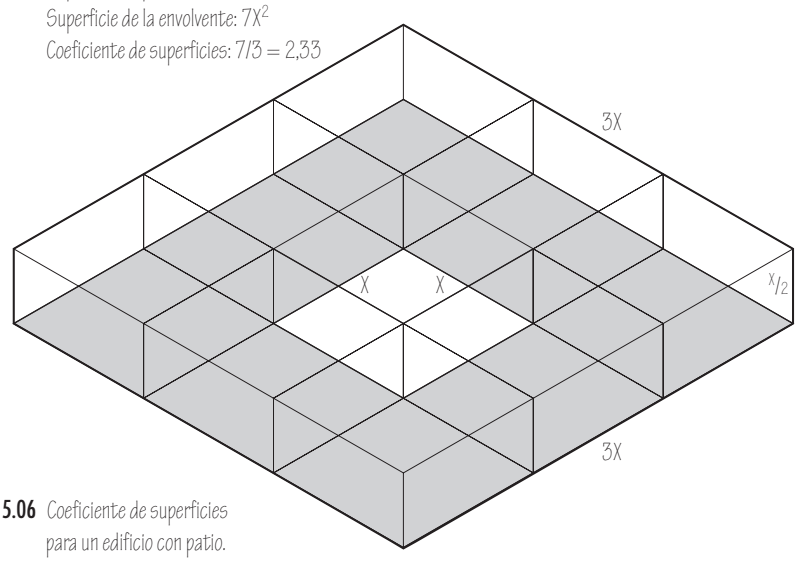
Podemos analizar edificios de 232 m^2 de superficie y 2,4 m de altura con plantas de diferentes geometrías. Si observamos los resultados para las siguientes geometrías: cuadrados, rectángulos de proporción 1:2, pentágonos, octágonos y círculos, obtenemos resultados que van desde 1,68 para el rectángulo, 1,64 para el cuadrado, 1,61 para el pentágono, 1,58 para el octógono y, finalmente, 1,57 para el círculo. Aunque estas tres últimas geometrías no son habituales, podemos observar que un edificio de planta circular obtiene el coeficiente de superficies más eficaz. Sin embargo, puede ser más significativo el hecho de que las diferencias entre estos valores no son muy grandes. Con ello se demuestra que existe flexibilidad en la elección de estas geometrías, ya que apenas tienen impacto en la relación de áreas.



5.05 Coeficiente de superficies para un edificio en L.

Superficie en planta: $3X^2$
Superficie de la envolvente: $7X^2$
Coeficiente de superficies: 7/3 = 2,33

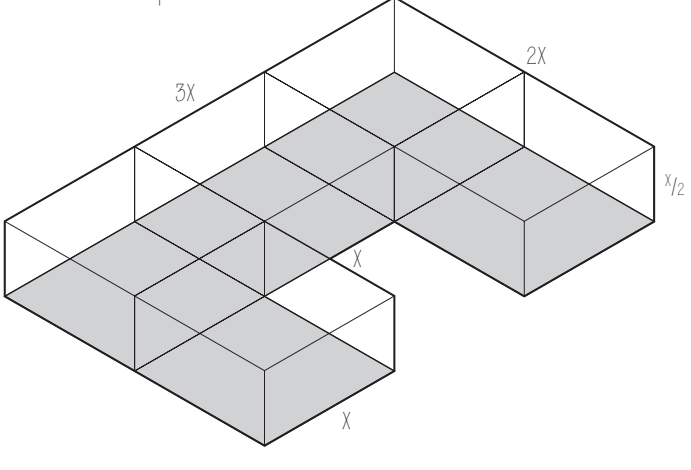
Las plantas con geometrías más complejas tienen mayores efectos sobre el coeficiente de superficies y el consumo energético. Una planta en L es habitual en viviendas y edificios comerciales. Por ejemplo, consideremos la huella de un edificio de un solo piso, compuesto por tres cuadrados adyacentes que forman una L en planta. Si la altura del edificio es la mitad del lado del cuadrado, una proporción que encaja con un edificio de pequeño tamaño, el coeficiente de superficies sería 2,33. Para la misma superficie en planta, pero con una geometría cuadrada, la relación sería de 2,15, con una reducción de aproximadamente un 8 %. Respecto a una planta en L, utilizar una geometría más simple implica ganancias medibles en eficiencia energética.



5.06 Coeficiente de superficies para un edificio con patio.

Superficie en planta: $8X^2$
Superficie de la envolvente: $16X^2$
Coeficiente de superficies: 16/8 = 2

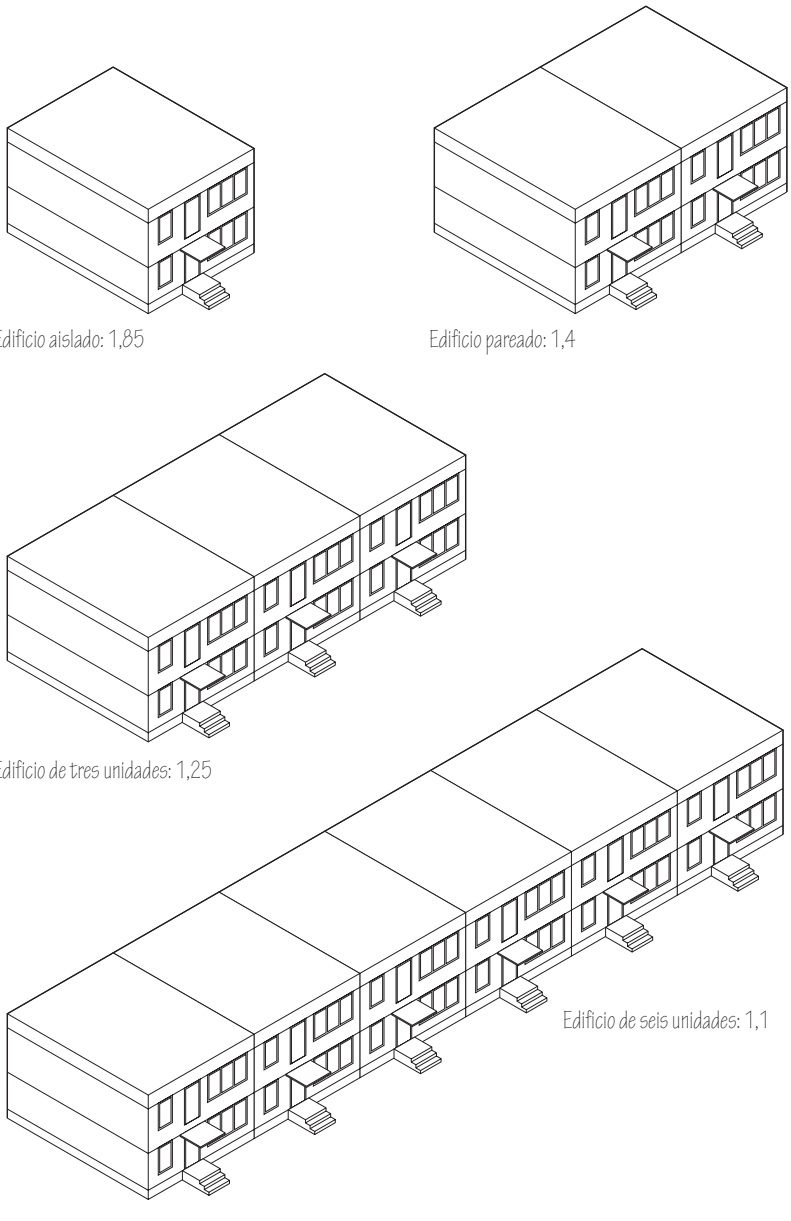
Otra geometría habitual es la organización de la planta en torno a un patio. Consideremos un edificio cuadrado de lado tres veces mayor al lado de un cuadrado interior que conforma el patio. Asumiendo de nuevo que la altura del edificio corresponde a la mitad del lado del cuadrado menor, este edificio tendría un coeficiente de superficies de 2. En comparación, un edificio cuadrado sin patio, pero con la misma superficie en planta tendría un coeficiente de superficies de 1,71, una significativa reducción del 14 % respecto del edificio con patio.



5.07 Coeficiente de superficies para un edificio en U.

Superficie en planta: $5X^2$
Superficie de la envolvente: $11X^2$
Coeficiente de superficies: 11/5 = 2,2

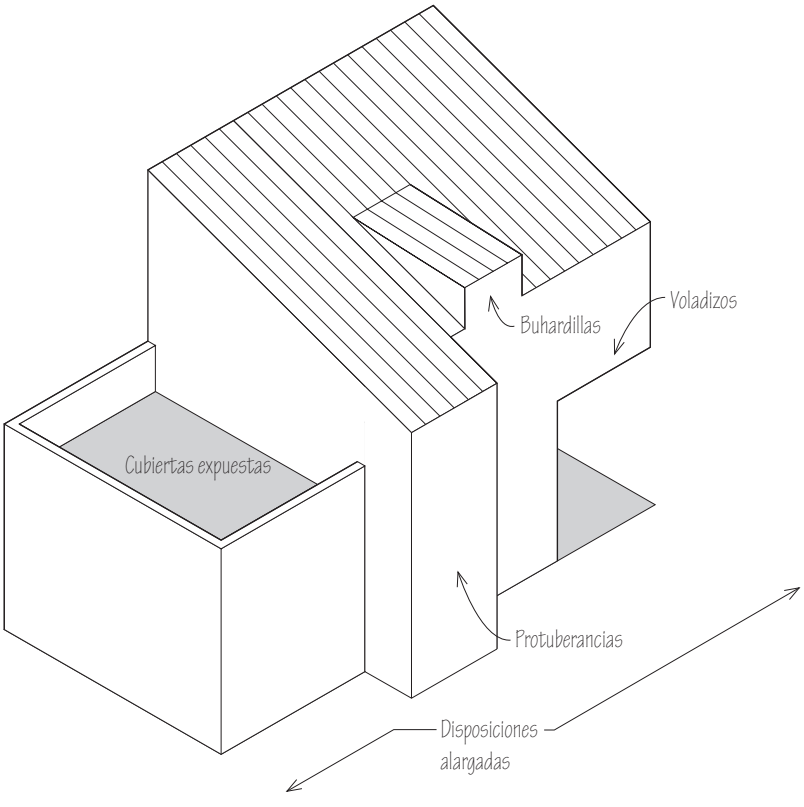
Si el edificio en U se replantea con un proyecto de planta cuadrada, el coeficiente de superficies, como sucedía en el edificio con patio, se reduce un 14 %. Los edificios con formas complejas también resultan más costosos que aquellos con formas más simples. Se ha comprobado que un edificio en U cuesta un 3,5 % más que un edificio de planta cuadrada o rectangular.



5.08 Coeficiente de superficies para edificios en hilera.

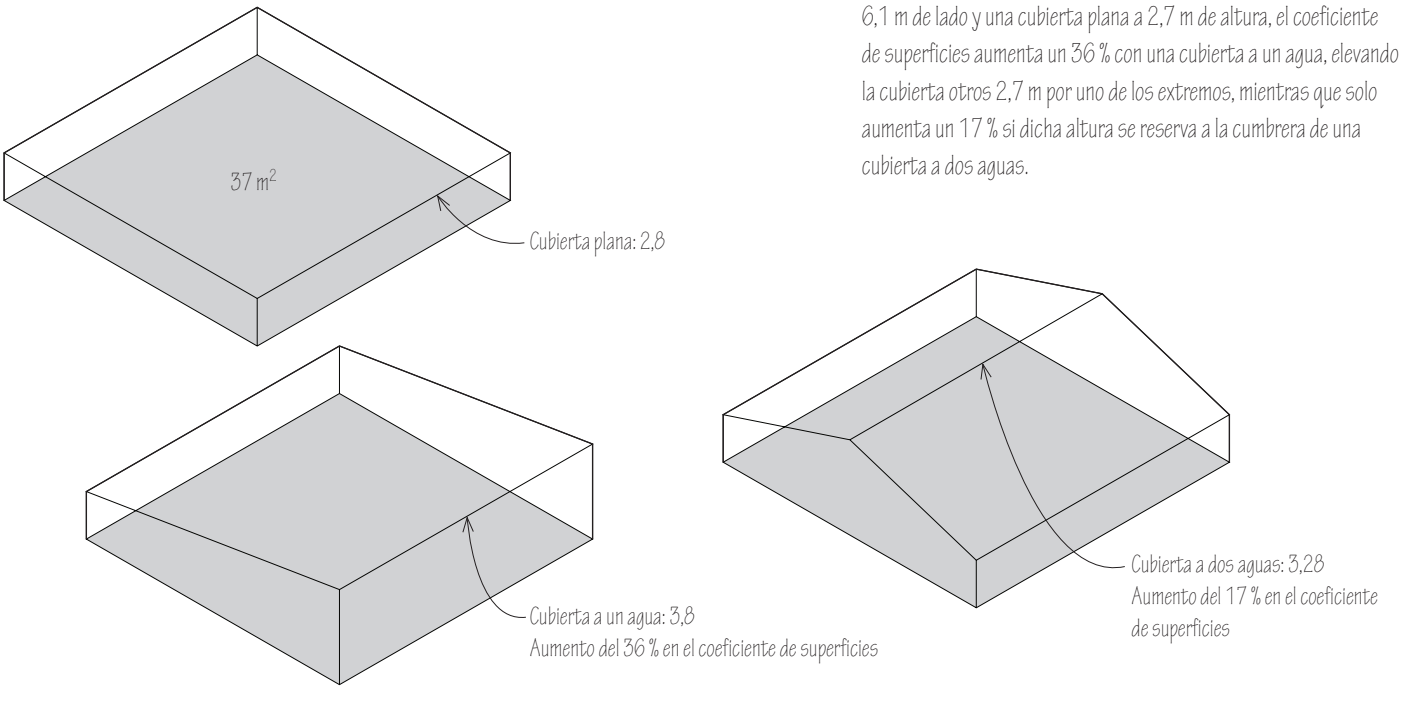
A continuación consideremos los beneficios que tienen las casas en hilera (unidades de viviendas alineadas y adosadas en un único volumen) en las tipologías residenciales. Partiendo de un edificio aislado de dos alturas, con 6,1 m de frente, 12,2 m de fondo y 2,7 m de altura por planta (que suman un total de 149 m^2), obtenemos un coeficiente de superficies de 1,85. Uniendo dos de estos edificios, el coeficiente de superficies se reduce un 24 %, hasta un valor de 1,4. Una medianera compartida reduce sustancialmente la superficie expuesta del edificio conjunto. Si añadimos una tercera unidad, el coeficiente de superficies se reduce hasta 1,25; con una cuarta hasta 1,18; con una quinta hasta 1,13; y con una sexta hasta 1,1. El edificio compuesto por seis unidades ha reducido un 41 % su coeficiente de superficies respecto de la unidad aislada, aunque también cabe señalar que las máximas ganancias se han conseguido al pasar de una unidad aislada a una pareada.

Incluso en el caso de que no lleguemos a reunir seis unidades en un solo edificio, el edificio pareado es mucho más eficiente que el aislado. Sin embargo, la diferencia entre el edificio de dos unidades (un 24 % de ahorro respecto al edificio aislado) y el de seis unidades (41 % de ahorro) sigue siendo significativa. Los edificios en hilera permiten ahorrar cantidades significativas de energía y materiales, y reducir los costes de construcción. Es preciso reconocer que las medianeras implican restricciones a las vistas y a la iluminación natural que quizás no sean asumibles en determinados proyectos. La tipología que aquí se ha analizado podría aplicarse a diversos usos, como los locales comerciales, que solo requieren huecos en el frente, y demandan muros ciegos en el resto de las fachadas para poder almacenar y exponer los productos.



5.09 Elementos de un edificio que aumentan el coeficiente de superficies.

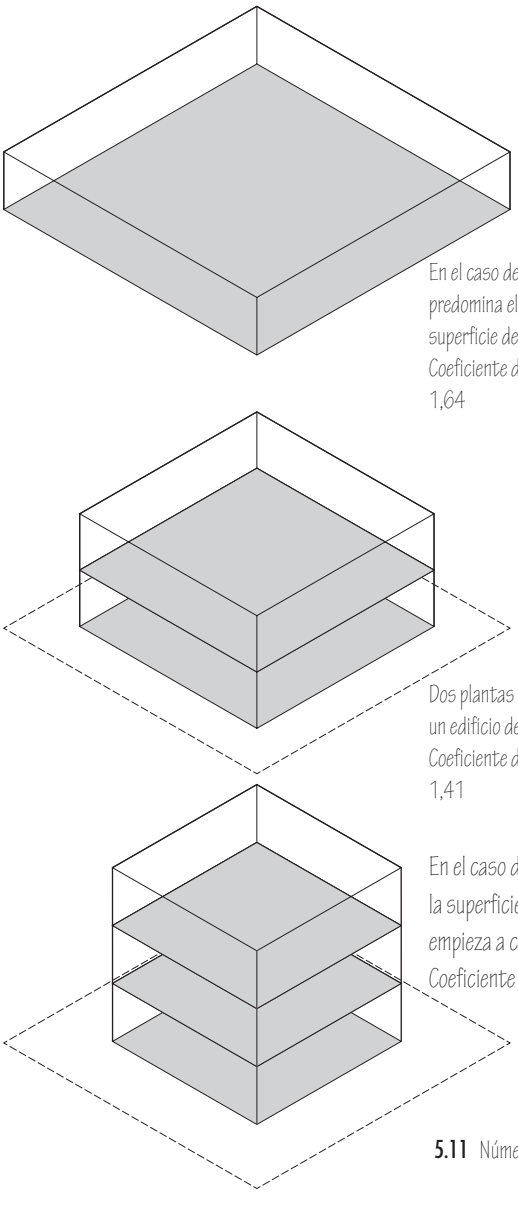
¿Cuál es el coeficiente de superficies de los edificios actuales reales? Los edificios pequeños más habituales, como las casas unifamiliares, suelen tener un coeficiente de superficies de entre 2 y 3. Los edificios reales aumentan significativamente dicho coeficiente respecto de los volúmenes sencillos añadiendo protuberancias, salientes, voladizos, buhardillas, cubiertas y forjados expuestos, y otras irregularidades que aumentan el coeficiente. En general, pueden obtenerse coeficientes de superficie inferiores a 1,5 si reducimos la complejidad del volumen edificado. Los edificios con formas más sencillas consumen menos energía. Dado que estas formas más sencillas también requieren menos materiales y suponen menos costes de construcción, empezamos a encontrar un buen argumento a favor de la simplicidad, tanto en términos de proyecto ecológico como de costes. Las formas sencillas pueden no ser recomendables para ciertos edificios, pero para aquellos tipos en que resultan aceptables, el ahorro potencial en energía y costes de construcción puede ser muy significativo.



5.10 Coeficiente de superficies de distintas soluciones de cubierta.

Las cubiertas inclinadas también tienen su impacto en el coeficiente de superficies. Por ejemplo, en un edificio con planta cuadrada de 6,1 m de lado y una cubierta plana a 2,7 m de altura, el coeficiente de superficies aumenta un 36 % con una cubierta a un agua, elevando la cubierta otros 2,7 m por uno de los extremos, mientras que solo aumenta un 17 % si dicha altura se reserva a la cumbrera de una cubierta a dos aguas.

El número de plantas de un edificio también influye en el coeficiente de superficies. Examinemos el caso de un edificio de planta cuadrada con una superficie de 232 m^2 y una altura de techos de 2,4 m. En este caso, los 232 m^2 se refieren a la superficie total del edificio, no a la ocupada en planta, y los 232 m^2 se dividen entre cada una de las plantas del edificio. Dispuestos en una sola planta, el coeficiente de superficies del edificio es 1,64; en dos plantas 1,41; y en tres plantas 1,44. Se observa un claro beneficio en distribuir la superficie total en dos plantas en lugar de una, pues se logra reducir la superficie expuesta de la cubierta. Sin embargo, también resulta mejor que el caso de tres plantas, en el que la reducción de la superficie de la cubierta no compensa el aumento de la superficie de fachadas de un edificio más alto y esbelto. Todo ello indica que dos es el número de óptimo de plantas para un edificio de 232 m^2.



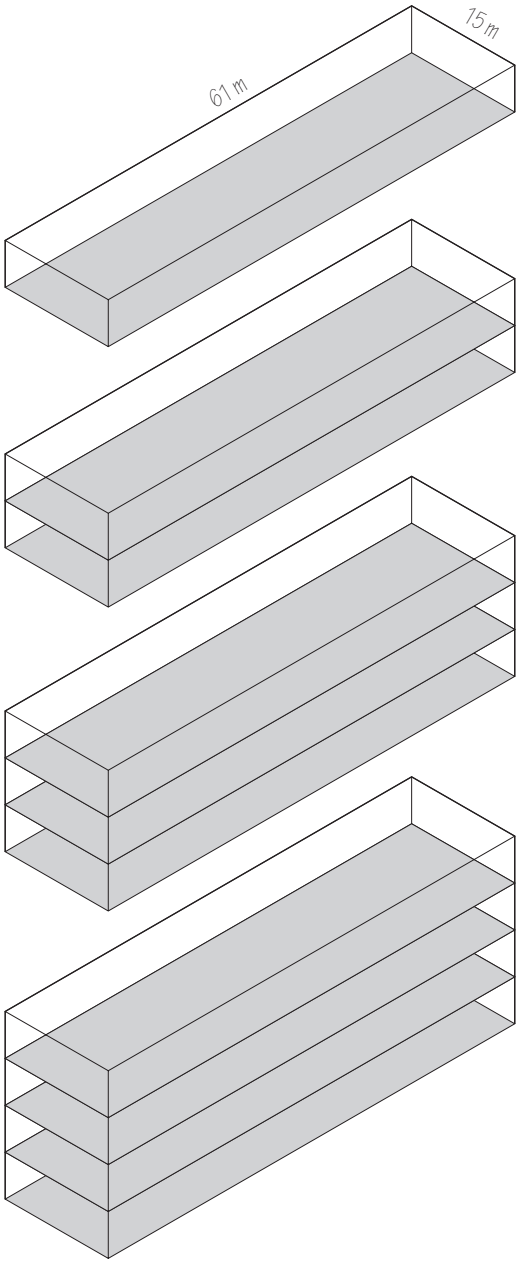
5.11 Número óptimo de plantas para un edificio de 232 m^2 de superficie.

5.12 Número óptimo de plantas en función de la superficie total del edificio.

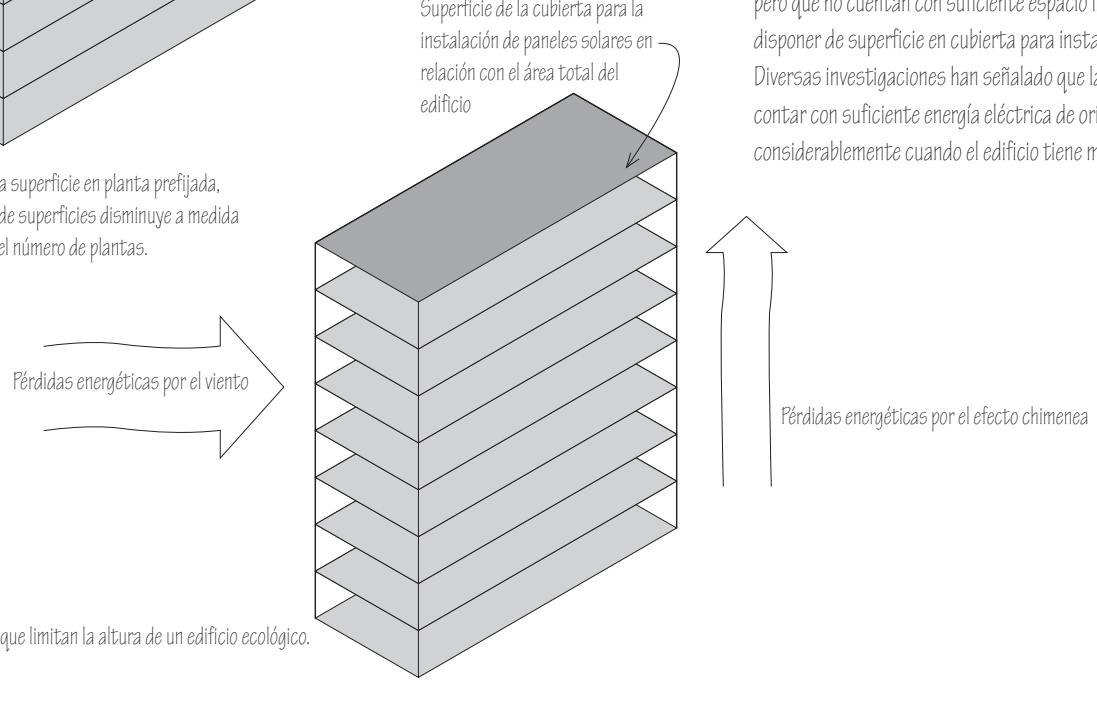
Superficie total (m^2)	Número óptimo de plantas
< 90	1
90-450	2
450-900	3
900-2.800	4
2.800-5.600	5
5.600-9.300	6
9.300-14.000	7
14.000-22.000	8

El número óptimo de plantas varía ligeramente en función de la altura total entre forjados (en este caso se ha tomado 3 m).

Una única planta proporciona el menor coeficiente de superficies para edificios de hasta 90 m^2 y una altura de planta de 3 m. A partir de 90-450 m^2 de superficie, el número de plantas óptimo es dos, tres de 450 a 900 m^2, cuatro de 900 a 2.800, etc., y ocho de 20.000 m^2. Debe observarse también que a medida que el número óptimo de plantas tiene el menor coeficiente de superficies, es deseable que los edificios cuenten con un núcleo interior.



5.13 Para una superficie en planta prefijada, el coeficiente de superficies disminuye a medida que aumenta el número de plantas.

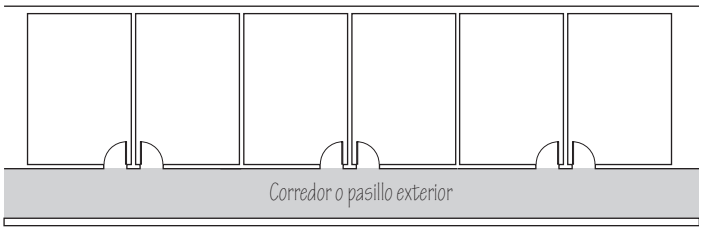


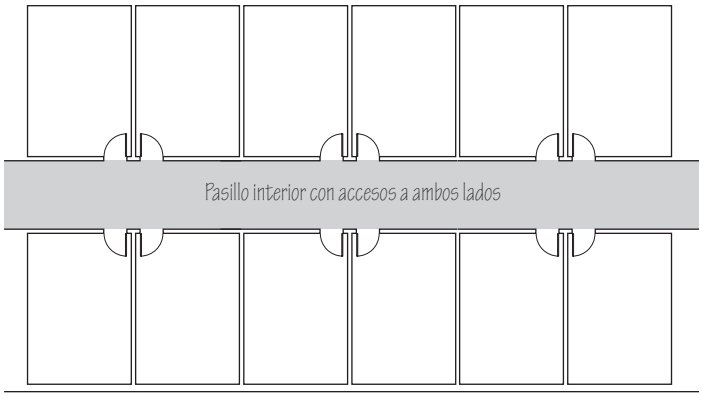
5.14 Factores que limitan la altura de un edificio ecológico.

Algunos edificios, como de apartamentos y hoteles, no pueden contar con patios interiores debido a que requieren vistas hacia el exterior y están condicionados por la envolvente. Un edificio en altura que debe tener vistas y no puede contar con patios interiores de cierta envergadura presenta un coeficiente de superficies que va reduciéndose a medida que crece en altura. Por ejemplo, si analizamos un edificio de planta rectangular de 15 × 61 m, con una superficie de 929 m^2 y una altura de techos de 3 m, tendremos un coeficiente de superficies de 1,5 en el caso de una sola planta. Al aumentar a dos plantas, reducimos el coeficiente de superficies a 1; a las diez plantas, el coeficiente de superficies se reduce a 0,6; y con 20 plantas llegamos a 0,55. Desde un punto de vista del coeficiente de superficies, los edificios de este tipo siempre son mejores cuanto más altos.

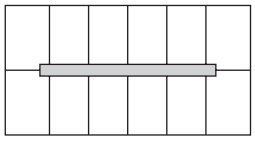
Sin embargo, con la altura, otros dos factores independientes compensan el ahorro de energía obtenido de un menor coeficiente de superficies: la pérdida de protección contra el viento que ofrecen los árboles o los edificios adyacentes, y el aumento del efecto chimenea, resultado del diferencial de temperatura entre las partes bajas y altas del edificio. En el caso de los edificios condicionados por la envolvente (como es el caso de hoteles y edificios de apartamentos), la altura óptima probablemente se sitúa en un término medio, allí donde el coeficiente de superficies es inferior al de los edificios de una o dos alturas, pero donde el efecto chimenea y la exposición al viento aún no desempeñan un papel preponderante.

Otro factor que limita la altura de un edificio en los ecológicos que pretendan alcanzar un consumo neto de energía casi cero, pero que no cuentan con suficiente espacio libre en la parcela, es disponer de superficie en cubierta para instalar paneles solares. Diversas investigaciones han señalado que la posibilidad de contar con suficiente energía eléctrica de origen solar se reduce considerablemente cuando el edificio tiene más de dos plantas.

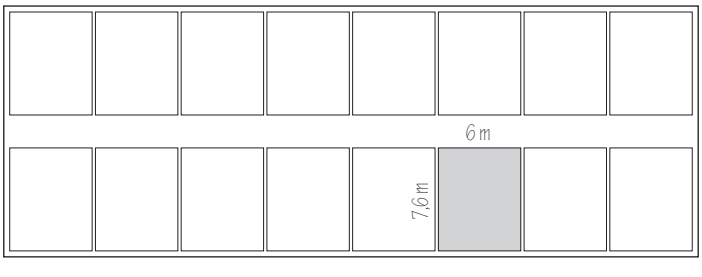


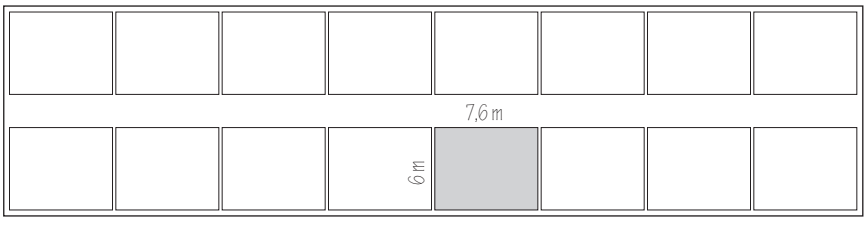


5.15 Los edificios con un pasillo interior tienen un coeficiente de superficies menor que los edificios con pasillo exterior o corredor en la fachada.



Pueden obtenerse mejoras en eficiencia energética si los pasillos no llegan a los testeros del edificio.



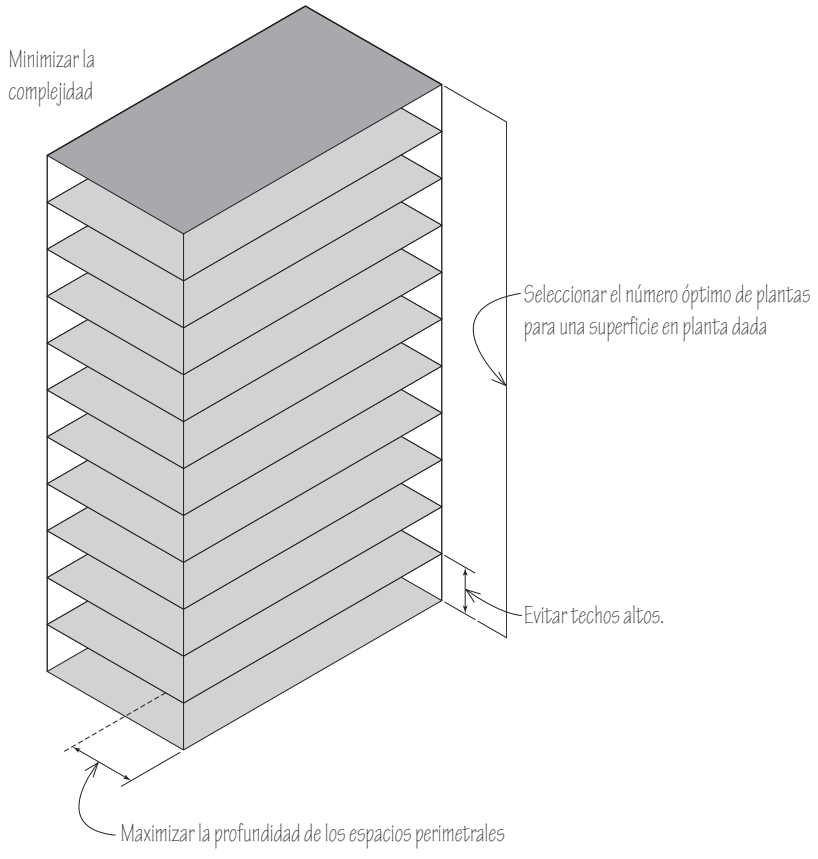


5.16 Utilizar crujías más profundas permite reducir el coeficiente de superficies y lograr mayor eficiencia energética y menores costes de construcción, incluso manteniendo la misma superficie útil.

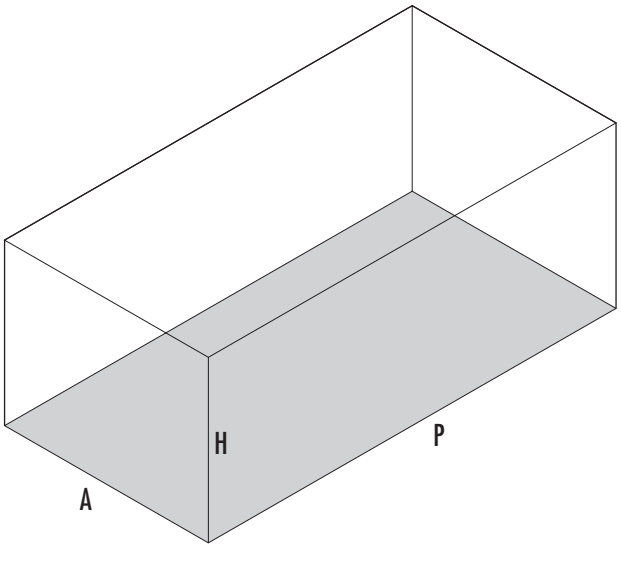
En los edificios condicionados por la envolvente, como hoteles o edificios de apartamentos que requieren vistas, una cuestión común consiste en decidir qué opción es preferible: pasillos interiores o exteriores. La respuesta es que los edificios con pasillos interiores siempre tendrán un coeficiente de superficies significativamente menor. Si tomamos un edificio de apartamentos de 61 m de longitud, cinco plantas, apartamentos de 6,1 m de profundidad, una altura de techos de 3 m y un corredor exterior de 1,5 m, el coeficiente de superficies será de 1,1, mientras que si el pasillo es interior, el coeficiente se reducirá un 32 % hasta alcanzar 0,74. Las ventajas del pasillo interior es mayor si este no llega hasta los testeros.

Otra estrategia para edificios de este tipo consiste en reducir la dimensión de cada apartamento respecto de la envolvente exterior; es decir, apartamentos más profundos con el lado largo de las habitaciones perpendicular a la envolvente exterior.

Siguiendo con el ejemplo anterior, el coeficiente de superficies del edificio de cinco plantas con pasillo interior era de 0,74, si asumimos que está pensado para ocho apartamentos a cada lado del pasillo, de 6,1 × 7,6 m, con el lado largo paralelo al muro perimetral. Si cambiáramos la orientación de los apartamentos para situar su lado corto contra el muro exterior, pero con la misma superficie total, con el lado largo que ahora define una mayor profundidad perpendicular al muro perimetral, el muro reduciría ligeramente su longitud, aumentando su anchura para que la superficie total sea la misma. Esta nueva disposición reduciría el coeficiente de superficie en 7,5 %, hasta alcanzar la cifra de 0,69. Este es el resultado de un cambio menor en las dimensiones del edificio y una pequeña pérdida de la superficie de muro disponible para las vistas, aunque también es cierto que la superficie total de las ventanas podría mantenerse igual. Sin embargo, esta solución supone un ahorro significativo en climatización gracias a la reducción de la superficie de la envolvente sin reducir la superficie útil total de los apartamentos. Cabe notar que la menor longitud del pasillo interior también supondrá ahorro en iluminación, así como una menor superficie total del edificio y de los muros exteriores, lo cual producirá ahorros adicionales en costes de construcción.



5.17 Formas de minimizar el coeficiente de superficies de un edificio.



$$\text{Volumen} = H \cdot A \cdot P$$
$$\text{Superficie} = 2\,(H \cdot A + H \cdot P) + (P \cdot A)$$

$$\frac{\text{Superficie}}{\text{Volumen}} = \frac{2\,(H \cdot A + H \cdot P) + (P \cdot A)}{H \cdot A \cdot P}$$

5.18 Relación entre la superficie y el volumen.

Hemos visto que la relación entre la superficie útil de un edificio y la superficie total de su envolvente tienen un efecto importante en materia de consumo energético. Se han mostrado una serie de estrategias para minimizar el coeficiente de superficies: bajar la altura de los techos, disposición en hilera o la combinación de varios edificios pequeños para constituir un único edificio de mayor tamaño, número óptimo de plantas para una superficie total concreta, crujías más profundas respecto de los muros perimetrales o reducción al máximo de la complejidad volumétrica.

Mantener bajo el coeficiente de superficies da lugar a varias ventajas secundarias. Evitar los techos demasiado altos reduce la energía necesaria para la iluminación artificial. Con ello también se mejora el confort, pues se reduce la estratificación térmica y, por tanto, el consumo de energía. Una geometría de cubiertas más simple también facilita la colocación de paneles solares.

El coeficiente de superficies es un indicador valioso a la hora de comparar diversas alternativas de proyecto para edificios del mismo tamaño o de la misma intensidad de uso. Comparar los coeficientes de superficies de edificios de distintas dimensiones o intensidades de uso puede resultar engañoso. Por ejemplo, una vivienda de cuatro dormitorios y una superficie de 279 m^2 puede tener un coeficiente de superficies menor que otra que, aun teniendo cuatro dormitorios, solo ocupe la mitad de superficie (139 m^2); no obstante, la menor relación de superficies de la vivienda más grande no implica necesariamente que sea más eficiente desde el punto de vista energético. Intentar reducir el tamaño de la vivienda debería ser un paso anterior a evaluar el coeficiente de superficies, paso que debería llevarse a cabo una vez que se haya fijado el tamaño y la intensidad de ocupación.

En algunas tipologías puede reducirse el coeficiente de superficies disminuyendo la superficie de la envolvente necesaria para obtener vistas o iluminación natural. Aunque en ningún caso se deben descuidar estas cuestiones, suele haber alternativas que permiten compatibilizar ambos objetivos, reduciendo el coeficiente de superficies sin renunciar a disfrutar de las vistas ni del ahorro energético que proporciona la iluminación natural. El coeficiente de superficies debe considerarse una herramienta útil para el proyecto ecológico, pero nunca un requisito inflexible.

En lugar del coeficiente de superficies que hemos propuesto aquí, algunos profesionales utilizan otro indicador: la relación entre la superficie y el volumen. El coeficiente de superficies tiene la ventaja de ser adimensional y, por tanto, idéntico con independencia del sistema de unidades que se utilice (el Sistema Internacional o el sistema de medidas anglosajón), mientras que la relación entre la superficie y el volumen dependerá de la unidad de medida empleada. Este indicador también decrece al aumentar la altura de los techos, indicando, quizá artificialmente, una mayor eficiencia de los techos altos. En cualquier caso, ambos indicadores —el coeficiente de superficies y la relación entre la superficie y el volumen— reconocen la importancia de la envolvente exterior y la conveniencia de reducirla al mínimo.

Orientación

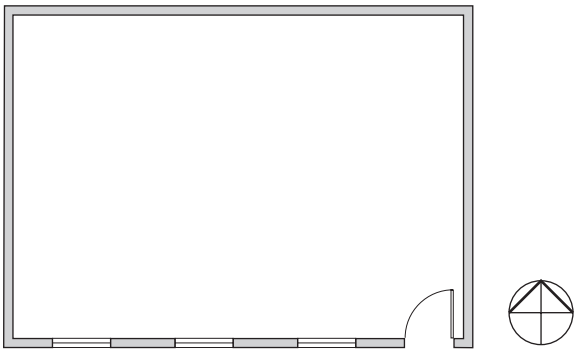
Una vez analizada la influencia que ejercen la forma y el volumen del edificio en el consumo energético, podemos retomar la cuestión de la orientación del mismo. Esta afecta a la captación de energía solar, que resulta beneficiosa en invierno, y, por el contrario, puede suponer mayores cargas de refrigeración en verano. La orientación también afecta al flujo de aire que atraviesa el edificio debido al diferencial de presión del viento.

Nos centraremos ahora en edificios sin elementos de aprovechamiento pasivo de la energía solar, como la inercia térmica y otras formas de acumulación de calor, o sistemas de aislamiento nocturno de ventanas. También nos centraremos en la calefacción y la refrigeración, dejando para más adelante la cuestión de la luz natural.

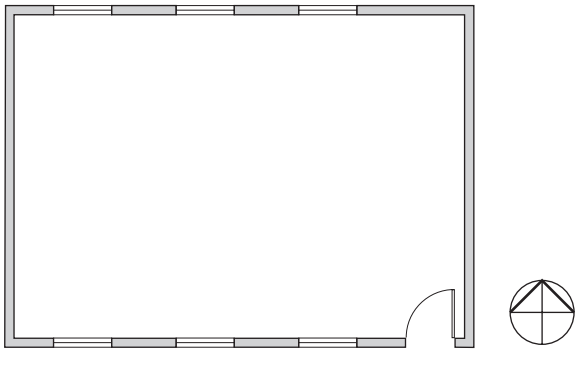
Para optimizar la orientación de un edificio es conveniente hacer uso de simulaciones por ordenador. Estas pueden realizarse rápidamente, y muchos programas permiten incluso rotar el edificio para analizar de forma rápida las diferentes orientaciones. En primer lugar, cabe señalar que, aunque resulte evidente, un edificio cuadrado con las mismas ventanas en todas sus fachadas nunca tendrá una orientación óptima. Por ejemplo, sea cual sea la orientación de la entrada principal, el edificio consumirá aproximadamente la misma cantidad de energía. Por ello, toda discusión en torno a la orientación óptima de un edificio, de sus ganancias solares y sus pérdidas térmicas, se centrará en aquellos edificios que no tengan la misma distribución de huecos en todas sus fachadas.

En un edificio con ventanas solo en una de sus fachadas, deberán orientarse a sur en el hemisferio norte, para reducir al máximo el consumo de energía. Esto sirve tanto si el edificio se encuentra en una región fría (donde la calefacción sea el factor dominante) como si está en una región cálida (donde lo sea la refrigeración). Nótese que la conclusión no es "situar el máximo de ventanas orientadas hacia el sur", sino que "si las ventanas solo están situadas en una fachada, la mejor fachada para situarlas será la sur".

Cuando las ventanas se sitúen solo en dos fachadas opuestas, tenerlas en las fachadas norte y sur proporciona un mayor ahorro energético que cuando están en el eje este-oeste. Estos ahorros son aún más importantes en los climas más cálidos.

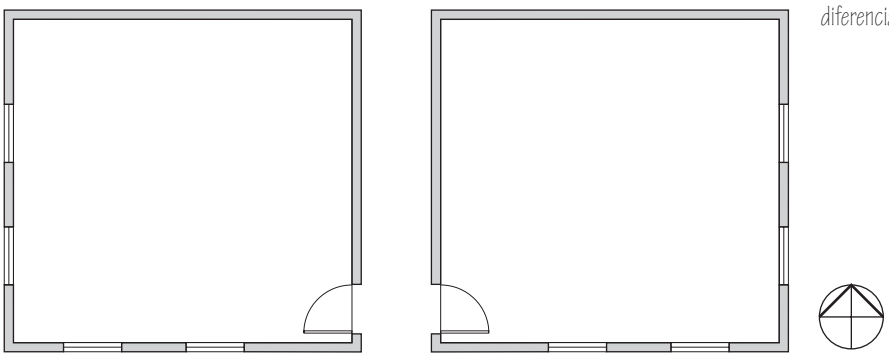


5.19 Los edificios con ventanas en una única fachada deberían orientarse a sur en el hemisferio norte.



5.20 Los edificios con ventanas similares en dos fachadas opuestas deberían orientarse a norte y a sur.

Si las ventanas se sitúan en dos fachadas adyacentes, el menor consumo de energía se obtiene cuando ambas fachadas son la este y la sur, algo que sirve tanto para climas fríos como cálidos. La segunda opción, con resultados muy similares en materia energética, es cuando las ventanas se sitúan en las fachadas oeste y sur. Si las ventanas se sitúan en fachadas contiguas, nunca deberían orientarse al norte, ya sean combinadas con ventanas al este o al oeste, pues la diferencia en materia de consumo energético es muy significativa.



5.21 Los edificios con ventanas en fachadas contiguas deberían orientarse hacia el sur y hacia el este o el oeste.

Todo esto se refiere a edificios de planta cuadrada. En el caso de un edificio rectangular, con una proporción similar de huecos en todas las fachadas, tanto largas como cortas, se asimila al edificio cuadrado con ventanas enfrentadas: el menor consumo de energía se produce cuando se orienta su lado mayor a lo largo del eje este-oeste y el mayor número de ventanas queda orientado hacia el sur y el norte. Para que quede claro, la conclusión no es que "hay que situar el mayor número posible de ventanas en las fachadas norte y sur", sino que "si las ventanas están distribuidas uniformemente en todas las fachadas de un edificio rectangular, entonces, la mejor orientación será que el lado largo del rectángulo siga el eje este-oeste". En este caso, las ganancias también son más pronunciadas en el sur, más condicionado por la refrigeración, que en el norte, más condicionado por la calefacción.

5.22 Los edificios rectangulares con una distribución equilibrada de huecos en las cuatro fachadas deberían orientarse con su lado mayor en el eje este-oeste.

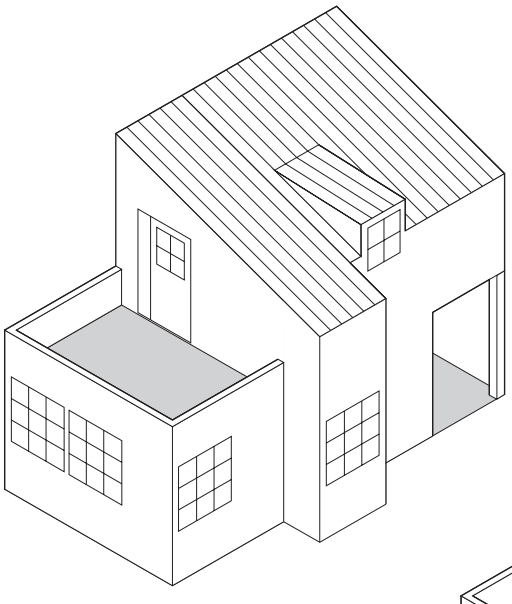
Esta discusión no tiene en cuenta los posibles beneficios que puedan existir, en lo que se refiere a la orientación, por la dirección de los vientos dominantes, que pueden asumir un papel ventajoso cuando se requiere ventilación cruzada. Es posible que la mejor orientación para fomentar la ventilación cruzada no coincida con la mejor orientación en términos de ganancias solares y pérdidas térmicas.

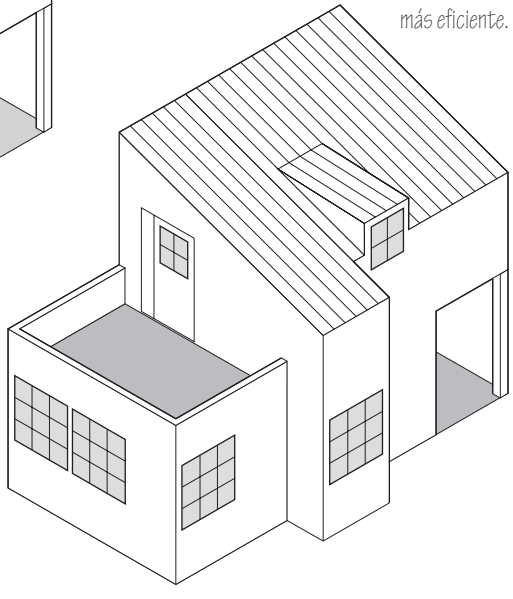
Los estándares de la arquitectura ecológica y la forma del edificio

El distinto enfoque de dos estándares de arquitectura ecológica da lugar a interesantes respuestas, aunque diferentes, en lo que se refiere a la forma de los edificios.

LEED compara el proyecto de un edificio con un edificio de referencia con una forma idéntica que el edificio evaluado, pero sin ningún elemento constructivo específicamente ecológico, como muros bien aislados. Si bien el edificio evaluado obtiene créditos por ser más eficiente que el de referencia, no recibe ninguno por tener una forma más eficiente.

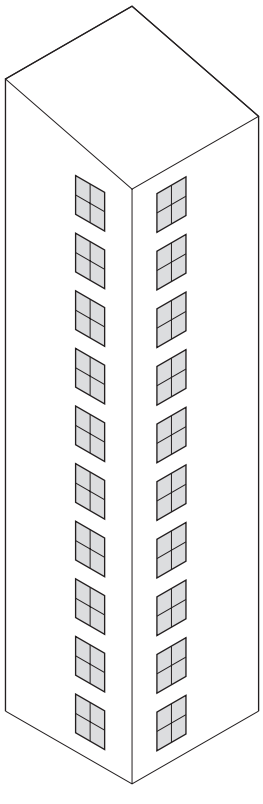
El edificio de referencia tiene la misma forma que el edificio evaluado, pero sin ningún elemento específicamente ecológico.





En el sistema LEED, el edificio evaluado tiene la misma forma que el edificio de referencia, pero incorpora toda una serie de características ecológicas: envolvente bien aislada, ventanas de alto rendimiento o un sistema de calefacción de alta eficiencia.

5.23 Un edificio evaluado por el sistema LEED obtiene puntos por el ahorro energético previsto o modelado respecto al consumo de un edificio de referencia.

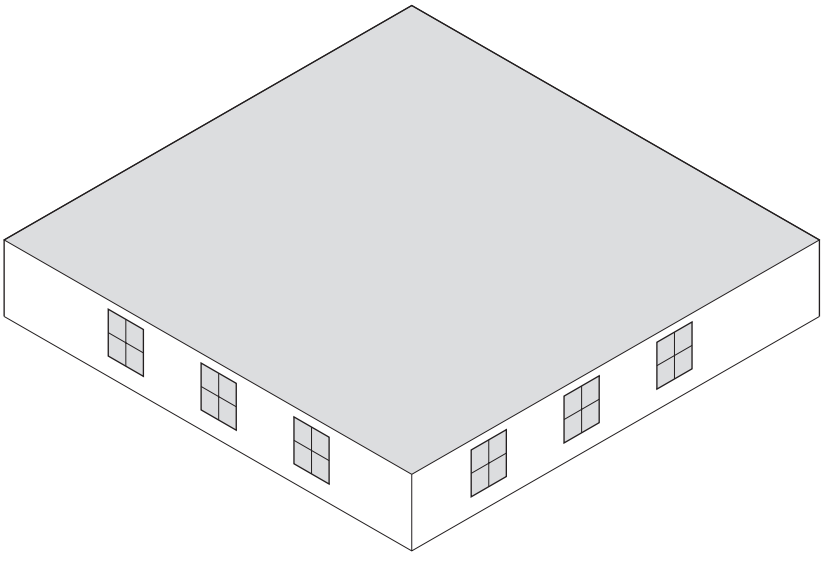


5.24 Un ejemplo extremo: un edificio alto y estrecho de un único espacio podría utilizar menos energía que el edificio de referencia de la misma forma; sin embargo, si no hay necesidad de que sea tan alto, podría utilizar menos energía aún.

Tomemos un ejemplo extremo: un edificio de oficinas de una sola planta y una superficie de 93 m^2 de un único espacio de 30 m de altura. Este edificio bien aislado podría obtener créditos con el sistema LEED de ahorro energético, incluso alcanzar la puntuación máxima de la certificación (platino), con un uso energético por unidad de superficie muy elevado.

A diferencia del sistema LEED, el estándar Passivhaus se centra en el consumo energético por unidad de superficie en planta. Para Passivhaus, el ejemplo anterior no obtendría una buena puntuación, ni su correspondiente certificado, debido al alto consumo energético por unidad de superficie. Sin embargo, al centrarse sobre la superficie, este sistema es vulnerable al problema opuesto.

Tomemos un ejemplo igualmente extremo, pero opuesto: un edificio de una sola planta pero de gran superficie, como podría ser una vivienda unifamiliar de 9.290 m^2. Si esta enorme vivienda tiene unos muros de fachada y una cubierta bien aislados, bajos niveles de filtración de aire y ventanas pequeñas, podría cumplir fácilmente los requisitos de rendimiento energético de Passivhaus. Sin embargo, si en la casa viviese una familia de cuatro miembros, la factura energética podría ser prohibitiva en comparación con la de una vivienda convencional.



5.25 Un ejemplo extremo: un edificio grande y de baja altura, y con un consumo energético por unidad de superficie relativamente bajo, podría consumir incluso menos si el edificio adoptara otra forma.

A partir de los ejemplos anteriores, podemos ver que tanto el sistema LEED como el estándar Passivhaus muestran vulnerabilidades relacionadas con la forma y el tamaño de los edificios. Resulta extraño que un edificio alto y estrecho pueda superar los criterios del sistema LEED y aun así seguir siendo extremadamente ineficiente; y que un edificio grande y bajo pueda cumplir los de Passivhaus sin dejar de ser también extremadamente ineficiente. De hecho, un edificio grande y bajo también podría puntuar bien en el sistema LEED, y también es muy ineficiente, aunque la aplicación de este sistema para viviendas corrige el tamaño, penalizando aquellas que cuenten con grandes superficies, aunque no a las que tienen techos demasiado altos. Otros sistemas de evaluación también presentan problemas similares. Como el LEED, el sistema HERS basa sus criterios de evaluación en la comparación con un edificio de referencia, en tanto que Energy Star© y Passivhaus basan su evaluación en los consumos por unidad de superficie.

La forma del edificio puede influir en el consumo energético incluso más que el aislamiento de los muros, el coeficiente U de las ventanas u otras características térmicas. Es por ello que debería analizarse con detalle la forma del edificio en las primeras fases del proceso de proyecto, pues puede condicionar el consumo energético independientemente del aislamiento de los muros, de la eficiencia del sistema de calefacción o de cualquier otra mejora de rendimiento térmico incorporada en el edificio.

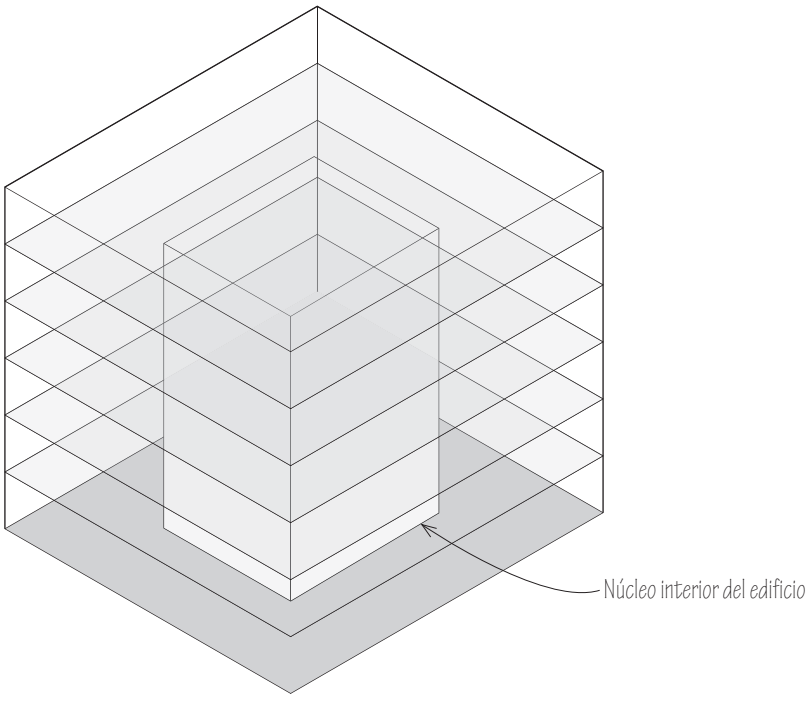
Llegar a una buena respuesta depende de plantear la pregunta adecuada. En lugar de preguntarnos: "¿cómo podemos elegir una forma que satisfaga nuestras necesidades y a la que más tarde podamos incorporar elementos para que sea más ecológica?", deberíamos plantearnos: "¿cómo podemos satisfacer nuestras necesidades con una forma intrínsecamente ecológica?".

Si observamos detenidamente los diversos sistemas de certificación de arquitectura ecológica, podemos encontrar incluso la tendencia opuesta. En un intento por afirmar que "podemos ser ecológicos sin dejar de ser únicos", las formas de los edificios con certificación ecológica a menudo son complejas, o esbeltas y delgadas, con elevados coeficientes de superficies. Mediante componentes de alta eficiencia —como muros con alta resistencia térmica o ventanas con bajo coeficiente U—, estos edificios pueden asegurar que no son ejemplos de un "lavado de cara ecológico" sin una base real; sin embargo, a menudo sus formas son intrínsecamente ineficientes. Esta vía nos conduce a otro riesgo diferente al "lavado de cara ecológico", que podríamos definir como "exageradamente ecológicos", es decir, a unos edificios ostentosamente ecológicos, que se pueden catalogar de ecológicos, e incluso obtener los certificados pertinentes, pero que son ineficientes debido a sus formas excesivamente complejas.

Espacios del núcleo frente a espacios del perímetro

Los edificios de mayores dimensiones, como los grandes edificios de oficinas o los centros comerciales, pueden tener espacios sin contacto con ningún elemento de la envolvente, ya sean las fachadas o la cubierta. Normalmente, estos espacios interiores solo requieren refrigeración permanente, incluso en climas fríos.

Parte de esta refrigeración puede lograrse introduciendo aire frío del exterior, cuando la temperatura del entorno es inferior a la del aire del interior. Algunos sistemas de bomba de calor permiten trasladar el calor de estas zonas interiores hacia las áreas perimetrales, mejorando considerablemente la eficiencia energética cuando se produce simultáneamente una necesidad de refrigeración en el núcleo y de calefacción en la periferia. A partir de estas características específicas de los edificios con núcleos interiores, surgen una serie de interrogantes: ¿existe algún beneficio energético en los edificios que cuenten con amplios espacios interiores que no necesitan calefacción?, ¿existe una relación óptima entre las superficies del núcleo interior y las de la zona perimetral?, ¿existe algún beneficio en términos de costes de construcción?



5.26 Los edificios de mayor tamaño suelen contar con un núcleo interior sin contacto con las fachadas exteriores, el terreno o la cubierta.

Se puede plantear un problema cuando, por ejemplo, el calor del núcleo no se genera al mismo tiempo que el calor que demanda el perímetro. Las áreas perimetrales suelen necesitar calefacción solo en invierno, mientras que las zonas interiores generan dicho calor durante todo el año. Las áreas perimetrales necesitan más calor durante la noche, cuando no hay luz solar ni un uso tan intensivo de los sistemas eléctricos y de iluminación, mientras que las zonas interiores de muchos edificios, como los de oficinas, suelen producir mayor calor durante el día, durante el horario laboral. A pesar de esto, aún se producen ganancias potenciales importantes que permiten utilizar el calor generado en el núcleo para la calefacción de las áreas perimetrales. Para contar con un análisis definitivo de los posibles intercambios térmicos entre el núcleo y el perímetro, sería necesario utilizar un modelo energético.

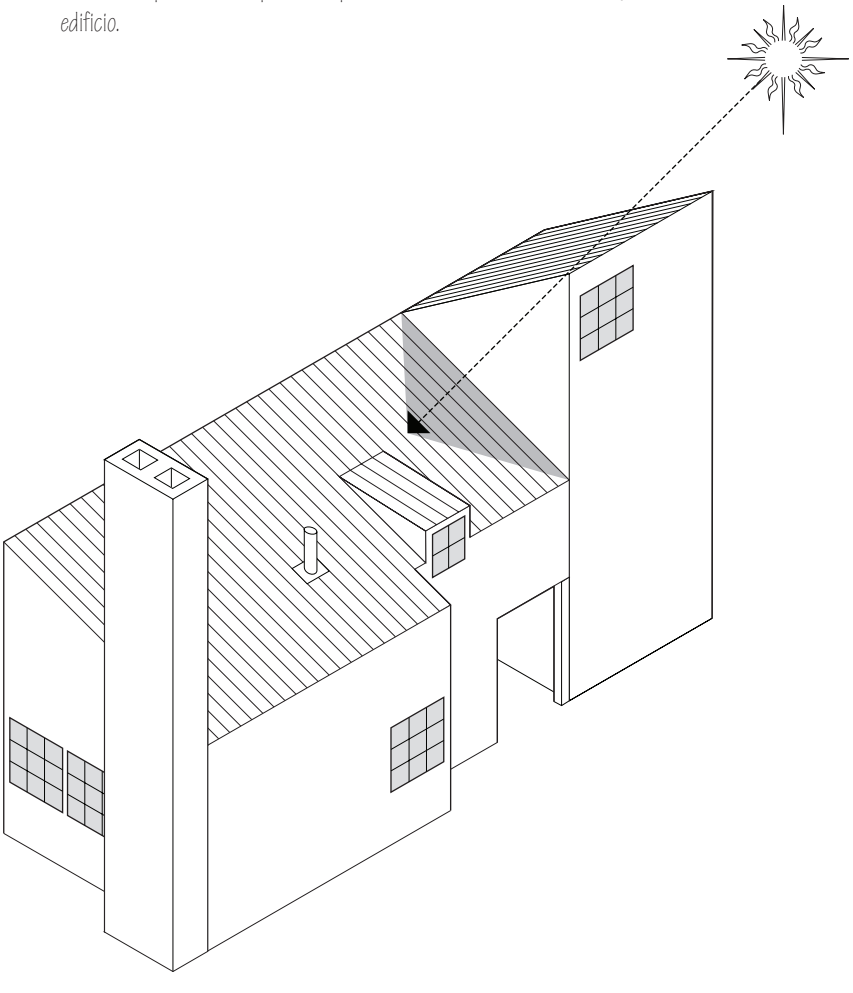
Si aceptamos que un edificio ecológico puede contar con un núcleo interior —es decir, si es aceptable un espacio sin ventanas, sin vistas ni iluminación natural, y con bombas de calor para trasladar el calor a las zonas perimetrales—, podemos concluir que disponer de dicho núcleo puede resultar conveniente en términos de eficiencia. Además, también puede resultar ventajoso en términos de costes de construcción por unidad de superficie, ya que estos espacios interiores no necesitan las costosas soluciones de la envolvente exterior (fachadas o cubiertas) en lo referente a aislamiento, estanquidad, acabados, ventanas y puertas exteriores.

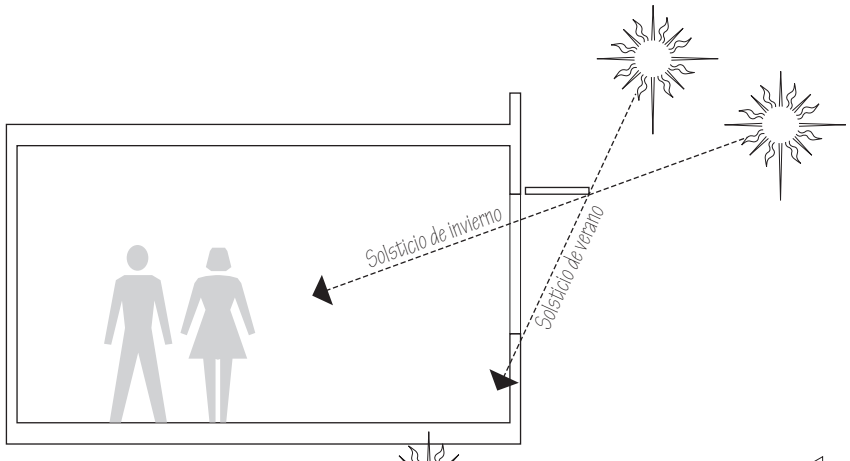
¿Tiene sentido aumentar el tamaño de este núcleo interior? La respuesta probablemente es que no. Si la superficie de este núcleo es mayor que el doble de la superficie de las zonas perimetrales, empiezan a producirse una serie de fenómenos. En primer lugar, el núcleo genera más calor del que pueden utilizar las zonas perimetrales, de modo que se pierde la eficiencia de aprovechar el flujo de calor para caldear y refrigerar simultáneamente las distintas zonas. En segundo lugar, cuando la temperatura exterior es baja, aumenta la distancia entre la fuente "gratuita" de aire frío y los espacios que hay que refrigerar en el interior del núcleo, lo cual requeriría aumentar la potencia de los ventiladores y de los motores de la bomba de calor. Finalmente, el núcleo alcanzaría una dimensión excesiva que provocaría que la mayor parte de los usuarios del edificio perdieran cualquier conexión con el ambiente exterior, ya sea a través de las vistas o de la luz natural, por lo que la calidad ambiental del edificio se vería mermada. En todo caso, si es factible contar con estos grandes núcleos interiores, la cuestión energética debería comprobarse definitivamente mediante simulaciones informáticas. Bajo ciertas condiciones, el aumento del tamaño de estos núcleos puede suponer beneficios significativos tanto en términos energéticos como de costes de construcción.

6

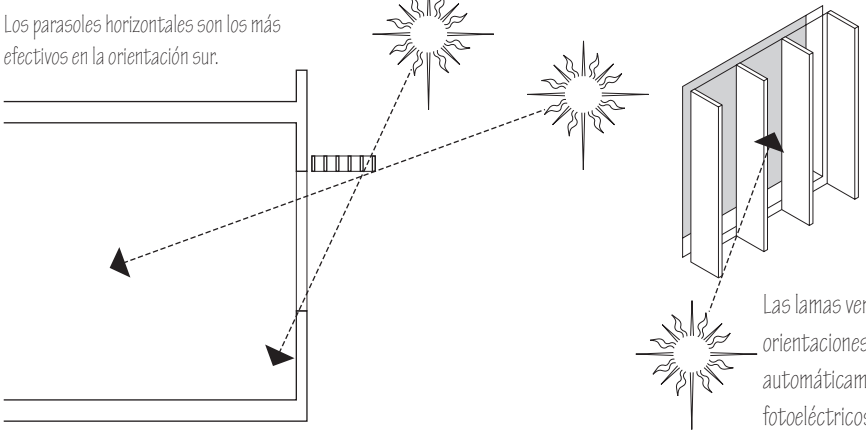
Elementos externos al edificio

Por elementos externos al edificio entendemos otros edificios y dispositivos como parasoles, marquesinas, paneles solares, balcones y contraventanas. Muchos de ellos pueden utilizarse ventajosamente como una capa de protección externa, pero si se utilizan con poco cuidado pueden suponer un aumento del consumo energético del edificio.





Los parasoles horizontales son los más efectivos en la orientación sur.



Las lamas horizontales paralelas al muro permiten la circulación de aire junto al muro y reducen las ganancias de calor por conducción. Pueden accionarse manual o mecánicamente mediante temporizadores o sensores fotoeléctricos para que se adapten al ángulo de incidencia de los rayos del sol.

Las lamas verticales son más eficaces para las orientaciones este u oeste. Pueden accionarse manual o automáticamente mediante temporizadores o sensores fotoeléctricos y orientarlas al ángulo de incidencia de los rayos del sol. La separación respecto al muro reduce las ganancias térmicas por conducción.

6.01 Los parasoles y otros dispositivos permiten proteger las ventanas y superficies acristaladas de la incidencia directa de la luz solar, reduciendo los deslumbramientos y las ganancias de calor en climas cálidos.

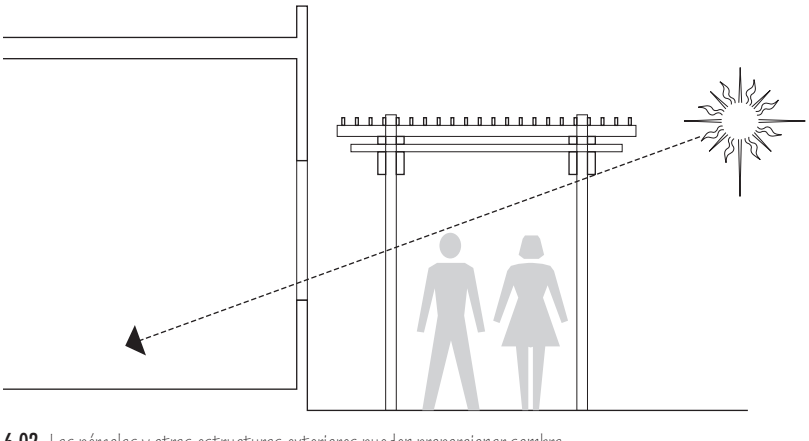
Parasoles y marquesinas

Los parasoles y las marquesinas en las fachadas sur, este y oeste reducen las ganancias solares en verano y, consecuentemente, la necesidad de energía para refrigeración. Aplicados correctamente no obstaculizan el sol de invierno, cuando dichas ganancias resultan útiles. Los parasoles también pueden proteger de que el agua penetre por muros y ventanas, y de los daños de la radiación ultravioleta en ciertos materiales sensibles, como la madera o algunos tipos de sellantes. Las contraventanas exteriores también pueden servir para fines similares. Bloquear los rayos solares antes de que alcancen el edificio supone una enorme ventaja frente al intento de frenarlos con elementos interiores, persianas o cortinas, una vez han atravesado los vidrios y transferido el calor al interior del edificio.

Los parasoles pueden dimensionarse de muchas maneras mediante el uso de cálculos numéricos, modelos a escala y simulaciones informáticas. La siguiente tabla muestra las profundidades de parasol necesarias en función de distintas latitudes, para que den sombra a toda la altura de una ventana de 1,2 m de altura y orientada a sur, al mediodía del 22 de agosto. En los climas más cálidos, que es donde es más necesario, se necesita una profundidad menor.

Latitud (en grados)	Profundidad (cm)
24	28
32	40
40	65
48	90

Las profundidades necesarias para parasoles orientados al este o al oeste son mucho mayores, de 1,8 m en adelante, y fácilmente pueden superar unas dimensiones viables. Una solución alternativa pueden ser las lamas verticales, que ofrecen una protección mucho más eficaz en orientaciones este u oeste. Para conseguir sombra en el exterior de los edificios también puede recurrirse a pérgolas y otras estructuras, e incluso a la vegetación.

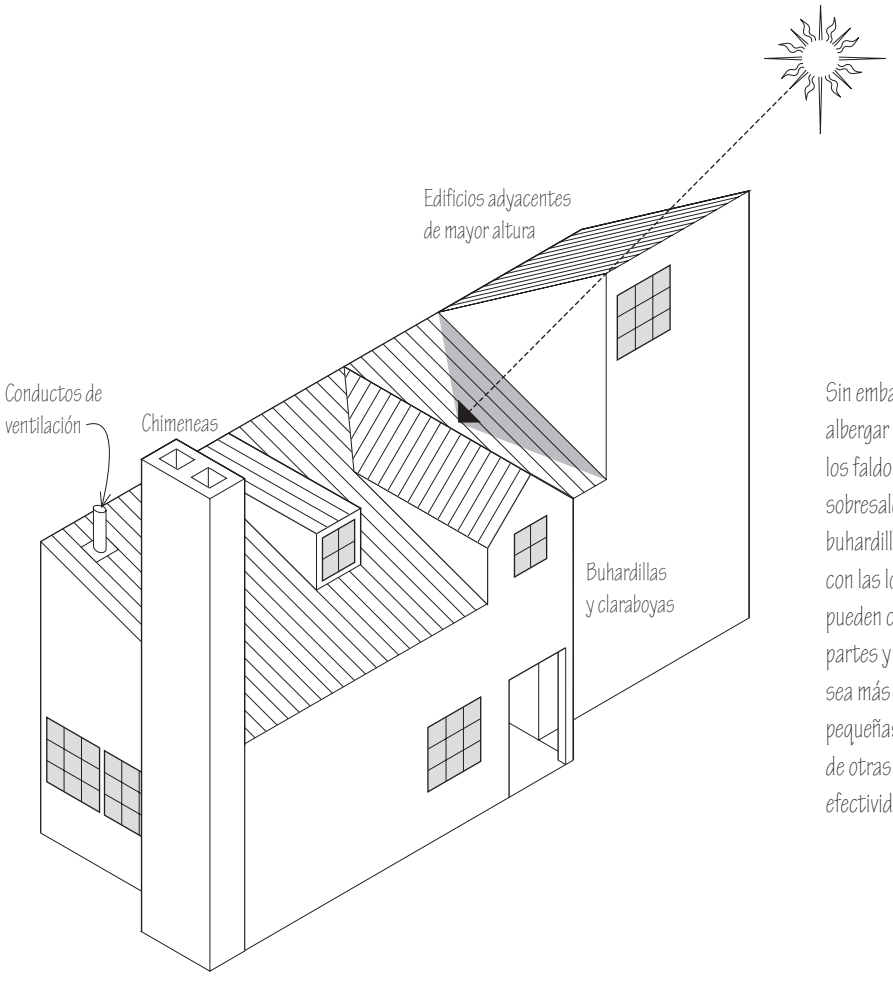


6.02 Las pérgolas y otras estructuras exteriores pueden proporcionar sombra en función de su altura, su orientación y la proximidad al edificio principal, especialmente en el caso de fachadas orientadas a este u oeste, que requieren parasoles de mayor profundidad.

Paneles solares

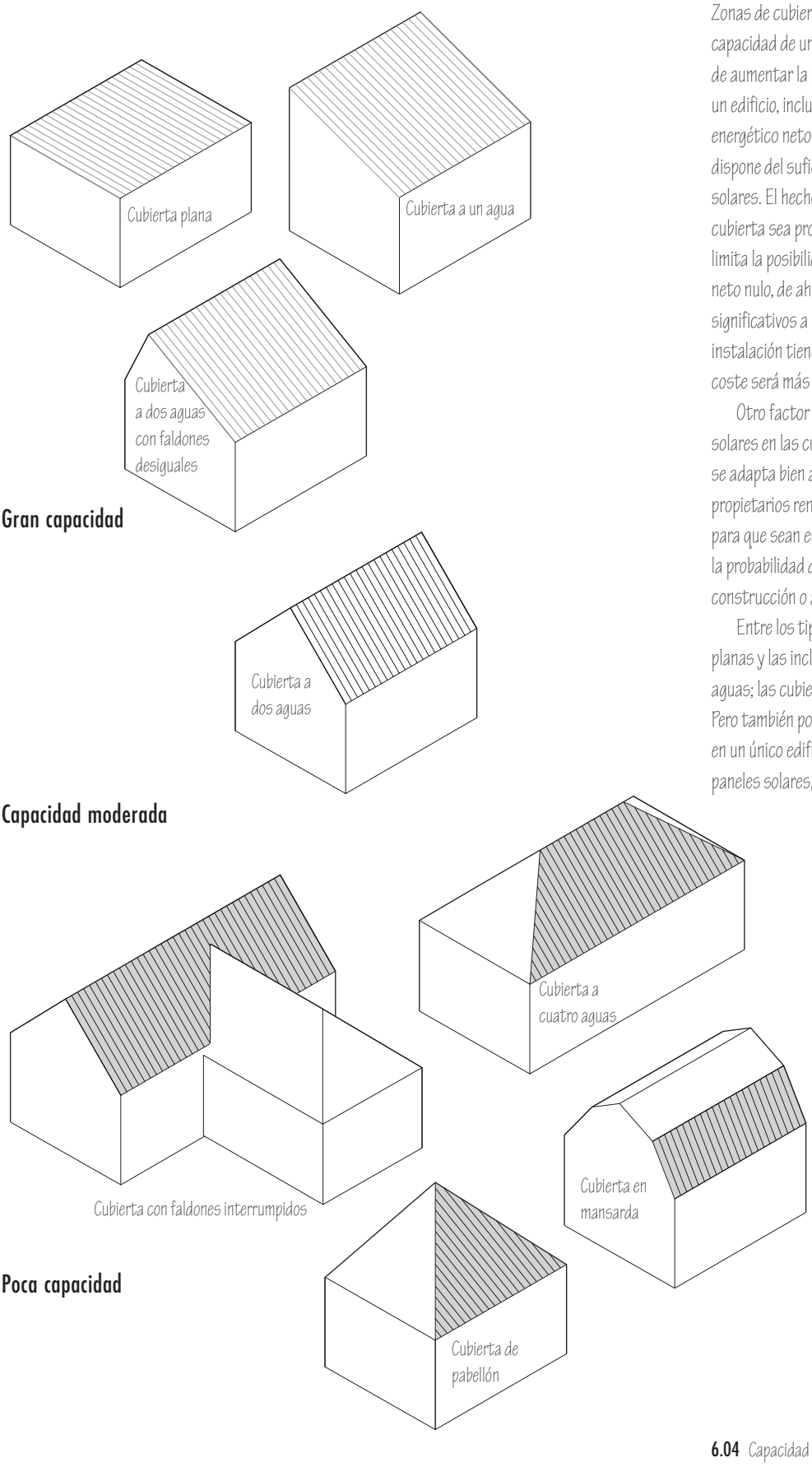
Las instalaciones de paneles solares consisten en un conjunto de colectores térmicos o módulos fotovoltaicos. En el proyecto de afuera adentro, es importante dirigir nuestra atención a la posible ubicación de los paneles solares antes de terminar de definir el proyecto de la cubierta de un edificio.

Las cubiertas son el lugar más lógico para colocar los paneles solares. La propia estructura del edificio hace que sea más económico instalar los paneles solares sobre la cubierta que sobre el terreno, pues requeriría una cimentación específica. La altura a la que está la cubierta reduce el riesgo de sufrir obstrucciones por el propio edificio, por otros edificios o por la vegetación. El acceso restringido a la cubierta también reduce el riesgo de robo, vandalismo u otros daños que puedan sufrir los paneles.



6.03 Obstrucciones que pueden interferir con las ubicaciones más eficaces.

Sin embargo, las cubiertas no siempre están proyectadas para albergar paneles solares. En cubiertas inclinadas, la orientación de los faldones no suele ser la óptima. Además, diversos elementos que sobresalen de la cubierta, como chimeneas, conductos de ventilación, buhardillas, cajas de escalera o antenas parabólicas pueden interferir con las localizaciones más efectivas de los paneles. Estos elementos pueden obstruir grandes superficies de cubierta, rompiéndolas en partes y haciendo que la instalación de paneles solares continuos sea más difícil. Algunas partes de la cubierta pueden ser demasiado pequeñas para alojar incluso un solo panel, y a veces reciben sombra de otras partes más altas del mismo edificio, reduciéndose así la efectividad de las ubicaciones de los paneles solares.

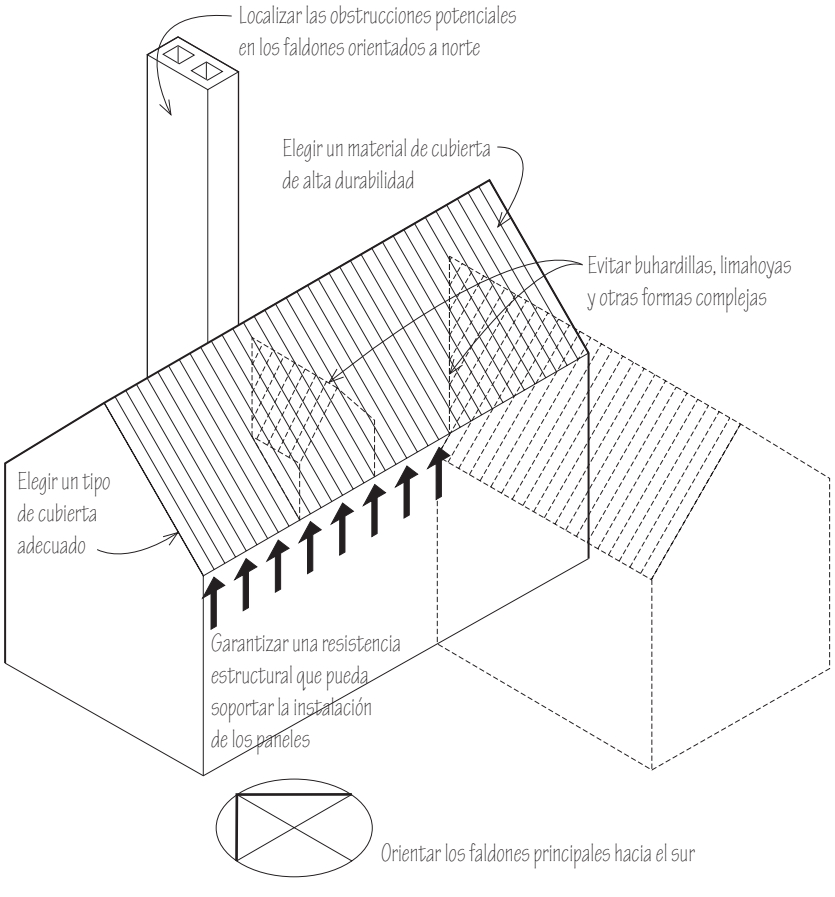


Zonas de cubierta pequeñas y con obstrucciones suelen limitar la capacidad de un sistema de captación de energía solar. El intento de aumentar la porción de energía solar del suministro energético de un edificio, incluso hasta el proyecto de instalaciones de consumo energético neto cero, sufre un serio contratiempo cuando no se dispone del suficiente espacio adecuado para instalar los paneles solares. El hecho de que en los edificios en altura la superficie de la cubierta sea proporcionalmente reducida, es el factor principal que limita la posibilidad de conseguir edificios de consumo energético neto nulo, de ahí que las obstrucciones en la cubierta sean obstáculos significativos a la hora de lograr dicho objetivo. Además, si la instalación tiene que ajustarse a los obstáculos de la cubierta, su coste será más elevado.

Otro factor a tener en cuenta es la apariencia de los paneles solares en las cubiertas; si la configuración de una cubierta no se adapta bien a la instalación de los paneles solares, muchos propietarios renunciarán a instalarlos. Si las cubiertas se proyectan para que sean estéticamente compatibles con los paneles solares, la probabilidad de que terminen instalándose, ya sea durante la construcción o a posteriori, es mayor.

Entre los tipos de cubiertas se distinguen, en primer lugar, las planas y las inclinadas. Las inclinadas pueden ser a una, dos y cuatro aguas; las cubiertas en mansarda o de pabellón no son tan habituales. Pero también podemos encontrar una combinación de varios tipos en un único edificio. En todo caso, cada tipo de cubierta puede alojar paneles solares, aunque con mayor o menor facilidad.

6.04 Capacidad de alojar paneles solares en diversos tipos de cubierta.



6.05 Criterios para facilitar la instalación de paneles solares en cubierta.

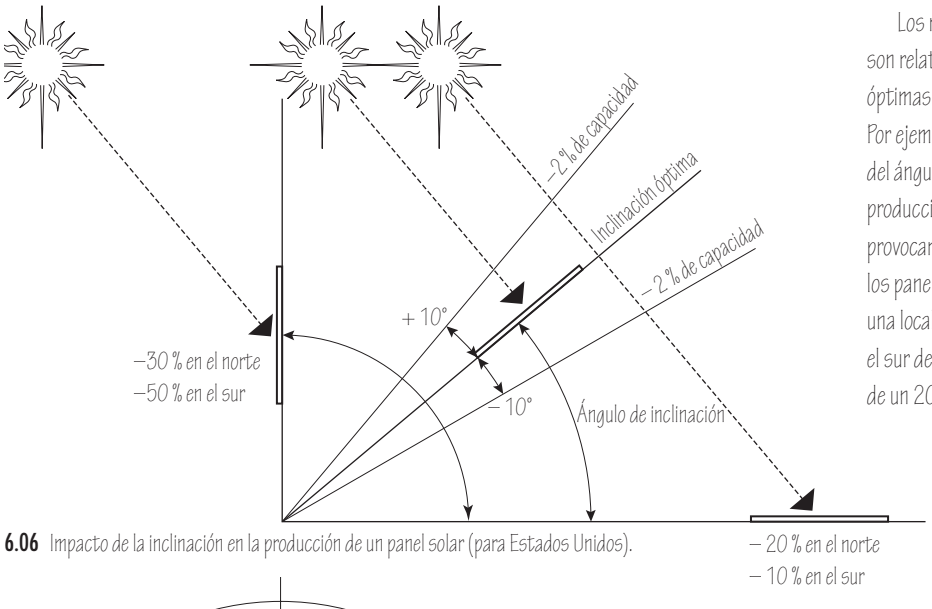
Las cubiertas planas aceptan la instalación de paneles solares sin ningún problema, ya sea durante la construcción o a posteriori, y son flexibles a la hora de orientar los paneles. En el hemisferio norte, las cubiertas a un agua orientadas a sur, o las de dos con uno de los faldones más grandes, también facilitan en gran medida la instalación de paneles solares.

En este sentido, las buenas prácticas para proyectar cubiertas que se adapten a la instalación de paneles solares serían las siguientes:

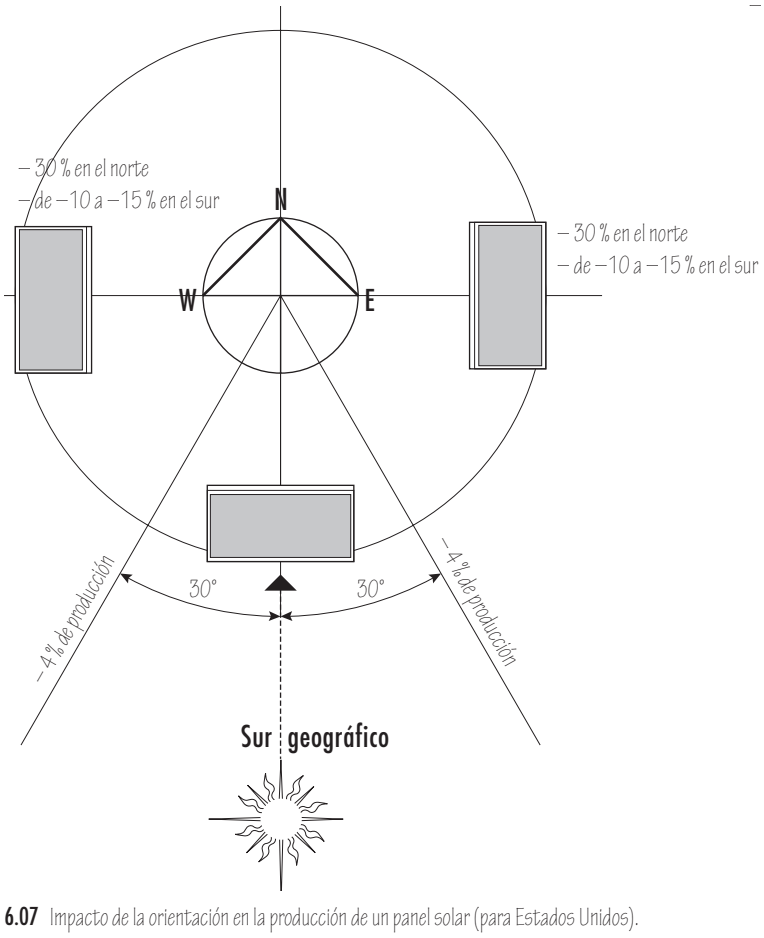
- Elegir un tipo de cubierta adecuado, según el siguiente orden de preferencia:
    - Cubierta plana
    - Cubierta a un agua
    - Cubierta a dos aguas con faldones desiguales
    - Cubierta a dos aguas
    - Cubierta a cuatro aguas
- Orientar el faldón principal de la cubierta hacia el ecuador (sur geográfico en el hemisferio norte).
- Si es posible, situar los elementos salientes (conductos de ventilación y chimeneas) en el faldón norte o en los muros.
- Proporcionar grandes superficies continuas de cubierta para instalar los paneles solares, agrupando los elementos salientes y reduciendo al mínimo el uso de buhardillas y otros elementos.
- Mantener la geometría de la cubierta lo más sencilla y rectangular posible, evitando formas complejas que contengan limahoyas.
- Evitar formas en las que una parte de la cubierta proyecte sombras sobre otra.
- Calcular la estructura para que soporte el sobrepeso de los paneles.
- Elegir un material de acabado de cubierta que sea resistente, para evitar que haya que desinstalar los paneles para realizar trabajos de mantenimiento.

La orientación de un panel solar también afecta a su producción energética. Las simulaciones por ordenador permiten identificar la inclinación y la orientación óptimas de los paneles para una producción anual máxima de energía solar en un lugar determinado. En ocasiones, la inclinación se determina de forma que maximice la producción en verano o en invierno y ajustarse mejor al perfil de consumo del edificio.

Los requisitos de inclinación y orientación de los paneles solares son relativos, pues aunque la inclinación y la orientación no sean óptimas del todo, pueden producir una cantidad de energía razonable. Por ejemplo, variar el ángulo de inclinación 10º por encima o debajo del ángulo óptimo implica pérdidas que no suelen superar el 2 % de la producción fotovoltaica. No obstante, desviaciones superiores pueden provocar reducciones mucho más significativas. Por ejemplo, situar los paneles en vertical reduce su producción anual en un 30 %, para una localización en el norte de Estados Unidos, y de hasta un 50 % en el sur del país. Los paneles colocados en horizontal pierden alrededor de un 20 % de su capacidad en el norte, y un 10 % en el sur.



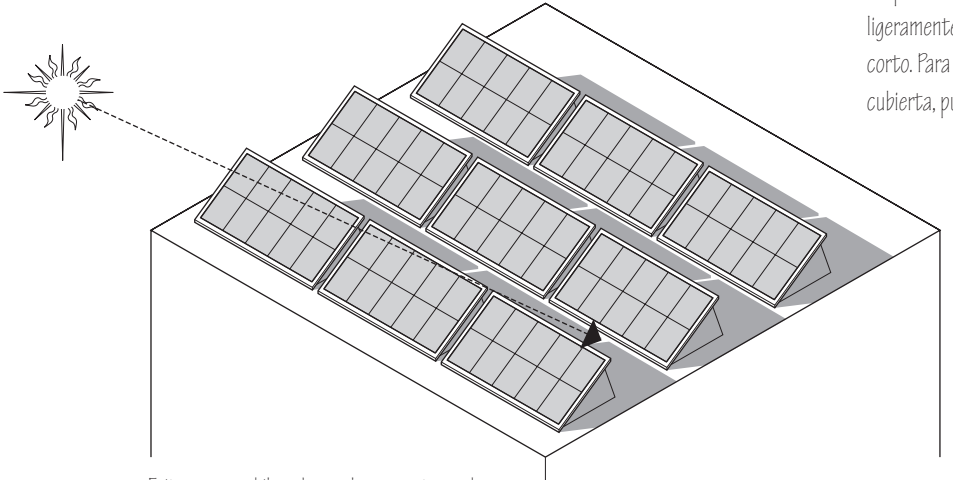
6.06 Impacto de la inclinación en la producción de un panel solar (para Estados Unidos).



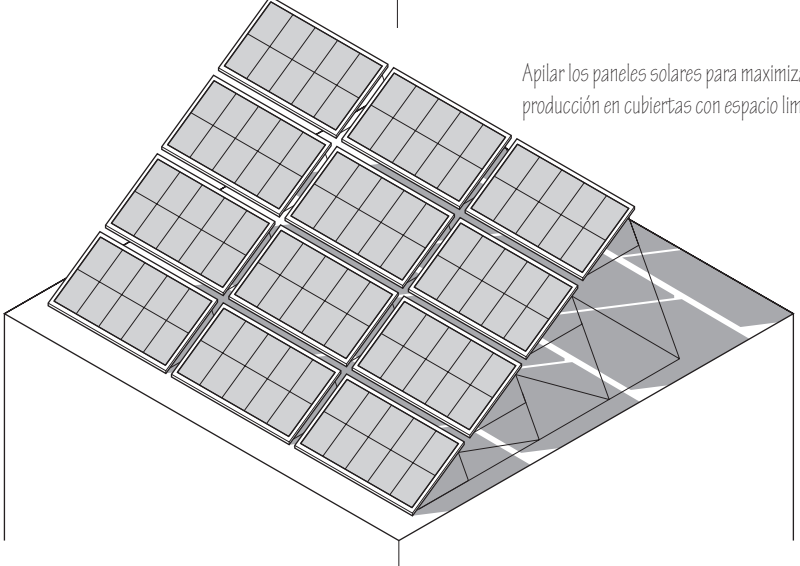
6.07 Impacto de la orientación en la producción de un panel solar (para Estados Unidos).

Al igual que la inclinación, la orientación también es una cuestión relativa dentro de ciertos límites. Siempre en el caso de Estados Unidos, las orientaciones que se desvíen hasta un 30º respecto del sur geográfico en el hemisferio norte suponen una reducción de la producción fotovoltaica de menos del 4 %. Los paneles colocados hacia el este o el oeste reducirán su producción alrededor de un 30 % en el norte de Estados Unidos, y entre un 10 % y un 15 % en el sur. Estas pérdidas pueden ser menores si se reduce la inclinación de los paneles respecto a la inclinación óptima a sur.

En cubiertas planas donde hay espacio más que suficiente para instalar un sistema de paneles solares, su colocación debe organizarse para alcanzar un óptimo de producción con el mínimo de material y de costes de construcción. Las hileras de paneles deben estar separados lo necesario para evitar que arrojen sombras unos sobre otros (normalmente, esto se calcula tomando como referencia la posición del sol a las 3 de la tarde del 21 de diciembre, si el edificio está localizado en el hemisferio norte). En el caso de que, por ejemplo, se quiera conseguir un edificio de consumo energético neto nulo, pero la cubierta dispone de un espacio limitado para instalar los paneles, el mayor número de ellos puede lograrse situándolos en un único plano inclinado apoyado por una estructura propia. Esta solución puede presentar problemas prácticos debido a la altura de la estructura. Si se agrupan los paneles en hileras y se alinea el lado largo de los paneles rectangulares en paralelo a la cubierta, se aumenta ligeramente la capacidad de los paneles que si se alinean por su lado corto. Para que el perfil de los paneles sea bajo y no sobresalgan de la cubierta, pueden incluso colocarse en horizontal.

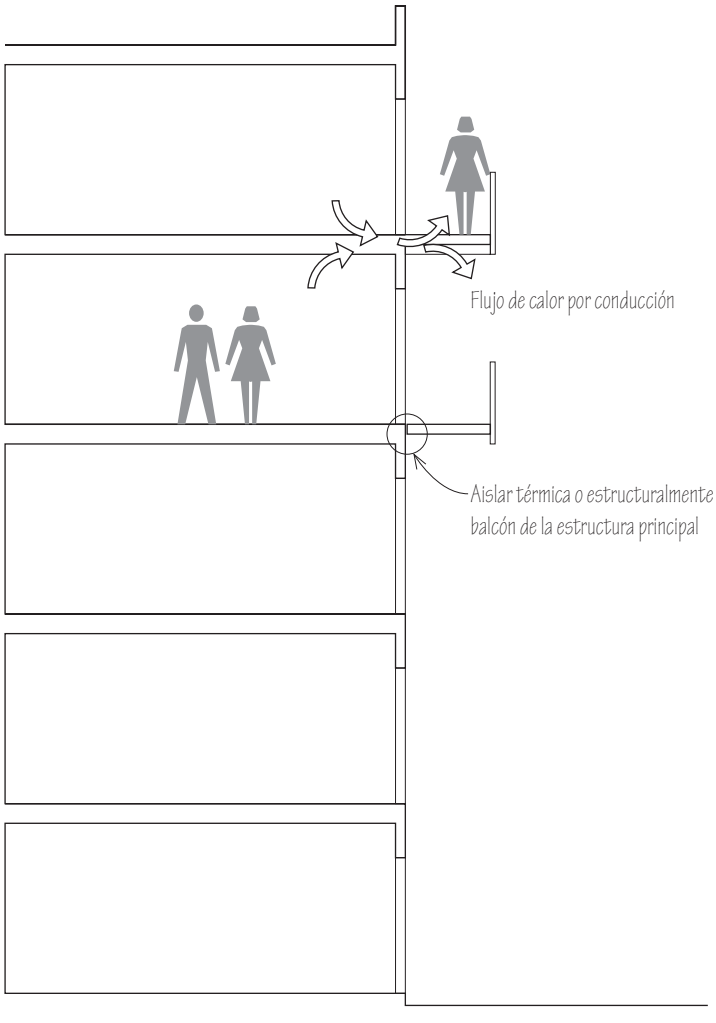


Evitar que una hilera de paneles proyecte sombra sobre la inmediatamente posterior a las 3 de la tarde del 21 de diciembre (en el hemisferio norte)

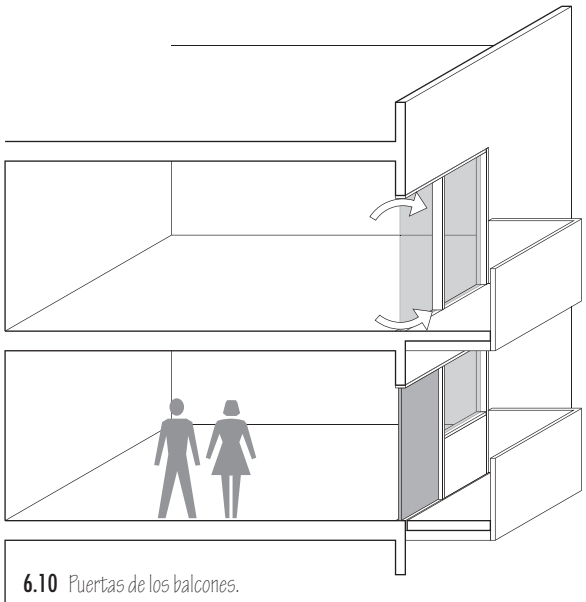


Apilar los paneles solares para maximizar la producción en cubiertas con espacio limitado

6.08 Instalación de paneles solares en cubiertas planas.



6.09 Los balcones pueden disipar el calor del edificio hacia el exterior.



6.10 Puertas de los balcones.

Balcones

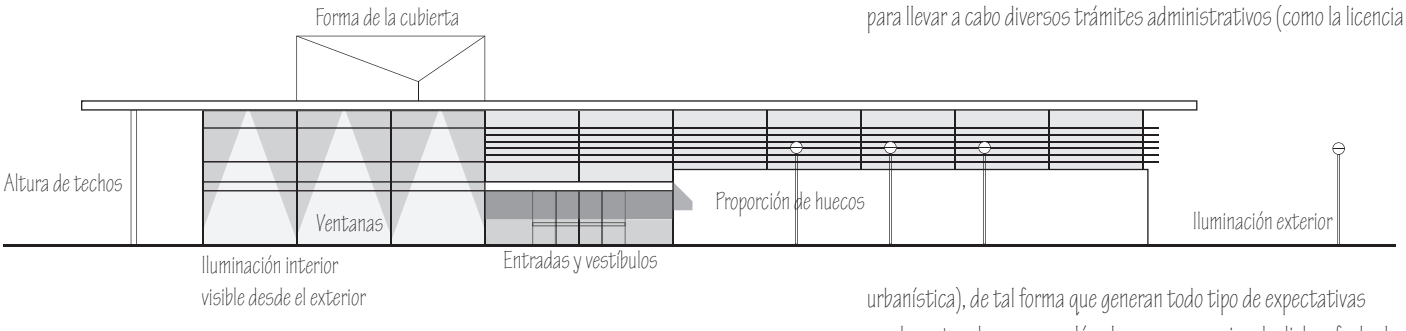
Antes de calcular la estructura del edificio, es necesario analizar el papel de los balcones en términos de transmisión térmica. En este sentido, los balcones son superficies extendidas que incrementan la tasa de transferencia de calor; ejercen un papel similar al que desempeñan las alas de los radiadores en los coches o los intercambiadores de calor en los aparatos de calefacción o de refrigeración. Está demostrado que los balcones pueden ocasionar aumentos considerables del consumo energético, pues disipan el calor del edificio en invierno, ya que aumentan la superficie por la que el edificio pierde el calor.

Para solucionar este problema, pueden plantearse dos soluciones que permiten aislar térmicamente las estructuras de los balcones del resto del edificio y evitar pérdidas de calor a través de los forjados y las paredes de los balcones. Un balcón puede aislarse térmicamente utilizando separadores con baja conductividad térmica entre la estructura principal del edificio y la del balcón, o bien apoyándolos sobre una estructura específica independiente de la principal.

Los balcones también suelen contar con grandes puertas de vidrio que, en sí mismas, son otro punto vulnerable de los edificios. Las grandes puertas correderas de vidrio, generalmente con carpintería metálica, no solo filtran aire en su perímetro, sino que, además, tienen bajos valores de resistividad térmica y altos valores de transmitancia que pueden provocar grandes ganancias o pérdidas indeseadas de calor a través del propio vidrio. Siempre que sea posible, para acceder a estos balcones sería más recomendable el uso de puertas más pequeñas y mejor aisladas.

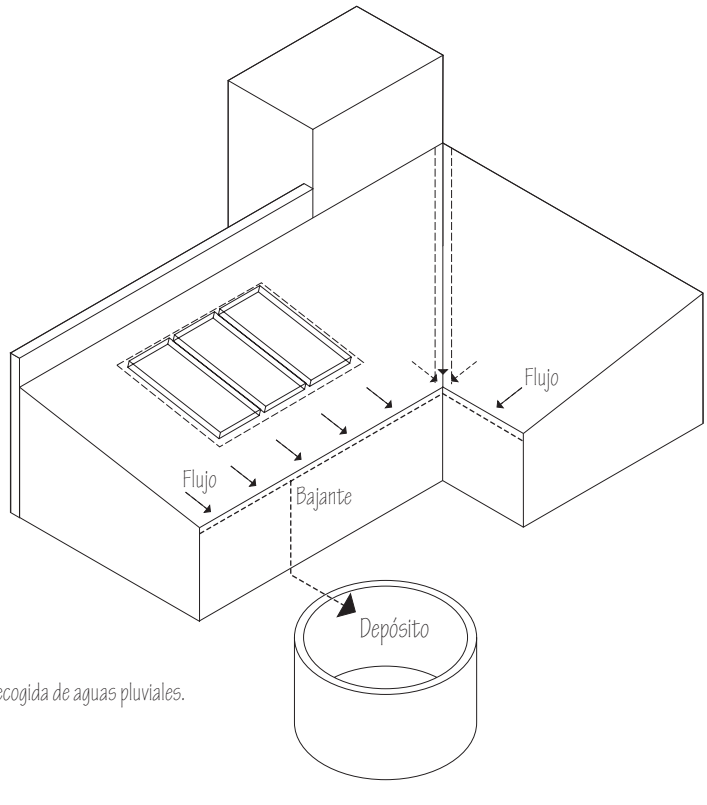
La fachada del edificio

En nuestro recorrido de afuera adentro, la fachada desempeña un papel primordial en el proyecto de edificios ecológicos. Las ventanas y su proporción respecto al muro, las puertas, los elementos decorativos, la altura de los techos, la forma de las cubiertas, la entrada y el vestíbulo, la iluminación exterior o la iluminación interior visible desde fuera, todos ellos son elementos que contribuyen al aspecto que el edificio presenta en su entorno. Muchos de estos elementos también contribuyen significativamente al consumo energético del edificio. El papel de la fachada en la definición de la apariencia de un edificio guarda una relación directa con su conceptualización temprana en el proceso de proyecto. Normalmente la fachada es uno de los primeros elementos que se diseñan, y constituye un elemento clave en la conceptualización del edificio. Las primeras imágenes del proyecto suelen incorporar las fachadas, y no solo sirven para conseguir la aprobación del cliente, sino también para llevar a cabo diversos trámites administrativos (como la licencia urbanística), de tal forma que generan todo tipo de expectativas mucho antes de que se evalúen las consecuencias de dichas fachadas en términos energéticos. Esta situación da lugar a que, en muchos casos, no sea factible realizar a posteriori todas las adaptaciones recomendables desde el punto de vista de la optimización energética.



6.11 Elementos de la fachada de un edificio que puede aumentar o reducir la eficiencia energética.

En el caso de los edificios ecológicos, el proceso integrado de proyecto debería evitar que se asuman compromisos precipitados respecto a la fachada y a la apariencia final del edificio hasta que se haya evaluado su comportamiento energético. Esto permite que el proceso administrativo se adelante con un proyecto ecológico desde el inicio. Una evaluación temprana del comportamiento energético de los componentes de la fachada es un ejemplo claro del enfoque de afuera adentro, y probablemente es uno de los impactos más significativos para hacer que un edificio sea realmente ecológico.



6.12 Recogida de aguas pluviales.

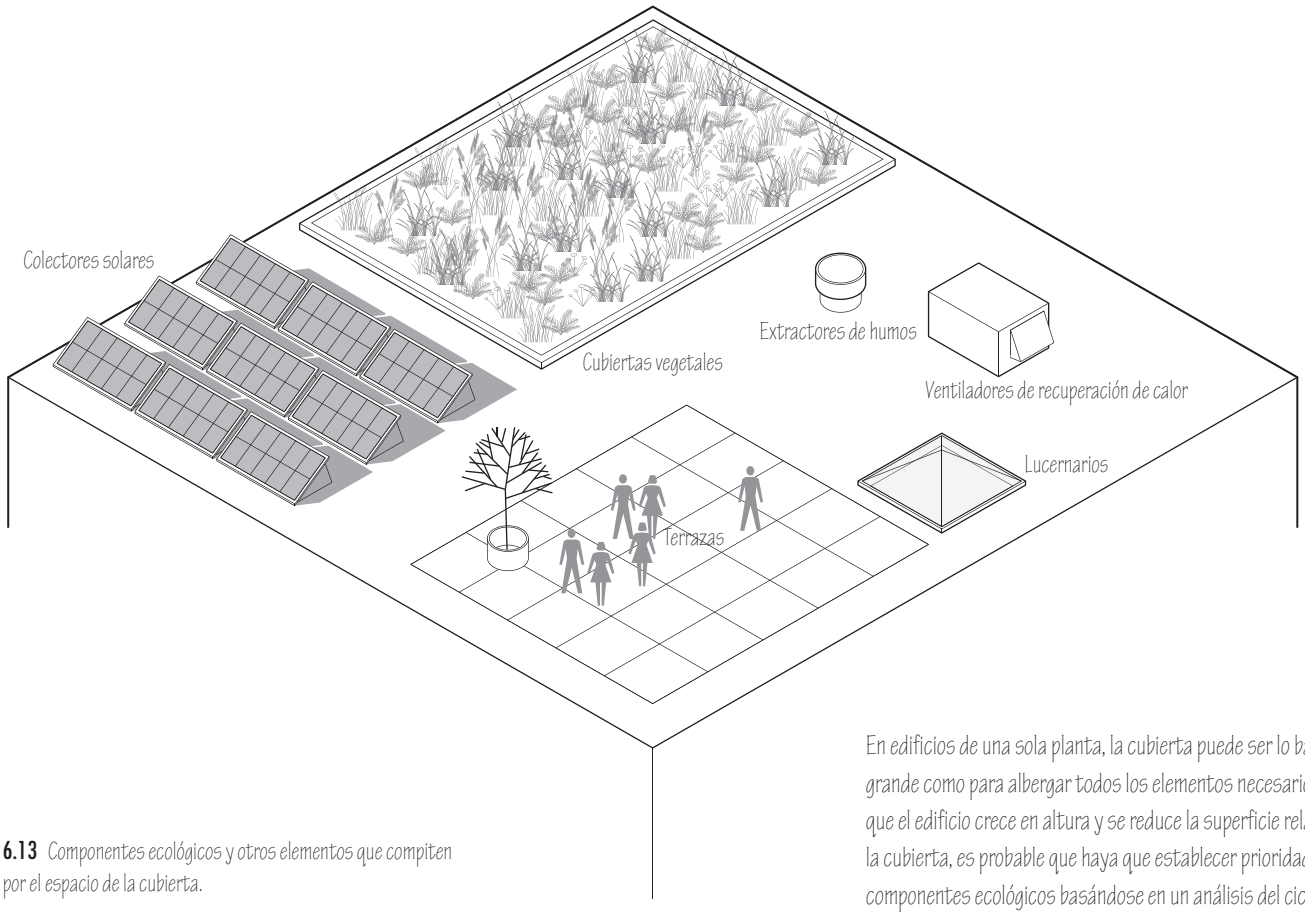
Recolección de aguas pluviales

La recolección de aguas pluviales debe incorporarse al proceso de proyecto durante la fase de definición de los elementos exteriores al edificio. Por ejemplo, el sistema de drenaje debe estar pensado para recoger el agua de lluvia en un único punto y, si es posible, garantizar al máximo su almacenamiento para poder ser utilizada en el futuro, en lugar de simplemente alejarla del edificio para que acabe en el sistema de alcantarillado. Si situamos el depósito fuera del edificio, es preciso evaluar cuidadosamente su ubicación (este tema se tratará con más detalle en el capítulo 12: Agua caliente y fría).

Uso de la cubierta

Los edificios ecológicos tienen muchos componentes que requieren espacio en la cubierta, que ya está ocupada con equipos de climatización, extractores de humos u otros usos típicos de las cubiertas, como las terrazas o los áticos:

- Paneles fotovoltaicos.
- Colectores solares y, en ocasiones, elementos de almacenaje.
- Lucernarios.
- Vegetación para cubiertas verdes.
- Ventiladores de recuperación de calor.



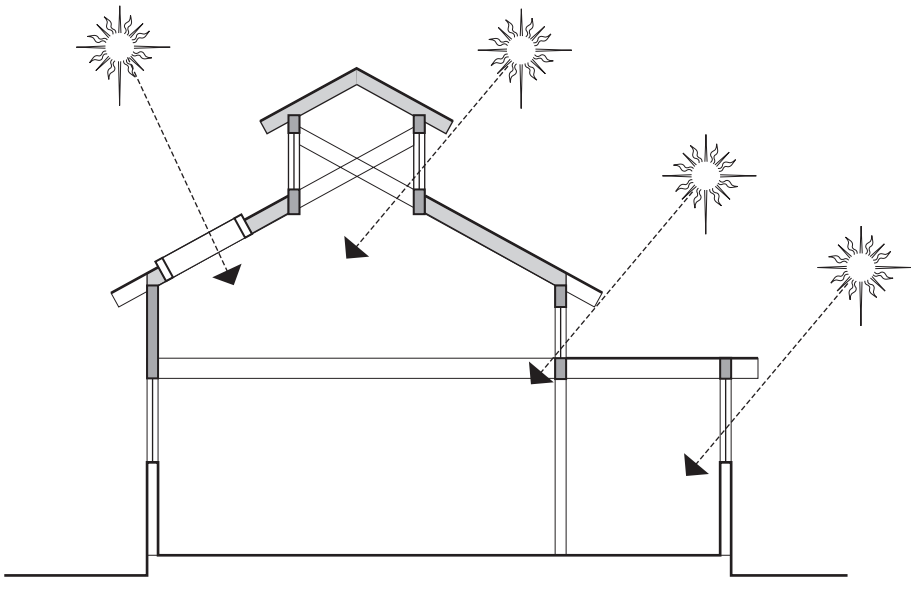
6.13 Componentes ecológicos y otros elementos que compiten por el espacio de la cubierta.

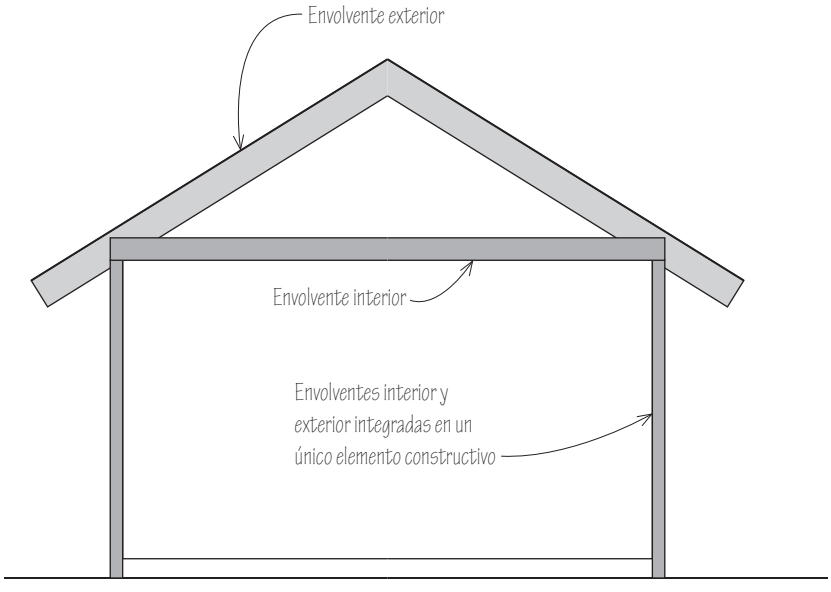
En edificios de una sola planta, la cubierta puede ser lo bastante grande como para albergar todos los elementos necesarios. A medida que el edificio crece en altura y se reduce la superficie relativa de la cubierta, es probable que haya que establecer prioridades en los componentes ecológicos basándose en un análisis del ciclo de vida o en el potencial para reducir el consumo energético o las emisiones de carbono. Por ejemplo, en un edificio con un espacio limitado en cubierta y para el que se pretende un consumo energético neto nulo, debería darse prioridad a la energía solar, porque es la que más contribuye al ahorro energético, por encima de los lucernarios o las superficies vegetales, que permiten un ahorro menor.

Si otros elementos, como áticos, terrazas o aparatos de climatización, compiten en la cubierta con los componentes necesarios para alcanzar los objetivos ecológicos del edificio, puede plantearse desplazarlos a otros lugares alternativos.

7
Envolvente exterior

El término 'envolvente' se refiere al cascarón exterior del edificio, y a elementos constructivos como muros, ventanas, puertas, cubiertas y cimentaciones. También puede utilizarse el término 'cerramiento'.



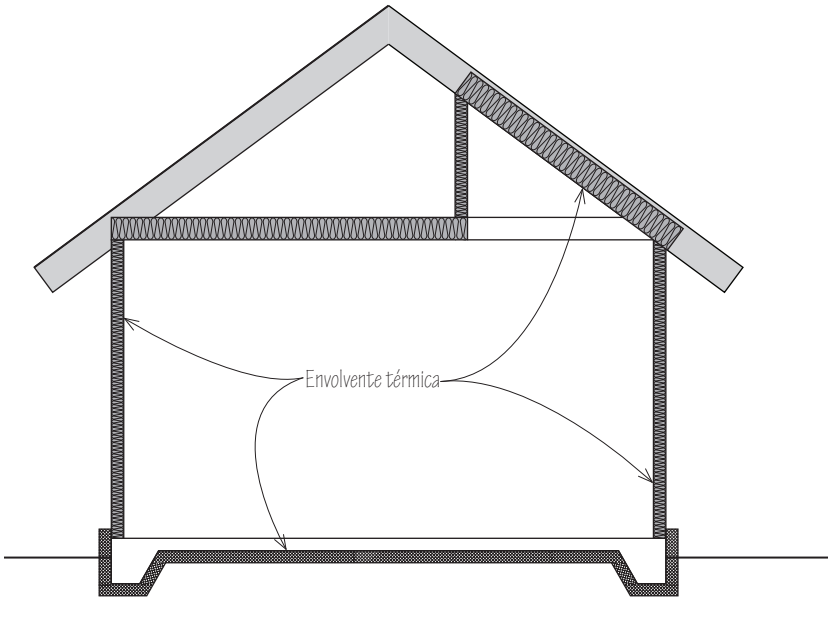


7.01 Envolventes interior y exterior.

Envolvente interior y exterior

Distinguimos entre una envolvente exterior y otra interior porque es frecuente que los edificios dispongan de ambas. Por ejemplo, en un edificio con desván bajo una cubierta inclinada, esta ejerce de envolvente exterior, mientras que el forjado del desván forma parte de la interior. La envolvente exterior se refiere a los elementos que están en contacto directo con el terreno o con el exterior, mientras que la interior, a aquellos en contacto con los espacios acondicionados del interior del edificio. A menudo, como en el caso de la mayor parte de los muros, la envolvente interior y la exterior están integradas en un único elemento constructivo.

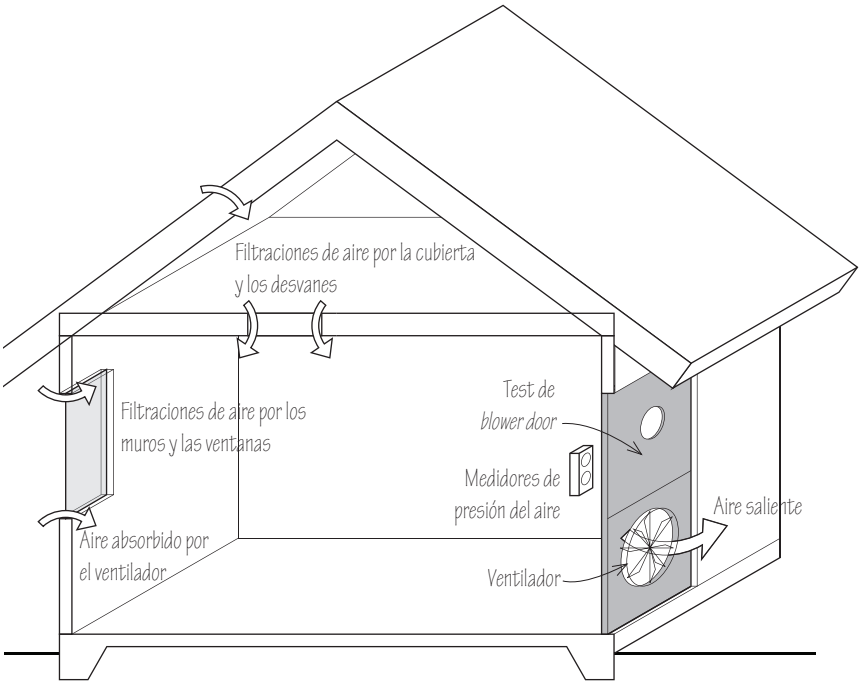
A menudo la envolvente exterior es la capa de protección más importante del edificio. Al proyectar de afuera adentro, intentamos siempre añadir capas que protejan la envolvente exterior de los factores externos, como el viento o las temperaturas extremas. Además, hay que reconocer su gran importancia en la construcción de un edificio y buscar la mejor manera de reforzarla, a la vez que asegurarse de que el refugio y la protección que proporciona frente a las pérdidas energéticas perduren a lo largo de la vida útil del edificio.



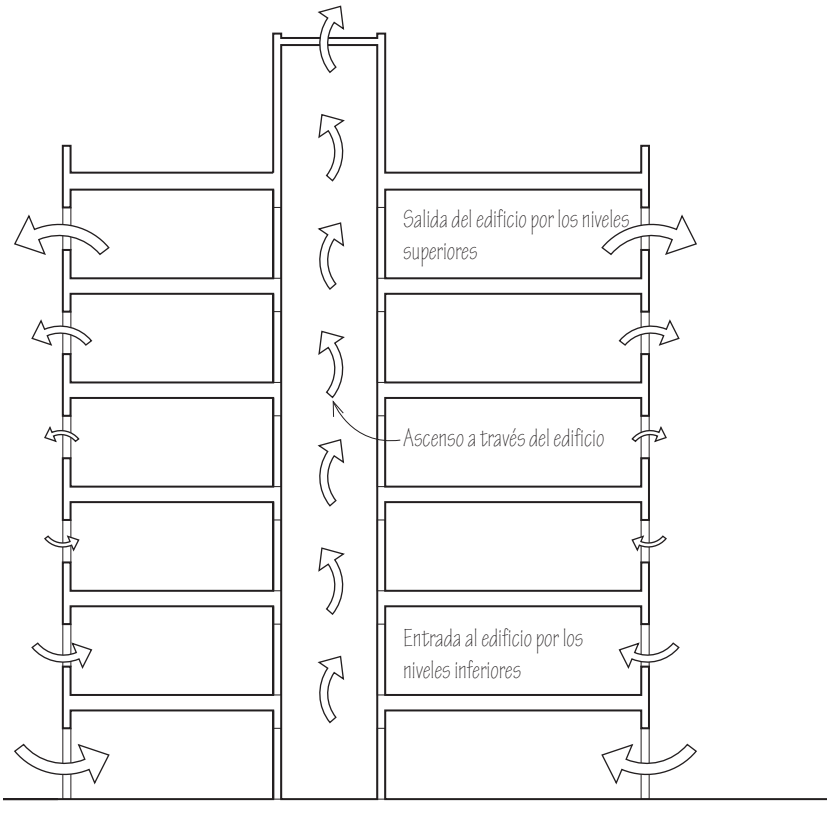
7.02 Envolvente térmica de un edificio.

Paralelamente a los conceptos de envolvente exterior e interior, debemos manejar el de envolvente térmica, que consiste en el conjunto de superficies alrededor de un edificio donde se coloca el aislamiento térmico. Este puede estar en la envolvente exterior (como una cubierta con aislamiento en el mismo plano de cubierta), en la interior (un aislamiento colocado en el forjado de un desván) o en alguna posición intermedia entre ambas.

La presencia de una envolvente interior y otra exterior puede dar lugar a cierta confusión, especialmente cuando la envolvente térmica no está adecuadamente definida. Exploraremos varios casos que provocan la indefinición de la envolvente térmica, incluso su desaparición. Siempre que se defina clara y rotundamente la envolvente térmica, pueden proyectarse la envolvente interior y la exterior de modo que colaboren en el establecimiento de múltiples capas de protección para resistir con eficacia las solicitaciones exteriores.



7.03 Test de estanquidad *blower door*.



7.04 Flujo de aire debido al efecto chimenea en invierno.

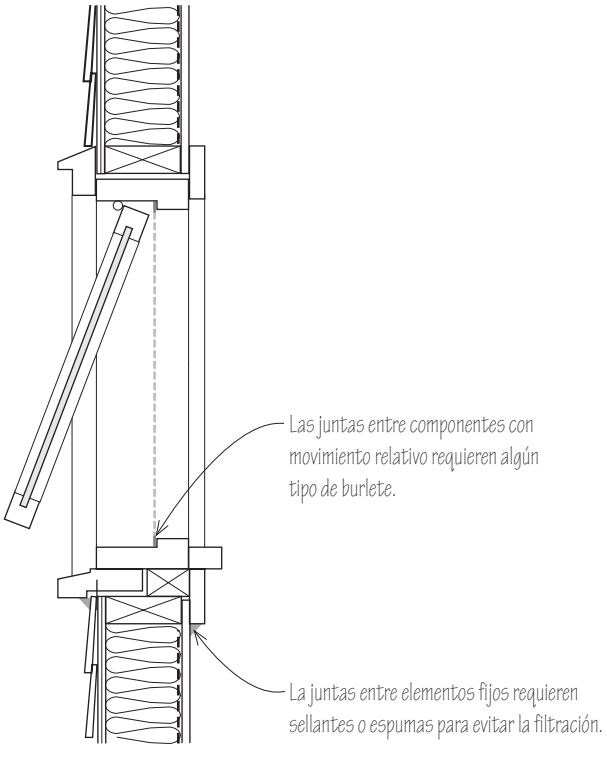
Filtración de aire

El impacto de la filtración de aire en el consumo energético de un edificio es bastante significativo. 'Filtración' es el término que habitualmente se emplea para describir el intercambio de aire entre un edificio y su entorno. En los últimos años se han estudiado los mecanismos que provocan la filtración, así como su efecto en el consumo de energía. La utilización del test de estanquidad *blower door*, que presuriza y despresuriza un edificio, ha permitido cuantificar la filtración y entender dónde se produce. El test de *blower door* se aplica principalmente a casas unifamiliares, pero también se ha utilizado ocasionalmente en edificios de mayor tamaño, y las conclusiones que se extraen de este test pueden aplicarse a edificios de todo tipo.

La información que proporciona el test de *blower door* se percibe inmediatamente durante el proceso de evaluación. En un edificio despresurizado en el que se realiza este test puede sentirse cómo el aire entra por los distintos elementos del edificio: marcos de puertas y ventanas, apliques eléctricos, rejillas de ventilación y lámparas, uniones de los paneles de pared, conductos de ventilación y entradas de conductos y cableado.

En los últimos años se ha avanzado mucho en entender el efecto chimenea, un fenómeno importante que facilita la filtración introduciendo aire por las plantas inferiores del edificio y forzando su salida por las superiores. El efecto chimenea también puede producirse en sentido inverso, hacia abajo, en un edificio que disponga de aire acondicionado. Aunque este efecto es más pronunciado en edificios altos, puede darse en edificios de dos plantas, e incluso en edificios de una sola planta con sótano, como puede observarse si se abre ligeramente una ventana del sótano o de la planta baja, notándose la inmediata entrada de aire frío.

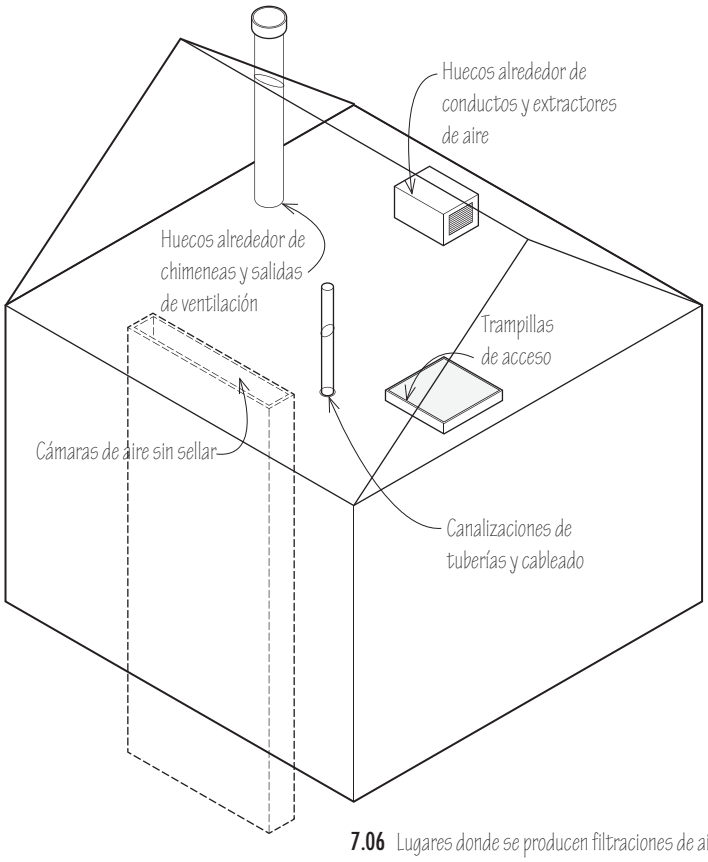
El efecto chimenea no es el único inductor de filtraciones; también está la presión del viento. Es más, aún sin viento ni efecto chimenea, en un edificio pueden producirse filtraciones a través de sus múltiples fracturas y aberturas, inducida por diversos cambios de presión dentro del propio edificio, como los que producen los extractores de humos, las tomas de aire de los sistemas de ventilación, los conductos de calefacción o refrigeración, o incluso la abertura de puertas o ventanas.



7.05 Tipos de juntas que requieren sellado contra la filtración de aire.

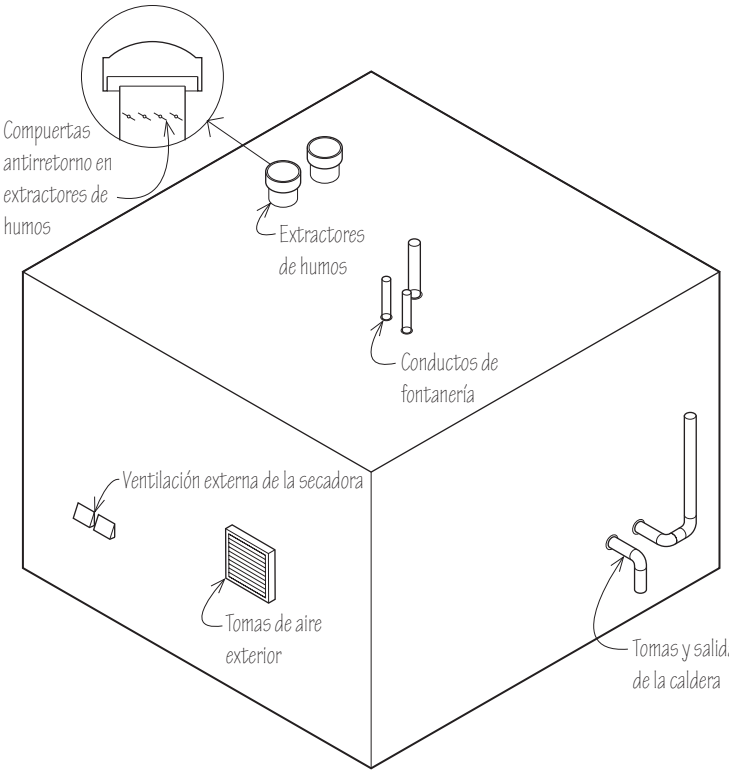
Incluso en edificios aparentemente bien proyectados y construidos, la filtración de aire se produce por muchos puntos . Los elementos más proclives son las ventanas y las puertas, donde se observan dos tipos de filtraciones: primero, el flujo de aire atraviesa los componentes móviles, como las juntas de puertas batientes y ventanas correderas (los bastidores móviles de los marcos es un paso natural para la filtración); y, segundo, la filtración a través de los huecos que hay entre el marco de la puerta o ventana y el muro, que suelen ocultarse con molduras; es decir, entre elementos fijos.

Los métodos para contrarrestar la filtración de aire son distintos para cada forma de filtración. Por un lado, para evitar la filtración a través de componentes móviles se precisa usar sellantes que permitan dicho movimiento, y que reciben el nombre genérico de burletes. Pueden encontrarse burletes de múltiples formas: perfiles metálicos flexibles, tiras en V y una gran variedad de tiras de espuma que se comprimen al cerrarse la puerta o ventana. Por otro lado, la filtración de aire entre superficies fijas, como entre el marco de una ventana y el muro, puede evitarse con sellantes y espumas que no requieran permitir el movimiento de los elementos constructivos.



7.06 Lugares donde se producen filtraciones de aire en los forjados de los desvanes.

Otras fuentes habituales de filtración de aire son los forjados de los desvanes, especialmente las trampillas de acceso, las cámaras de aire sin sellar, los huecos o fisuras alrededor de apliques de luz, chimeneas, conductos de ventilación y extractores, así como canalizaciones de tuberías y cableado, o los sistemas de aspersores contra incendios si los hay.



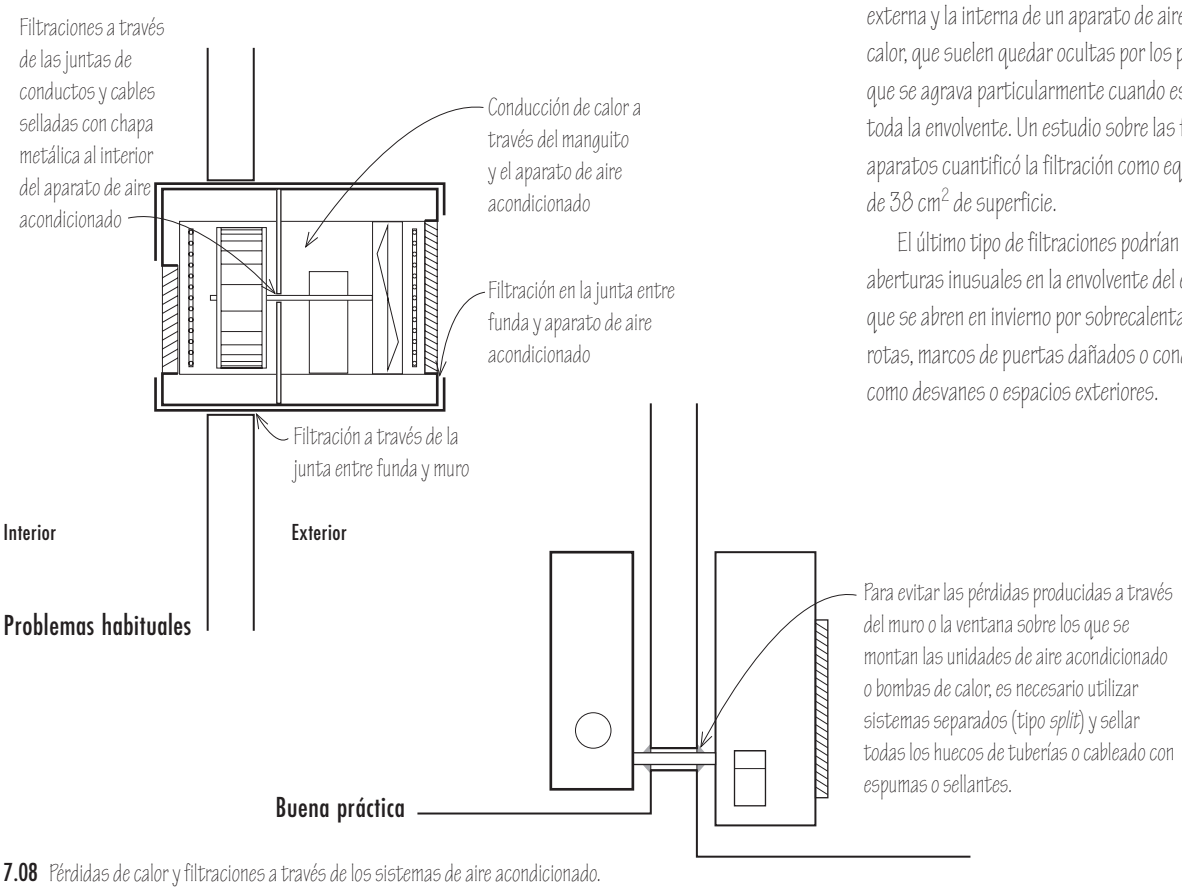
7.07 Aberturas funcionales en la envolvente del edificio.

Los huecos funcionales de la envolvente de un edificio —es decir, aquellos puntos por donde se pretende que circule aire o determinados gases—, son otra clase de fuentes de filtración. Entre ellos, las chimeneas de hogares y cocinas, así como las salidas de gases de otros aparatos de combustión, conductos de ventilación de secadoras, extractores de humos y tomas de aire para ventilar el interior. Cuando no están en funcionamiento, todos estos huecos se convierten en puntos de filtración, de modo que es preciso controlarlos.

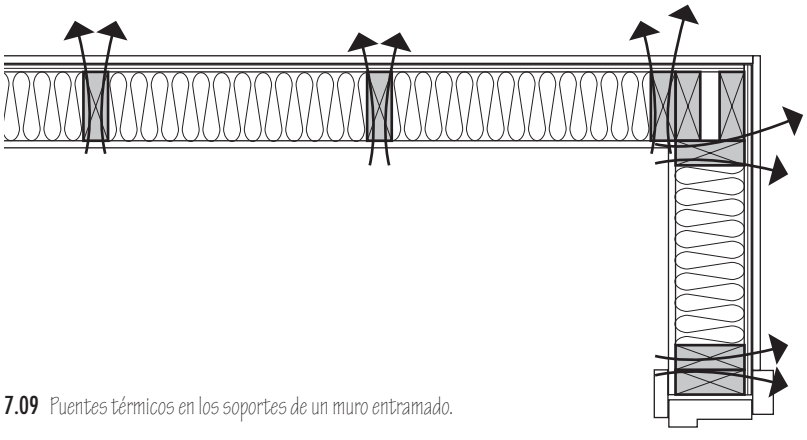
Algunos de estos huecos disponen de compuertas para reducir la filtración, aunque su sellado suele ser inadecuado. Por lo general, estas compuertas antirretorno evitan el flujo en un único sentido pero lo permiten en el sentido opuesto, según la función del conducto, lo cual facilita el efecto chimenea, de modo que pueden abrirse y dejar salir el aire del edificio, incluso en situaciones en las que deberían estar cerradas.

Una forma más sutil y común de filtración se produce alrededor de los muros y a través de ellos. El aire puede entrar por fisuras del revestimiento exterior de muros y cubiertas, circular por uniones mal selladas y aislamientos porosos, y salir por apliques eléctricos o fisuras del revestimiento interior. El aire también puede filtrarse por entre las láminas que separan los muros de los forjados y las cimentaciones, y a través de las perforaciones que unen la unidad externa y la interna de un aparato de aire acondicionado o bomba de calor, que suelen quedar ocultas por los propios aparatos, filtración que se agrava particularmente cuando estos aparatos atraviesan toda la envolvente. Un estudio sobre las filtraciones en este tipo de aparatos cuantificó la filtración como equivalente a un único orificio de 38 cm^2 de superficie.

El último tipo de filtraciones podrían denominarse catastróficas: aberturas inusuales en la envolvente del edificio, como las ventanas que se abren en invierno por sobrecalentamiento del edificio, ventanas rotas, marcos de puertas dañados o conductos dañados en lugares como desvanes o espacios exteriores.



7.08 Pérdidas de calor y filtraciones a través de los sistemas de aire acondicionado.



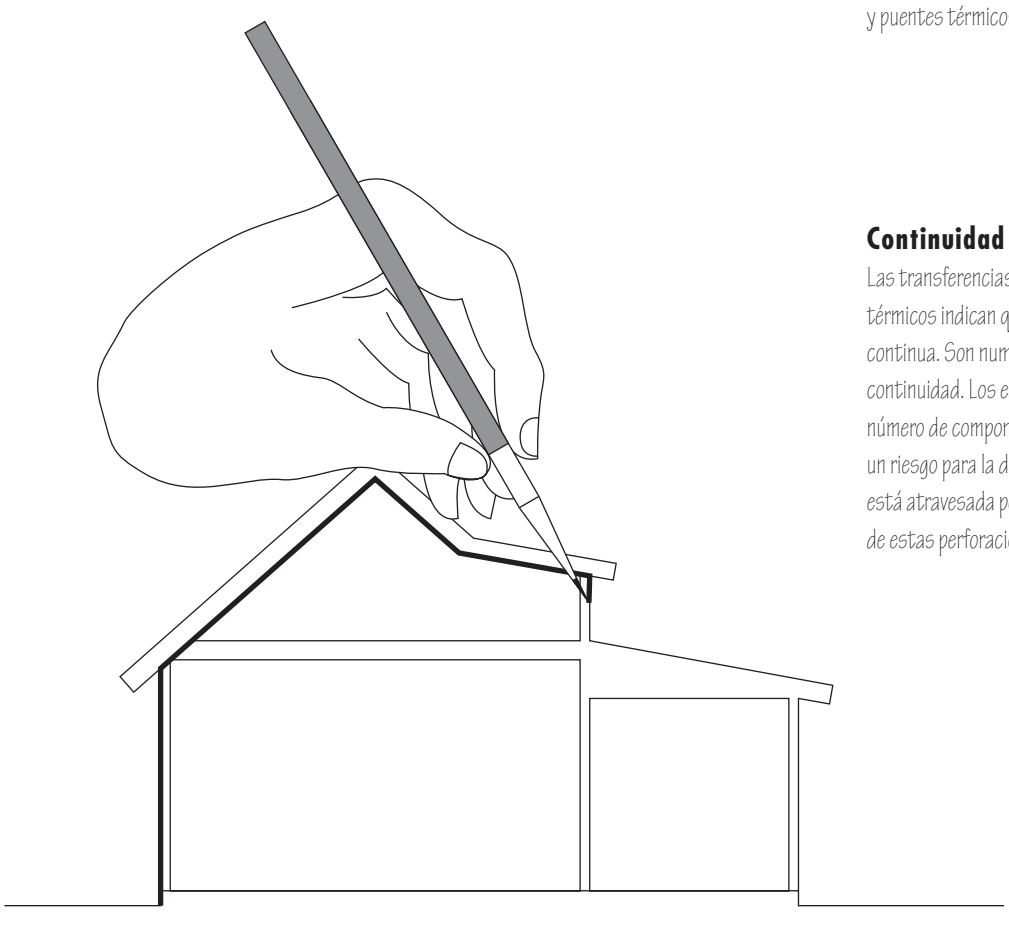
7.09 Puentes térmicos en los soportes de un muro entramado.

Puentes térmicos

Un tema constructivo que ha recibido cada vez mayor atención en los últimos años ha sido los puentes térmicos. Un puente térmico es la interrupción de la capa de aislamiento térmico por un material sólido no aislante por el cual el calor puede traspasar de un espacio interior acondicionado del edificio al entorno exterior. El ejemplo de puente térmico más habitual son los soportes metálicos o de madera de un entramado de un muro o una cubierta. Se ha demostrado que los puentes térmicos reducen la resistencia térmica efectiva de los muros con entramado de madera en un 10 %, y en los metálicos en hasta un 55 %.

Otros ejemplos de puentes térmicos son los dinteles de las ventanas, las láminas inferiores y superiores de los muros, las vigas y losas de hormigón que soportan muros exteriores, los perfiles de montaje, los muros de carga que forman parapetos, balcones y porches, así como diversos elementos de la cimentación de muros y forjados.

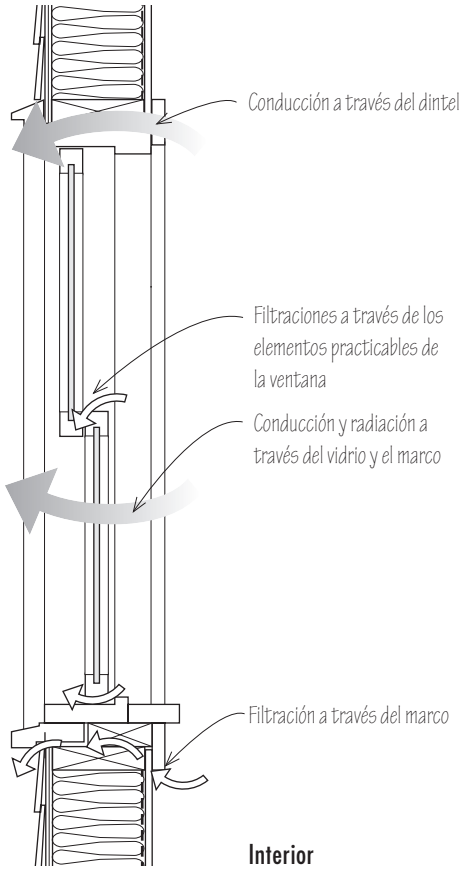
A medida que avancemos en la discusión acerca de la envolvente exterior, seguiremos tratando de afrontar los problemas de filtración y puentes térmicos y minimizar su impacto.



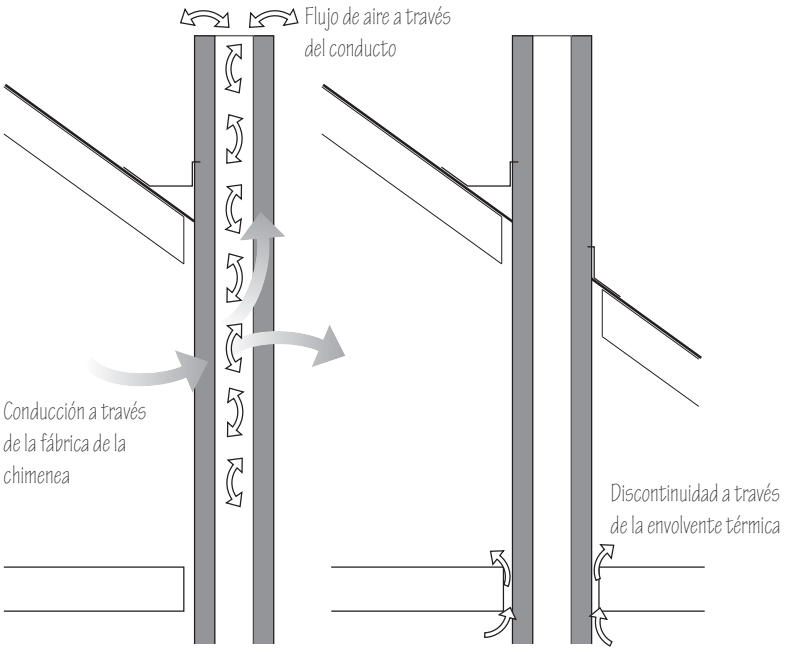
7.10 Si imaginamos la sección de un edificio dibujada en un papel, deberíamos ser capaces de trazar una línea continua alrededor del edificio sin levantar el lápiz del papel, sin interrupciones ni vacíos por donde pueda entrar el aire o escaparse el calor.

Continuidad y discontinuidades

Las transferencias de calor causadas por la filtración y los puentes térmicos indican que es necesario que la envolvente térmica sea continua. Son numerosos los obstáculos para conseguir esta continuidad. Los edificios están construidos a partir de un gran número de componentes combinados, y cada junta entre ellos supone un riesgo para la discontinuidad. La envolvente de un edificio también está atravesada por ventanas, puertas, tuberías y cables, y cada una de estas perforaciones es una discontinuidad en potencia.



7.11 Pérdidas de calor y vías de filtración a través de una ventana.

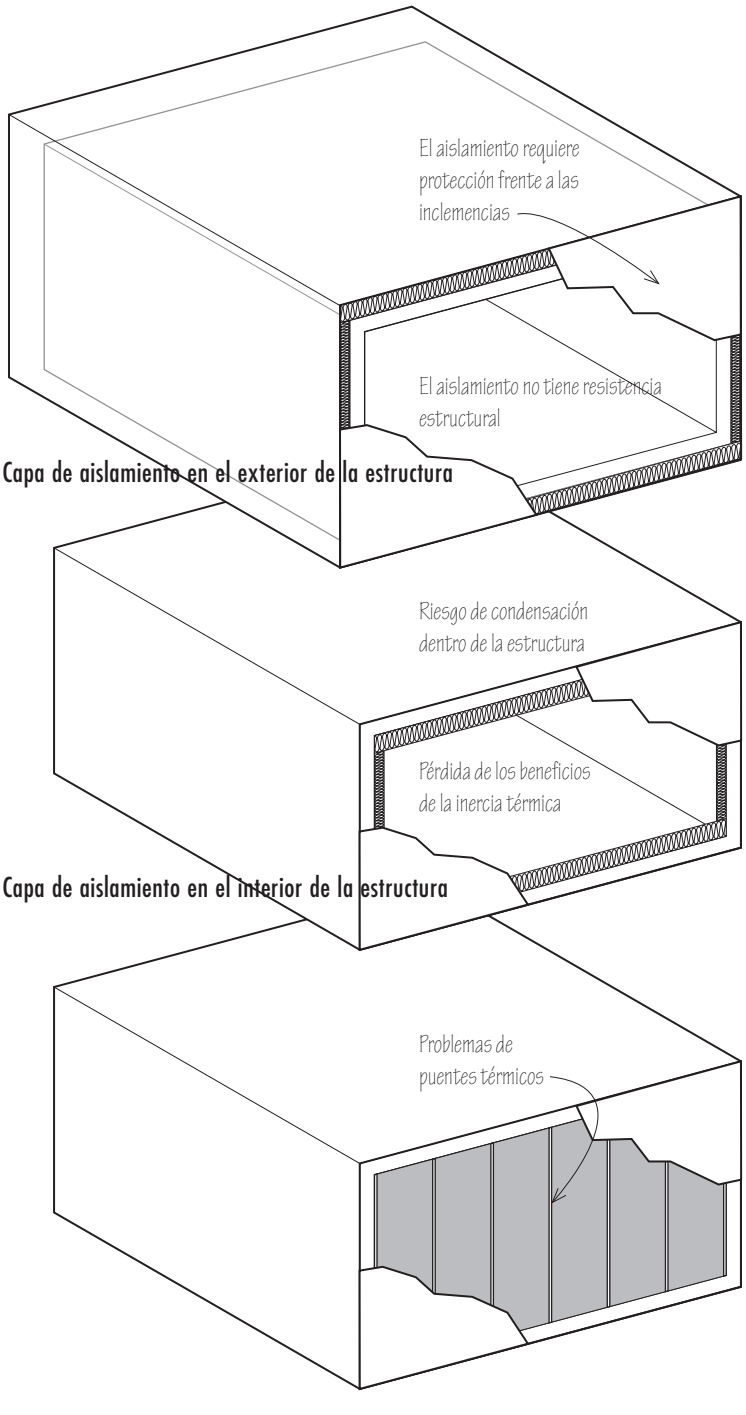


7.12 Discontinuidades potenciales en chimeneas.

Es más, cada uno de los huecos de un edificio —ventanas, puertas, trampillas de desván, apliques de luz, etc.— puede proporcionar múltiples vías para la pérdida de energía. Por ejemplo, una ventana no solo produce pérdidas por la conducción térmica del vidrio, sino también por la convención vertical del aire sobre su superficie, por la conducción térmica de sus marcos, su dintel y sus molduras, por la filtración de aire producida entre los marcos móviles y los bastidores fijos, entre el marco y el muro, o entre el marco y la cámara de aire del muro, o por la radiación originada por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Además, pueden producirse pérdidas añadidas si la ventana se deja abierta por error, si se rompe o si la contraventana se deja abierta o se rompe.

Otra fuente habitual de discontinuidades está asociada a la tradicional chimenea de obra de fábrica. Si esta se sitúa en un muro exterior, la obra de fábrica deja escapar lateralmente parte del calor por conducción al exterior a través de la propia pared de la chimenea, o verticalmente hacia la cubierta a través del propio conducto de la chimenea. También el conducto funciona como una discontinuidad que permite que el aire caliente del interior del edificio suba y se disipe, o que en invierno el aire frío del exterior baje y entre en el edificio. Si la chimenea se sitúa dentro del edificio, requerirá unas medidas mínimas de seguridad para garantizar una combustión y evacuación de humos correctas, y además, cuando atraviesa los forjados de las plantas superiores hay un nuevo riesgo de discontinuidad en la envolvente térmica.

Muchas de las pérdidas producidas por estas discontinuidades aumentan con el tiempo. Podemos referirnos nuevamente al ejemplo de las ventanas, elementos intrínsecamente poco robustos. Las pérdidas energéticas aumentan a medida que los marcos de las ventanas se asientan y ceden, los sellantes se secan y se agrietan, los burletes se despegan por el continuo abrir y cerrar las ventanas, el gas interior de las hojas dobles y triples de vidrio se escapa, o los sellantes térmicos se rompen. Un deterioro similar se produce en las puertas y otros huecos con superficies móviles, como las trampillas de los desvanes, que a menudo acaban dobladas o rotas. También es habitual el deterioro de otras discontinuidades no asociadas a elementos móviles, como las grietas en las paredes o los orificios en los desvanes. Una vez que se forma una grieta o un orificio en un edificio, lo más probable es que vaya haciéndose mayor a medida que se asienta la estructura.

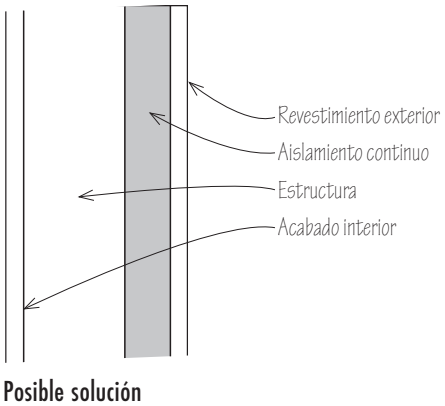


7.13 Desafíos que deben afrontarse para asegurar la continuidad de la envolvente térmica.

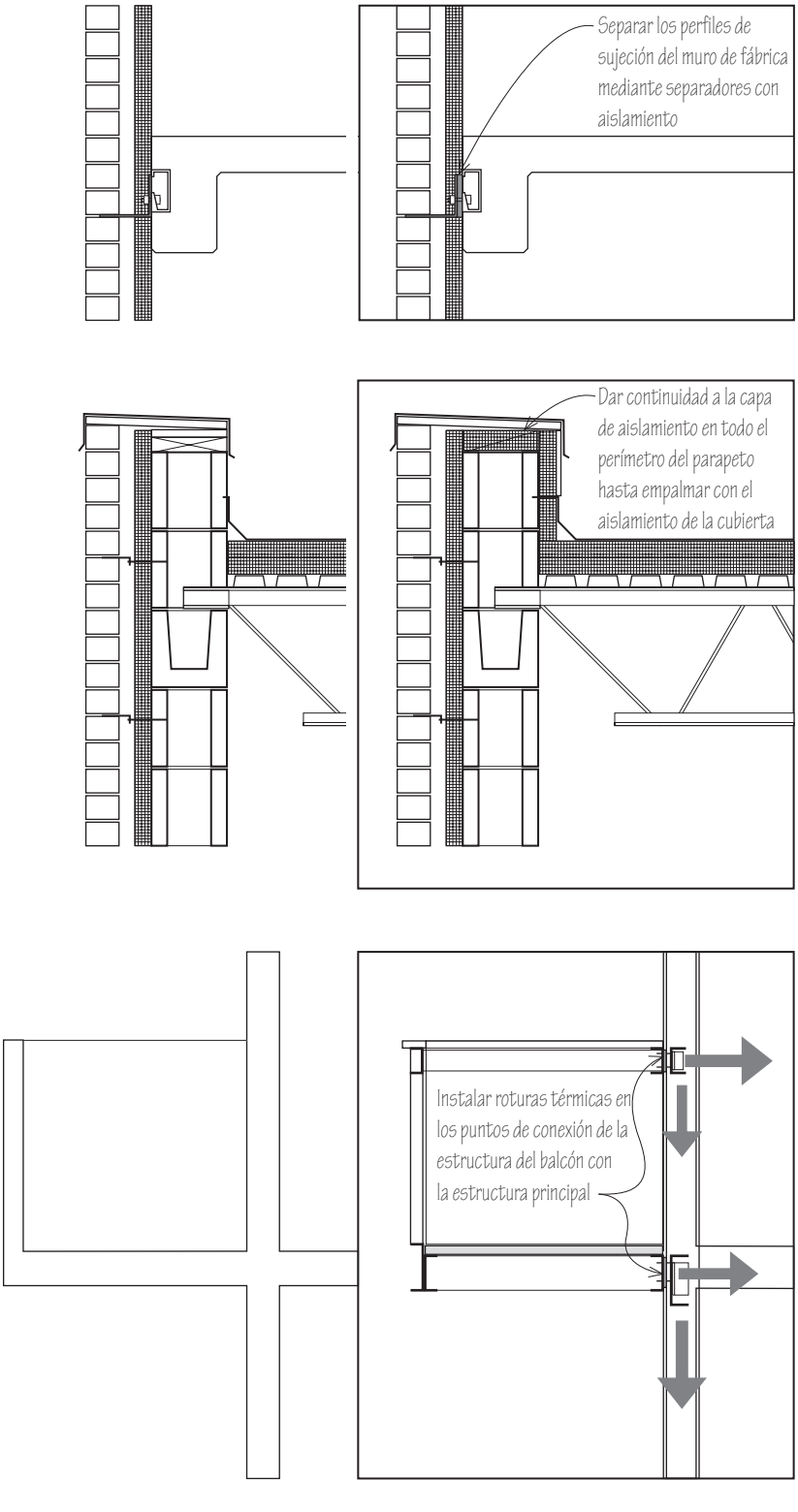
En muchas zonas de la envolvente exterior, la continuidad de la envolvente térmica supone un desafío espacial. Se trata casi de un problema topológico, de un estudio matemático de las superficies en el espacio y sus interconexiones. El material aislante no suele tener resistencia mecánica, de modo que no asume una función estructural, ni transmite cargas ni resiste el empuje del viento. Al mismo tiempo, es preferible colocar el aislamiento por la parte exterior de la estructura, por una serie de razones, como controlar la humedad y ubicar la masa térmica del edificio al interior de la envolvente térmica. Sin embargo, al colocarlo en la parte exterior del edificio, el aislamiento carece de protección frente a las inclemencias del entorno, además de que tiene que seguir un camino tortuoso para poder envolver completamente el edificio con sus cimientos, muros, cubierta y todo tipo de elementos proyectados, como parapetos y porches.

Podemos desplazar el aislamiento al interior del edificio, pero entonces perderemos los beneficios de tener la masa térmica en el interior de la envolvente térmica. También debemos tener en cuenta los problemas derivados de la condensación de vapor de agua en el interior de los muros o la cubierta. Podemos situar el aislamiento en la parte interior en algunas zonas, como la cubierta, y en la parte exterior de otras, como los muros, pero entonces tendremos que resolver el problema de unión de las diferentes superficies. Al colocar el aislamiento entre los componentes estructurales, como a menudo se ha hecho en la construcción con entramados ligeros metálicos o de madera, se sufrirán pérdidas de calor debido a los puentes térmicos.

Finalmente, también puede disponerse la capa de aislamiento entre un revestimiento exterior y la estructura principal del edificio, y esta solución parece estar ganando aceptación en edificios tanto bajos como altos. Pero aún es necesario prestar atención al mantenimiento de la continuidad, que resulta un desafío en una diversidad de uniones estructurales, como las conexiones entre muro y cubierta, muro y forjado, o muro y cimentación.



Posible solución



7.14 Formas de reducir o evitar los puentes térmicos en muros de fábrica.

Muros

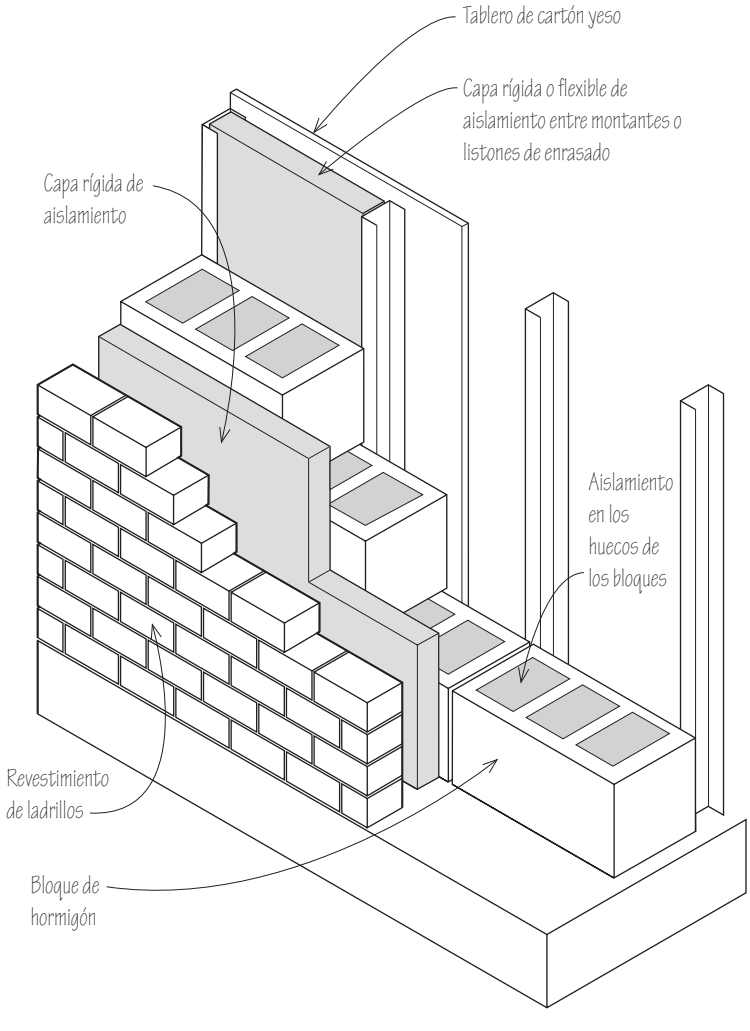
Muros de fábrica

Los muros de fábrica utilizan normalmente ladrillos o bloques de hormigón como material estructural, tanto en edificios bajos como en edificios en altura. Existe una amplia variedad de sistemas de revestimiento que sirven para proteger y dar el acabado final al exterior del edificio: ladrillo, piedra, revocos y enlucidos, o láminas metálicas. También pueden emplearse diversidad de acabados para el interior, como paneles de cartón yeso sobre bastidores metálicos o de madera. En algunos casos, los ladrillos o bloques de hormigón pueden dejarse vistos en el interior.

En el mercado hay bloques prefabricados de alto rendimiento que son un 40 % más ligeros que los tradicionales y que, además, tienen mejores valores de resistencia térmica (2,5-3) y mejoran hasta un 30 % el comportamiento de los convencionales. Con un aislamiento de perlita o similar, estos bloques de alto rendimiento pueden alcanzar valores de resistencia térmica de 7 o 10.

En las estructuras de muros de fábrica pueden encontrarse puentes térmicos en diversos puntos, aunque pueden reducirse o suprimirse de diversas maneras:

- Los perfiles que soportan el revestimiento exterior (de ladrillo, por ejemplo) pueden ser vías para las pérdidas de calor. Una mejora consiste en separar los perfiles y el muro principal con separadores metálicos o láminas de aislamiento.
- En los puntos donde los muros de obra de fábrica sobresalen por encima de la línea de cubierta para formar un parapeto, el muro puede actuar como puente térmico entre las capas de aislamiento del muro y de la cubierta. Para mejorar el comportamiento térmico, puede prolongarse el aislamiento del muro para envolver todo el parapeto y empalmar con el aislamiento de la cubierta. La parte superior del peto debe seguir estando protegida por una albardilla colocada sobre la capa de aislamiento.
- Todo elemento estructural de acero que atraviese la capa de aislamiento funciona como puente térmico. Una opción consiste en utilizar acero inoxidable en lugar del acero convencional, pues tiene menor conductividad térmica. Otra alternativa consiste en aislar todo el perímetro exterior de cualquier elemento estructural de acero que atraviese el aislamiento.
- Las estructuras exteriores, como los balcones, pueden romper la continuidad de la capa de aislamiento. Una manera de mitigar este problema consiste en soportar estos elementos con su propia estructura externa, en lugar de unirlos, estructural y térmicamente, al edificio principal. Otra opción consiste en utilizar separadores aislantes entre la estructura del balcón y la estructura principal del edificio.



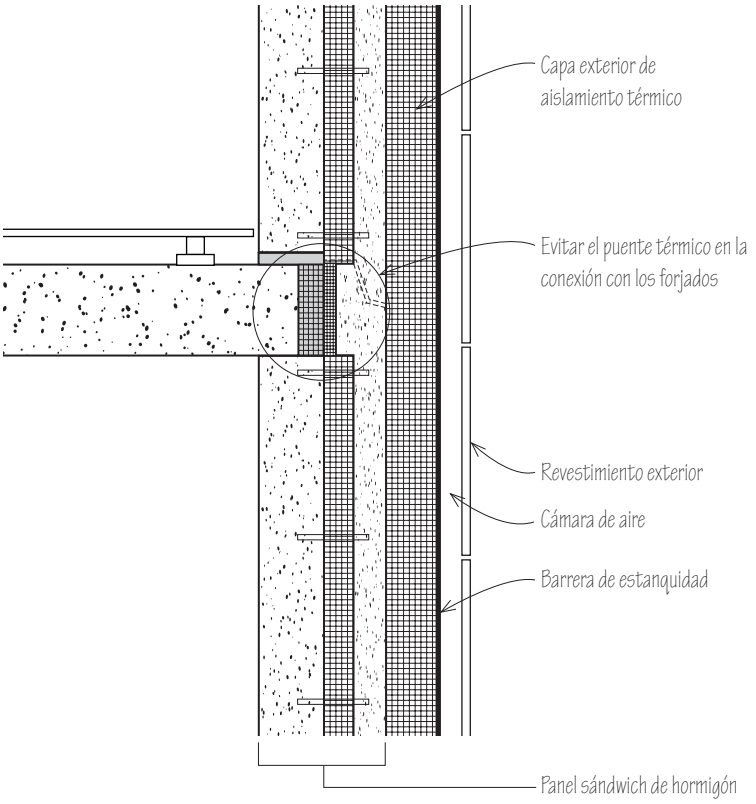
7.15 Aislar un muro de carga de fábrica.

La mejor manera de aislar los muros de fábrica es por su cara exterior, colocando el aislamiento entre el muro y la capa de revestimiento exterior. Esta posición permite que la masa térmica se encuentre dentro de la envolvente térmica, moderando los cambios de temperatura y sirviendo como acumulador de calor, y en climas fríos también reduce el riesgo de condensación, pues si se coloca el aislamiento en la cara interior del muro, hay el riesgo de que el muro alcance una temperatura inferior a la de rocío, produciendo la condensación del vapor de agua presente en el aire y generando humedades en el interior del mismo.

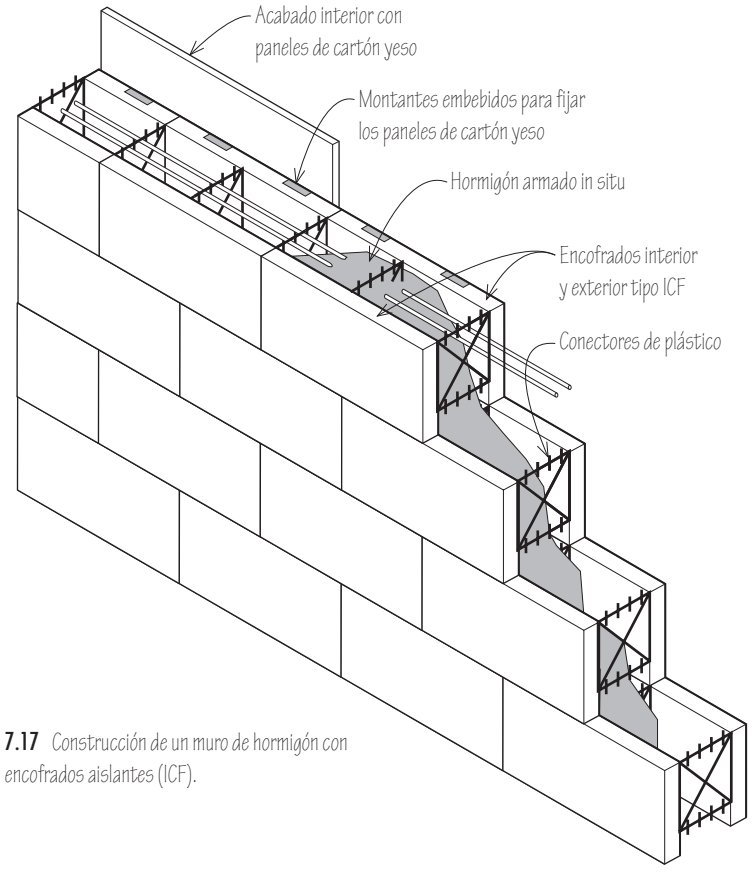
El aislamiento que se coloca entre el muro y el revestimiento exterior suele ser rígido. El tipo y el grosor mínimo de esta capa vienen fijados por la normativa energética, aunque a partir de este mínimo puede invertirse en aumentar las prestaciones para mejorar la eficiencia energética del edificio.

Puede situarse una capa aislante secundaria en el interior de la cámara que queda entre el muro y el acabado interior, por los montantes sobre los que se montan los tableros de cartón yeso del acabado interior. Con el muro ya protegido de las temperaturas extremas por la capa exterior de aislamiento, puede añadirse esta segunda capa de aislamiento sin incurrir en el riesgo de condensaciones, incluso en climas fríos. Para el montaje del acabado interior suele recurrirse a perfiles metálicos ligeros, pero también podrían considerarse los montantes de madera, porque su conductividad térmica es menor. Puesto que la cámara interior suele utilizarse para albergar el cableado y dispositivos eléctricos, este es otro buen motivo para incorporar un aislamiento, ya sea rígido o flexible. También puede valorarse utilizar los huecos de los bloques de hormigón como posible localización de esta segunda capa de aislamiento.

Puesto que el aislamiento rígido es la fuente primaria de aislamiento de los muros de fábrica, conviene sellar las juntas de las placas de aislamiento con el fin de reducir el movimiento de aire entre los muros y evitar la penetración de agua que haya superado el revestimiento exterior.



7.16 Mejora del aislamiento térmico de edificios con paneles de hormigón tipo sándwich.



7.17 Construcción de un muro de hormigón con encofrados aislantes (ICF).

Muros de hormigón

Los muros de hormigón pueden construirse de diferentes formas: prefabricados, en instalaciones especiales o en obra, o in situ vertiendo el hormigón sobre unos encofrados conformados. Como en el caso de los muros de fábrica, acepta una diversidad de acabados interiores y exteriores, y también la posibilidad de dejar el hormigón visto.

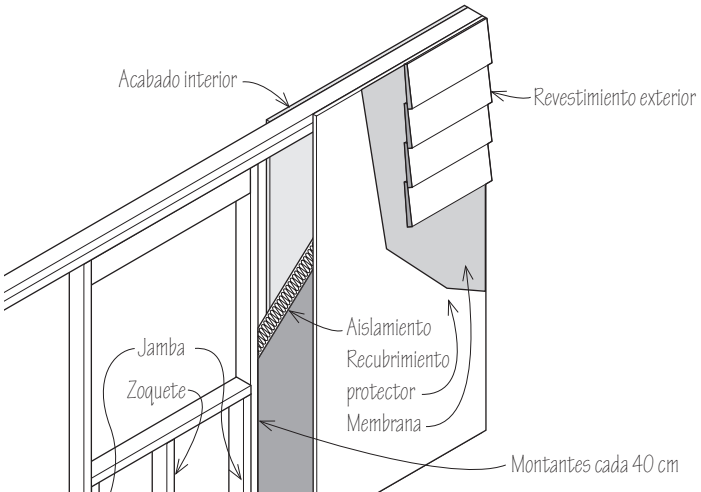
Una buena opción desde el punto de vista ecológico puede ser utilizar paneles sándwich estructurales de hormigón, lo cual implica disponer dos hojas de hormigón armado a ambos lados de un panel rígido de aislamiento, y rigidizar el conjunto con una serie de separadores de plástico o de material aislante. La unidad resultante es relativamente ligera, con una alta durabilidad y una gran resistencia al fuego. Para mantener la continuidad de la envolvente térmica y evitar la formación de puentes térmicos, los bordes de la capa de aislamiento deben estar en contacto en toda la longitud del muro.

Cabe señalar que los paneles sándwich de hormigón armado tienen un comportamiento similar a los muros de fábrica con cámara de aire, pues las dos hojas de hormigón que los conforman tienen una función análoga a las de ladrillo, en tanto que la capa rígida de aislamiento juega el mismo papel que la cámara de aire del muro de fábrica. También es posible añadir una segunda capa de aislamiento en la cara exterior del panel sándwich, que deberá protegerse con su correspondiente revestimiento.

El sistema constructivo con encofrados aislantes de hormigón ICF (Insulated Concrete Form) es una forma de trabajar con hormigón in situ que puede considerarse opuesta a los paneles sándwich. En lugar de situar el aislamiento entre dos hojas de hormigón, el sistema ICF presenta dos capas de aislamiento (que puede ser espuma de poliestireno) que sirven como encofrados de hormigón vertido entre ambas. Nuevamente se puede optar por una diversidad de acabados interiores y exteriores. Un acabado interior habitual son los paneles de cartón yeso fijados a montantes embebidos en el encofrado aislante interior. Una ventaja de este tipo de muros es que la capa interior de aislamiento no queda interrumpida por los puentes térmicos asociados a los montantes convencionales. El muro construido in situ también es una garantía para la continuidad de la envolvente térmica.

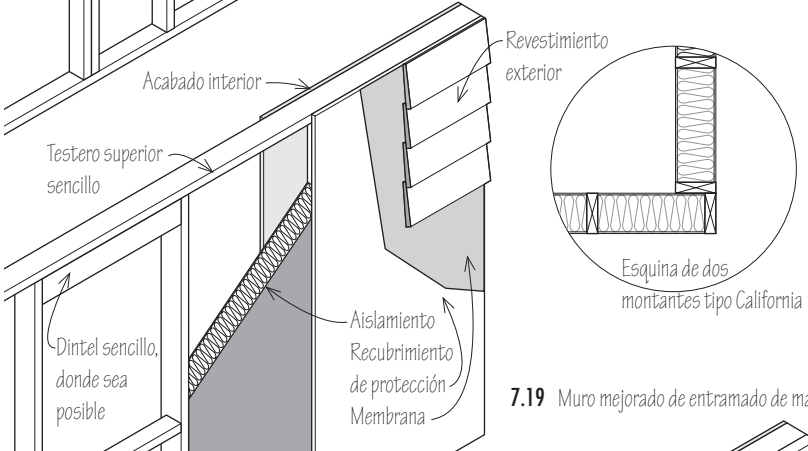
Muros con entramado de madera

Los entramados convencionales de madera normalmente disponen de montantes cada 40 cm (distancia entre ejes) y un relleno de aislamiento entre los montantes. El acabado interior más común son los tableros de cartón yeso, mientras que el revestimiento exterior suele incorporar una protección del aislamiento y un acabado con piezas de madera, vinilo u otros materiales compuestos. Los montantes del entramado convencional generan puentes térmicos, mientras que las múltiples juntas del entramado son vulnerables a la filtración del aire.



7.18 Muro convencional de entramado de madera.

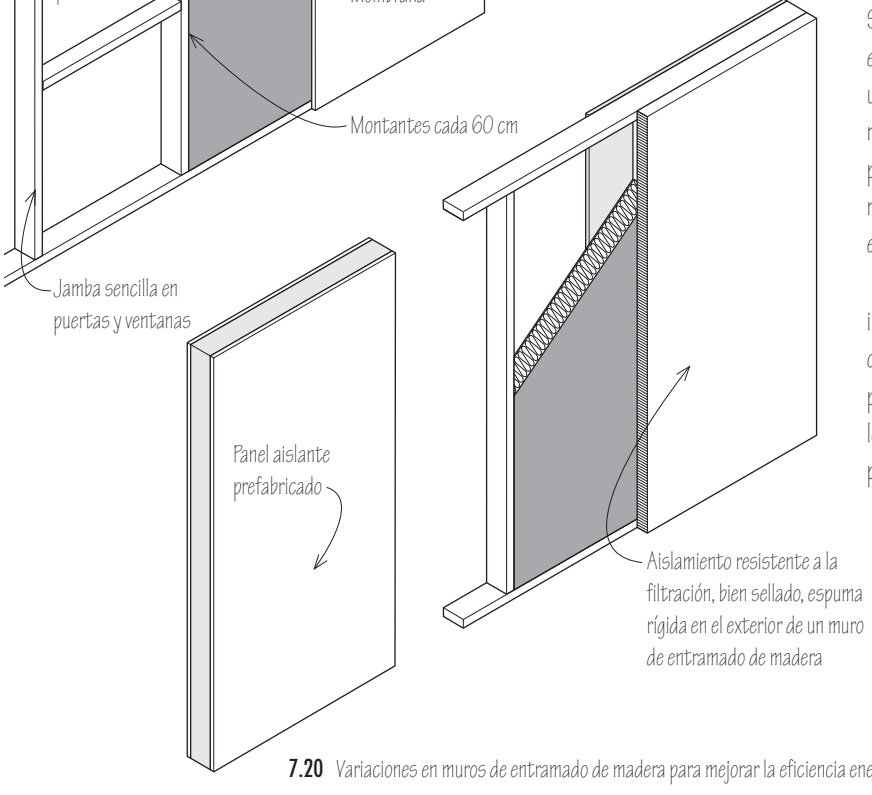
Los "entramados mejorados" incorporan respuestas diversas al problema de los puentes térmicos, como ampliar la distancia entre montantes de 40 a 60 cm, utilizar testeros, jambas en ventanas y puertas, y dinteles sencillos, o incluso no utilizar dinteles en cerramientos sin función estructural, o simplificar la resolución de las esquinas. Con frecuencia se añade un aislamiento rígido en el exterior del entramado, entre la membrana de protección y el revestimiento.



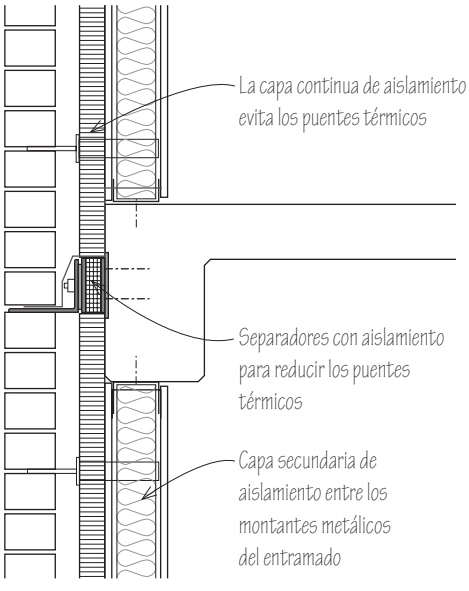
7.19 Muro mejorado de entramado de madera.

Se pueden incorporar diversas innovaciones para mejorar la eficiencia energética de los muros entramados de madera, como construir un entramado con montantes dobles, separados entre ellos para reducir los puentes térmicos, sustituir el entramado convencional por paneles estructurales aislantes o utilizar materiales de aislamiento resistentes a la filtración, como paneles de celulosa densificada, espumas proyectadas o espumas rígidas.

Los muros entramados de madera presentan una baja energía incorporada (para una discusión sobre la energía incorporada, véase capítulo 16: Materiales) y utilizan un material estructural renovable, pueden montarse para tener un alta resistencia térmica, minimizando los puentes térmicos, y proyectarse para evitar las filtraciones si se presta la atención debida al sellado de las juntas.



7.20 Variaciones en muros de entramado de madera para mejorar la eficiencia energética.

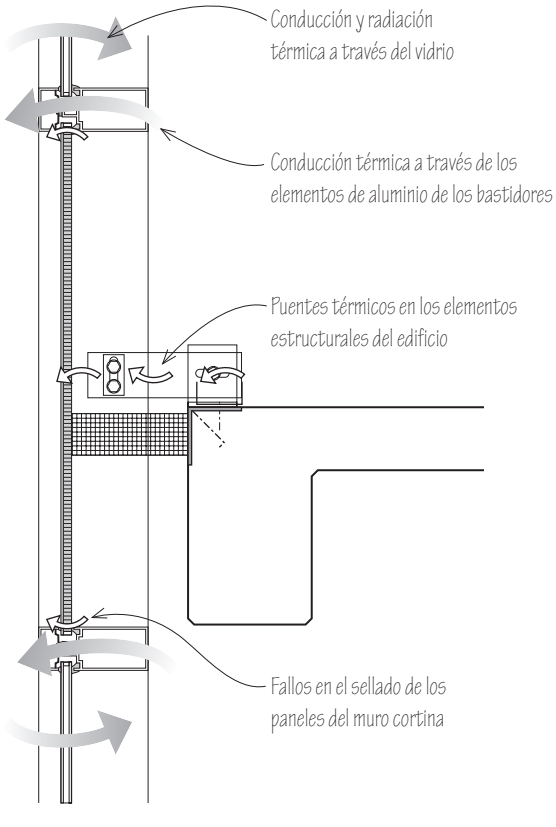


7.21 Detalle de muro de entramado metálico.

Muros con entramado metálico

Los muros con entramado metálico son muy similares a los de entramado de madera. Se trata de un tipo constructivo muy extendido y del que tienen una amplia experiencia tanto arquitectos como contratistas.

Su energía incorporada es similar a la de los entramados de madera y es de las más bajas para las soluciones de muros; sus limitaciones son similares a la de los entramados de madera: los montantes tienden a formar puentes térmicos y las numerosas juntas ofrecen muchas situaciones vulnerables a las filtraciones. Las formas de superar estas limitaciones también son similares a las de los entramados de madera. La alta conductividad térmica del acero produce unos puentes térmicos más patentes que en el caso de los montantes de madera. Deberían plantearse entramados avanzados con mayor distancia entre montantes para reducir el consumo de material y la aparición de puentes térmicos. También pueden colocarse paneles rígidos de aislamiento bien sellados en el exterior del entramado con el fin de aumentar la resistencia térmica y reducir los puentes térmicos y las filtraciones. Asimismo, debería prestarse atención al sellado de las juntas y elementos vulnerables, como los huecos y otras perforaciones del muro.



7.22 Pérdidas de energía a través de un muro cortina.

Muros cortina

Los muros cortina son una solución común en edificios en altura. Consisten en cerramientos no estructurales que combinan grandes superficies de vidrio y paneles opacos de plementería, soportados por un bastidor metálico, generalmente de aluminio. Se denominan muros cortina porque literalmente cuelgan de la estructura del edificio. Aunque los muros cortina no tienen función estructural, deben resistir los empujes laterales del viento y los sismos, y transmitir las cargas a la estructura del edificio. Los muros cortina pueden ser prefabricados —suelen denominarse sistemas unificados— o in situ.

Los muros cortina son vulnerables a una diversidad de pérdidas energéticas como la conducción y la radiación térmica que atraviesa el vidrio, la conducción térmica a través de los elementos de aluminio de los bastidores, los puentes térmicos a través de los elementos estructurales del edificio o fallos en los sellados entre los paneles del muro cortina.

Incluso con vidrios de alto rendimiento, paneles de plementería aislados y bastidores con rotura de puente térmico, los muros cortina son una solución de bajo rendimiento energético. Los muros cortina convencionales tienen valores de resistencia térmica en torno a 2 o 3, y los de mayor rendimiento, en torno a 4. Los muros cortina disponibles en el mercado con mejor comportamiento solo llegan a alcanzar valores entre 6 y 9.

7.23 Energía incorporada en muros exteriores comunes (en Estados Unidos).

Tipo de muro exterior	Energía incorporada (MMBtu/pie cuadrado)	
	Norte del país	Sur del país
Muro entramado metálico 2 × 4		
Montantes cada 40 cm con revestimiento de ladrillo	0,1	0,1
Montantes cada 60 cm con revestimiento de ladrillo	0,1	0,09
Montantes cada 40 cm con revestimiento de madera	0,07	0,07
Montantes cada 60 cm con revestimiento de madera	0,06	0,06
Montantes cada 40 cm con revestimiento de acero	0,24	0,24
Muro entramado de madera 2 × 6		
Montantes cada 40 cm con revestimiento de ladrillo	0,09	0,09
Montantes cada 40 cm con revestimiento de acero	0,23	0,23
Montantes cada 60 cm con revoco o enlucido	0,07	0,07
Montantes cada 60 cm con revestimiento de madera	0,05	0,05
Panel estructural aislado		
Revestimiento de ladrillo	0,15	0,14
Revestimiento de acero	0,3	0,29
Revoco o enlucido	0,14	0,13
con revestimiento de madera	0,12	0,11
Bloque de hormigón de 20 cm		
Revestimiento de ladrillo	0,26	0,26
Revoco o enlucido	0,25	0,25
Revestimiento de acero	0,41	0,41
Muro de entramado metálico 2 × 4 (montantes cada 40 cm)	0,24	0,24
Hormigón in situ 6″		
Revestimiento de ladrillo	0,13	0,13
Revoco o enlucido	0,11	0,11
Revestimiento de acero	0,28	0,28
Muro de entramado metálico 2 × 4 (montantes cada 40 cm)	0,11	0,11
Prefabricados de hormigón 8″		
Revestimiento de ladrillo	0,14	0,14
Revoco o enlucido	0,12	0,12
Revestimiento de acero	0,29	0,29
Muro de entramado metálico 2 × 4 (montantes cada 40 cm)	0,12	0,12
Hormigón con encofrados aislantes (ICF)		
Revestimiento de ladrillo	0,16	0,16
Revoco o enlucido	0,14	0,14
Revestimiento de acero	0,3	0,3

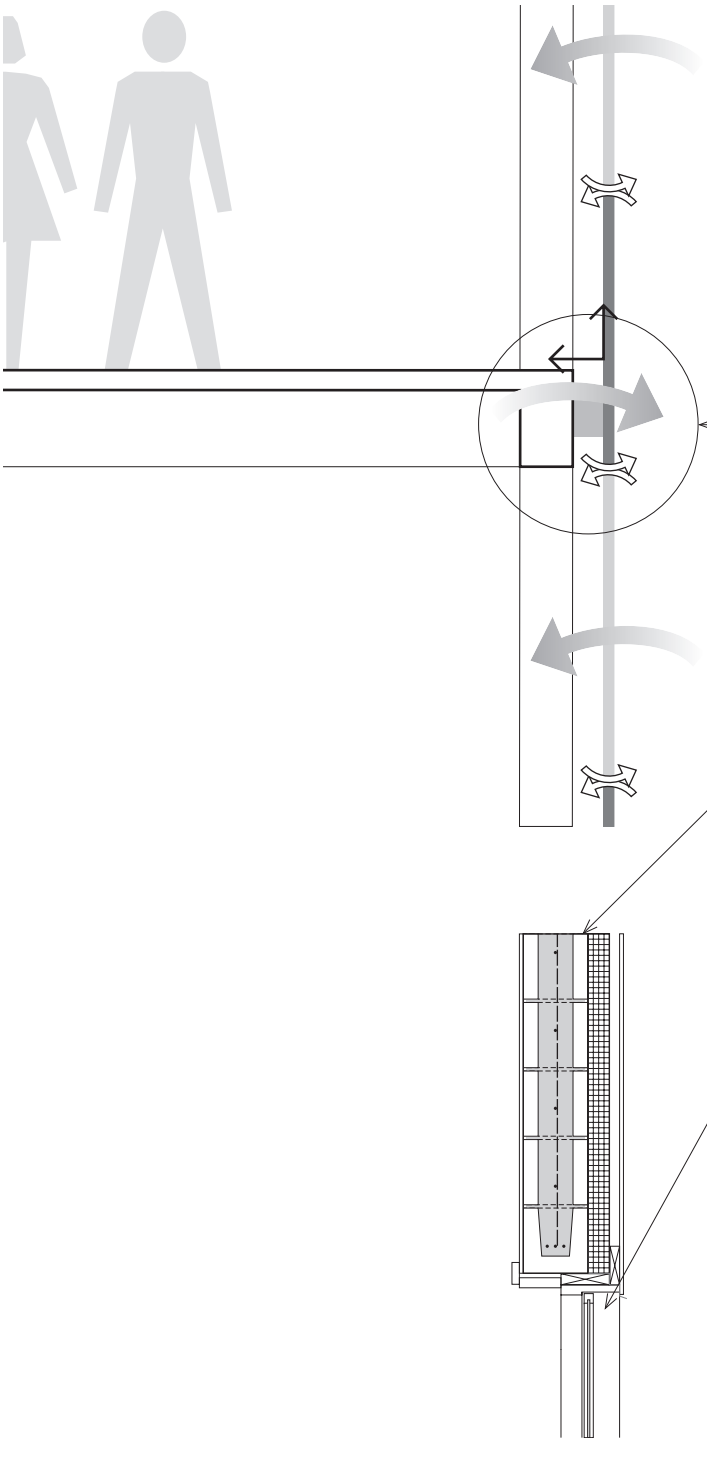
Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos

Elegir entre sistemas de muro

Tradicionalmente, la elección de un sistema estructural para los muros de un edificio implica buscar un equilibrio entre costes, requisitos estructurales, resistencia al fuego, disponibilidad de materiales y experiencia de los arquitectos y los contratistas. La estética del edificio (que comprende la fachada o los acabados exteriores) también depende del sistema estructural escogido. La arquitectura ecológica requiere añadir otras consideraciones, como el comportamiento térmico (la resistencia y la inercia térmica), el control de filtraciones y de humedad, así como la energía incorporada.

Los muros entramados de madera tienen la energía incorporada menor (0,75 MMBtu/m^2), seguidos de cerca por los metálicos (0,86 MMBtu/m^2), asumiendo la misma resistencia térmica global y el mismo acabado exterior en forma de revoco o enlucido. Los diversos tipos de muros de hormigón armado, incluso los construidos in situ, con paneles prefabricados o mediante el sistema ICF, presentan una energía incorporada de entre 1,18 y 1,5 MMBtu/m^2. Los paneles estructurales con aislamiento tienen una energía incorporada de 1,5 MMBtu/m^2, mientras que los muros de hormigón armado de 20 cm de grosor tienen una energía incorporada de 2,69 MMBtu/m^2 (para mayor información sobre energía incorporada, véase capítulo 16: Materiales).

El revestimiento exterior de madera es el de menor energía incorporada, seguido por el revoco o enlucido. En el extremo opuesto, el revestimiento de acero es el que presenta una energía incorporada mayor.



Asegurar la continuidad

Tradicionalmente, el proyecto ecológico de edificios se ha centrado principalmente en el aumento del aislamiento de los muros. Este ha sido también el método principal propuesto por las diversas normas para mejorar la conservación de la energía. Aumentar el aislamiento de los muros supone un ahorro de energía, pero existen límites de estos beneficios si no se resuelven al mismo tiempo problemas como la filtración o los puentes térmicos.

Para minimizar los efectos de las filtraciones y los puentes térmicos, se han planteado varios enfoques de mejora del proyecto y la construcción de los muros:

- Prestar atención a los detalles. Reducir las filtraciones implica que los muros se calculen y construyan pensando en cómo se podrán sellar mejor la multitud de juntas constructivas que pueden facilitar el paso de aire. De igual modo, cabe plantearse el problema de los puentes térmicos durante la fase de proyecto y no descuidarlo durante la ejecución.
- Contar con un control de calidad. Para conseguir los resultados perseguidos, tanto en el sellado como en la prevención de puentes térmicos, es preciso supervisar la ejecución, especialmente en el caso de detalles constructivos no convencionales.
- Escoger estructuras intrínsecamente continuas y que tengan menos probabilidad de presentar problemas durante la ejecución y el uso. Un ejemplo de capa intrínsecamente continua serían los paneles rígidos de aislamiento aplicados a la superficie externa de muros rígidos, en lugar de rellenar con aislamiento los huecos y las cavidades de los muros de entramado.
- Utilizar múltiples capas continuas para resistir mejor las filtraciones.
- Reducir el número de discontinuidades, como puertas y ventanas, siempre que sea posible.

El diseño de detalles estructurales relacionados con los puentes térmicos suelen plantear determinados desafíos que son responsabilidad de los ingenieros de estructuras o los contratistas específicos, y puede ser que no estén familiarizados con las implicaciones energéticas de los puentes térmicos o no participar en la simulación y evaluación del comportamiento energético del edificio. En este caso se vuelve a plantear la ventaja de contar con un equipo integrado de proyecto, así como la comunicación entre el arquitecto, el ingeniero estructural, el consultor energético y el contratista, ya que permite evaluar las ventajas e inconvenientes de cada una de las opciones técnicas para reducir los puentes térmicos.

7.24 Formas de minimizar los efectos de la filtración y los puentes térmicos.

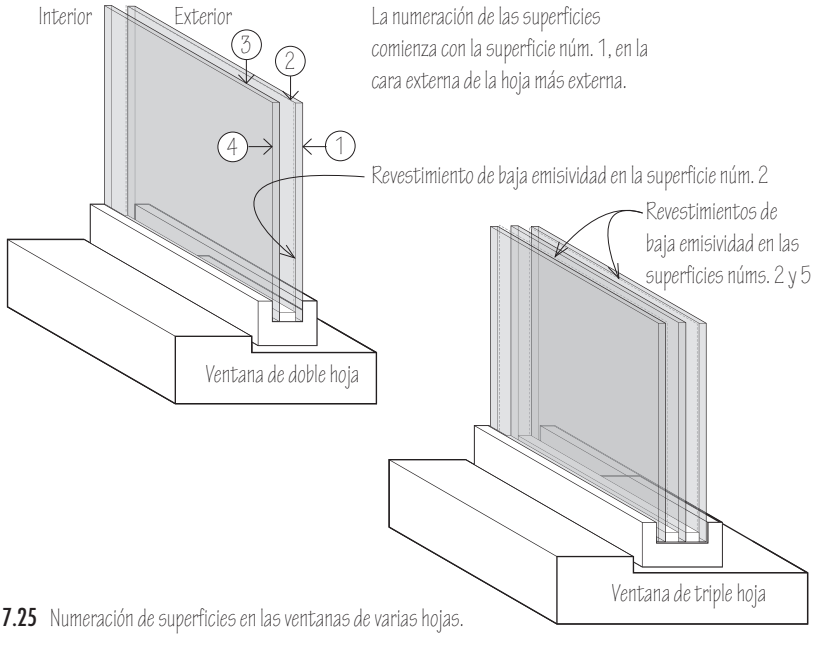
Ventanas

De las distintas partes de un edificio, las ventanas suponen el mayor quebradero de cabeza. Estas permiten la entrada de luz natural, ofrecen vistas y conexión con el exterior y en entorno del edificio, y para mucha gente son elementos que dan belleza al edificio. Sin embargo, las ventanas contribuyen significativamente a las pérdidas energéticas del edificio y pueden contribuir a generar una serie de perturbaciones, como ráfagas de aire, deslumbramientos, corrientes de convención o pérdidas térmicas por radiación.

Ventanas de alto rendimiento

La primera opción del proyecto ecológico debe ser estudiar el uso de ventanas de alto rendimiento. La evolución de este tipo de ventanas puede rastrearse a lo largo de la historia, comenzando con la invención del vidrio en Babilonia (hacia el 250 a. C.) y el desarrollo del vidrio pulido de plata en Francia a finales del siglo XVII.

Alrededor de 1950 se empezaron a utilizar contraventanas con una segunda hoja de vidrio, aunque separada de la ventana principal, cuyo propósito original no era tanto el ahorro energético si no la protección de la ventana principal del impacto de las tormentas; sin embargo, el aire que queda atrapado entre la ventana y la contraventana resulta ser un buen aislante. Esta innovación resultó ser muy eficaz, ya que logró doblar la resistencia térmica de una ventana sencilla. Una ventana sencilla tiene un coeficiente U de entre 1,1 y 1,3, según tenga marcos de madera o de metal. Una contraventana reduce el coeficiente U hasta aproximadamente 0,5.



7.25 Numeración de superficies en las ventanas de varias hojas.

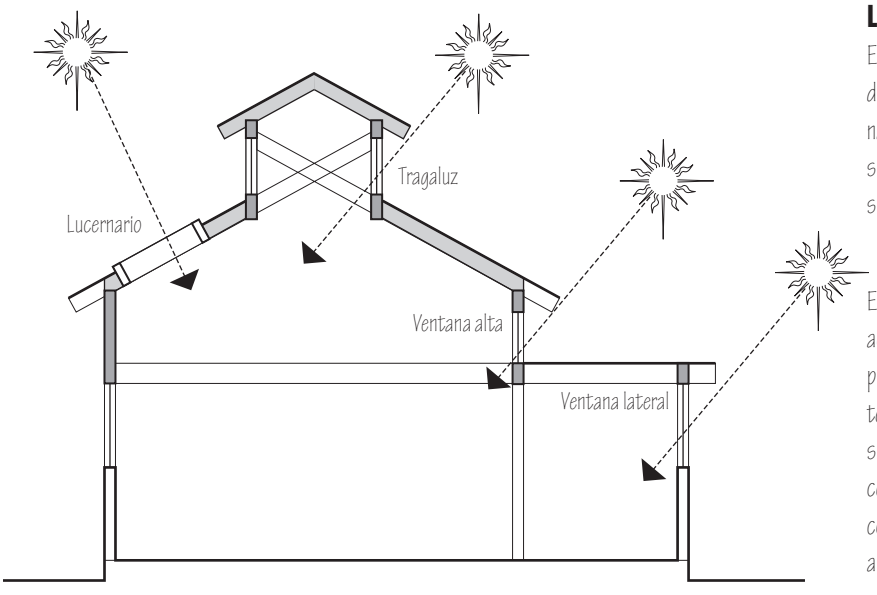
La ventana de vidrio doble, inventada en la década de 1930, llegó a los mercados en la de 1950 como producto manufacturado en fábrica, con dos vidrios montados sobre marco de madera. La ventana de doble vidrio ofrece una eficiencia similar a las contraventanas, pero con la ventaja de la fiabilidad, ya que estas a menudo quedan abiertas involuntariamente.

Como resultado de la crisis energética de principios de la década de 1970, se desarrolló una tecnología de baja emisividad que fue introducida a principios de la de 1980. Las ventanas de baja emisividad se fabrican aplicando una fina película de metal o de óxido metálico en la cara interior de la hoja externa. Esta película, transparente a la luz visible, no deja pasar las radiaciones de longitud de onda mayor, como el calor radiado, de modo que en invierno se retiene una mayor proporción del calor interior, mientras que en verano rechaza una mayor proporción del calor externo. Hoy en día, las ventanas de vidrio doble y baja emisividad consiguen coeficientes U en torno a un 0,4.

En la década de 1980, los fabricantes de ventanas introdujeron los marcos de vinilo y de materiales compuestos de madera y vinilo, que reducían las pérdidas de calor a través de los marcos. Posteriormente se añadió aislamiento en el interior de los marcos. Sobre la misma época se introdujeron separadores no metálicos para soportar la ventana y reducir las pérdidas de calor a través del marco.

A partir de finales de la década de 1980 empezaron a rellenarse las cámaras de los vidrios dobles con gases inertes e incoloros que, al tener mayor densidad que la atmósfera, minimizan las corrientes de convección en la cámara interna del vidrio doble y reducen la transferencia total de calor por las juntas del vidrio. El argón es el gas más utilizado, pues, aunque el criptón es más denso y eficaz, resulta más caro. Las ventanas de doble hoja con cámara rellena de argón y vidrios de baja emisividad alcanzan valores de coeficiente U de 0,3, mientras que las ventanas de triple hoja llegan a alcanzar valores de entre 0,2 y 0,25.

Las ventanas de alto rendimiento ofrecen mayor resistencia térmica y menor transmitancia (coeficiente U), reducen el consumo energético y los riesgos de condensación y formación de escarcha. También mejoran el confort de los edificios en invierno, pues la temperatura de la superficie de los vidrios se aproxima a la del aire interior con el que están en contacto y, por tanto, reducen las corrientes convectivas y la pérdida de calor por radiación. En verano, las ventanas con bajos coeficientes de ganancia solar reducen la radiación que entra en el edificio y el malestar asociado al sobrecalentamiento del espacio.

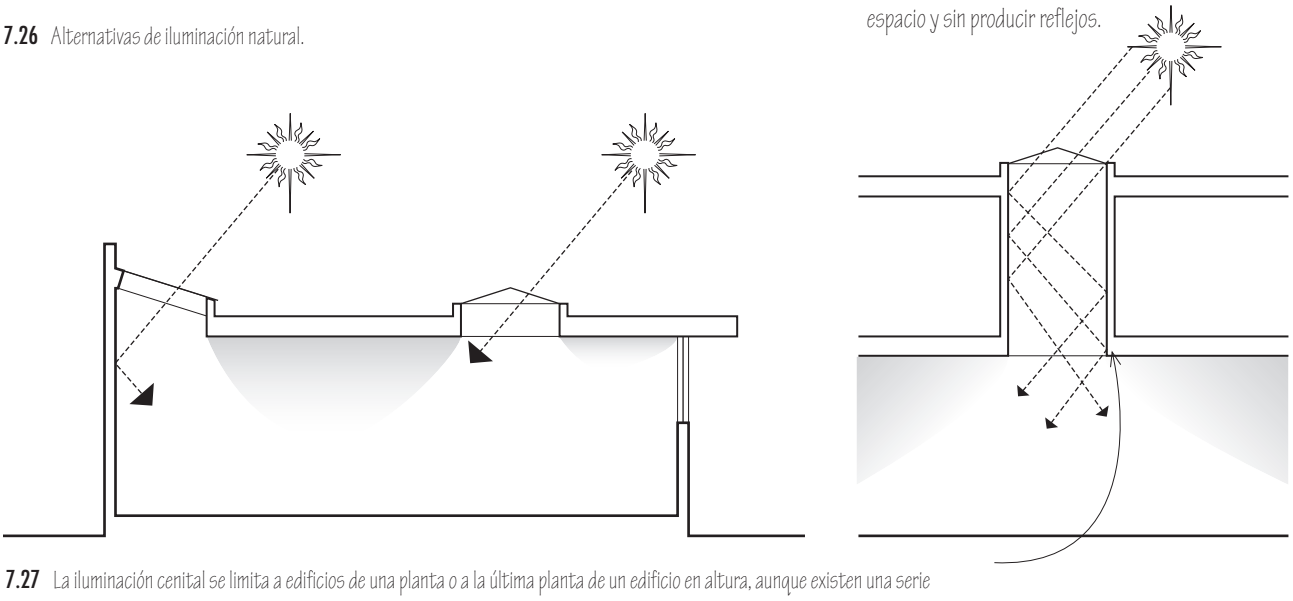


7.26 Alternativas de iluminación natural.

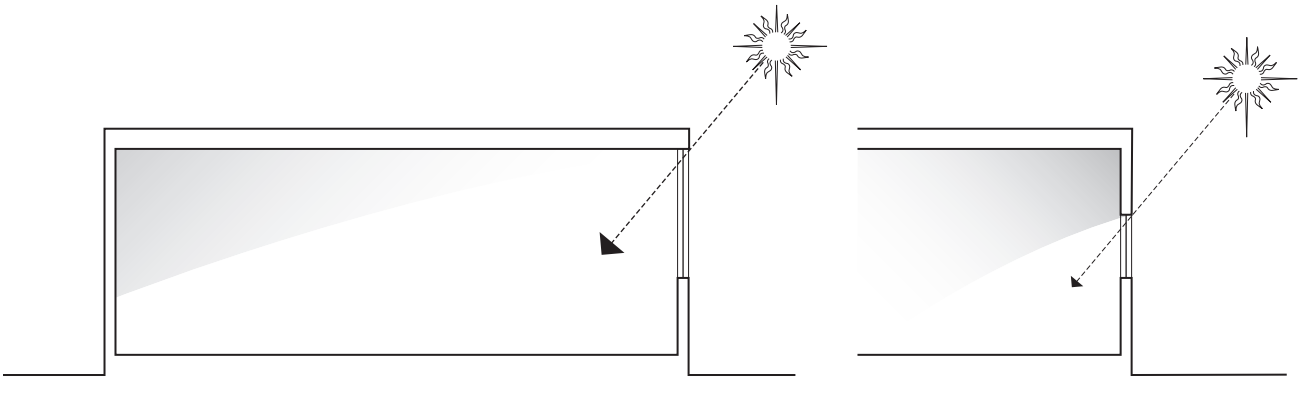
Luz natural

En el caso de edificios ecológicos, las ventanas ofrecen el potencial de un ahorro energético asociado al aprovechamiento de la luz natural, ya sea lateral o cenital. La primera procede de las ventanas situadas en los muros, mientras que la cenital procede de ventanas situadas en la cubierta, tragaluces y lucernarios.

El acristalamiento óptimo para la iluminación natural difiere del acristalamiento para ofrecer vistas. Para iluminar naturalmente es preferible situar fuentes de luz distribuidas de forma regular en el techo. Esta opción se limita a los edificios de una planta, a la planta superior de un edificio de varias o a aquellas a las que llega la luz cenital mediante tubos de luz. En el caso de la iluminación lateral, conviene situar las ventanas en la parte superior del muro, próximas al techo, para que la luz alcance una profundidad mayor dentro del espacio y sin producir reflejos.

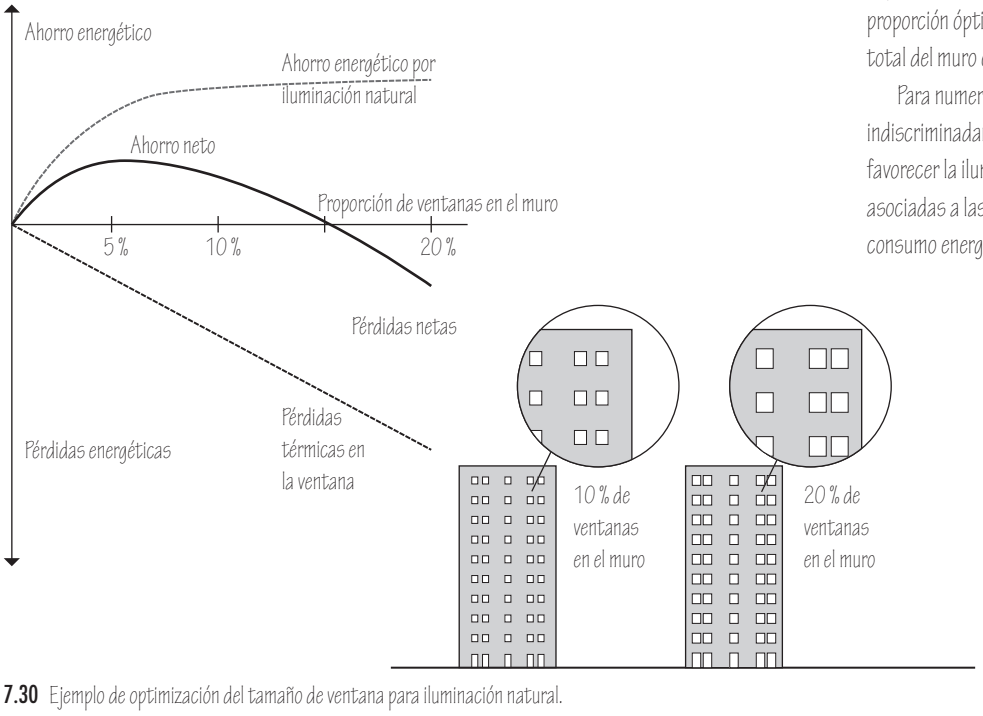


7.27 La iluminación cenital se limita a edificios de una planta o a la última planta de un edificio en altura, aunque existen una serie de productos, como los tubos de luz, que permiten que la luz penetre hasta las plantas inferiores atravesando los desvanes y las plantas superiores.



7.28 Las ventanas de iluminación lateral deben tener la suficiente altura en el muro como para que proyecten la luz a la mayor profundidad posible.

7.29 Ejemplo de una técnica de iluminación global que utiliza algoritmos sofisticados para simular de forma más precisa la iluminación de un espacio. Los algoritmos no solo tienen en cuenta los rayos lumínicos que se emiten directamente desde una o varias fuentes de luz, sino también los rayos reflejados o refractados de una superficie a otra, especialmente las interreflexiones difusas que se dan entre las superficies de un espacio o escena.



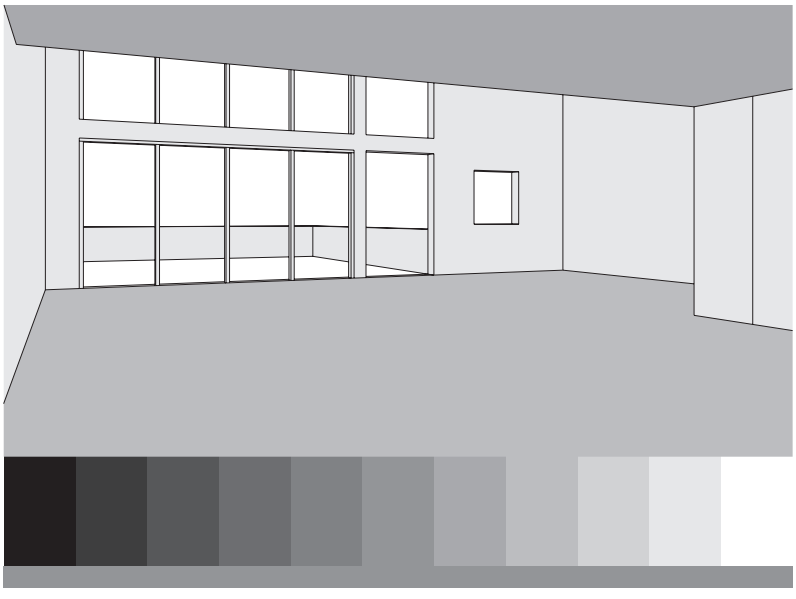
7.30 Ejemplo de optimización del tamaño de ventana para iluminación natural.

La iluminación natural es un tema complejo que puede analizarse con mayor precisión mediante modelos de iluminación que optimicen la eficiencia energética, por medio de buscar un equilibrio entre el ahorro en iluminación y el coste en pérdidas de calor, evaluando y evitando el riesgo de deslumbramientos, y cuyo proyecto debe ejecutarse con suma atención y control. Es conveniente tratar el tema de la iluminación natural en esta fase del proyecto, cuando se está analizando la envolvente exterior y hay oportunidad de optimizarla, antes de comenzar a proyectar la iluminación artificial.

La luz natural implica algo más que añadir más ventanas a los edificios. Debe buscarse un equilibrio entre el ahorro energético de la iluminación natural y el sobrecoste en climatización por tener mayores superficies de ventana. El ahorro eléctrico es mayor al aumentar la superficie de ventana para captar luz natural, pero a su vez aumentan las pérdidas de calor. En el caso de ventanas pequeñas, el ahorro en iluminación suele ser mayor que el impacto negativo de las pérdidas térmicas y las correspondientes cargas de calefacción o refrigeración, por lo que se consiguen ahorros netos. Sin embargo, los ahorros en iluminación artificial alcanzan un máximo con el aumento de la superficie de ventana, mientras que el impacto térmico negativo sigue creciendo. Así pues, existe un tamaño óptimo de ventana por encima del cual las pérdidas térmicas consumen todas las ganancias que supone la iluminación natural.

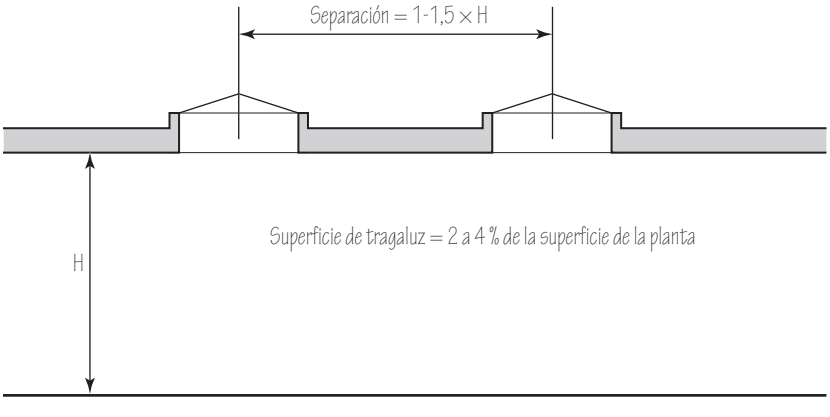
El ahorro energético potencial que puede ofrecer la iluminación natural también ha disminuido en los últimos años gracias a la mayor eficiencia de las tecnologías de iluminación artificial, así como a los mayores controles para reducir su uso. También el mayor uso de superficies reflactantes supone un ahorro potencial. Por todo ello, la proporción óptima de superficie de ventanas respecto a la superficie total del muro es ahora menor.

Para numerosos tipos de edificios y de uso, si se aplican indiscriminadamente las recomendaciones de superficie de vidrio para favorecer la iluminación natural, sin considerar las pérdidas térmicas asociadas a las ventanas, pueden llegar a producirse incrementos del consumo energético en lugar de reducirlos.



7.31 Los valores de reflectancia de las superficies de una habitación afectan a la estrategia de iluminación natural del espacio.

El éxito de una estrategia de iluminación natural depende en gran medida de la reflectancia de las superficies interiores, como techos, paredes, suelos y muebles. Por ejemplo, al aumentar la reflectancia media de un espacio interior de un 50 a un 75 %, la superficie de vidrio necesaria para iluminar durante el día una oficina de 3,7 × 4,6 m se reducirá más de un 50 %, de 2,3 a 1,1 m^2. Elegir acabados reflectantes para techos, muros, suelos, cortinas y mobiliario pasa a ser una opción de alto impacto ecológico y bajo coste económico. Sin embargo, para poder aprovechar las ventajas de reflectancias superficiales mayores para la iluminación natural, este aumento en la reflectancia debe combinarse con una reducción del tamaño de las ventanas, con la consiguiente reducción de pérdidas térmicas.

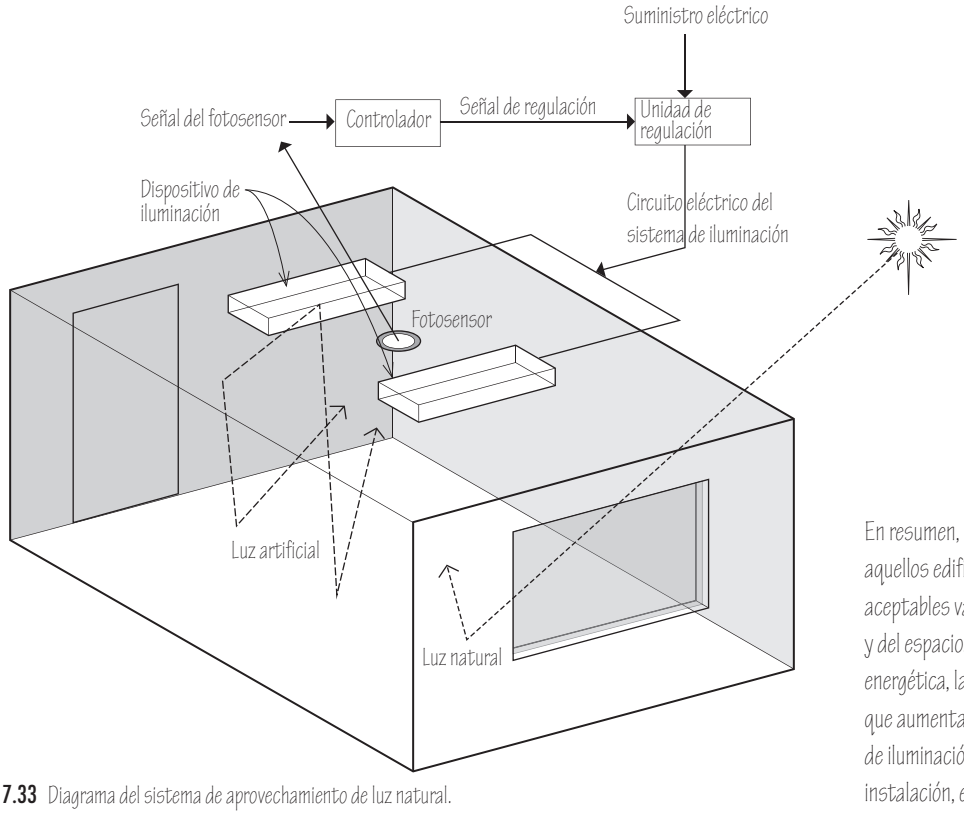


7.32 Regla aproximada para la iluminación natural cenital.

Es útil diferenciar entre la iluminación natural pensada para reducir el consumo eléctrico de la iluminación artificial y la luz natural procedente de un hueco abierto en función de las vistas y que, por motivos estéticos, no puede suprimirse. Este segundo tipo puede ser considerado como iluminación natural incidental, ya que no es simplemente un beneficio añadido al disfrute de las vistas, sino también un medio para evitar una doble penalización energética derivada del consumo por iluminación artificial y por las pérdidas térmicas.

La iluminación cenital a través de tragaluces y lucernarios tiene muchas ventajas, entre ellas, una mayor uniformidad de la iluminación, controles más simples, mayor cobertura espacial y menos problemas con el deslumbramiento. Como en el caso de la iluminación lateral, no debería sobredimensionarse la superficie de vidrio, ya que, de nuevo, los beneficios de la iluminación se compensarán con las pérdidas térmicas. El tamaño óptimo de las superficies de vidrio debería calcularse a partir de simulaciones informáticas. Una regla básica para predimensionar estas superficies indica que deberían ser entre un 2 y un 4 % de la superficie total a iluminar, y cada fuente de luz debe estar a una distancia de entre una y una vez y media la altura libre del espacio. Puesto que la mayor parte de los edificios comerciales (al menos en Estados Unidos) cuentan como máximo con dos plantas, el 60 % de las superficies cubiertas podría iluminarse cenitalmente. De las diversas opciones disponibles para la iluminación cenital, los tragaluces, más que los lucernarios, proporcionan una luz más uniforme y más horas de iluminación durante todo el año.

Las ventajas de la iluminación natural solo pueden disfrutarse si se cuenta con un control asociado de la iluminación artificial interior. Sin este control, en lugar de ahorrar energía, la luz natural podría aumentar el consumo energético del edificio debido a su carga térmica, sin suponer ningún ahorro para la iluminación. Existen dos tipos fundamentales de controles de iluminación —encendido secuencial y regulación continua—, y ambos reducen el consumo energético gracias a un fotosensor que detecta los niveles de iluminación natural y ajusta automáticamente el de iluminación artificial para alcanzar el grado deseado o recomendado de iluminación del espacio. Si la luz natural procedente de las ventanas es suficiente para cubrir las necesidades de los usuarios, el control de iluminación apaga automáticamente todas o parte de las lámparas, o reduce su intensidad, y cuando el nivel de luz natural baja de los niveles recomendados, reactiva automáticamente las luces. Estos sistemas de aprovechamiento de la luz natural pueden estar coordinados con detectores de movimiento que apagan las luces cuando no hay personas, o bien con controles manuales que permitan fijar el grado de luminosidad. Algunos sistemas de control también pueden ajustar el balance de color de la luz modificando la intensidad de los LED individuales o los distintos colores instalados en las lámparas de techo. También puede ocurrir que la lámpara esté encendida más tiempo del estrictamente necesario, con lo que se anulará parte del ahorro energético potencial. Encontrar el equilibrio adecuado entre un ciclo molesto de apagados y encendidos y una fluctuación también molesta del grado de luminosidad puede ser un auténtico desafío.



7.33 Diagrama del sistema de aprovechamiento de luz natural.

Los controles automáticos de iluminación deben disponer de puntos de activación para ahorrar energía sin generar molestias a los usuarios, como, por ejemplo, en el caso de una oficina con una única lámpara controlada por un sistema secuencial de encendido y un requisito de iluminación de 300 lux; por la mañana, las nubes pueden reducir la luminosidad del espacio hasta los 100 lux, de modo que, automáticamente, la lámpara se enciende; cuando vuelve a salir el sol, la luminosidad aumenta de los 100 lux hasta los 300 lux, y la lámpara volverá a apagarse. Si el sistema de control está programado para apagar la lámpara cuando la luminosidad supere los 300 lux y a encenderla en cuanto baje de esa cantidad, existe el riesgo de que cada vez que pase una nube, la lámpara se encienda y se apague rápidamente, lo que supone una molestia.

Si en lugar de los valores anteriores se programa el sistema de control para que la lámpara se encienda cuando la luminosidad baje de 300 lux, y se apague cuando supere los 500 lux, la luz no volverá a apagarse y encenderse rápidamente cuando pasen las nubes, pero los niveles de iluminación de la oficina variarán, lo cual puede ocasionar molestias de otro tipo. Los reguladores automáticos de intensidad pueden resolver este problema hasta cierto punto, pero también deben programarse con cuidado. Otro aspecto a tener en cuenta, es que es preciso situar y orientar adecuadamente los fotosensores para evitar que se activen debido otras fuentes de luz artificial.

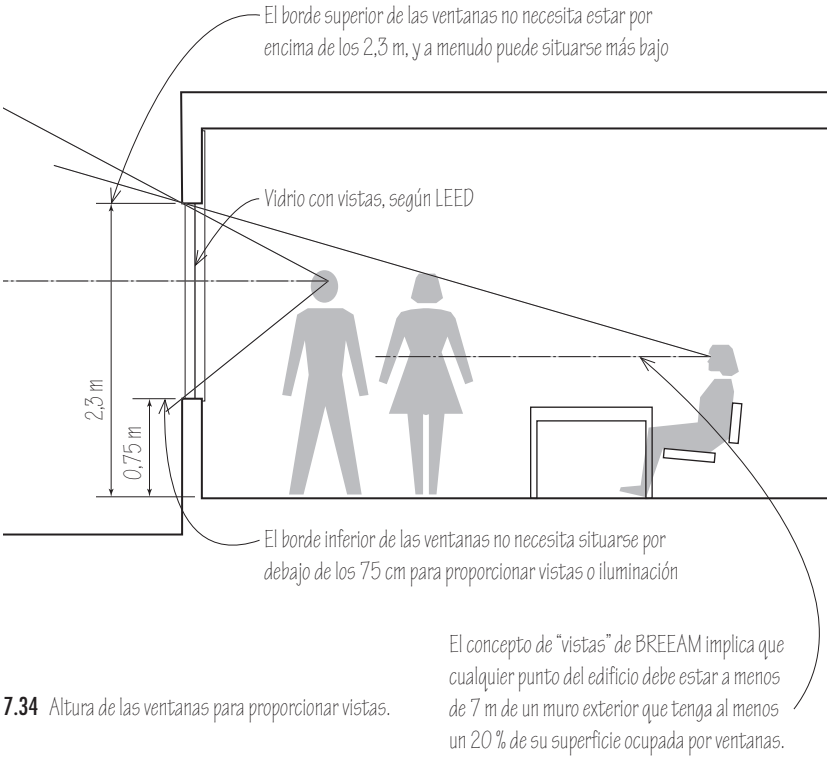
En resumen, la luz natural puede suponer un ahorro energético a aquellos edificios con muchas horas de luz al día, y donde sean aceptables variaciones en el nivel de luminosidad a lo largo del tiempo y del espacio. Para que resulte beneficiosa en términos de eficiencia energética, la superficie de vidrio no debe sobredimensionarse, ya que aumentarían las pérdidas térmicas, y los controles automáticos de iluminación deben contar con una buena calidad de diseño, instalación, ejecución, operación y mantenimiento.

Vistas

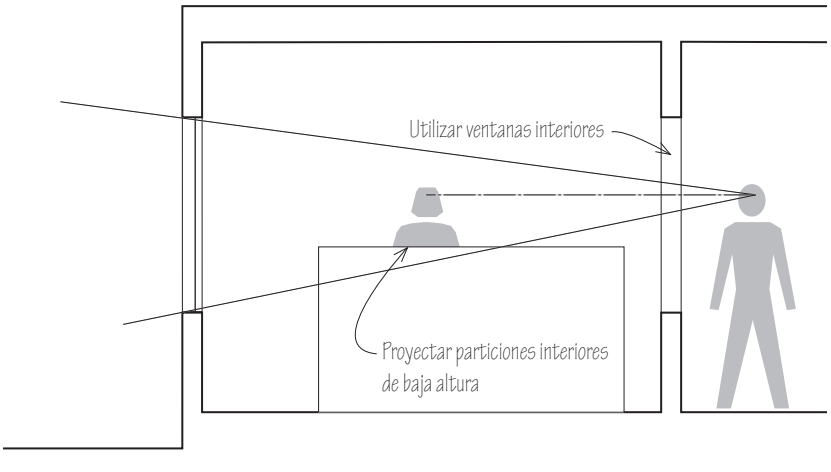
Las vistas a través de las ventanas ofrecen una conexión con el exterior, informan a los usuarios sobre las condiciones atmosféricas y contribuyen a la salud mental y a la productividad de las personas. El sistema LEED especifica que el mejor acristalamiento para ofrecer vistas a los usuarios es aquel que se sitúa entre 75 y 230 cm por encima del nivel del suelo; BREEAM indica que es aquel que permite ver el cielo desde un escritorio con una altura de 70 cm, al tiempo que define que un espacio puede considerarse que tiene vistas cuando cualquier punto del mismo está a menos de 7 m de un muro exterior que tenga una proporción mínima de superficie de ventanas del 20 %.

Como sucede con la luz natural, el tamaño de las ventanas necesario para proporcionar vistas debe ser cuidadosamente evaluado para evitar pérdidas térmicas innecesarias. Por ejemplo, el borde inferior de una ventana puede estar por encima de los 75 cm, y aun así permitir buenas vistas. La parte superior de las ventanas tampoco tiene que llegar necesariamente a los 2,3 m para permitir las vistas. Los límites fijados por el sistema LEED están pensados para definir la zona por encima de la cual empieza el deslumbramiento por la luz natural, más que la zona donde empieza a haber buenas vistas. Además, para ofrecer buenas vistas, la ventana no tiene por qué ocupar toda la longitud del muro.

.



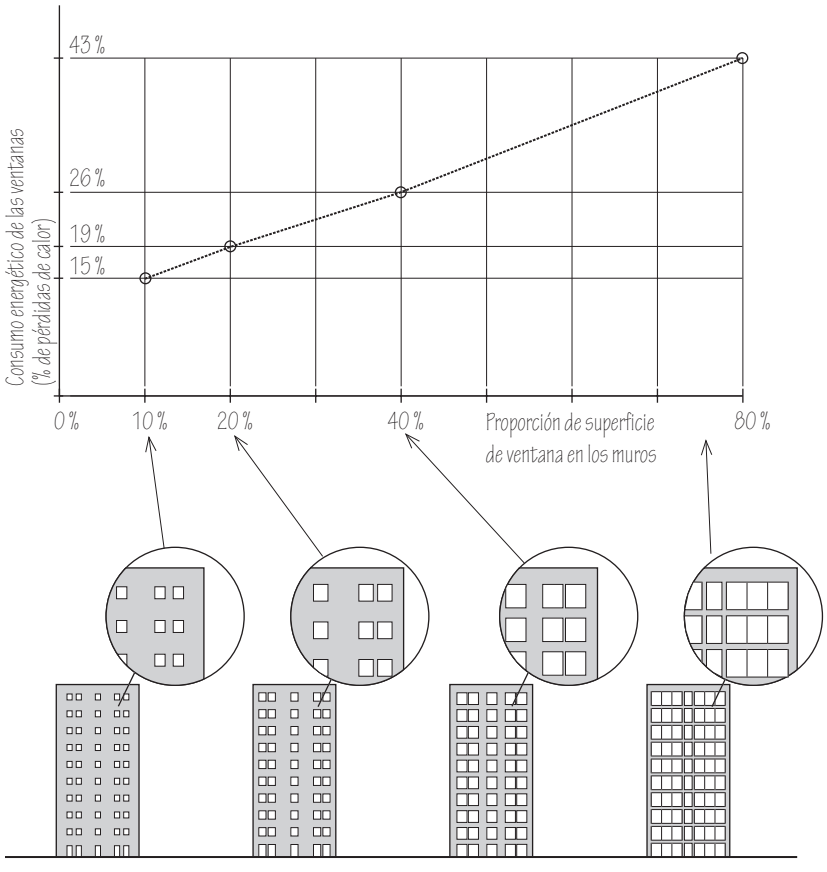
7.34 Altura de las ventanas para proporcionar vistas.



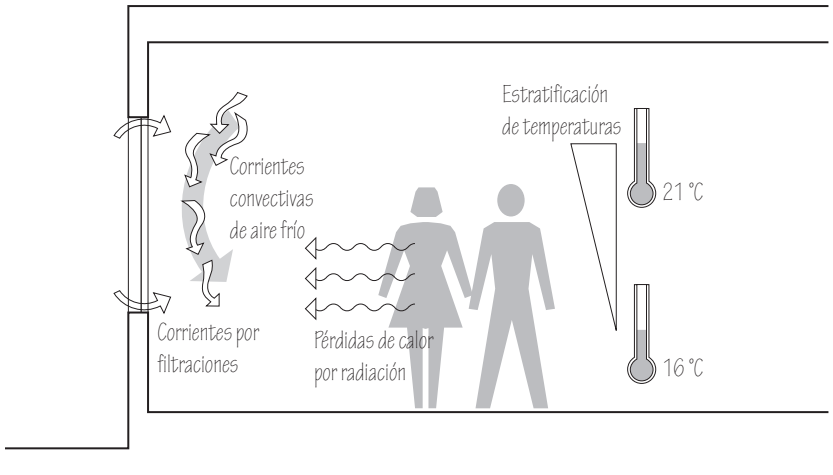
7.35 Estrategias adicionales para mejorar las vistas en los espacios interiores.

LEED sugiere que las ventanas con vistas solo son necesarias en espacios ocupados regularmente, y no en aquellos desocupados la mayor parte del tiempo. A cada paso que damos es preciso recordar las enormes pérdidas térmicas que suponen una ventana y la necesidad de buscar formas de reducirlas.

El sistema LEED también sugiere otras estrategias para proporcionar vistas, entre ellas el uso de ventanas interiores que permitan que los usuarios de espacios interiores también disfruten de las vistas exteriores a través de espacios perimetrales, o el uso de particiones interiores bajas para evitar obstruirlas.



7.36 Pérdida de energía a través de las ventanas.



7.37 Cuestiones de confort relacionadas con las ventanas.

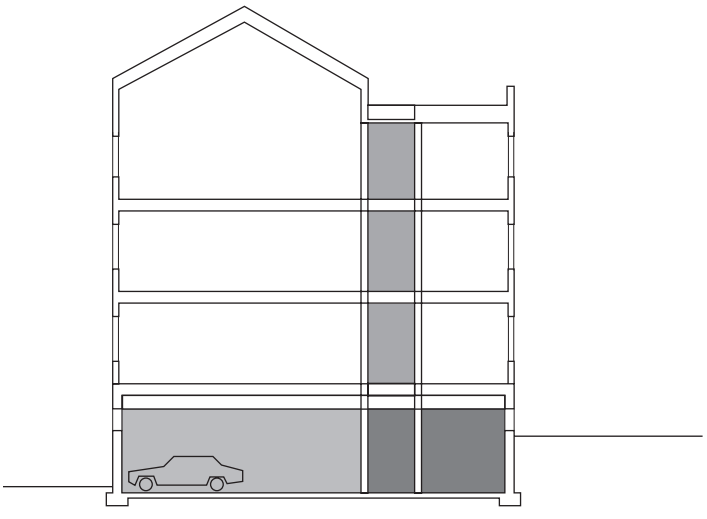
Pérdidas en las ventanas

En contraste con los beneficios de iluminación natural y vistas, las ventanas presentan múltiples y muy significativas ineficiencias en términos energéticos: pierden calor en invierno por conducción térmica, filtración de aire y radiación, y suponen una fuente de ganancias térmicas en verano, con la necesidad asociada de aire acondicionado. Las ventanas también suponen mayor coste de construcción en relación con la superficie de muro que eliminan.

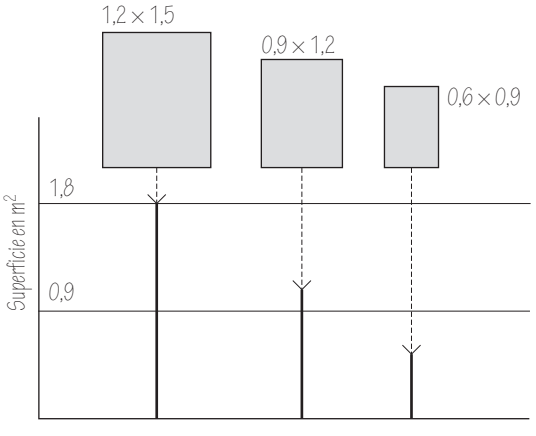
Para poner en contexto las pérdidas de calor asociadas a las ventanas, un muro convencional tiene una resistencia térmica entre 10 y 30 (valor medio 20), mientras que la típica ventana de doble hoja de vidrio en torno a 2, diez veces menos eficiente que el muro medio; incluso las ventanas de alto rendimiento apenas presentan valores de entre 3 y 5, y todo ello al margen de las pérdidas por filtraciones, radiación o los puentes térmicos que se generan alrededor de la ventana. También hay otras pérdidas de menor magnitud, como la reducida reflectancia del vidrio durante la noche, lo que requiere mayor intensidad de iluminación artificial. Sumando todas las pérdidas asociadas a las ventanas, es probable que las ventanas pierdan diez veces más de energía que la porción de muro que reemplazan. Por ello, un edificio tipo pierde el 25 % de su energía por las ventanas, y estas pérdidas son incluso mayores en edificios con una alta proporción de superficie de ventanas en los muros.

El impacto de las ventanas no solo se traduce en mayor consumo energético y coste de construcción, sino también en un malestar para los usuarios, que puede observarse en la práctica habitual de situar fuentes de calor bajo las ventanas para contrarrestar el frío que transmiten, o en la necesidad de alejar ciertos muebles de las ventanas para evitar las corrientes de aire frío. Además, colocar una fuente de calor bajo la ventana no hace más que exacerbar sus pérdidas asociadas en invierno, en la medida en que la superficie interior de la ventana está en contacto con aire de una temperatura superior a la del resto de la estancia. El cuerpo humano también sufre pérdidas de calor en invierno por radiación hacia la superficie fría de la ventana, e incluso a través de la misma. Las ventanas fijas también causan este malestar. En habitaciones con ventanas grandes, incluso de suelo a techo, no es raro encontrar importantes estratificaciones en la temperatura del aire que pueden llegar a alcanzar más de 5,6 °C entre los pies y la cabeza. Finalmente, a menudo las ventanas causan deslumbramientos, de modo que si se colocan filtros delante de las ventanas, como cortinas o visillos, estos reducen o eliminan las vistas o la luz natural.

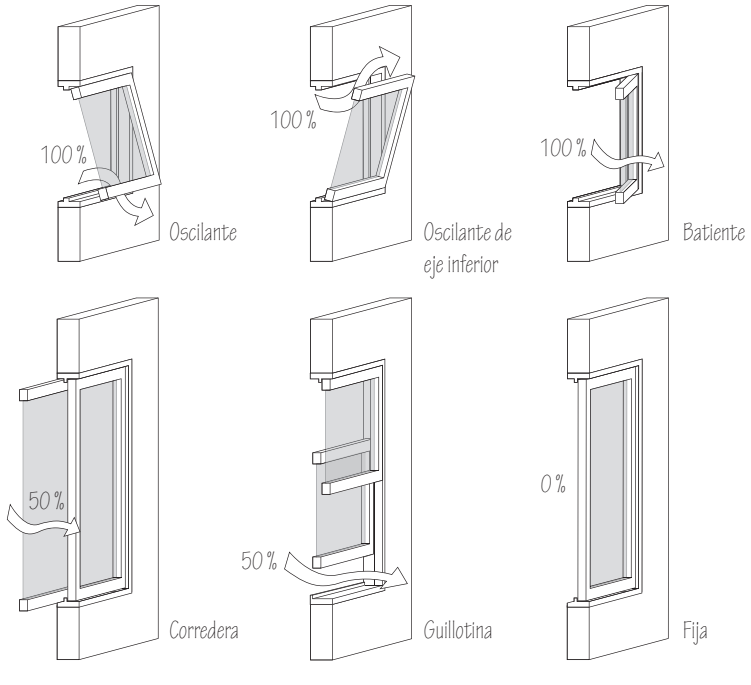
En las ventanas expuestas directamente al sol, las pérdidas térmicas se compensan parcialmente gracias a las ganancias solares en invierno.



7.38 Minimizar o suprimir las ventanas en los espacios de servicio e instalaciones.



7.39 Comparativa de tamaños y áreas de ventanas.



Reducir las pérdidas en las ventanas

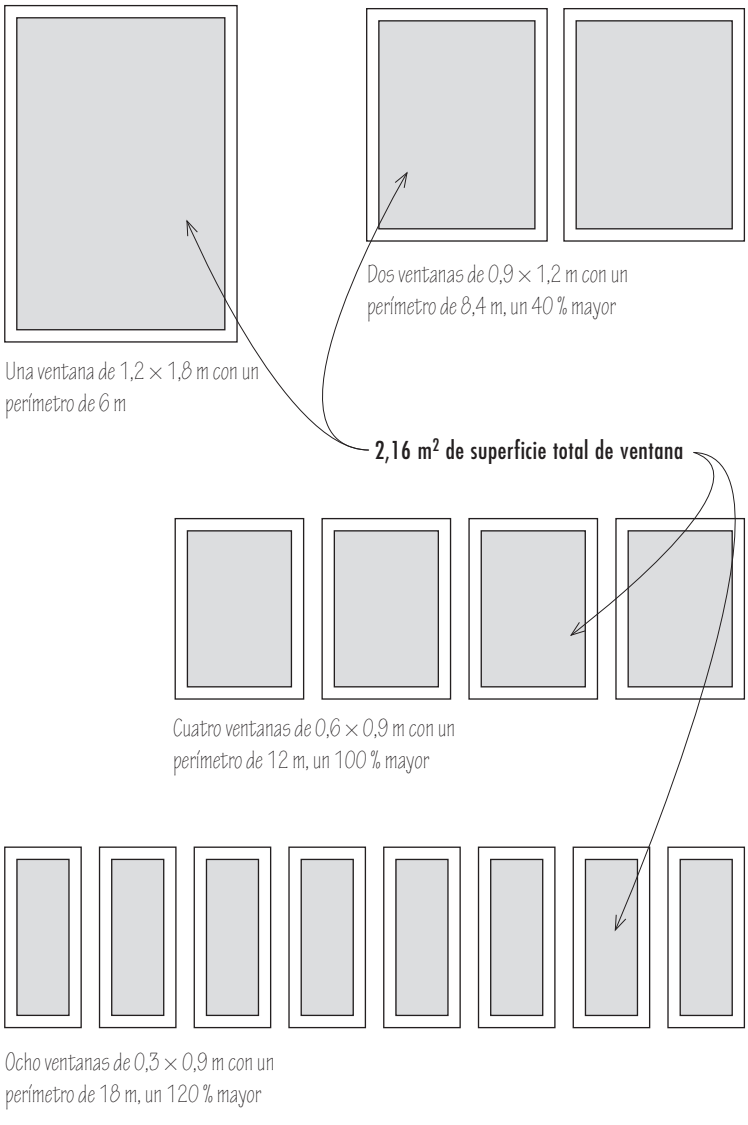
¿Cómo pueden reducirse las pérdidas de las ventanas en los edificios ecológicos? En primer lugar, evitando o reduciendo el número de ventanas en espacios donde no sean necesarias, como garajes, cajas de escalera, lavaderos, entradas, vestíbulos y otros espacios servidores de uso no prolongado.

En segundo lugar, allí donde sea posible, situar solo una o dos ventanas en aquellas estancias que normalmente cuentan con dos o tres, como pequeñas oficinas o dormitorios. El tamaño de las ventanas también debe ser definido con sumo cuidado. Una ventana de 0,9 × 1,2 m tiene la casi la mitad de la superficie que una ventana de 1,2 × 1,5 m, y una ventana de 0,6 × 0,9 m tiene de nuevo casi la mitad de superficie que la primera ventana.

Una tercera estrategia consiste en utilizar ventanas fijas siempre que no sea necesario recurrir a ventanas practicables. Las ventanas fijas reducen las filtraciones de aire, aunque aún debe prestarse atención a ellas en las juntas entre la ventana y la estructura del muro. Por ejemplo, una ventana de guillotina simple produce menos filtraciones que una de guillotina doble, sin por ello sacrificar superficie practicable.

Si las ventanas tienen como función principal la ventilación natural, las oscilantes o batientes ofrecen mayor superficie libre que las correderas o en guillotina, que solo pueden abrir la mitad de su superficie. Las ventanas oscilantes y batientes suelen ser más herméticas y producen menos filtraciones que las correderas horizontales o verticales. Igualmente, si no se necesita toda la superficie de la ventana para proporcionar vistas o luz natural, las oscilantes o batientes proporcionan más ventilación con menos superficie y, por tanto, son más eficientes energéticamente y, en general, tienen menor coste.

7.40 Efectividad relativa de los distintos tipos de ventana a efectos de ventilación.

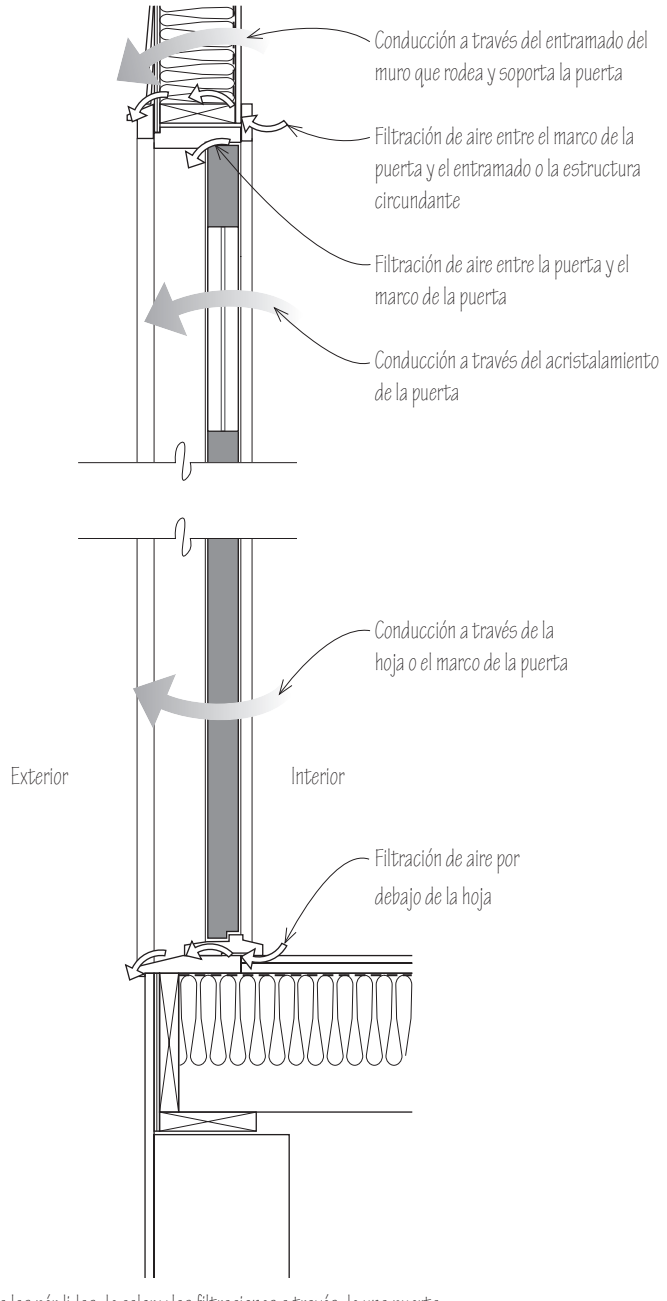


7.41 Cuanto mayor es la ventana, menor es la filtración de aire y la conducción a través del perímetro por unidad de superficie.

Para una superficie de ventanas determinada, menos ventanas pero más grandes resultan más eficientes que más ventanas más pequeñas. Un punto muy vulnerable a las pérdidas de energía es el marco de la ventana, por el cual se producen filtraciones tanto a través de la parte practicable de la ventana como a través de la junta entre el marco y el resto del muro, aparte de que las pérdidas por conducción son mayores en el perímetro que en el centro del vidrio. Una ventana de 1,2 × 1,8 m tiene un perímetro de 6 m. Dos ventanas de 0,9 × 1,2 m tienen un perímetro total de 8,4 m, un 40 % mayor. Cuatro ventanas de 0,6 × 0,9 m tienen un perímetro de 12 m, un 100 % más que el primer caso. Finalmente, ocho ventanas de 0,3 × 0,9 m triplican el perímetro original. Nótese que la proporción también es importante. Una sola ventana alargada de 0,3 × 7 m, para la misma superficie, presenta un perímetro de 14,6 m. Así pues, las formas más próximas al cuadrado son mejores que las muy alargadas y delgadas, aunque las diferencias entre las cuadradas y las ligeramente rectangulares son mínimas.

Menos ventanas más grandes también reducen los costes de construcción frente a más ventanas pequeñas con una misma superficie. Por ejemplo, una ventana de guillotina de 0,9 × 1,2 m cuesta aproximadamente un 25 % menos que dos ventanas de 0,6 × 0,9 m.

Otras características de las ventanas, como su masa visual y la calidad de las vistas y de la luz natural, también deberían tenerse en cuenta junto a las cuestiones cuantitativas del ahorro energético. En cualquiera de tales evaluaciones, debe prestarse atención a mantener las vistas y proporcionar una luz natural adecuada, ya que las personas suelen valorar estas cuestiones en los espacios de uso frecuente.



7.42 Vías para las pérdidas de calor y las filtraciones a través de una puerta.

Puertas

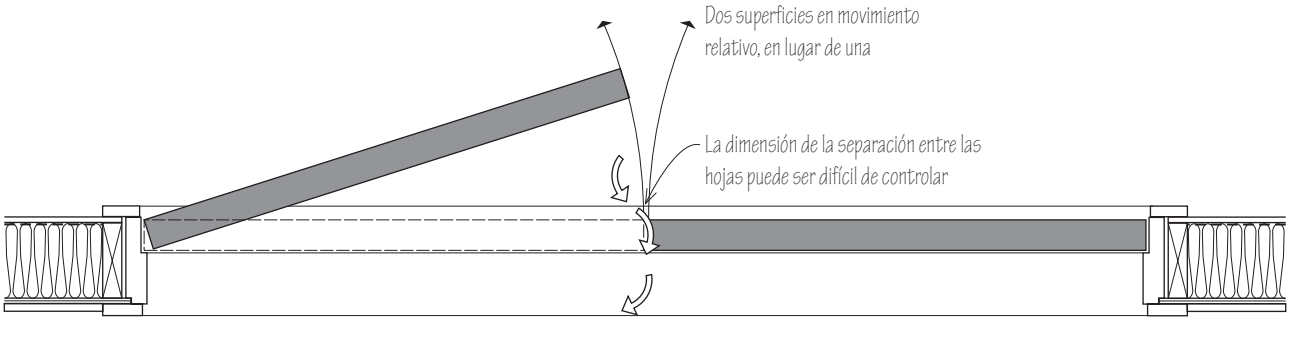
Las puertas funcionan de forma bastante similar a las ventanas. Las exteriores atraviesan la envolvente térmica del edificio, y cada una de ellas presenta numerosas vías para la filtración del aire: entre la puerta y el marco, entre el marco de la puerta y el muro circundante, y por debajo. Cada puerta, además, presenta diversas vías para la pérdida o la ganancia de calor por conducción a través de la hoja de la puerta, del vidrio, del marco o de la estructura del muro circundante.

Sin embargo, las puertas exteriores tienen algunas diferencias respecto de las ventanas en relación con las pérdidas energéticas. Las puertas sólidas reducen las pérdidas o ganancias de calor respecto a las ventanas, y si están aisladas aún más. Además, lo habitual es que el número de puertas de un edificio sea inferior al de ventanas, aunque hay tipologías de edificios con muchas puertas, como las viviendas adosadas o los moteles con accesos exteriores a las habitaciones.

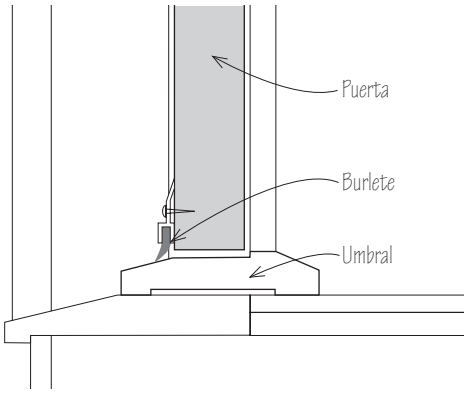
Un error que suele cometerse con las puertas es utilizar una puerta interior sin aislamiento como puerta exterior, especialmente para separar espacios acondicionados de otros que no lo están, como garajes o desvanes.

Incluso aunque haya menos puertas exteriores que ventanas en los edificios, se abren y cierran con mucha más frecuencia que las ventanas. Esta operación implica un mayor desgaste de los burletes, los elementos encargados de proteger frente a las filtraciones de aire entre elementos con movimiento relativo.

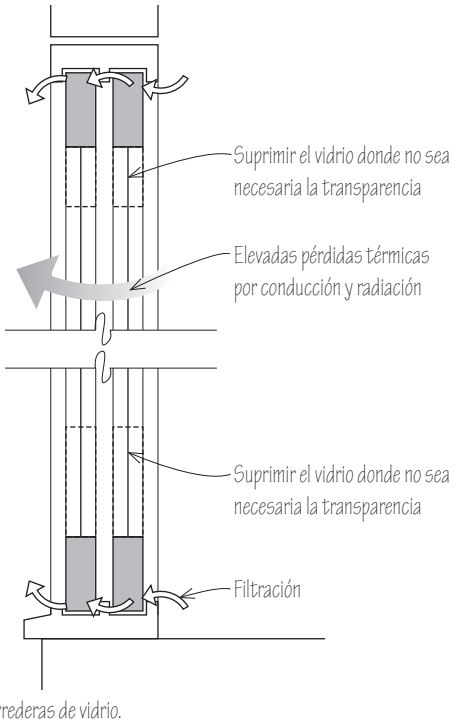
Las puertas dobles presentan desafíos específicos para asegurar la estanquidad, pues no se trata de un solo elemento móvil respecto a otro fijo, sino de dos elementos con movimientos independientes y que deben quedar sellados en su posición de reposo. A menudo no hay burlete entre las dos hojas de la puerta o, cuando lo hay, no es lo suficientemente grande para sellarlas adecuadamente.



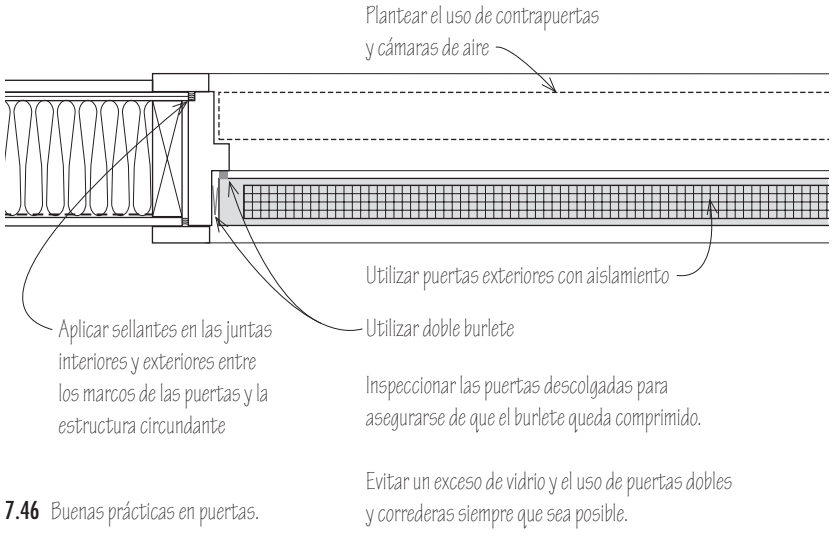
7.43 Dos desafíos para el sellado de las puertas dobles.



7.44 Sistema de protección del borde inferior de una puerta exterior.



7.45 Puertas correderas de vidrio.



7.46 Buenas prácticas en puertas.

Puesto que las puertas exteriores suelen situarse en las plantas inferiores de los edificios, o en las superiores para acceder a la cubierta, sufren una exposición mayor que las ventanas al efecto chimenea.

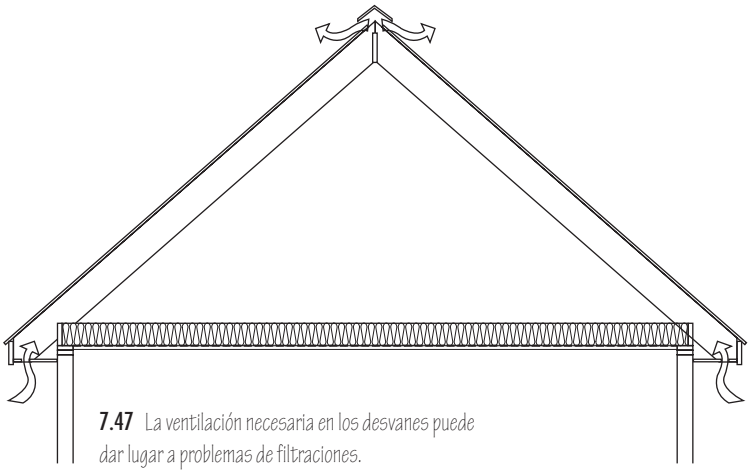
El borde inferior de una puerta exterior resulta singular, puesto que no resulta sencillo colocar un elemento de sellado sobre la superficie fija, el umbral, que debe soportar las pisadas de los usuarios. Para resolver este problema se ha desarrollado un tipo específico de burlete bajo la puerta que cuenta con una porción flexible (un cepillo o una tira de vinilo o de goma) que sobresale bajo la hoja de la puerta. Estos burletes bajo puerta a veces no ajustan bien o se dañan con el tiempo. Como es un elemento especialmente vulnerable, conviene contar con otra capa de protección, que puede ser una contrapuerta. Sin embargo, para que esta contrapuerta sea realmente eficaz, debe contar también con su correspondiente burlete y el sellado de marcos.

Las puertas exteriores correderas, a menudo totalmente acristaladas, son especialmente susceptibles a desalinearse y sufrir filtraciones.

Los acristalamientos de las puertas provocan las mismas grandes pérdidas térmicas que las ventanas, de ahí que sea conveniente limitar el acristalamiento a aquellas situaciones donde sea necesario por motivos de seguridad. Conviene limitar el uso de puertas totalmente acristaladas, habituales en terrazas y balcones, si las vistas no son estrictamente necesarias. Las puertas de acceso a los edificios comerciales, así como las puertas laterales y traseras, son otros ejemplos de que el acristalamiento integral no siempre es necesario.

Algunas buenas prácticas para el proyecto adecuado de puertas en edificios ecológicos son las siguientes:

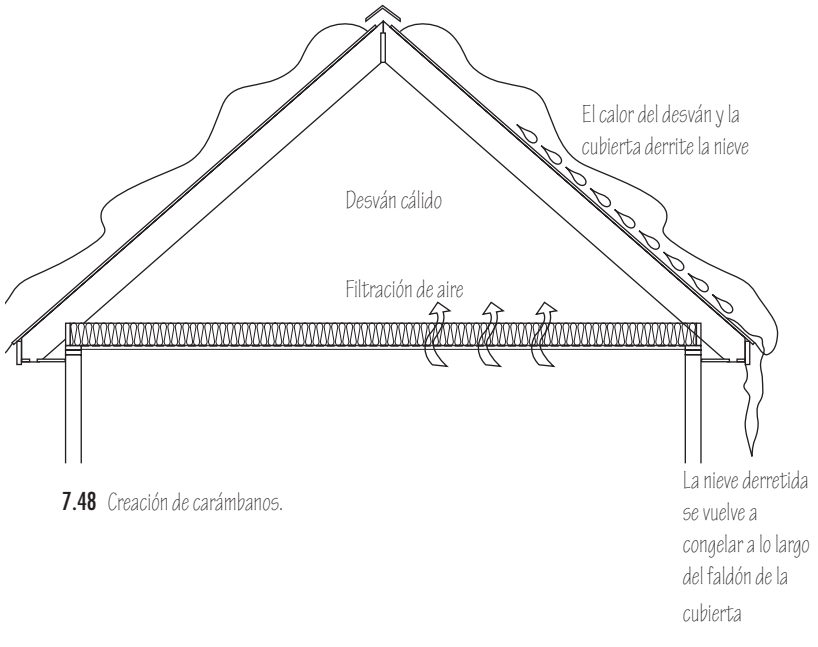
- Minimizar el número de puertas exteriores de un edificio.
- Evitar las puertas correderas siempre que sea posible.
- Evitar las puertas dobles siempre que sea posible.
- Evitar las puertas con excesivo acristalamiento siempre que sea posible.
- Utilizar puertas exteriores con aislamiento en las conexiones entre espacios acondicionados y no acondicionados.
- Utilizar contrapuertas siempre que sea posible. Ofrecen una capa adicional de protección, que supone una mayor resistencia térmica y una protección contra las filtraciones de aire.
- Sellar los marcos de las puertas y la base del umbral, tanto por el interior como por el exterior. Hacer lo propio con las contrapuertas.
- Aislar el perímetro de los marcos de las puertas.
- Colocar burletes en las puertas y asegurarse de que reciben la suficiente presión como para garantizar la estanquidad.



7.47 La ventilación necesaria en los desvanes puede dar lugar a problemas de filtraciones.

Cubiertas

La normativa energética y los estándares de alto rendimiento (como el ASHRAE 189) fijan criterios para el aislamiento de cubiertas, pero suelen estar optimizados para localizaciones geográficas específicas. Al igual que los muros, las cubiertas sufren pérdidas debido a los puentes térmicos, pero una capa continua de aislamiento puede evitarlo. Las cubiertas normalmente no permiten la filtración de aire porque están proyectadas para evitar la filtración de agua. Sin embargo, los respiraderos pensados para ventilar los desvanes bajo cubierta pueden originar problemas en este sentido, especialmente en cubiertas inclinadas..



7.48 Creación de carámbanos.

Cubiertas inclinadas

Desde un punto de vista energético, el desarrollo más significativo relacionado con las cubiertas ha sido el descubrimiento de la gran cantidad de aire que se escapa del edificio hacia los desvanes, y de allí hacia el exterior a través de los respiraderos, especialmente en el caso de las cubiertas inclinadas. El número y la diversidad de tipos de filtración en el suelo del desván son significativos. El aire puede escaparse a través de las trampillas, las cámaras de aire sin sellar, alrededor de las chimeneas y otros conductos de ventilación, a través de rozas para conductos y cableado, alrededor de extractores de aire y aparatos de iluminación, así como en los bordes de las medianeras.

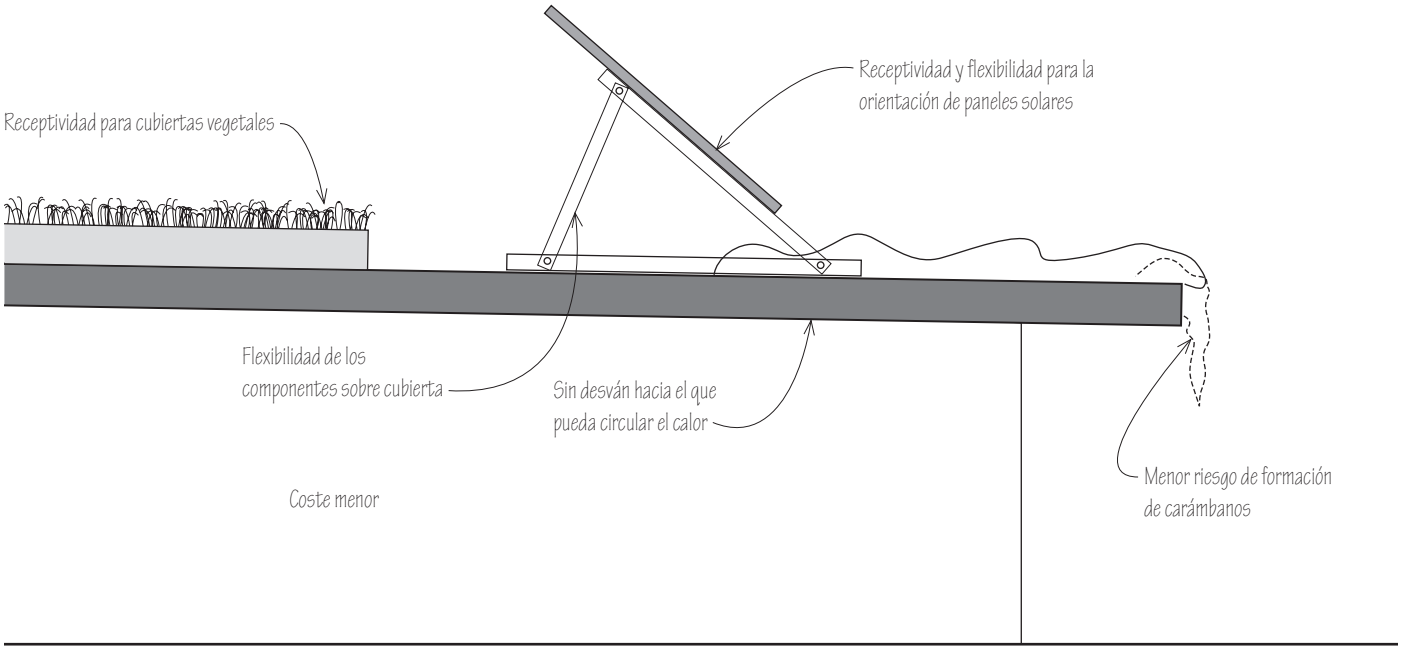
Otro impacto negativo de estas fugas de aire es la formación de carámbanos en las cubiertas en climas fríos, pues este aire derrite la nieve acumulada sobre la cubierta, que vuelve a congelarse en su recorrido por la cubierta hasta las limahoyas o los canalones.

¿Por qué las cubiertas inclinadas y los desvanes tienen tantos problemas de filtración? La respuesta probablemente radica en la confusión entre la función de la cubierta y la del techo de la última planta (el suelo del desván). La función principal de la cubierta inclinada es evitar que la lluvia entre en el edificio, y el suelo del desván ha servido básicamente como parte de la envolvente térmica. Sin embargo, esta división funcional ha implicado que muchas veces el suelo del desván no haya sido correctamente sellado; si se le hubiera exigido la estanquidad al agua que presentan normalmente los muros o las cubiertas planas, seguramente no habría tenido tantos problemas de filtración.

También podría decirse que las cubiertas planas son más ecológicas que las inclinadas, porque evitan las filtraciones de las cubiertas inclinadas y los desvanes, y porque tienen mayor receptividad para la instalación de componentes ecológicos, como los paneles solares o las cubiertas vegetales.

Las cubiertas planas también son más económicas que las inclinadas, pues estas últimas implican el coste de dos estructuras independientes —la de la cubierta y el forjado del desván—, mientras que las planas lo resuelven con una única estructura. El coste de las cubiertas planas puede ser un 22 % menor que el de las inclinadas. Es necesario reconocer algunas vulnerabilidades de las cubiertas planas en términos estéticos, en el riesgo de encharcamiento o en la incapacidad de evacuar la nieve. Si se considera importante que un edificio tenga una cubierta inclinada, ya sea por motivos estéticos o de otro tipo, los esfuerzos deben dirigirse a proporcionar una envolvente térmica consistente y continua a lo largo de la cubierta o en el forjado del desván.

Las cubiertas vegetales requieren una discusión aparte para valorar sus costes elevados y la magnitud de sus ventajas desde el punto de vista térmico. En todo caso, los beneficios se refieren a la reducción del efecto de isla de calor, al control de escorrentías y al hecho de que ofrecen zonas verdes en las cubiertas. Si en el futuro se demostrasen los beneficios de las cubiertas vegetales, las cubiertas planas son más adecuadas que las inclinadas.

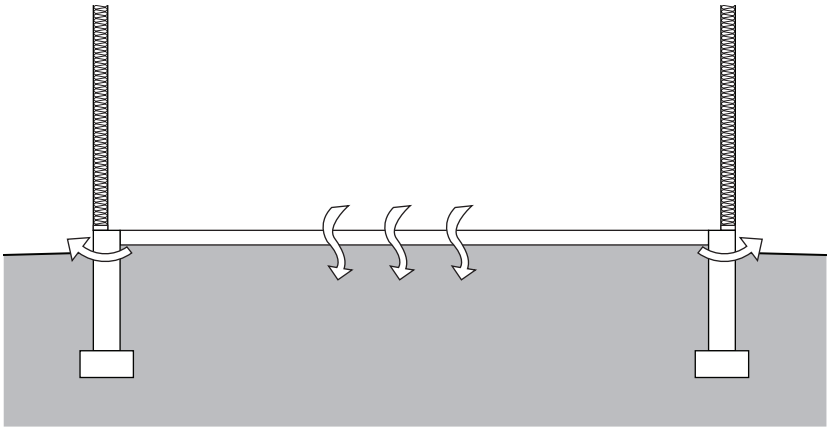


7.49 Beneficios ecológicos de las cubiertas planas.

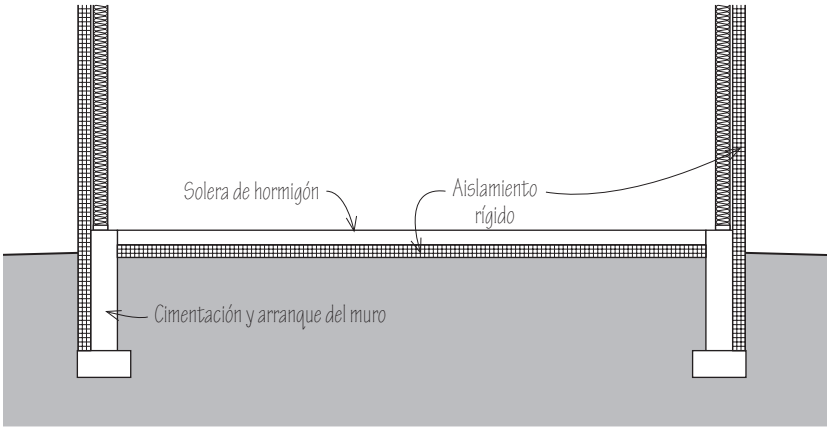
Suelos

Concluimos nuestro repaso por la envolvente exterior analizando los suelos, específicamente las soleras, pues los sótanos y las cámaras sanitarias serán tratadas en el capítulo 8: Espacios sin acondicionar.

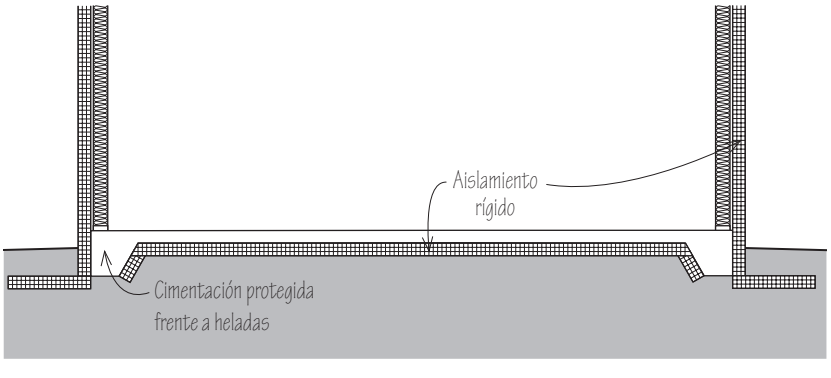
Los edificios pierden calor por las soleras hacia el terreno inmediatamente por debajo. El terreno suele estar más frío que el aire del interior del edificio, situándose en invierno entre -1 y 5,5 ºC en la capa superficial del terreno, dependiendo de la localización geográfica. Por su parte, en invierno el aire del interior del edificio suele estar a una temperatura de unos 21 ºC, de modo que el terreno tenderá a absorber calor de la parte inferior del edificio. Un estudio realizado en 33 viviendas energéticamente eficientes demostró que el 24 % de las pérdidas térmicas eran hacia el terreno, con la sospecha de que dichas pérdidas son mayores en viviendas menos eficientes. El aislamiento de borde es muy importante, pues el calor se desplaza por los bordes del suelo y por el terreno hacia el aire frío que se encuentra sobre el terreno en invierno. Los escaneos en infrarrojo han mostrado estas pérdidas de calor, donde los bordes de las losas de los edificios se muestran más calientes debido al flujo de calor que circula por ellos hacia el exterior.



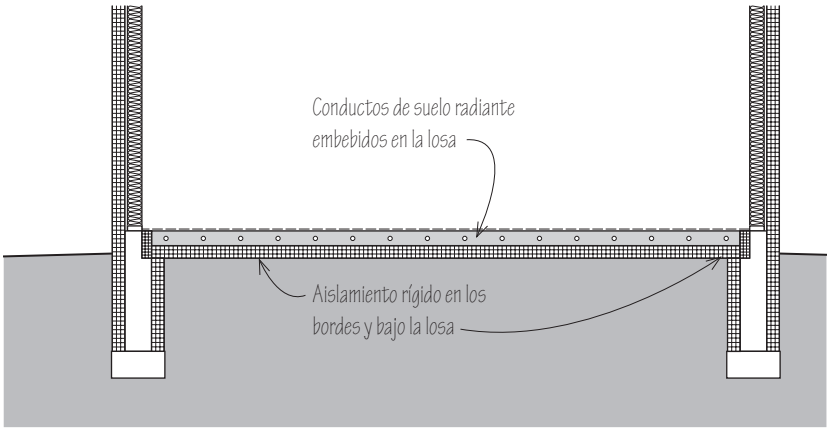
7.50 Pérdidas de calor a través de las soleras.



La continuidad térmica supone un gran desafío en este caso. Un muro aislado normalmente se apoya en una losa de hormigón conductora del calor. Si el suelo se aísla por la parte superior, entonces la losa queda fuera de la envolvente térmica, generando puentes térmicos a lo largo de los muros exteriores e interiores. Si la losa se aísla por su parte inferior, se producirá un puente térmico en sus bordes, a no ser que estos también se aíslen. Para conseguir la continuidad suele ser más eficaz aislar el exterior de la losa, tanto su perímetro como su cara inferior.



7.51 Proporcionar continuidad térmica a las soleras.

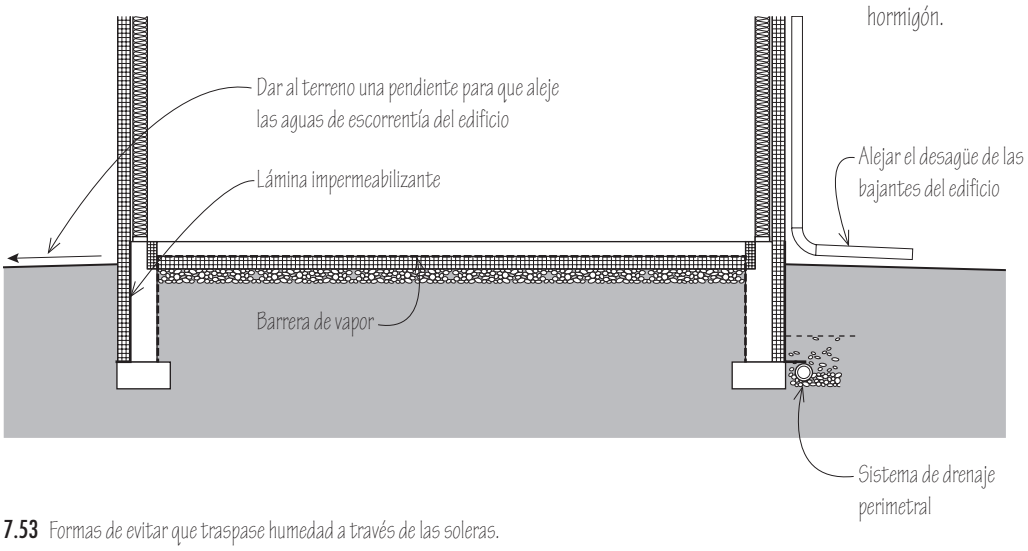


7.52 Sistema de suelo radiante.

La tendencia a utilizar suelos radiantes para la calefacción en los edificios está justificada por el confort y la uniformidad de temperatura que ofrecen. También tiene el potencial del ahorro energético, pues pueden admitirse temperaturas del aire interior menores gracias al mayor confort que proporciona el suelo radiante. Sin embargo, en el caso de las soleras, se corre el riesgo de que parte del calor se disipe hacia el terreno, aunque se disponga aislamiento bajo la losa. Si se piensa instalar un suelo radiante en una solera, debería hacerse un estudio sobre las pérdidas de energía hacia el terreno, incluso aunque la losa de cimentación se haya aislado por su cara inferior.

El aislamiento de un suelo es importante no solo por motivos energéticos, sino también por cuestiones de confort. Un suelo frío es incómodo para los pies y también es un sumidero de calor para las pérdidas térmicas por radiación del cuerpo humano, haciendo que todo el cuerpo sienta frío.

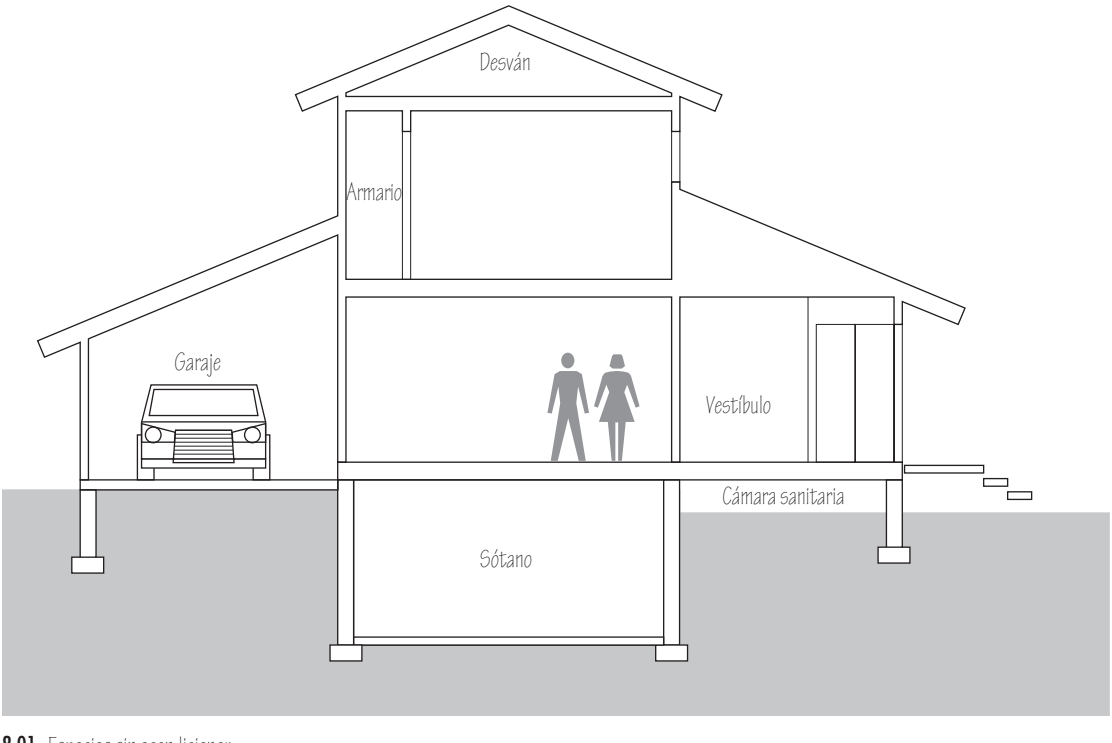
También es crítico evitar que la humedad del terreno ascienda por la solera. Si no se consigue, los materiales en contacto con el suelo se humedecerán y todo el espacio se sentirá húmedo. Para prevenir estos problemas pueden aplicarse una serie de medidas de protección: dar pendiente al terreno inmediato al edificio para alejar las aguas de escorrentía, definir un sistema perimetral de drenaje para evacuar el agua próxima al edificio, crear un sustrato de grava por debajo de la solera para minimizar el contacto con el suelo húmedo, y colocar una barrera de vapor continua y resistente por debajo de la losa de hormigón.



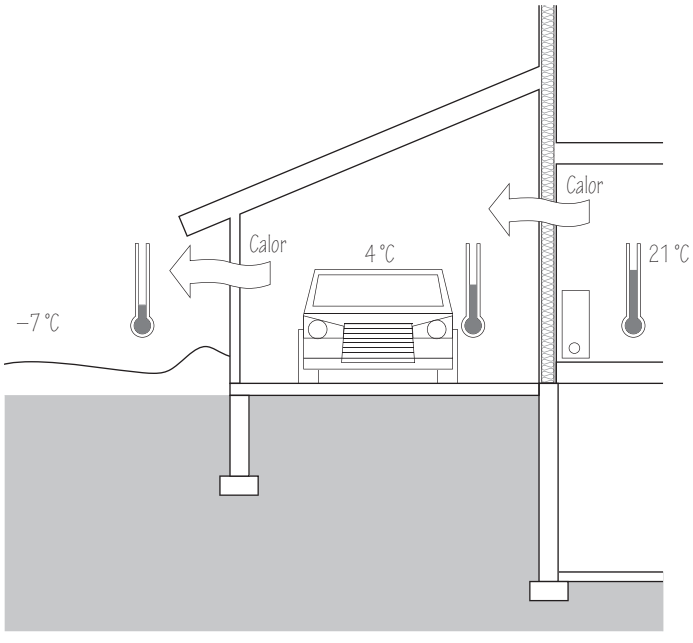
7.53 Formas de evitar que traspase humedad a través de las soleras.

8
Espacios sin acondicionar

Los espacios sin acondicionar son aquellos que no cuentan ni con calefacción ni con refrigeración. Entre la envolvente exterior e interior de un edificio hay una diversidad de espacios que pueden estar sin acondicionar, como desvanes, sótanos, cámaras sanitarias, garajes adosados, vestíbulos y zaguanes, cuartos de máquinas y espacios de almacenaje.

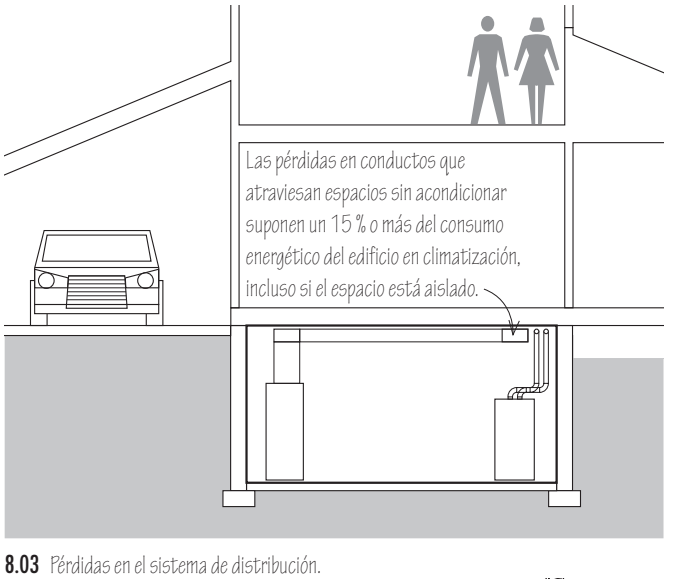


8.01 Espacios sin acondicionar.



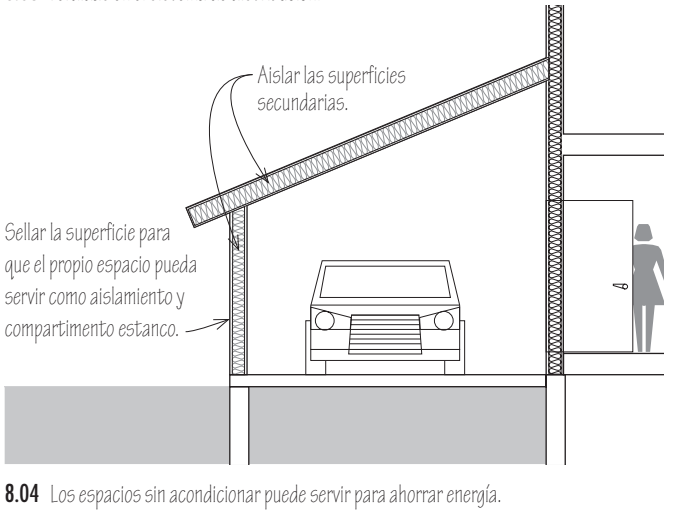
8.02 Pérdidas de calor a través de los espacios sin acondicionar.

Los espacios sin acondicionar reciben cierta calefacción o refrigeración de forma pasiva; en invierno, el calor atraviesa las paredes en contacto con los espacios con calefacción y, de estos, hacia el exterior, mientras que en verano se produce el efecto inverso, debido al calor entra en el edificio. Los espacios no acondicionados suelen estar en equilibrio, a una temperatura intermedia entre la de los espacios acondicionados y la del exterior. Como resultado, aunque los espacios sin acondicionar solo reciban calefacción o refrigeración de forma pasiva, las transferencias de calor tienen un efecto sobre los espacios acondicionados, por lo que las pérdidas de calor a través de los no acondicionados también implican un consumo energético.



8.03 Pérdidas en el sistema de distribución.

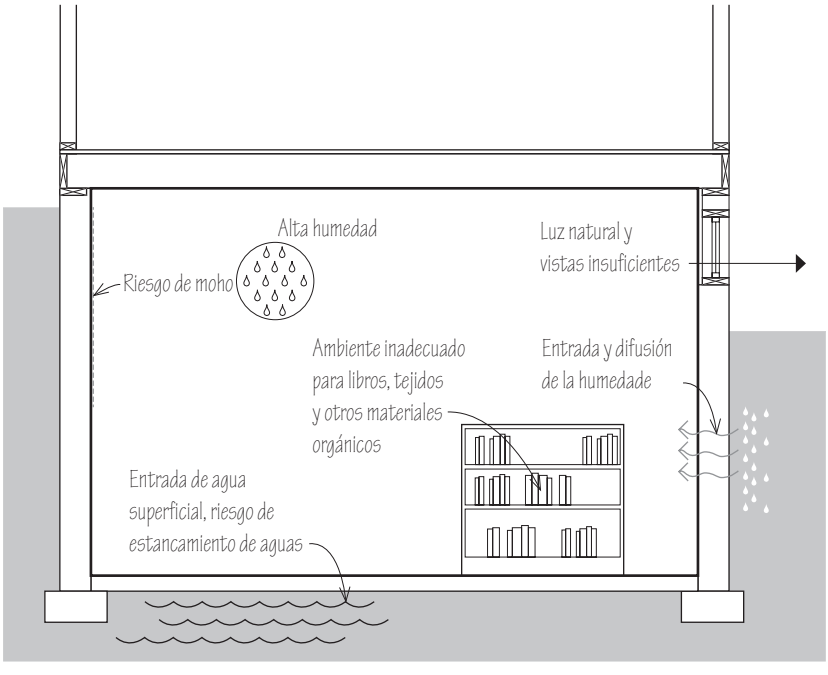
Los espacios sin acondicionar presentan una segunda vulnerabilidad relacionada con la energía. A menudo se trata de espacios por los que atraviesan los conductos o tuberías de los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración. Puesto que, por definición, los espacios sin acondicionar no necesitan climatización, las pérdidas o las ganancias de calor que se producen en ellos suponen un desperdicio de energía.



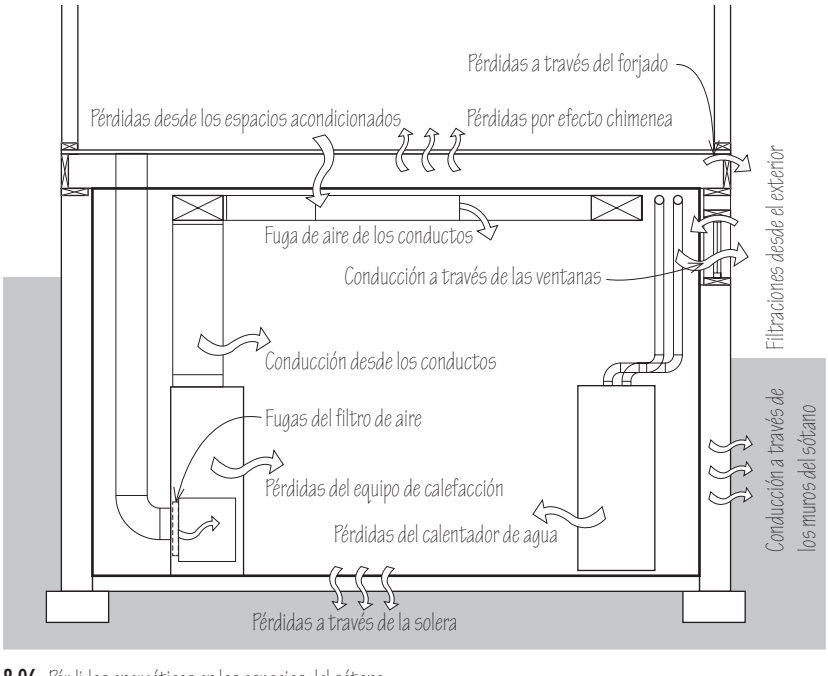
8.04 Los espacios sin acondicionar puede servir para ahorrar energía.

La vulnerabilidad en materia energética de los espacios sin acondicionar requiere atención. Podemos hacer algo más que resolver estos problemas, y plantearnos cómo podemos sacar cierto provecho de estos espacios y utilizarlos como una nueva capa de protección del edificio. Los espacios sin acondicionar son, en esencia, aire atrapado que puede utilizarse como aislamiento; de hecho, suelen tener al menos una superficie sin aislamiento, ya sea separándolo del exterior o de otro espacio acondicionado contiguo. Este hecho implica que puede añadirse una capa de aislamiento, normalmente con un coste asumible, para definir una capa de protección adicional. Finalmente, los espacios sin acondicionar pueden servir como compartimentos estancos para reducir las filtraciones de temperatura cuando los usuarios entran y salen del edificio.

Más adelante en este capítulo, analizaremos una diversidad de tipos comunes de espacios que suelen estar acondicionados, pero que perfectamente podrían quedar sin acondicionar, lo que puede reducir el consumo energético y los costes de construcción.



8.05 Cuestiones de calidad ambiental en los espacios del sótano.



8.06 Pérdidas energéticas en los espacios del sótano.

Sótanos

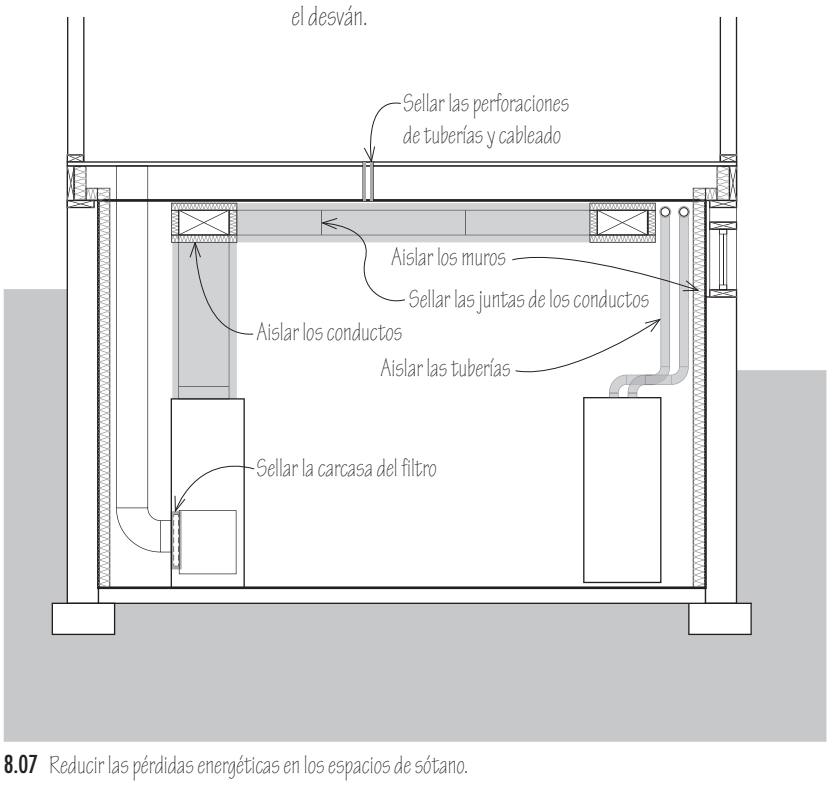
Los sótanos son habituales en viviendas y en edificios comerciales. Estos espacios total o parcialmente enterrados resultan convenientes para albergar zonas de almacenaje y trabajo, instalaciones mecánicas u ocultar tuberías, conductos y sistemas de distribución eléctrica. A veces, los sótanos se utilizan como estudios de televisión, salas de estar y, con la adecuada ventilación e iluminación natural, como oficina, dormitorio e incluso vivienda. Desde el punto de vista de la calefacción y la refrigeración, los sótanos son espacios resguardados por el terreno, de ahí que sufran menos pérdidas y ganancias de calor que los que están totalmente expuestos al aire exterior. En cualquier caso, los sótanos pueden perder o ganar cantidades considerables de calor.

En el lado negativo, los sótanos pueden sufrir la humedad del terreno que atraviesa los cimientos y los muros, y el agua superficial también puede llegar al él por gravedad. Como espacios sin acondicionar, con una función claramente utilitaria, los sótanos son relativamente costosos debido a la excavación y a los trabajos de cimentación necesarios; ofrecen poca o ninguna luz natural y vistas, y pueden resultar poco acogedores para un uso habitual.

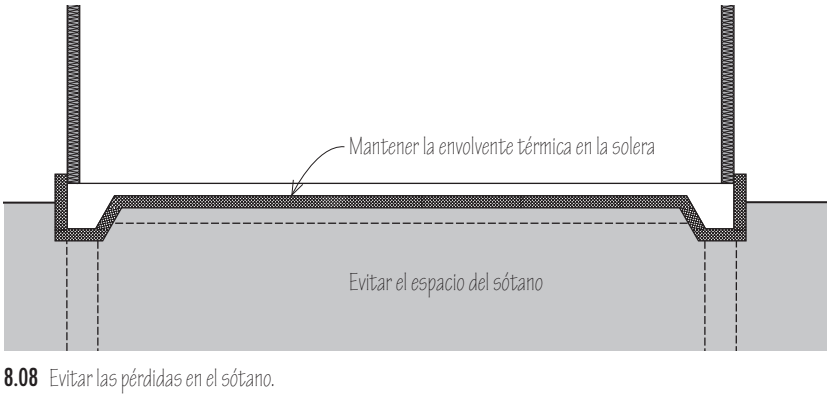
Los sótanos no siempre se identifican como espacios acondicionados o sin acondicionar, lo que puede inducir a cierta indecisión en cuanto a su carácter y a los requisitos de proyecto que le corresponden. A veces los techos de los sótanos se aíslan, pero otras no, de ahí que se produzcan pérdidas de calor desde los espacios acondicionados superiores hacia el sótano.

En los sótanos se pierde una gran cantidad de energía de los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración, aspecto demostrado por estudios recientes. La energía se pierde por conducción desde los aparatos hasta el sistema de distribución, es decir, por las calderas, las tuberías, las válvulas y las bombas. También se producen pérdidas térmicas por la filtración en el sellado y en las juntas de los conductos, los propios equipos de tratamiento de aire o los filtros. En edificios con los equipos de climatización en el sótano, al menos el 15 % de la energía utilizada en dichos sistemas se pierde en el propio sótano. Los sistemas de distribución situados en el sótano también son vulnerables al deterioro con el tiempo: el aislamiento de conductos y tuberías puede romperse o desprenderse y nunca ser reparado; las mantas de aislamiento térmico se puede comprimir, con lo cual disminuye su resistencia térmica; pueden aparecer fugas de aire en los conductos que van a más con el tiempo, y las rejillas que deberían estar cerradas pueden quedar abiertas por error.

Otra penalización energética atribuible a los sótanos tiene que ver con el efecto chimenea. Los sótanos añaden una nueva planta al edificio, lo cual amplifica el efecto chimenea, incluso en edificios de una sola planta. Los sótanos suelen tener filtraciones y, en invierno, el aire frío puede llegar a ellos a través de elementos como alféizares, ventanas mal cerradas o puertas. Los sótanos rara vez cuentan con sellados equivalentes a los de las plantas superiores con temperatura controlada, de modo que el efecto chimenea provoca que el aire del sótano ascienda a la primera planta a través de puertas, huecos de tuberías, conductos y cableado, o entre las juntas del pavimento o del forjado. Tan pronto como este aire entra en los espacios caldeados, se convierte en una nueva carga energética a la hora de mantener los niveles de confort en el edificio. Finalmente, el aire caliente acaba saliendo por las ventanas o los muros de las plantas superiores, o por el desván.



8.07 Reducir las pérdidas energéticas en los espacios de sótano.



8.08 Evitar las pérdidas en el sótano.

Los sótanos pueden mejorar su eficiencia energética si los muros, las ventanas y los techos están sellados adecuadamente, y asegurando que todas las puertas que conectan el sótano con las plantas superiores cuentan con los correspondientes burletes. También deben aislarse los conductos y sus fijaciones, y sellar aquellos que puedan sufrir filtraciones. Las pérdidas por conducción pueden ser menores si se aíslan los muros y los techos del sótano, y si se mejora el rendimiento térmico de las ventanas.

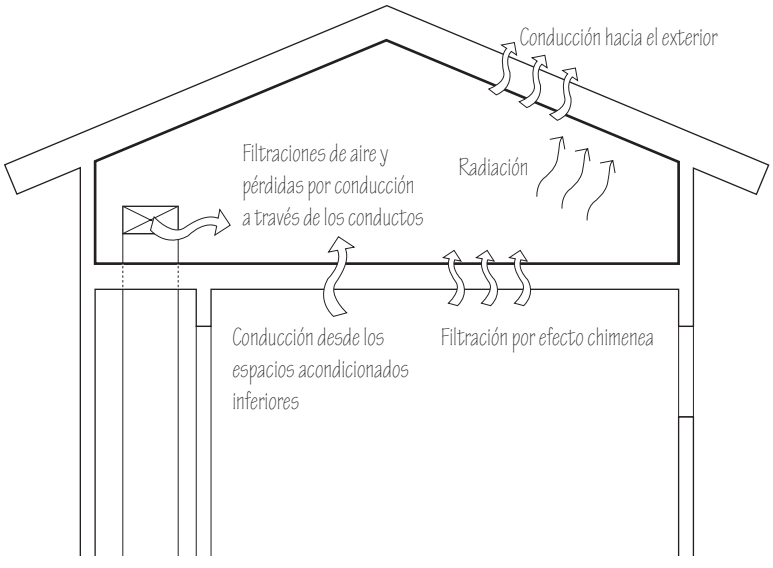
Un error común es considerar que el aislamiento de los muros del sótano se incorpora a la envolvente térmica del edificio e impide cualquier pérdida en el sótano. En la medida en que el sótano no está acondicionado, deben considerarse las pérdidas hacia el mismo, que además suelen ser significativas. Por ejemplo, el método de comprobación para el diseño y la eficiencia estacional de los sistemas de distribución térmica en edificios residenciales de ASHRAE, solo estima una reducción de entre el 19,1 y el 17,6 % de las pérdidas por distribución, en una vivienda convencional, en el caso de que los muros del sótano estén aislados.

Otra alternativa es que los edificios ecológicos no tengan sótanos. El ahorro energético potencial en este caso puede ser significativo, pues reduciremos las pérdidas en el sistema de distribución de calefacción y refrigeración, el efecto chimenea y las debidas a filtraciones asociadas, así como las pérdidas térmicas por conducción de las plantas superiores hacia el sótano y a través de los cimientos y los muros del sótano.

Tradicionalmente, los sótanos sin acondicionar han sido grandes salas de máquinas, que hace un siglo tal vez eran necesarias, pues las calderas eran mucho más voluminosas, pero actualmente son mucho más grandes de lo necesario.

Los sótanos con mucha humedad no son adecuados para almacenar materiales como papel, libros, ropa u otros materiales orgánicos. Las condiciones de humedad y cualquier acumulación de agua pueden generar problemas de calidad ambiental. Si está total o parcialmente enterrado, conseguir que disponga de iluminación natural y vistas supone un desafío.

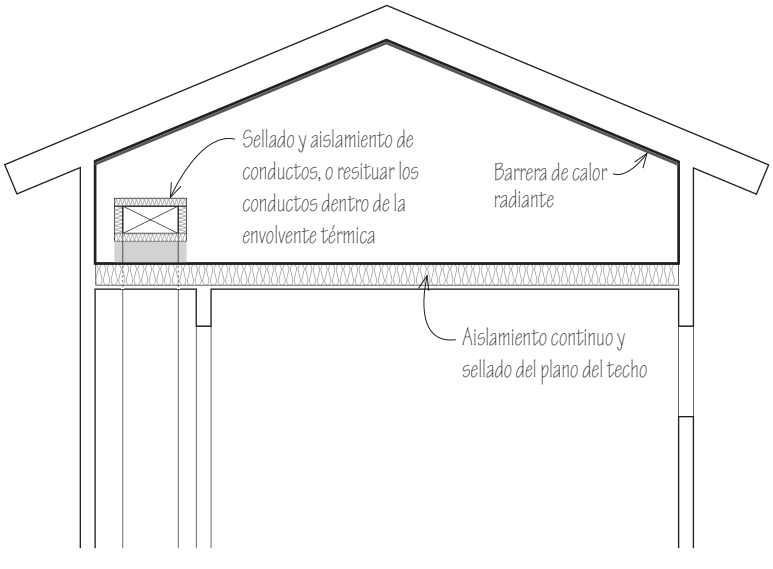
Cuando se tienen en cuenta globalmente los problemas energéticos, los de calidad ambiental y la ausencia de vistas o luz natural, debemos plantearnos si realmente los sótanos pueden ser considerados espacios saludables para un edificio ecológico, a menos que se tomen medidas contundentes que eviten la amplia gama de problemas.



8.09 Pérdidas energéticas en desvanes.

Desvanes

Al igual que los sótanos, los desvanes contribuyen en gran medida al efecto chimenea dentro del edificio, debido principalmente a las pérdidas de aire que sufren hacia la cubierta en invierno. Las pérdidas de calor por conducción también son un problema, exacerbado por la enorme superficie en planta de los desvanes. Los sistemas de distribución de calefacción no suelen estar situados en los desvanes, al contrario que en los sótanos, pero cuando lo están, las pérdidas pueden ser mayores. A diferencia de los sótanos, los desvanes están ventilados de forma premeditada, por ello, en invierno, su temperatura está más próxima a la del ambiente exterior, y son más calientes en verano. La diferencia de temperatura entre el aire acondicionado del interior de los conductos y el aire exterior es más pronunciada en los desvanes y, por ello, las pérdidas son más importantes cuando dichos conductos los atraviesan.



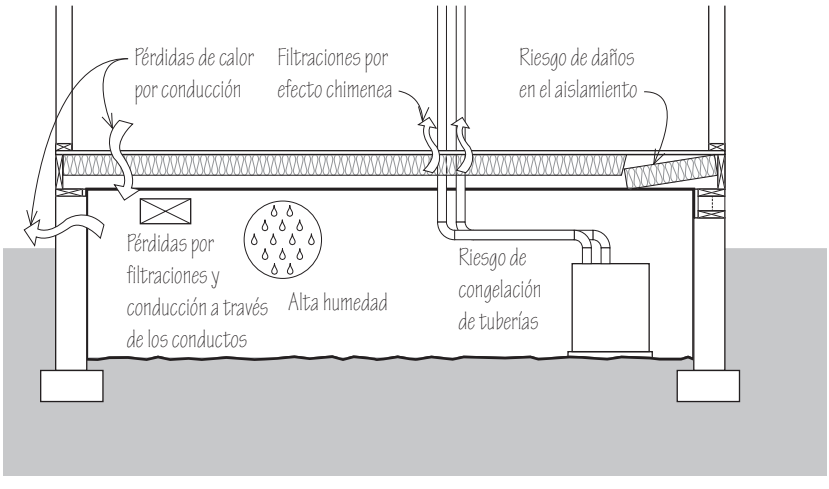
8.10 Reducción de las pérdidas energéticas en los desvanes.

Como en el caso de los sótanos, los desvanes pueden mejorar su eficiencia energética mediante el sellado de sus superficies para evitar filtraciones y el aislamiento de su suelo, de la cubierta, o de ambos, sin olvidar el adecuado sellado y aislamiento de los sistemas de distribución, aunque es preferible que no los atraviesen. Otra posibilidad consiste en incorporar el desván a la envolvente térmica con aislamiento a lo largo de la línea de cubierta. Una tercera opción sería no poner desvanes.

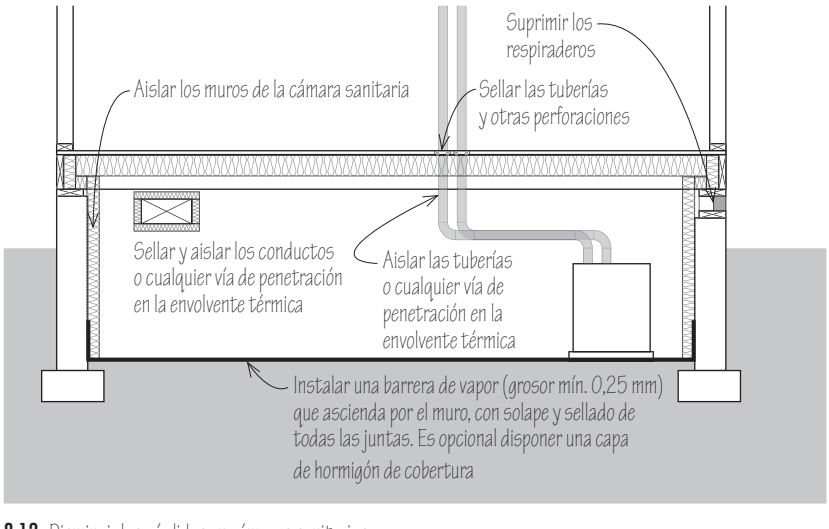
Cámaras sanitarias

En esencia, una cámara sanitaria es un sótano de baja altura, generalmente situada por encima del nivel del terreno. Se desarrollaron de forma más extensiva después de la II Guerra Mundial, e históricamente han sido espacios ventilados.

Estudios recientes han demostrado que el enfoque tradicional de mantener ventiladas las cámaras sanitarias presenta varios problemas similares a los de los sótanos: humedad elevada, y pérdidas por conducción del sistema de distribución, por filtración derivada del efecto chimenea, además de que resulta inadecuada para su uso como espacio habitado. También existe el riesgo de que las tuberías que discurren por estas cámaras se congelen en invierno, y que el aislamiento situado bajo la superficie del forjado se deteriore o se desprenda.



8.11 Problemas con las cámaras sanitarias.



8.12 Disminuir las pérdidas en cámaras sanitarias.

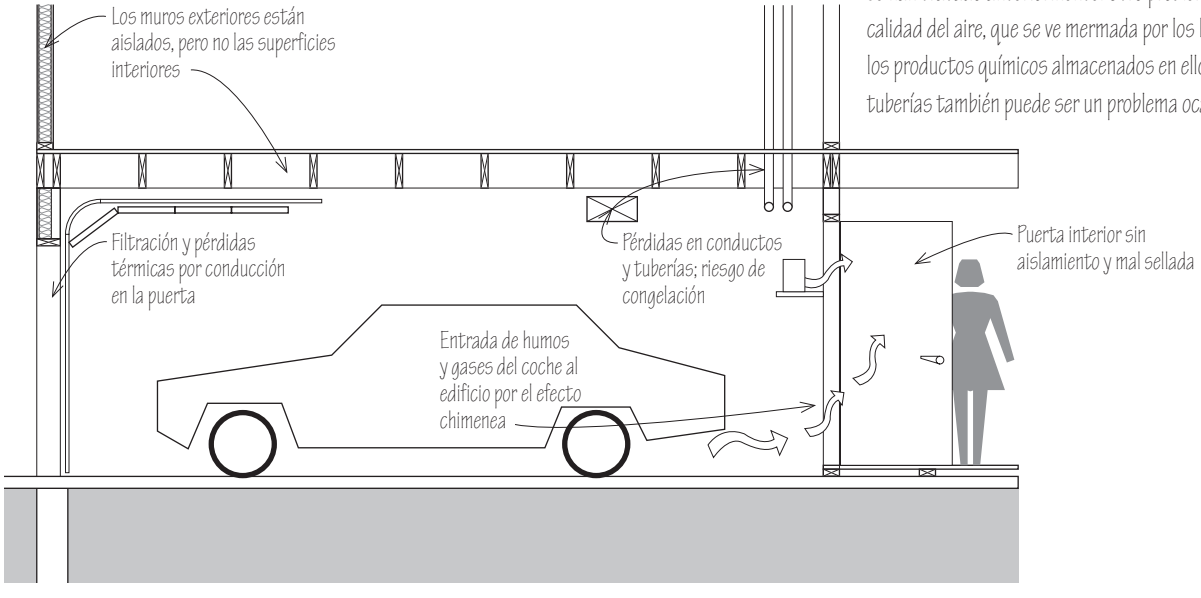
Al respecto, cada vez hay más consenso sobre la conveniencia de que las cámaras sanitarias estén integradas en la envolvente térmica del edificio, por medio de suprimir los respiraderos, aislar los muros perimetrales e incorporar una barrera de vapor suficiente en su superficie inferior, con el fin de frenar el ascenso de la humedad hacia la cámara. Este tratamiento hace que la cámara sanitaria mejore su eficiencia energética, no haya riesgo de congelación de las tuberías y se reduzca la presencia de humedad y los problemas asociados de calidad ambiental. Además, aislar el techo de la cámara ofrece una capa adicional de protección al edificio.

Como en el caso de los desvanes y los sótanos, otra solución consiste en prescindir de las cámaras sanitarias, un enfoque que evitaría todos los problemas asociados a estos espacios.

Garajes

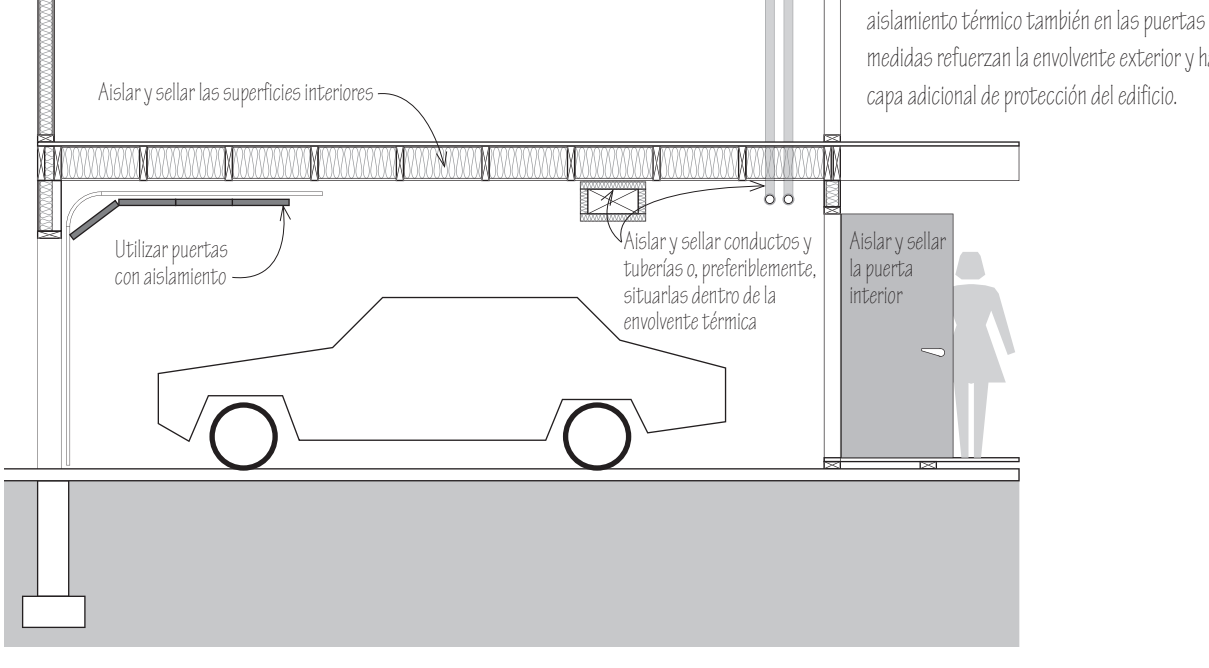
Los garajes pueden ser independientes o adosados al edificio principal, abiertos o cerrados.

Los garajes cerrados y adosados presentan muchos de los problemas energéticos de los desvanes, sótanos y otros espacios sin acondicionar: pérdidas térmicas por conducción, por filtración y de los sistemas de distribución que los atraviesan. Los problemas asociados a la definición poco clara de la envolvente térmica en los garajes ya se han tratado anteriormente. Otro problema de los garajes es la calidad del aire, que se ve mermada por los humos de los coches y los productos químicos almacenados en ellos. La congelación de las tuberías también puede ser un problema ocasional.

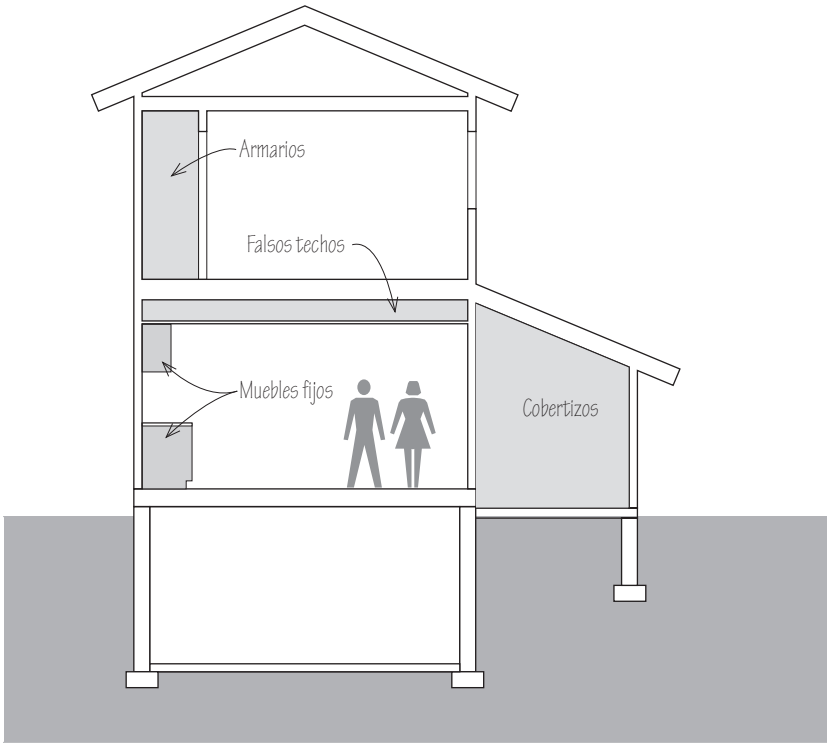


8.13 Problemas en garajes.

Los garajes pueden aprovecharse como amortiguadores térmicos entre los espacios acondicionados y el exterior, en cuyo caso debería tenerse cuidado con la definición, el proyecto y la ejecución de la envolvente térmica. Los muros exteriores de un garaje pueden mejorarse mediante el sellado frente a filtraciones e incorporando aislamiento térmico también en las puertas de acceso. Todas estas medidas refuerzan la envolvente exterior y hacen que el garaje sea una capa adicional de protección del edificio.



8.14 Disminuir las pérdidas en garajes.

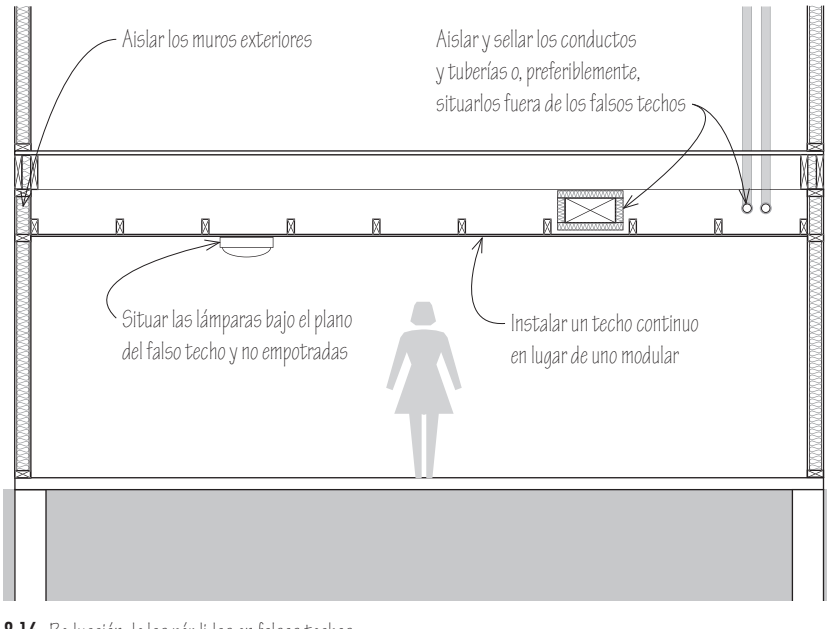


8.15 Otros espacios sin acondicionar.

Otros espacios sin acondicionar

Existen más espacios sin acondicionar, como cobertizos adosados, armarios y las cámaras situadas sobre los falsos techos, que pueden aprovecharse como capas adicionales de protección. Para ello se deben tomar una serie de medidas:

- Situar estos espacios de modo que tengan al menos una superficie contigua a un muro exterior o la cubierta.
- Tomar medidas adicionales para reducir el intercambio de aire entre estos espacios y el interior del edificio (si se sitúan al interior de la envolvente térmica) o el exterior (si se encuentran al exterior de la envolvente térmica, como los cobertizos adosados).
- Plantear la posibilidad de añadir aislamiento térmico para formar una capa adicional de protección del edificio.



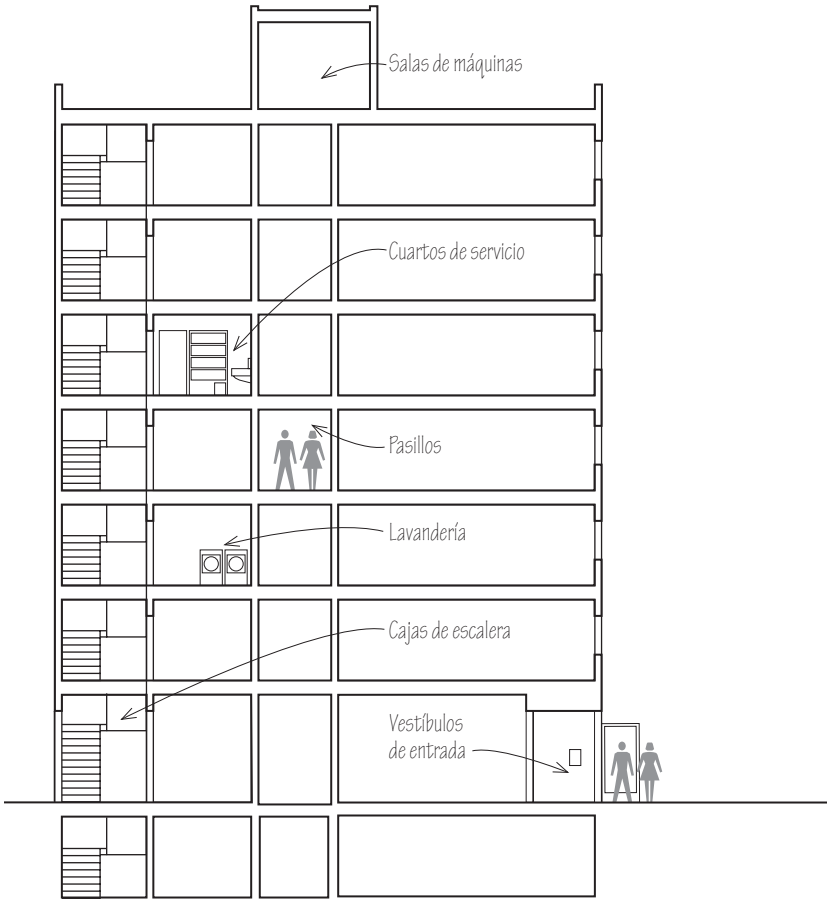
8.16 Reducción de las pérdidas en falsos techos.

Un espacio muy utilizado es el que queda entre el forjado y el falso techo. En edificios comerciales, en este espacio se instalan los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración, así como otras instalaciones. Tradicionalmente, las normas energéticas no han requerido que las tuberías y los conductos que pasan por el falso techo estuvieran aislados, pues este espacio se sitúa dentro de la envolvente térmica. Sin embargo, cualquier pérdida térmica en este espacio puede calentarlo o enfriarlo innecesariamente y modificar su temperatura de equilibrio, aumentando así las pérdidas hacia el exterior a través de los muros exteriores que rodean el falso techo, o por la cubierta si se trata de la última planta del edificio. Los falsos techos modulares permiten un intercambio prácticamente libre de aire entre los espacios por encima y por debajo del falso techo. Un enfoque más ecológico para estos espacios consistiría en trasladar los sistemas de distribución fuera de dichos espacios, así como en sellar los que pasen por ahí, y evitar el uso de lámparas empotradas en el techo, así como disponer falsos techos continuos en lugar de soluciones modulares y porosas. Estas mejoras harían que las cámaras fueran espacios sin acondicionar mucho más aisladas y servirían de amortiguación entre el interior y el exterior.

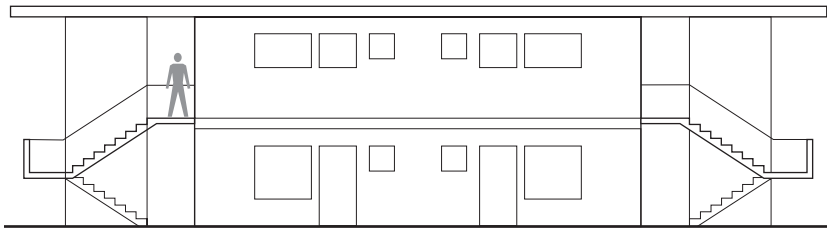
Pasillos, cajas de escaleras y otros espacios

Una serie de espacios de los edificios suelen estar acondicionados pero podrían no estarlo, como pasillos, cajas de escalera, salas de máquinas, lavaderos, cuartos de servicio, entradas, vestíbulos y zaguanes. Si no se acondicionan estos espacios que no lo necesitan, se puede conseguir un ahorro energético significativo.

Por ejemplo, los pasillos y las escaleras no siempre necesitan estar acondicionados. La gente que entra o sale de un edificio en invierno suele llevar ropa de abrigo en sus desplazamientos entre la entrada y las zonas funcionales. El hecho de que la entrada, los pasillos y las escaleras cuenten con calefacción puede implicar malestar para el usuario, que siente un calor excesivo; la única razón para acondicionar espacios como pasillos y escaleras sería si se utilizan activamente como espacios interiores durante el día, como en el caso de residencias de ancianos u otros centros de atención.

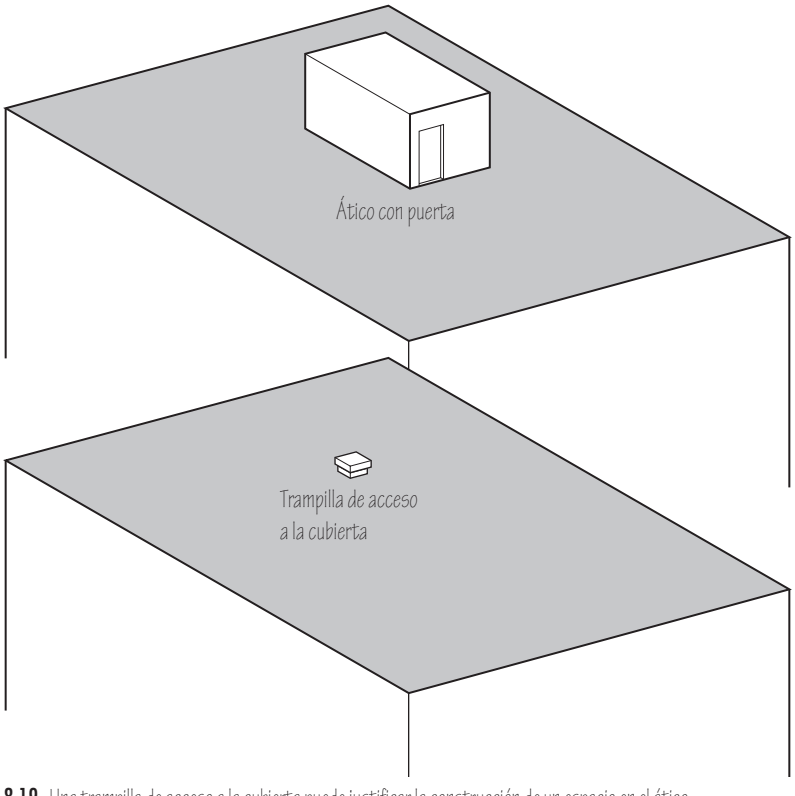


8.17 Espacios que suelen estar acondicionados pero que podrían no estarlo.

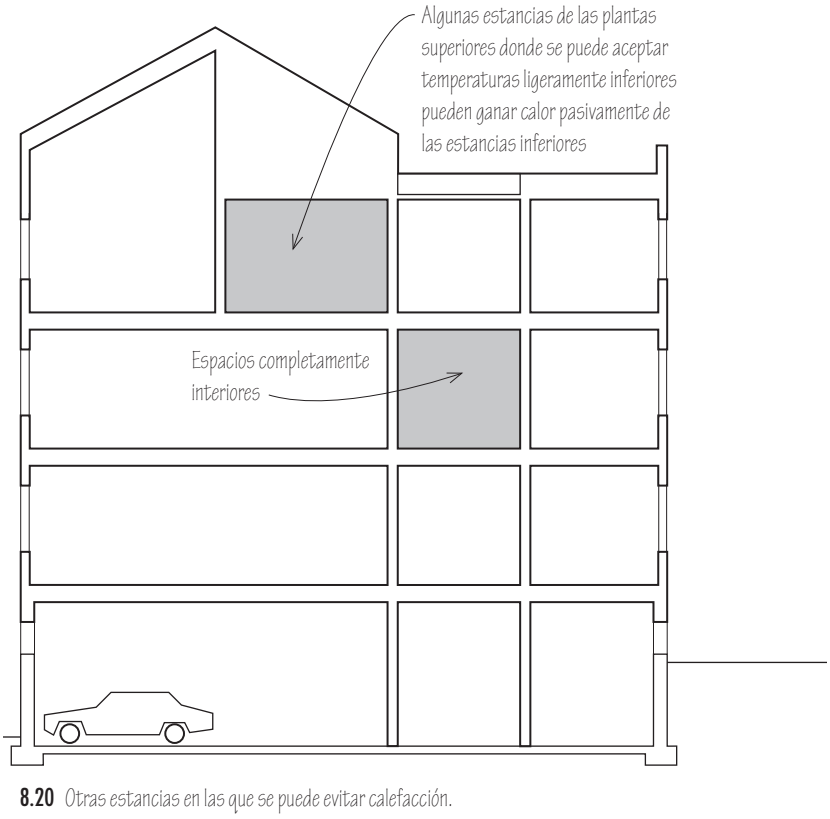


8.18 Las escaleras exteriores a veces pueden ser una opción viable.

Incluso puede defenderse que las escaleras se sitúen en el exterior del edificio. Hay muchos edificios de dos plantas que solo necesitan unas escaleras que las unan. Si solo es necesario acceder a la segunda planta desde el exterior —es decir, si la primera y la segunda planta no necesitan conexión directa y la escalera puede trasladarse al exterior—, la necesidad de superficie acondicionada será menor, se evitará el efecto chimenea y los costes de construcción serán menores. Las escaleras en el exterior cuentan con una larga tradición en muchos países. Para un edificio de dos alturas y 180 m^2 en planta, las escaleras exteriores suponen una reducción del 2 al 3 % de la superficie acondicionada, con el correspondiente ahorro en climatización. En edificios de varias plantas, las escaleras exteriores no son tan viables, pero aún se puede defender que no estén acondicionadas y que incluso se sitúen al exterior de la envolvente térmica, aunque estén cerradas.



8.19 Una trampilla de acceso a la cubierta puede justificar la construcción de un espacio en el ático.



8.20 Otras estancias en las que se puede evitar calefacción.

Otro aspecto a considerar es si las escaleras deben llegar hasta el nivel de la cubierta plana del edificio. En edificios en altura, es común que una o varias escaleras lleguen hasta un pequeño espacio con acceso a la cubierta, pero que ocupa un espacio que podría emplearse para instalar paneles solares u otros componentes ecológicos. Este espacio se añade a la superficie de la envolvente del edificio, por lo que aumenta la posibilidad de pérdidas térmicas; supone también un sobrecoste, y añade una perforación de grandes dimensiones a la envolvente del edificio. Una trampilla mucho más simple serviría para mitigar los problemas energéticos y reducir los costes, aunque se perdería la facilidad de acceso por la escalera.

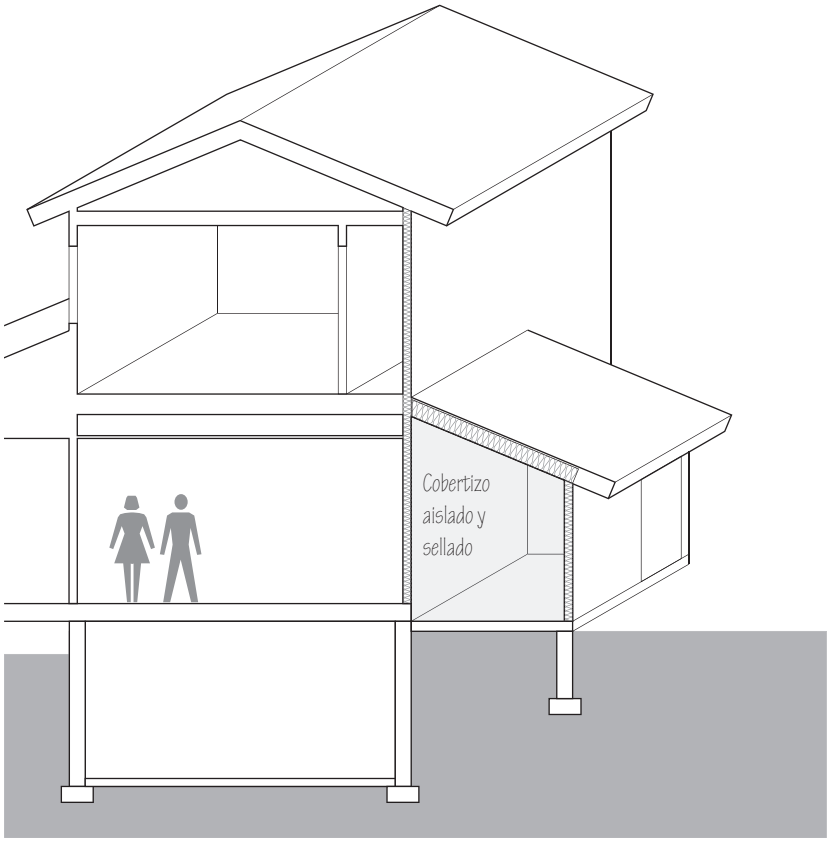
Es frecuente que los vestíbulos de entrada estén acondicionados, e incluso sobrecalentados o refrigerados en exceso. Los vestíbulos acondicionados aumentan el consumo energético del edificio, por el tránsito que soportan y las filtraciones de aire derivadas del continuo abrir y cerrar las puertas de entrada. Por supuesto, si el vestíbulo está ocupado de forma permanente por personal del edificio, deberá estar acondicionado, pero si no es así, la calefacción y la refrigeración del vestíbulo son opcionales y, por tanto, debe valorarse si se puede omitir.

Dejar sin acondicionar los espacios que no lo necesitan supone una reducción del coste de construcción, un ahorro del consumo energético asociado a la calefacción y la refrigeración, y en muchos casos también mejora el confort térmico.

Suprimir la climatización de otras estancias

En el caso de edificios ecológicos, también puede defenderse suprimir el acondicionamiento de estancias que solo tienen un uso ocasional o que no necesitan estar acondicionadas. Una envolvente térmica bien proyectada y construida modera significativamente las variaciones en la temperatura del aire dentro del edificio, restringe las corrientes de aire y reduce las superficies interiores frías de puertas y ventanas, permitiendo que se reduzca la oferta de climatización a un número menor de espacios dentro del edificio.

Por ejemplo, en un edificio ecológico, es posible que las estancias totalmente interiores no requieran calefacción, al igual que aquellas con cierta exposición al perímetro del edificio o a la cubierta. Algunos estudios señalan que determinadas viviendas permiten que la climatización se limite a las salas de estar, sin necesidad de extenderla a todos los dormitorios. Estas decisiones sobre la oferta de acondicionamiento a ciertas estancias con requisitos críticos de confort deben tomarse a partir de una simulación informática. Muchos programas informáticos permiten predecir el equilibrio de temperatura del aire mínimo en habitaciones no acondicionadas para garantizar que las temperaturas de la estancia siempre estarán dentro de los márgenes tolerables en términos de confort.

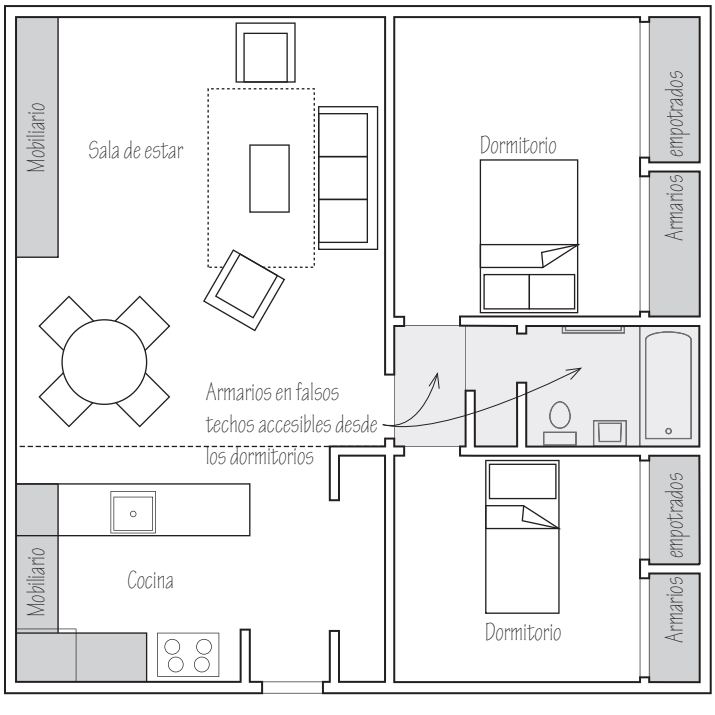


8.21 Un cobertizo adosado, convenientemente aislado y sellado, puede actuar como una capa adicional de protección.

Espacios de almacenaje

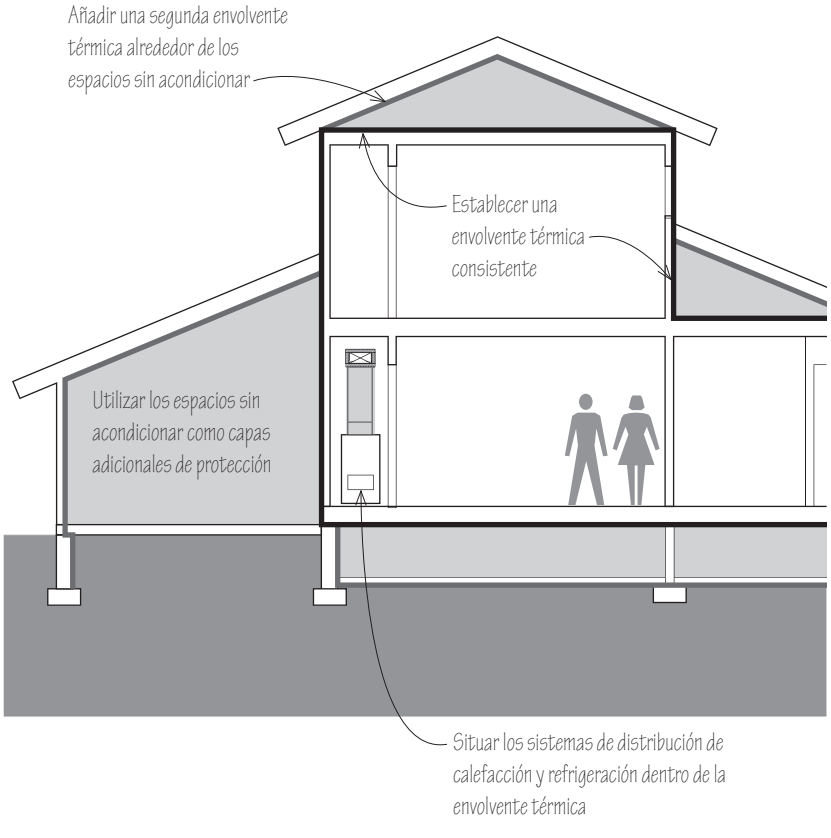
Si evitamos espacios como desvanes, sótanos y cámaras sanitarias (que tradicionalmente servían de almacenes), es posible que sea necesario ampliar los espacios de almacenaje. Suprimir estos espacios problemáticos supone ventajas ambientales y energéticas, pero resolver el nuevo problema de almacenaje también puede convertirse en un elemento clave de proyecto ecológico.

En aquellos casos en que no sea imprescindible el acceso inmediato desde el interior, y además resultan aceptables las bajas temperaturas, puede considerarse utilizar espacios de almacenaje adosados al edificio, como cobertizos. Adosar el espacio de almacenaje al edificio puede servir como una capa adicional de protección. Pueden ser accesibles desde el interior, en cuyo caso debería mantenerse la integridad de la envolvente térmica. En todo caso, sería preferible que el acceso se produjera solo desde el exterior, al igual que disponer una puerta que ajustase perfectamente, y un sellado contra filtraciones tanto del muro compartido con el edificio acondicionado como del muro exterior.



8.22 Espacios de almacenaje que pueden actuar como capas adicionales de protección.

Cuando sea necesario un acceso desde el interior o se necesiten temperaturas más moderadas, pueden plantearse armarios adicionales, preferentemente contiguos a un muro exterior, que sirvan como capa adicional de protección. Los techos más bajos de pasillos y cuartos de baño también pueden proporcionar espacios de almacenaje por encima del falso techo.



8.23 Evitar las pérdidas a través de los espacios sin acondicionar.

Control de la temperatura en espacios sin acondicionar

Aunque no puede controlarse con precisión la temperatura de los espacios sin acondicionar, se puede tener cierto grado de control a través del proyecto.

Para aumentar la temperatura en invierno de un espacio sin acondicionar, de modo que se evite que se congelen las tuberías u otros líquidos, podemos aislar las superficies en contacto con el exterior y no aquellas que lo separan del interior con calefacción. Para mantener la temperatura del espacio sin acondicionar entre la del interior y la del exterior, podemos aislar por igual todas las superficies. El movimiento de aire que hay entre el espacio sin acondicionar y los espacios interiores y exteriores también tiene un impacto en la temperatura del espacio. Si se quiere predecir de forma más precisa las temperaturas de los espacios sin acondicionar, será preciso acudir a simulaciones informáticas.

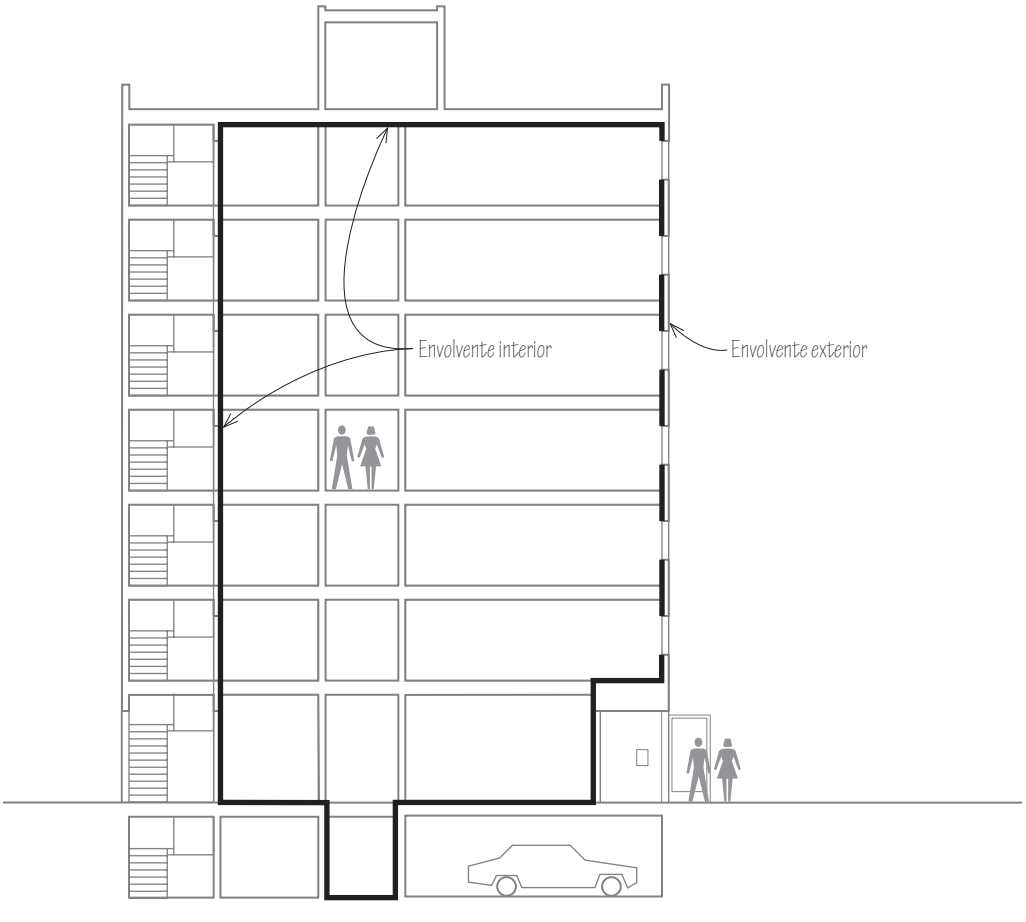
Espacios sin acondicionar, resumen

En resumen, hay muchas cuestiones sobre los espacios sin acondicionar que requieren nuestra atención si queremos evitar pérdidas energéticas significativas en los edificios y, en muchos casos, transformar dichos espacios en oportunidades para ahorrar energía.

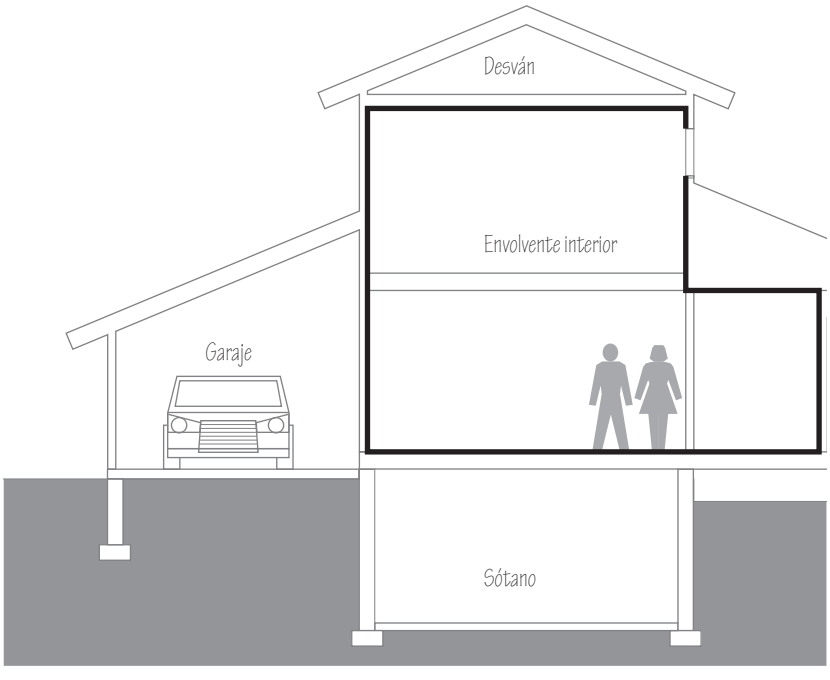
- Proporcionar al menos una envolvente térmica bien definida y consistente, tanto en términos de aislamiento térmico como de minimización de la filtración.
- Plantearse añadir una segunda envolvente térmica, de forma que los espacios sin acondicionar proporcionen una capa adicional de protección. Por ejemplo, un garaje adosado que ya cuenta con aislamiento térmico en las superficies que lo separan del interior acondicionado, puede mejorarse añadiendo aislamiento y sellado frente a filtraciones al cerramiento exterior del mismo.
- Evitar situar los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración en los espacios sin acondicionar.
- Situar los espacios sin acondicionar de modo que sirvan de capa adicional de protección y de amortiguador entre el interior y el exterior.
- Estudiar la posibilidad de no disponer calefacción en espacios como pasillos, escaleras, salas de máquinas y almacenes, para convertirlos en espacios sin acondicionar.

9
Envolvente interior

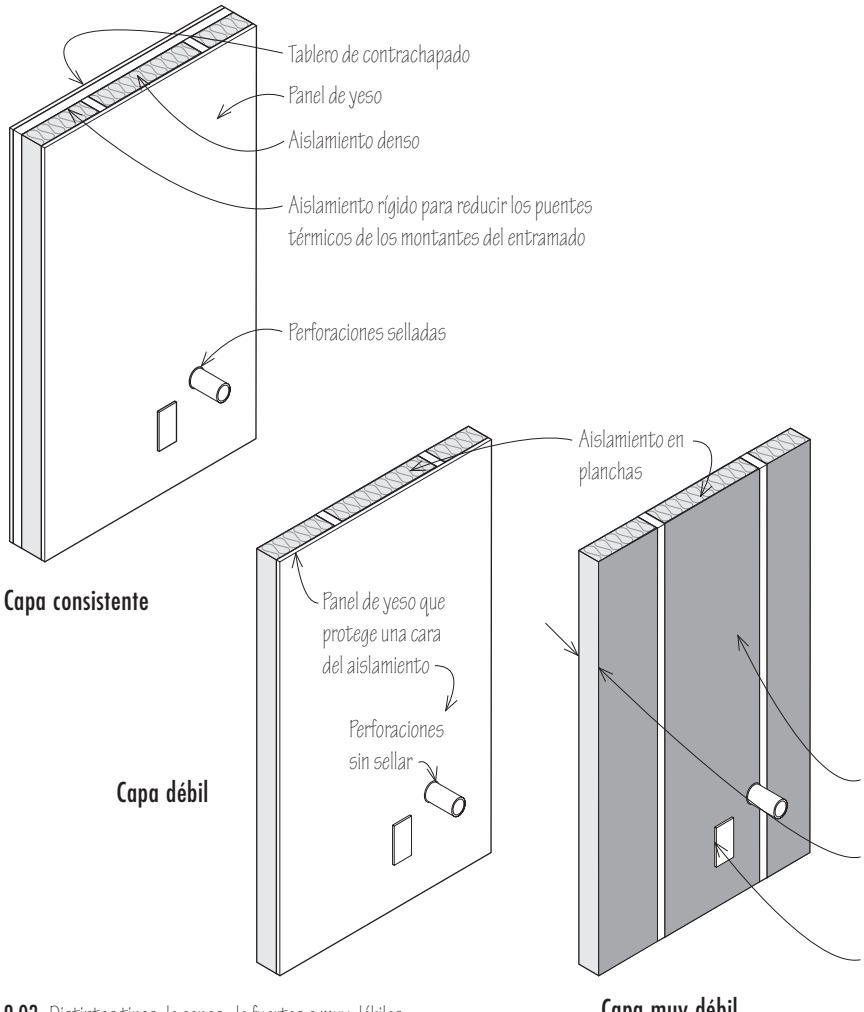
En el capítulo 7 distinguíamos entre las envolventes exterior e interior, siendo la exterior la que está en contacto directo con el exterior, y la interior con los espacios acondicionados del interior del edificio.



9.01 La envolvente interior.



9.02 Envolvente interior en un edificio de baja altura.



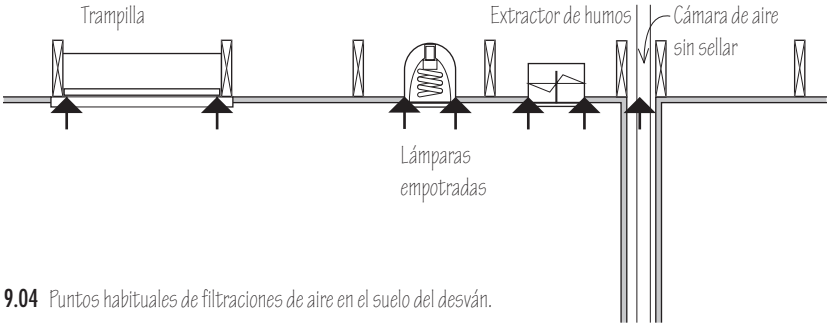
9.03 Distintos tipos de capas, de fuertes a muy débiles.

Vulnerabilidades

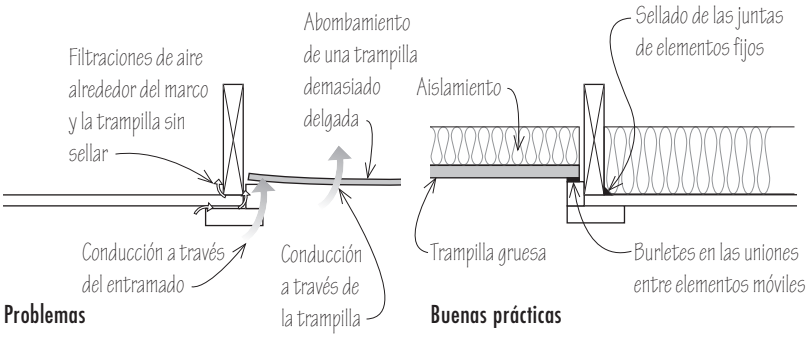
El tema de las vulnerabilidades de la envolvente interior se trató al hablar de los desvanes y otros espacios sin acondicionar en el capítulo 8. Con demasiada frecuencia la envolvente exterior —como una cubierta inclinada o el cerramiento de un garaje exterior— da la falsa sensación de que la envolvente interior no necesita tener una integridad térmica. Sin embargo, todas las envolventes térmicas deben ser consistentes. Ninguna superficie debe tener filtraciones de aire significativas, pues estas son una causa fundamental de las pérdidas térmicas. De igual forma, la capa de aislamiento requiere protección en las dos caras de cualquier parte de un muro, forjado o cubierta. Sin una protección adecuada en ambas caras, el aislamiento puede sufrir daños, desprendimientos accidentales o filtraciones de aire por las juntas. La existencia en el mercado de materiales aislantes contra el movimiento de aire, como la celulosa densificada, los tableros rígidos de aislamiento o las espumas proyectadas, puede evitar las filtraciones de aire a través y alrededor del aislamiento. Sin embargo, los riesgos físicos y los desprendimientos siguen estando presentes.

En los desvanes a menudo ocurre que la capa de aislamiento se desprende o se retira, pues en ellos se suelen llevar a cabo trabajos de instalación y reforma de sistemas de cableado, aparatos de extracción de aire o de paneles solares. Para hacer cualquier mínima perforación es necesario retirar varios metros cuadrados de aislamiento antes de acceder a la superficie inferior de la cubierta, y a menudo este aislamiento no vuelve a su posición original, de modo que, con el tiempo, el desván se convierte en un mosaico con numerosas partes del techo sin proteger.

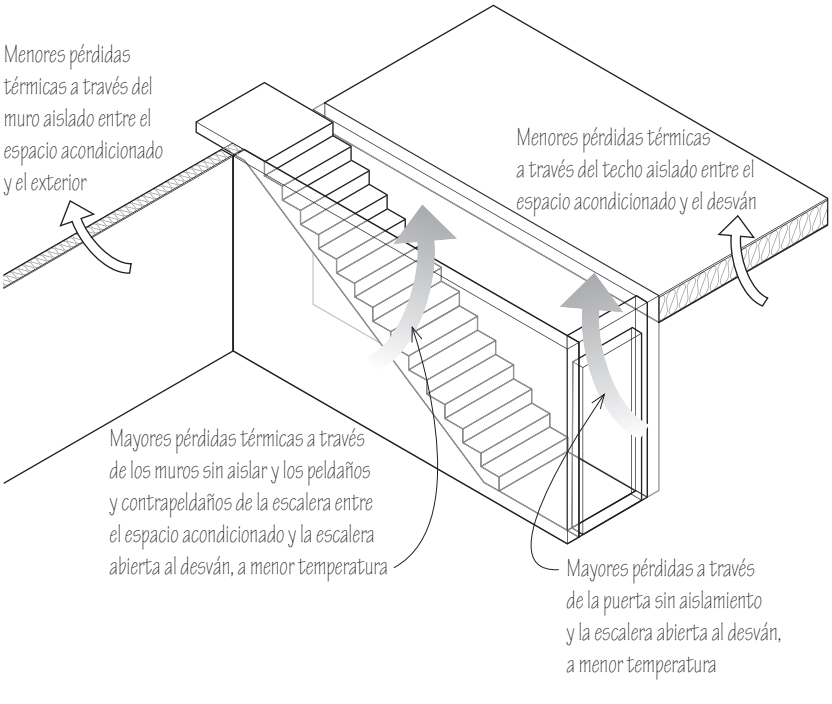
Una capa consistente se define como aquella que cuenta con superficies rígidas en ambas caras del aislamiento y, además, preferiblemente dispone de un panel rígido de aislamiento que reduce las pérdidas por puentes térmicos y sellado frente a las filtraciones de aire; una capa débil tiene una capa de aislamiento con una sola cara rígida; y una capa muy débil solo presenta el aislamiento, generalmente con papel o cinta adhesiva para fijar su posición. Las capas débiles son habituales en desvanes, tanto en su suelo como en las paredes bajas, y en sótanos, especialmente en los techos. Las capas más débiles no son muy comunes, pero a menudo se encuentran en edificios de nueva construcción, en puntos como las paredes de los desvanes y por encima de falsos techos. Las capas débiles y muy débiles originan importantes problemas para el rendimiento global del edificio.



9.04 Puntos habituales de filtraciones de aire en el suelo del desván.



9.05 Trampillas.

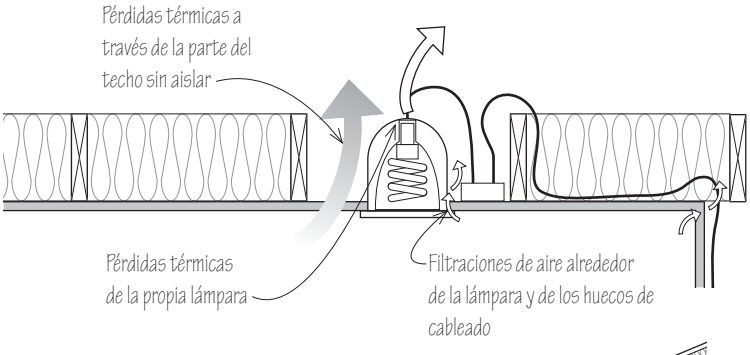


9.06 Pérdidas de calor en las escaleras de acceso al desván.

A menudo el suelo del desván es una parte débil de la envolvente interior, pues tiene numerosas perforaciones para alojar lámparas empotradas, carcasas de extractores de humos, conductos y cableado, aparte de las trampillas de acceso. Las cámaras de aire pueden estar sin sellar, y pueden existir huecos alrededor de las chimeneas y los conductos de ventilación. Finalmente, la capa de aislamiento puede estar desprotegida de alteraciones y desprendimientos.

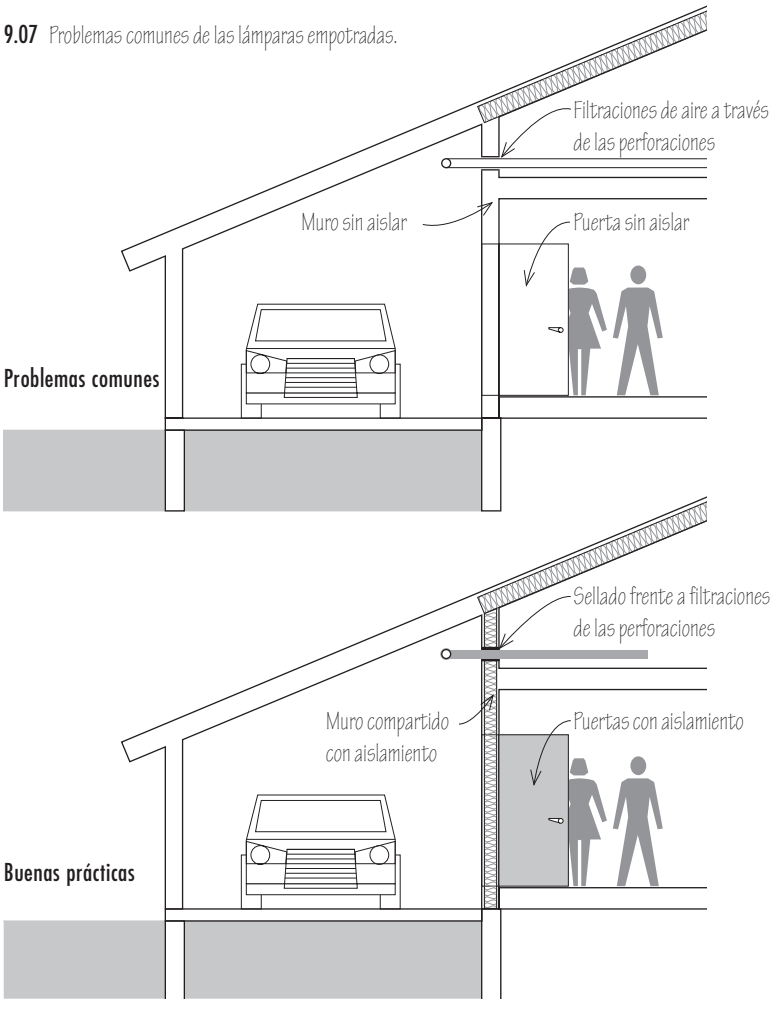
Una zona particularmente vulnerable de la envolvente interior es el acceso al desván. Un estudio reciente ha demostrado que una sencilla trampilla de desván presenta numerosas debilidades. Estas trampillas suelen estar hechas de una pieza de tablero contrachapado de 6 o 12 mm de grosor, que suele abombarse con el tiempo permitiendo el paso del aire entre la trampilla y el marco. Solo los tableros contrachapados de al menos 20 mm de grosor han demostrado ser lo bastante rígidos como para conservar su planeidad. Tampoco un sellado rígido entre los dos elementos de madera es suficiente para evitar las filtraciones de aire, por lo que es necesario recurrir a un burlete, teniendo en cuenta que solo podrán evitarse realmente con un pestillo que garantice la compresión del mismo. Una vez sellada la junta entre la trampilla y el marco, las filtraciones de aire aún podrán seguir produciéndose entre el marco y el techo, lo que requiere algún tipo de sellado. Finalmente, también hay que aislar la trampilla para reducir las pérdidas por conducción.

Las escaleras para subir al desván también pueden presentar debilidades, incluso más graves que las trampillas. La puerta al desván se piensa erróneamente como una puerta interior, y no suele estar aislada, aunque la temperatura de un desván ventilado suele estar muy próxima a la del exterior. Esta puerta tampoco suele contar con burletes y permite la salida de aire por efecto chimenea hacia el desván. Tampoco suele estar sellado el marco de la puerta. Es más, también resulta habitual tratar las paredes de separación entre el espacio acondicionado y la caja de escaleras como si fuera una división interior, sin aislar ni sellar. Los muros alrededor de la escalera tampoco disponen de sellado superior, por lo que permiten la comunicación térmica entre el desván y las cámaras de aire de los muros de plantas inferiores. Incluso los peldaños y contrapeldaños de las escaleras tampoco se tratan como parte de la envolvente térmica, y no disponen del aislamiento ni del sellado correspondientes, a pesar de que separan el espacio sin acondicionar del desván del resto de los espacios acondicionados del edificio. Esta falta de aislamiento también es habitual en escaleras completas que unen la primera a la segunda planta de un edificio, con su último tramo en contacto con un desván sin el correspondiente aislamiento en los muros y techos, ni el sellado de cámaras de aire ni juntas constructivas.



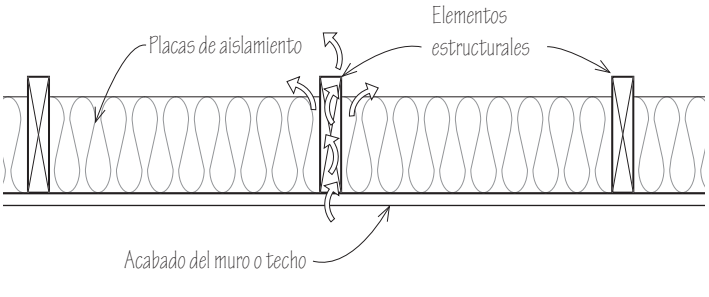
9.07 Problemas comunes de las lámparas empotradas.

Otra zona débil de la envolvente interior en la planta superior del edificio son los dispositivos de iluminación empotrados en los falsos techos. De nuevo, más que un problema se trata de un conjunto de problemas. El calor de las lámparas atraviesa el techo y se pierde en el desván, mientras que las propias lámparas sirven de puente térmico entre el espacio inferior acondicionado y el espacio sin acondicionar del desván. También pueden producirse filtraciones de aire alrededor de los bordes de las lámparas. El cableado eléctrico de las lámparas también requiere perforaciones que pueden permitir que el aire se filtre.



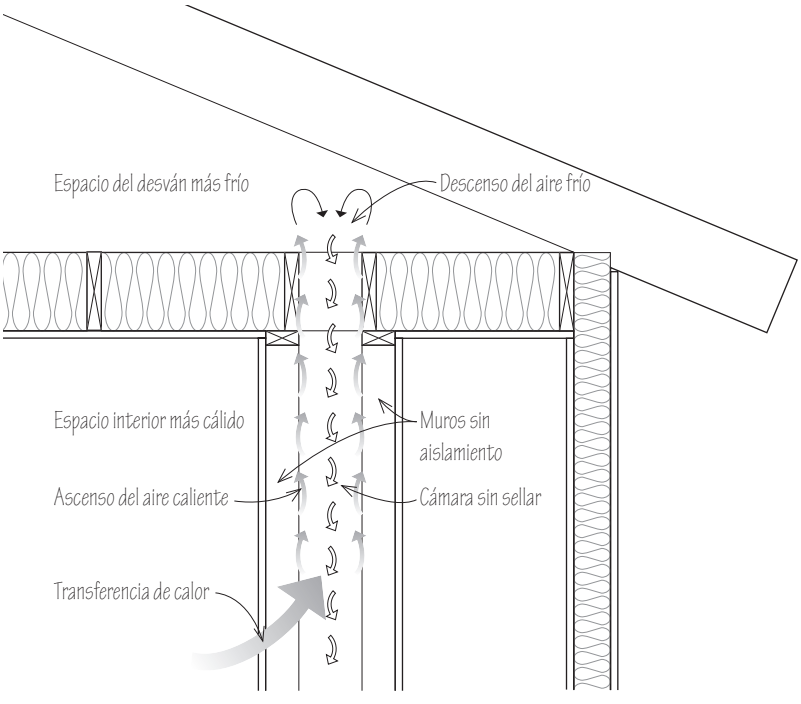
9.08 Mantener la envolvente térmica junto a un garaje adosado al edificio.

Los garajes adosados, ya sea en edificios bajos, como viviendas, o en edificios altos con aparcamiento integrado, presentan a menudo capas débiles en la envolvente interior del muro o del techo que separa el espacio sin acondicionar del garaje y los espacios acondicionados del edificio. De nuevo las debilidades consisten en la ausencia de aislamiento en el muro o los techos, puertas sin aislar y perforaciones que permiten que el aire se filtre.

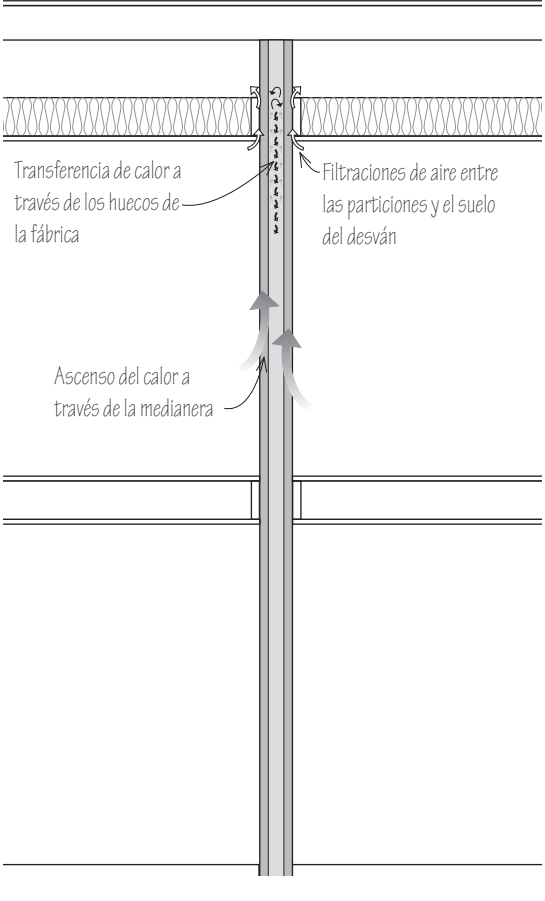


9.09 Transferencias de calor a través de los elementos estructurales de muros y techos.

Ya hemos visto que una parte de la envolvente interior, como el suelo de un desván o un garaje adosado, puede ser una parte débil de la envolvente térmica por su falta de rigidez o de protección en la capa de aislamiento. Otro aspecto negativo de este tipo de capas débiles consiste en que los elementos estructurales de muros (montantes) y techos (viguetas) se convierten en puentes térmicos que aumentan las pérdidas térmicas desde el espacio acondicionado hacia los espacios sin acondicionar. En este caso, a diferencia de los puentes térmicos de los muros con cámara de aire, no existe una segunda superficie rígida, como la membrana protectora o el revestimiento exterior, que proporcione una mínima forma de aislamiento. De esta forma, los entramados de madera no solo provocan una serie de puentes térmicos, sino que se convierten en una serie de láminas difusoras de calor, de modo que no se produce una pérdida térmica en una única dimensión a través del borde extremo de los elementos estructurales, sino que las pérdidas se producen en dos dimensiones y afectan a las superficies laterales de dichos elementos.



9.10 Transferencia de calor desde el espacio interior caldeado hacia la cámara más fría.

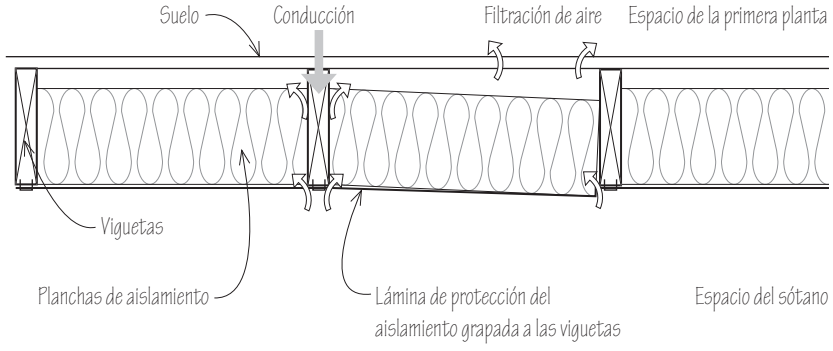


9.11 Pérdidas térmicas a través de muros medianeros de fábrica hueca.

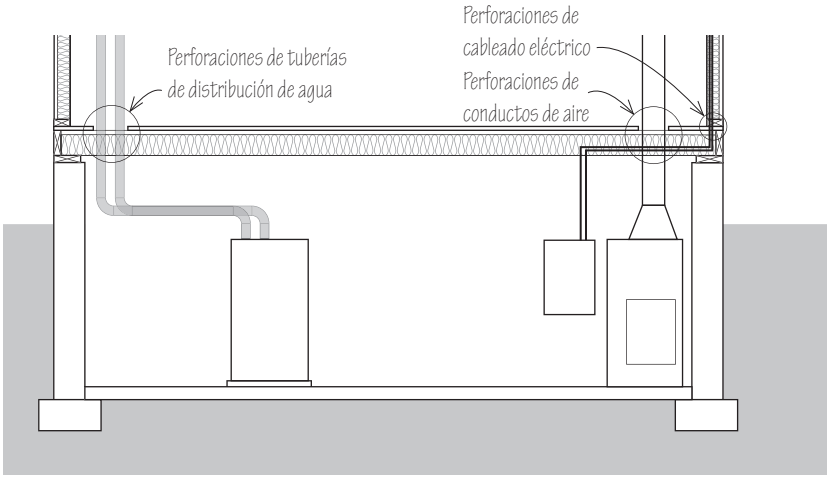
Las cámaras de aire sin sellar suponen puntos débiles significativos en los suelos de los desvanes. El problema tiene que ver con el tamaño de los huecos por los que puede circular el aire y la superficie de las cámaras alojadas en muros y paredes divisorias de las plantas inferiores por las que el calor puede ascender con el aire. Aunque los tramos inferiores de los muros estén correctamente sellados, las cámaras interiores suelen ser lo bastante amplias como para conformar un sifón térmico por el que el aire frío desciende desde el desván por las cámaras de aire y vuelve a ascender una vez que aumenta su temperatura, para volver a iniciar el ciclo.

Otra zona débil de los desvanes son las medianeras, unos muros resistentes al fuego que separan dos propiedades y que parten del sótano para llegar al desván y la cubierta. Mediante fotografías infrarrojas puede verse cómo en invierno estos elementos constructivos tienen una temperatura superior a la del desván, lo que implica la existencia de un flujo de calor y, por tanto, pérdidas. Las medianeras sufren tres tipos de pérdidas térmicas: por filtración de aire por las juntas entre el muro y el suelo del desván; por transferencia por sifón térmico a través de los huecos interiores del muro, que afecta a muchos de estos muros y por el que el aire caliente asciende por sus cavidades interiores hasta enfriarse en el espacio del desván y volver a bajar por la misma vía; y por conducción a lo largo de la estructura de la medianera.

En los sótanos y las cámaras sanitarias, la debilidad de la capa térmica se encuentra a menudo en el aislamiento suspendido entre las viguetas del forjado superior a estos espacios, por lo que es fácil que termine dañándose o desprendiéndose. Cuando la lámina inferior de protección del aislamiento está grapada a las viguetas, ofrece muy poca resistencia a las filtraciones de aire, que fluye con total libertad alrededor de estos bordes. Por ejemplo, un sótano de 90 m^2 tiene más de 300 m lineales de bordes de lámina fijados con grapas. El aire puede entonces atravesar el aislamiento, que suele ser de fibra de vidrio porosa, para alcanzar la cara inferior del forjado o seguir hacia arriba, hasta el espacio superior caldeado, a través de los huecos o grietas del forjado.



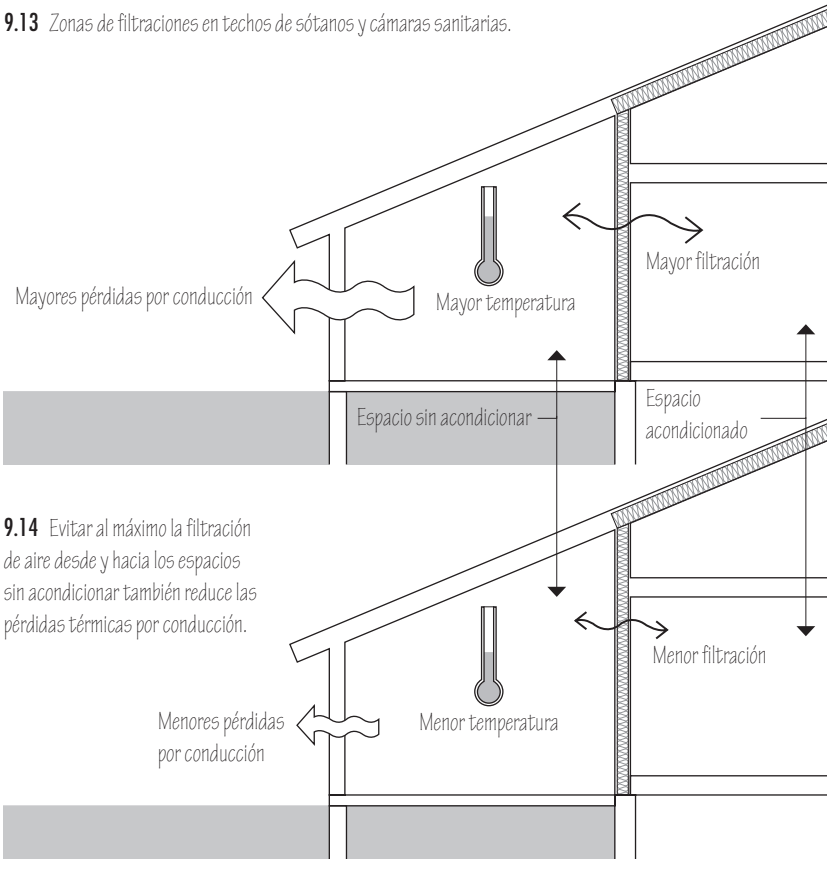
9.12 Pérdidas de energía en los forjados sobre espacios de sótano.



9.13 Zonas de filtraciones en techos de sótanos y cámaras sanitarias.

La envolvente interior sufre numerosas perforaciones en la proximidad a sótanos y cámaras sanitarias, como tuberías de agua caliente y fría, conductos de aire, cableado eléctrico y de datos, tuberías de desagüe y otras instalaciones. Si estas perforaciones no se sellan adecuadamente, el aire del sótano ascenderá empujado por el efecto chimenea.

Los sótanos y las cámaras sanitarias, como los desvanes, también presentan vulnerabilidades en puertas y trampillas, aunque en estos casos pueden no ser tan importantes porque la temperatura de los sótanos no suele ser tan extrema como en los desvanes comunes. Sin embargo, se ha demostrado que una puerta abierta al sótano puede aumentar las pérdidas térmicas de un edificio.



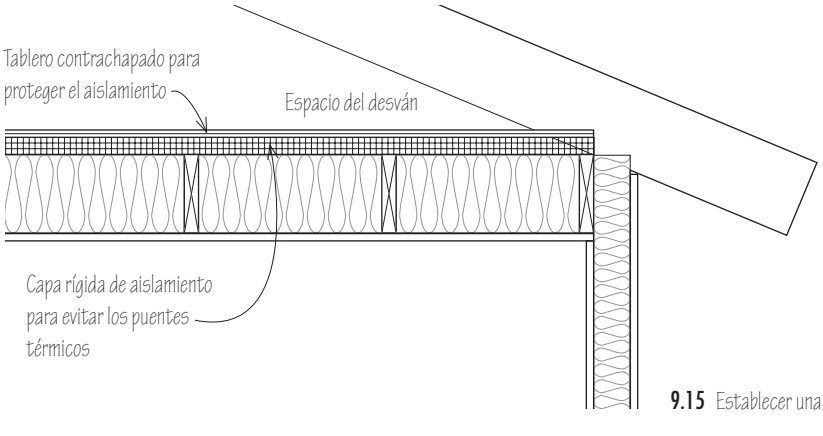
9.14 Evitar al máximo la filtración de aire desde y hacia los espacios sin acondicionar también reduce las pérdidas térmicas por conducción.

Soluciones

Existen múltiples soluciones para resolver los puntos débiles de la envolvente interior.

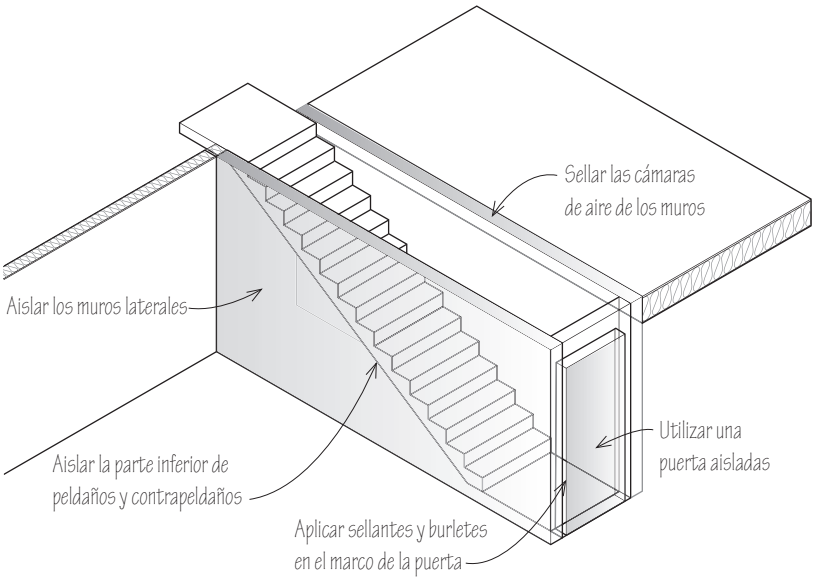
La primera prioridad debe ser reducir el movimiento del aire a través de la envolvente interior eliminando todas las perforaciones presentes en su superficie. Hay varias razones para otorgar la prioridad al sellado frente a las filtraciones de aire:

- El flujo de aire hacia y desde los espacios sin acondicionar contiguos a la envolvente interior reduce el potencial de dichos espacios para servir de aislamiento, como espacios amortiguadores con temperaturas moderadas.
- El sellado de los huecos de estas superficies debe realizarse antes de aplicar el aislamiento, pues si este se coloca en primer lugar resultará complicado localizar las perforaciones y sellarlas.

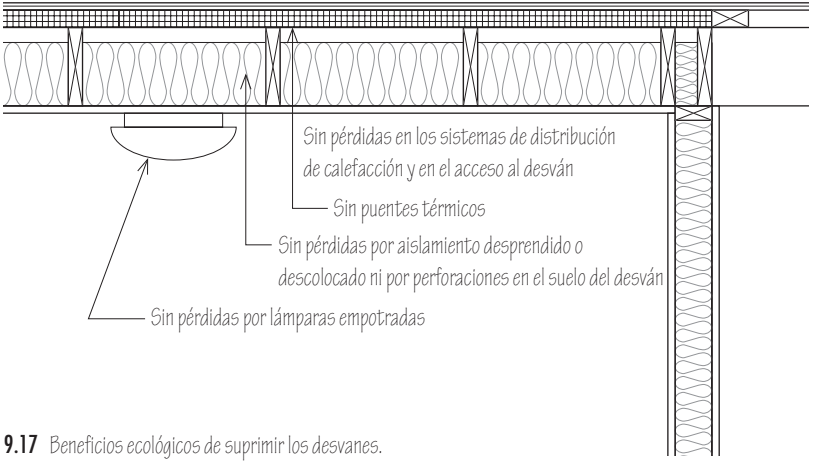


A continuación deberían colocarse superficies rígidas en ambas caras del aislamiento. Siempre que sea posible, el aislamiento deberá ser continuo para descartar la posibilidad de que surjan puentes térmicos.

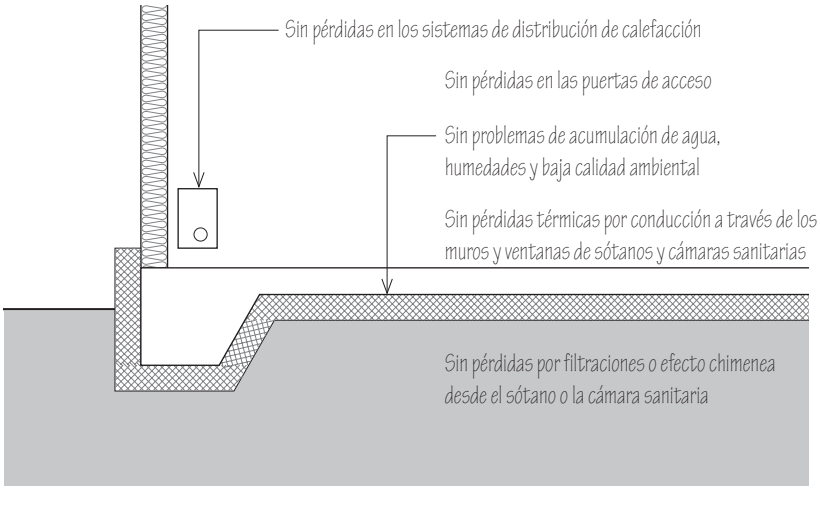
9.15 Establecer una capa robusta de aislamiento en el suelo del desván.



9.16 Evitar las pérdidas de calor en las escaleras de acceso al desván.



9.17 Beneficios ecológicos de suprimir los desvanes.



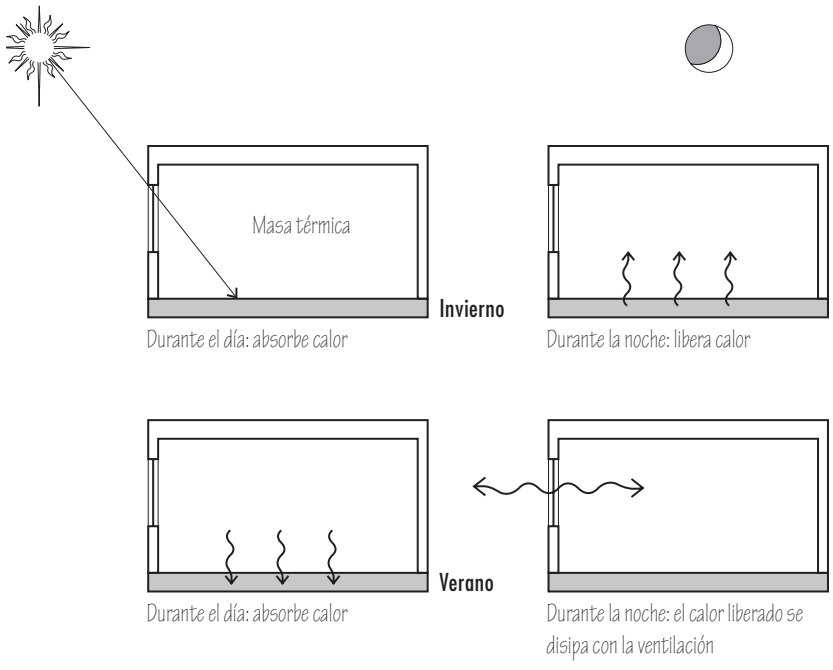
9.18 Beneficios ecológicos de suprimir sótanos y cámaras sanitarias.

Siempre que sea posible, deberán evitarse otro tipo de discontinuidades, como las lámparas empotradas. Las cajas de escalera y las trampillas de acceso a un espacio sin acondicionar desde otro acondicionado deberían proyectarse de modo que no se produzca ningún tipo de discontinuidad, ya se trate de un problema de aislamiento o de filtraciones de aire. La complejidad de estos accesos requiere una especial atención a los detalles, no solo en las puertas o las trampillas, sino también en su entorno inmediato, como marcos y corredores. Las puertas y las trampillas deberían estar convenientemente aisladas, con burletes en todas las juntas entre los elementos móviles y el sellado de todas las juntas de elementos estáticos, como en el encuentro del marco y el muro circundante. En los desvanes deberían también sellarse y aislarse todas las cavidades y cámaras de aire.

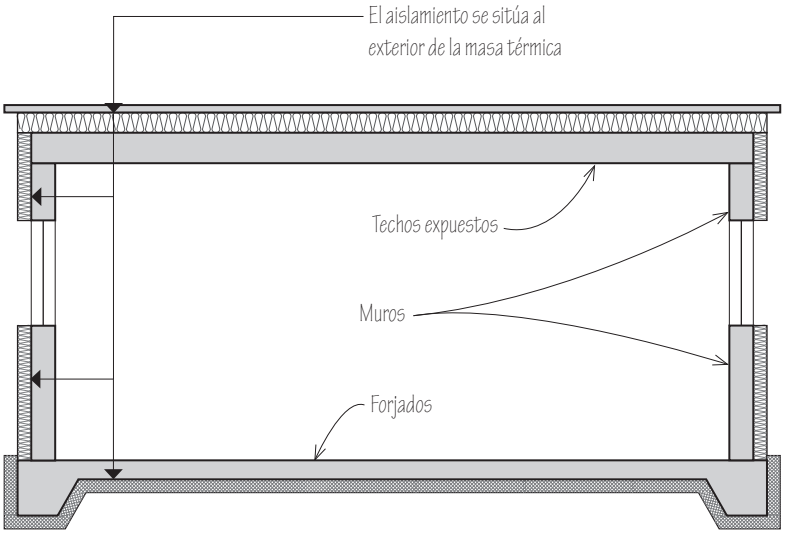
En el caso de los desvanes, la complejidad conlleva un alto riesgo de discontinuidades y problemas energéticos. Una cubierta sencilla evita en mayor medida este riesgo. Como se ha sugerido antes, una posible solución sería suprimir los desvanes y proyectar el edificio con cubiertas planas o ligeramente inclinadas. Pensemos en los problemas que desaparecerían. Sin desvanes no hay perforaciones en el suelo del desván, ni superficies débiles por la desprotección del aislamiento, ni vulnerabilidades en las trampillas o puertas de acceso, ni problemas asociados a las lámparas empotradas, ni pérdidas térmicas en los sistemas de distribución, ni problemas con los puentes térmicos, así como un menor riesgo de formación de carámbanos en climas fríos.

De forma similar, podemos considerar los beneficios de suprimir sótanos y cámaras sanitarias y construir en su lugar edificios sobre losas de cimentación. Con este tipo de cimentación, todas las instalaciones pueden situarse y subir perfectamente selladas desde la losa de hormigón. Desaparecen las pérdidas de los sistemas de distribución de la calefacción, habituales en los sótanos, las filtraciones de aire desde sótanos y cámaras sanitarias inducidas por el efecto chimenea, las pérdidas asociadas a puertas y trampillas o por conducción desde los espacios acondicionados superiores a través de muros y ventanas. Como beneficio añadido, también desaparecen los problemas de calidad ambiental relacionados con la alta humedad de los espacios de sótano.

En resumen, la envolvente interior resulta ser una capa de protección débil que requiere atención y refuerzo. ¿Qué coste tiene reforzar la envolvente interior? En general, este refuerzo supone un sobrecoste. Disponer una superficie rígida en ambas caras del aislamiento supone un sobrecoste, al igual que asegurar la continuidad térmica en las escaleras y trampillas de acceso al desván, en el suelo o en el techo del sótano. Sin embargo otras mejorar pueden reducir los costes de construcción, como suprimir las lámparas empotradas. Además, si atendemos la sugerencia de suprimir sótanos y desvanes, ello supondría una reducción considerable de los costes de construcción, aunque las funciones de almacenaje de dichos espacios deberían proveerse de otra manera.



9.19 Esquemas de masa térmica.



9.20 Alternativas para la ubicación de la masa térmica.

Masa térmica

La masa térmica se refiere a los elementos constructivos con capacidad de absorber y almacenar calor. La masa térmica resulta más eficaz si está situada en el interior de la envolvente térmica. En invierno, la masa térmica sirve para absorber y almacenar el calor del sol para después liberarlo lentamente hacia el interior del edificio cuando no haga sol. También puede aprovecharse en verano combinada con la ventilación nocturna en forma de refrigeración pasiva, liberando el calor acumulado durante el día hacia el aire más fresco de la noche y después refrescando el espacio interior durante el día. La masa térmica debería estar preferiblemente en el mismo espacio al que sirve, normalmente un espacio orientado hacia el sur en invierno. Si ello no fuera posible, la masa térmica debe estar conectada térmicamente con el espacio servido por conductos de aire o tuberías de agua capaces de transmitir el calor.

La masa térmica puede asumir muchas formas, pero suele ser muros y forjados de elevada masa. Para el calentamiento o la refrigeración pasivos, normalmente la masa térmica forma parte de una estrategia integrada que utiliza un sistema adecuado de almacenaje, combinado con una serie de controles, como aislamientos móviles o pantallas aisladas que permiten regular el ciclo nocturno, disminuyendo las pérdidas en invierno o facilitando la ventilación en verano.

La masa térmica solo debería utilizarse en un edificio si los modelos energéticos predicen una reducción del consumo energético. Si se utiliza de manera indiscriminada, puede aumentar el consumo energético de un edificio. Diversos estudios han demostrado que puede conseguirse un ahorro considerable, de hasta un 10 %, pero también un aumento del consumo energético (ahorros negativos).

Puesto que la masa térmica suele implicar mayores energías incorporadas a los materiales, deben analizarse cuidadosamente estas dos variables para llegar a un equilibrio beneficioso. Por ejemplo, un muro de hormigón de 15 cm de grosor, con un aislamiento rígido de 10 cm, tiene una resistencia térmica de 17, pero su comportamiento es equivalente al de un muro de entramado de madera con resistencia térmica de 27, gracias a los beneficios de la masa térmica. Sin embargo, esta resistencia térmica adicional que proporciona el hormigón supone un incremento de más del doble de la energía incorporada necesaria para añadir 6 cm de espuma rígida de aislamiento en el muro entramado de madera, para alcanzar la misma resistencia térmica del muro de hormigón.

La masa térmica también puede obtenerse de forjados a través de suelos y techos. Para que pueda aprovecharse la masa térmica de los forjados a través del techo, estos deben estar expuestos y no ocultos tras un falso techo.

Acabados

Una vez que hemos avanzado de afuera adentro, del entorno y la parcela hacia la envolvente exterior, los espacios sin acondicionar y la envolvente interior, nos encontramos claramente en el interior de la parte acondicionada del edificio. Pero aún hay más capas de protección que debemos tener en cuenta, como, por ejemplo, los acabados interiores, que pueden aprovecharse para ahorrar energía o, mal empleados, pueden trabajar contra la eficiencia energética.

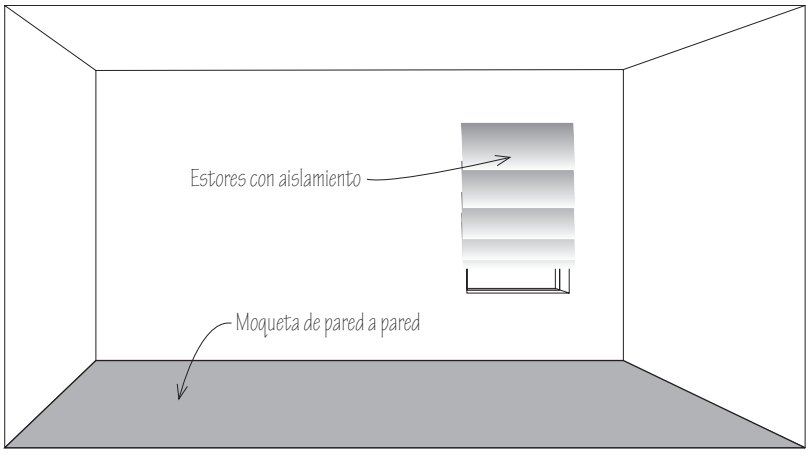
Propiedades térmicas y radiantes de los acabados

Si a una moqueta con una resistencia térmica modesta, de entre 0,5 y 2,5, se le añade un almohadillado inferior, puede conseguirse una resistencia térmica adicional de entre 0,6 y 2,1. Aparte de estas ganancias térmicas conductivas, la reducción de las pérdidas por radiación puede permitir que la temperatura de la estancia sea menor sin que afecte al confort de los usuarios. La moqueta también facilita que la transmisión del sonido dentro del edificio se vea reducida. El uso de moquetas de pared a pared en este contexto es coherente con la defensa de la continuidad del aislamiento a lo largo de toda la capa de protección. En todo caso, no puede pretenderse que una moqueta sea un sustituto adecuado de la capa rígida de aislamiento recomendable bajo el pavimento, o cualquier otro tipo de aislamiento superficial.

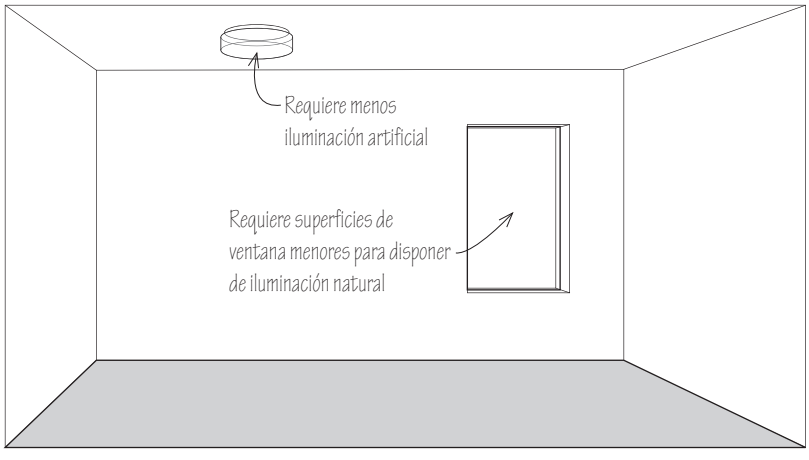
En el lado negativo, muchas moquetas contienen productos químicos, aunque las hay con menor contenido de ellos. Para limpiarlas se necesita aspiradora, con el consiguiente consumo de energía. Las moquetas pueden reducir los beneficios de la masa térmica de los forjados de hormigón y, lo que resulta más significativo, tienen una baja reflectancia, por lo que es preciso un mayor nivel de iluminación artificial y mayor superficie de ventana para tener luz natural.

En el caso de las ventanas, un acabado interior adecuado pueden ser los estores con aislamiento que, con una resistencia térmica de aproximadamente 5, pueden duplicar o triplicar la resistencia térmica de las ventanas. Es más, estos estores aislados pueden incorporar una barrera radiante que reduzca las pérdidas por radiación, así como proporcionar una modesta protección frente a las filtraciones de aire si cuentan con un adecuado sellado en sus uniones con el marco de las ventanas.

Otros acabados pueden proporcionar una diversidad de ventajas térmicas y radiantes. Los vidrios tintados pueden utilizarse en clima cálidos para reducir la radiación solar indeseada. Las barreras contra la radiación detrás de los radiadores evitan las pérdidas a través de los muros. Las persianas pueden reducir el deslumbramiento y proporcionan protección contra las ganancias solares en verano, y las pérdidas por radiación desde un espacio interior hacia el exterior. En cualquier caso, es preciso recordar que para evitar las ganancias solares es mucho más eficaz sombrear el exterior. Las persianas pueden proporcionar una alta reflectancia a la luz, lo cual reduce la necesidad de iluminación artificial.



9.21 Los acabados como capa de protección.

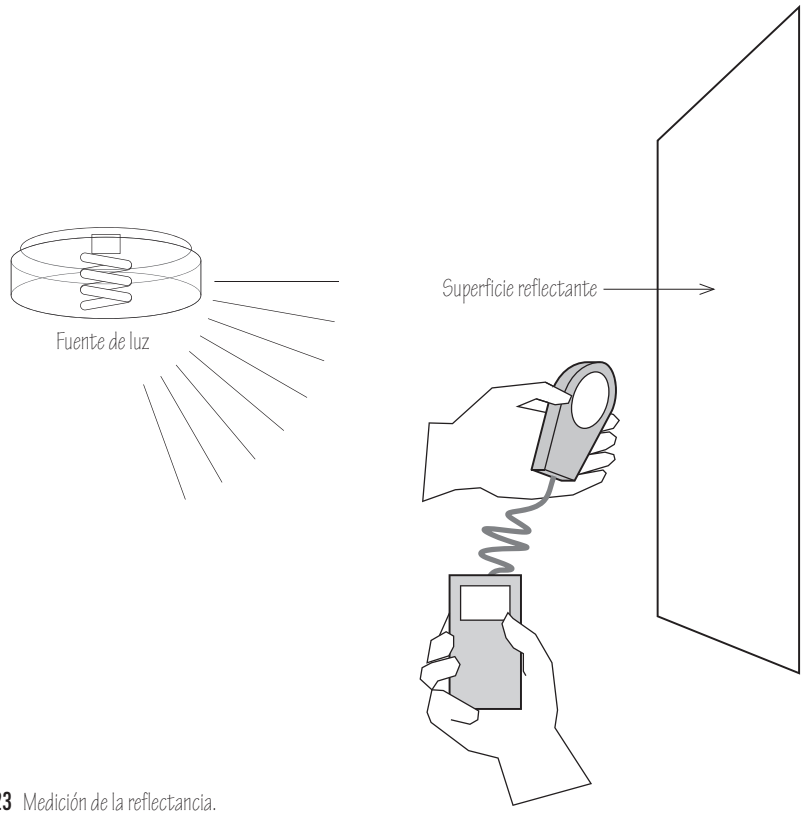


9.22 Beneficios de los acabados reflectantes.

Reflectancia lumínica

Mientras que las propiedades térmicas y radiantes de los acabados permiten ganancias térmicas modestas, su reflectancia lumínica puede tener un impacto significativo en el consumo energético de un edificio. Las superficies interiores reflectantes permiten dos tipos de ahorro:

1. Reducen la necesidad de iluminación artificial y el correspondiente ahorro en electricidad.
2. Permiten alcanzar el mismo nivel de iluminación con menos intensidad de luz natural y, por tanto, la superficie de ventana puede ser menor, lo cual supone el ahorro correspondiente en costes de climatización. También se añaden otras ventajas, como menos gasto en dispositivos de iluminación o una menor carga de aire acondicionado, con los consiguientes ahorros energéticos.



9.23 Medición de la reflectancia.

La reflectancia puede medirse situando un medidor de luz cerca de la superficie, dirigiendo el medidor hacia la fuente de luz para medir su intensidad y, a continuación, hacia la superficie, volviendo a medir la luminosidad y calculando la fracción de luz incidente que refleja dicha superficie.

Ejemplo:
Apuntar el medidor de luz hacia la fuente de luz: 1.000 lux
Apuntar el medidor de luz hacia la superficie reflectante: 450 lux
Reflectancia = 450/100 = 45 %

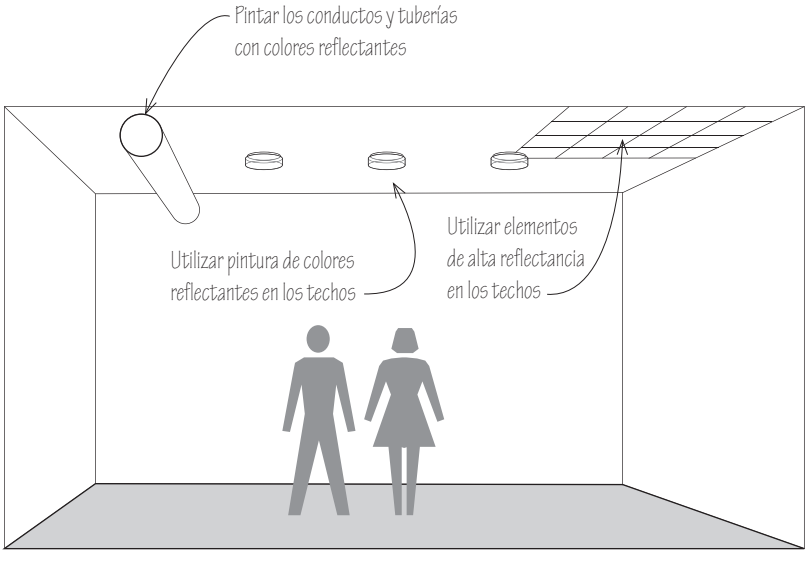
9.24 Valores de reflectancia de diversos acabados (%).

Pinturas	
Blanco de alta reflectancia	90
Blanco convencional	70-80
Crema claro	70-80
Amarillo claro	55-65
Verde claro*	53
Verde Kelly*	49
Azul intermedio*	49
Amarillo intermedio*	47
Naranja intermedio*	42
Verde intermedio*	41
Rojo intermedio*	20
Marrón intermedio*	16
Gris azulado oscuro*	16
Marrón oscuro*	12

* Estimación para pinturas mates; en pinturas brillantes, se incrementa entre un 5 y un 10 %

Maderas	
Arce	54
Chopo	52
Pino blanco	51
Pino rojo	49
Pino de California	38
Abedul	35
Haya	26
Roble	23
Cerezo	20
Moquetas	
Bajo mantenimiento, oscura	2-5
Mantenimiento moderado	5-9
Mantenimiento alto	9-13
Mantenimiento intensivo	13+
Linóleo	
Blanco	54-59
Negro	0-9

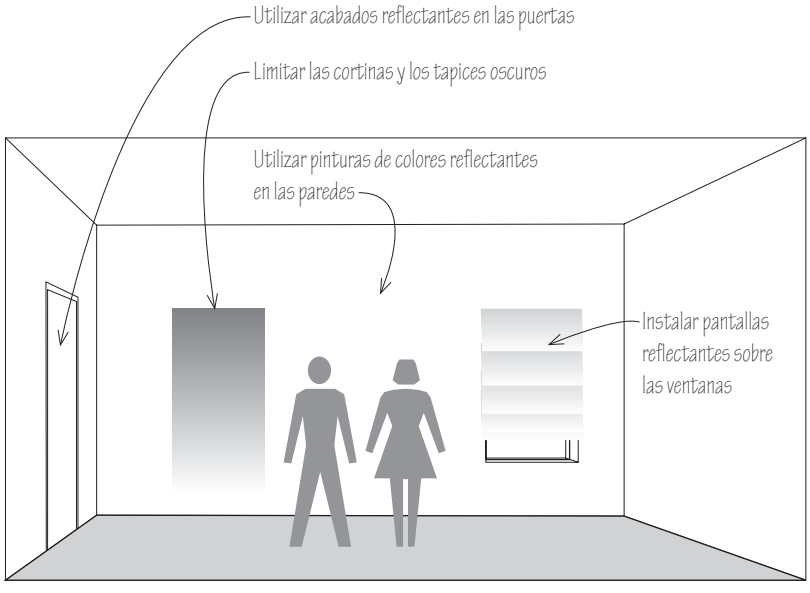
Hormigón	
Hormigón negro pulido	0
Hormigón gris pulido	20
Hormigón claro pulido	60
Pavimento de hormigón reflectante	66-93
Paredes	
Paneles oscuros	10
Estopa	10
Contrachapado	30
Mobiliario	
Escritorio de acero lacado en gris	63
Tablón de anuncios	10
Particiones de tejido gris	51
Encimeras	4-85
Falsos techos	
Piezas convencionales	76-80
Piezas de alta reflectancia	90



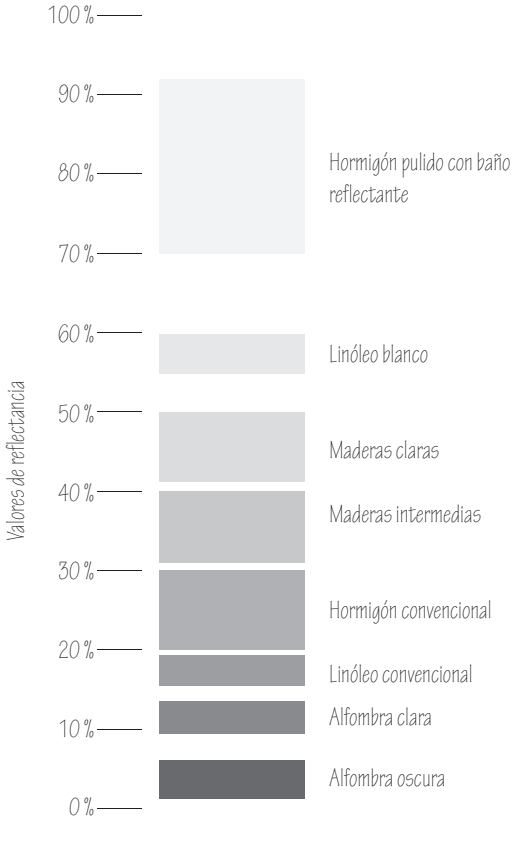
9.25 Estrategias de reflectancia en techos.

En techos y paredes debería darse prioridad a superficies reflectantes que minimicen la necesidad de iluminación artificial. Los suelos y los muebles reflectantes también pueden contribuir a este fin. Mientras que se asume generalmente que el suelo cuenta con una reflectancia del 20 %, esto no tiene por qué aceptarse sin más. Algunos pavimentos de madera noble pueden presentar reflectancias superiores al 50 %, y varios productos comerciales para suelos presentan reflectancias que llegan al 75 %, mientras que algunos pavimentos de hormigón han demostrado tener una reflectancia del 93 %. Las encimeras también presentan un amplio rango de reflectancias, desde menos del 10 % hasta el 85 %. Definir el diseño de los acabados interiores en una fase temprana del proceso de proyecto permite optimizar la iluminación aprovechando las ventajas de superficies interiores con alta reflectancia.

Aunque las superficies blancas presentan de por sí una alta reflectancia, no son la única opción. Diversos estudios han demostrado que muchas pinturas de color permiten altos valores de reflectancia, al igual que otros tipos de superficies, como ciertos acabados metálicos y de madera, persianas reflectantes y revestimientos de hormigón reflectante.



9.26 Estrategias de reflectancia en paredes.



9.27 Estrategias de reflectancia en suelos. Puesto que la iluminación normalmente se proyecta para una reflectancia del suelo por defecto del 20 %, este elemento es una oportunidad de mejorar la reflectancia total de paredes o techos.

Por ejemplo, un edificio con superficies interiores reflectantes (90 % para techos, 60 % para paredes y 30 % para suelos) requiere un 11 % menos de iluminación artificial que un edificio que cuente con superficies con una reflectancia más convencional (80 % para techos, 50 % para paredes y 20 % para suelos). Mayores niveles de reflectancia logran ahorros más significativos. Reflectancias superficiales del 90 % para techos, 70 % para paredes y 40 % para suelos suponen un ahorro significativo del 28 % en el consumo energético de la iluminación.

Puesto que se asume que las paredes cuentan con una reflectancia del 50 %, hay un margen de mejora. La clave no es solo seleccionar acabados reflectantes para las paredes, sino evitar recubrimientos poco reflectantes, como tejidos, y plantear acabados más reflectantes para las puertas y otros muebles montados sobre las paredes, como encimeras y alacenas. De igual modo, es más recomendable cubrir las ventanas con pantallas reflectantes que con cortinas. Nótese que una ventana a la vista, de noche, cuando la luz artificial es más necesaria, es muy poco reflectante, por lo que se necesitará más iluminación, a menos que se cubra la ventana con persianas o estores reflectantes.

La reflectancia relativamente baja de las moquetas merece una mención particular. Las moquetas con una reflectancia por encima de un 9 % suelen requerir más mantenimiento. Cuando esta reflectancia se sitúa por encima del 13 %, las alfombras requieren un mantenimiento intensivo. Asumiendo que las alfombras tienen normalmente una reflectancia del 10 %, el uso de un entarimado o alicatado de madera clara, con una reflectancia de, por ejemplo, un 50 %, reduce en un significativo 36 % la necesidad de iluminación artificial, además del potencial de maximizar la iluminación natural.

Para aprovechar los ahorros asociados al uso de superficies con valores más elevados de reflectancia, debería hacerse un esfuerzo concertado en varios frentes:

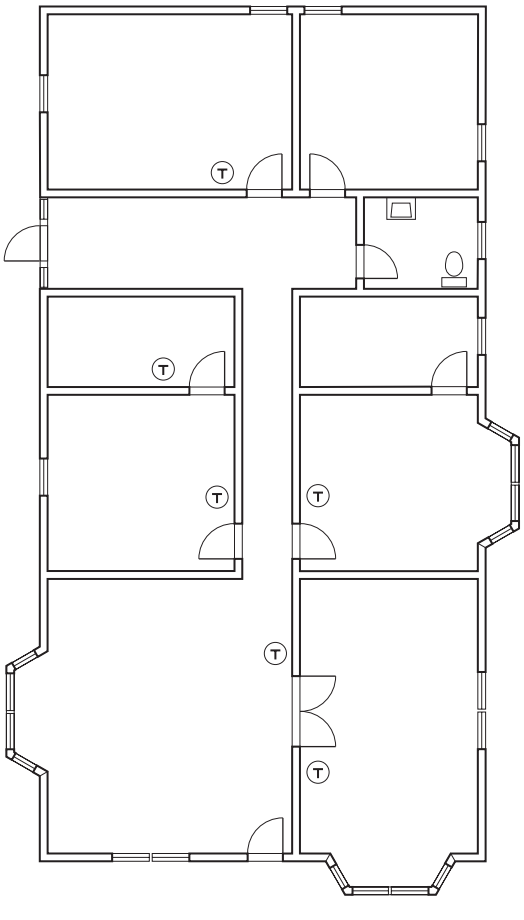
- Seleccionar los acabados en una fase temprana del proceso de proyecto.
- Trasladar estos valores a los ingenieros de iluminación para que se pueda optimizar el proyecto de la iluminación.
- Asegurarse de que los acabados se instalan durante la construcción.
- Documentar los acabados para cuando se vuelva a pintar o se introduzcan otras mejoras en ellos, como la sustitución de los techos.

El propietario del edificio debe ser consciente de la importancia y la relevancia de los valores de reflectancia. En este punto resulta de gran ayuda el trabajo integrado de proyecto, ya que el cliente se comprometerá activamente con el proceso, así como el ingeniero de iluminación, y todas las partes pueden acordar el empleo de superficies de alta reflectancia para reducir la necesidad de iluminación artificial y de superficie de ventanas para la iluminación natural. Históricamente, la iluminación se ha proyectado asumiendo unos valores de reflectancia del 80 % para los techos, el 50 % para las paredes y el 20 % para los suelos. Estos valores son por defecto. Para aprovechar los ahorros en iluminación gracias a los acabados de alta reflectancia, debemos proyectar un sistema de iluminación coherente con los mismos.

10

Zonificación y compartimentación térmica

La zonificación y compartimentación térmica ayuda a reducir el consumo energético mediante el uso de capas interiores de protección que limitan los flujos no deseados de aire y calor dentro de un edificio.

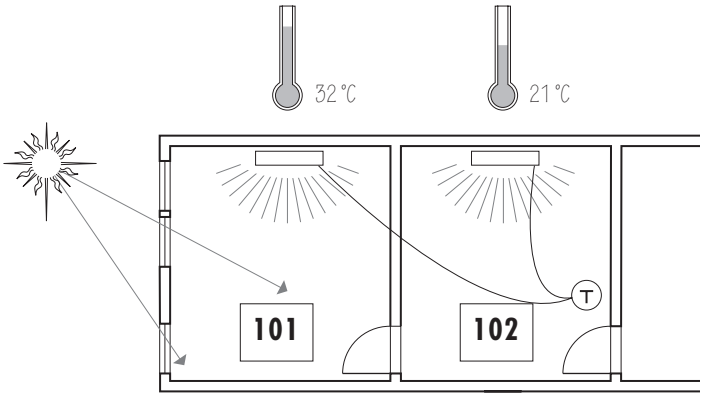


10.01 La zonificación térmica incorpora controles de temperatura independientes para distintas zonas del edificio.

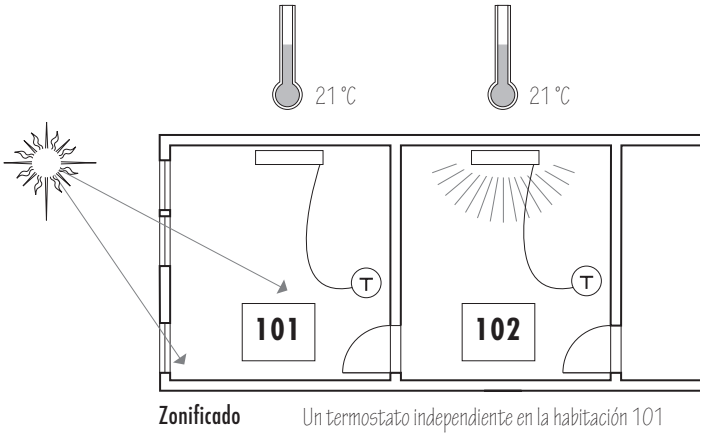
Zonificación térmica

La zonificación térmica permite que distintas zonas del edificio cuenten con controles de temperatura independientes y respondan mejor a las preferencias particulares de temperatura. También puede servir para ahorrar energía, principalmente por dos vías:

- Puede evitar el sobrecalentamiento de espacios que reciban calor de otras fuentes, como las ganancias solares, la alta ocupación transitoria de salas de conferencias, aulas y otros espacios de reunión, o las menos frecuentes ganancias internas debidas a maquinaria o sistemas de iluminación.
- Puede permitir que algunos espacios acondicionados queden sin acondicionar en determinados momentos, para poder reducir la temperatura de un espacio en invierno o elevarla en verano, con lo cual se reducen las cargas por calefacción y refrigeración.



Sin zonificación Un termostato controla la temperatura de distintos espacios. Las ganancias solares sobrecalientan la habitación 101

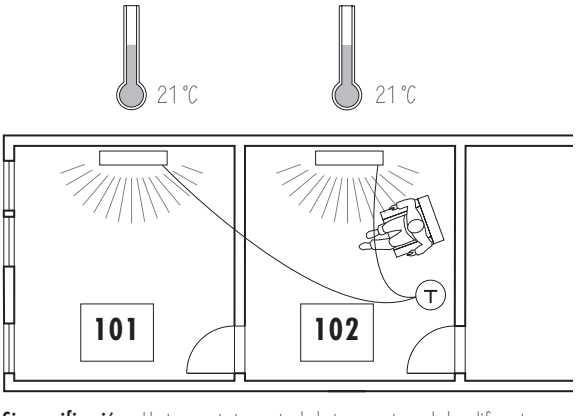


Zonificado Un termostato independiente en la habitación 101 evita que se active la calefacción cuando se recibe ganancia solar, con el consiguiente ahorro energético

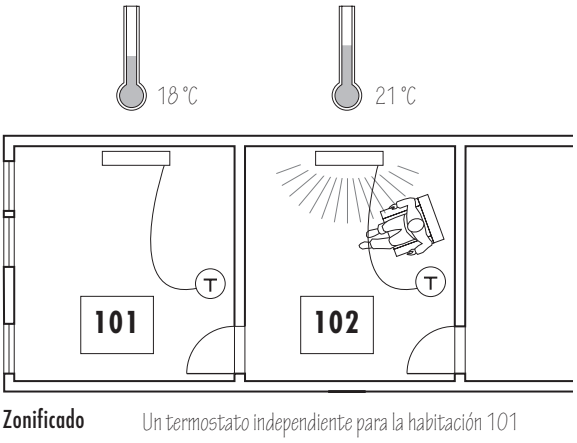
▲

10.02 Evitar el sobrecalentamiento de espacios que reciben calor de varias fuentes.

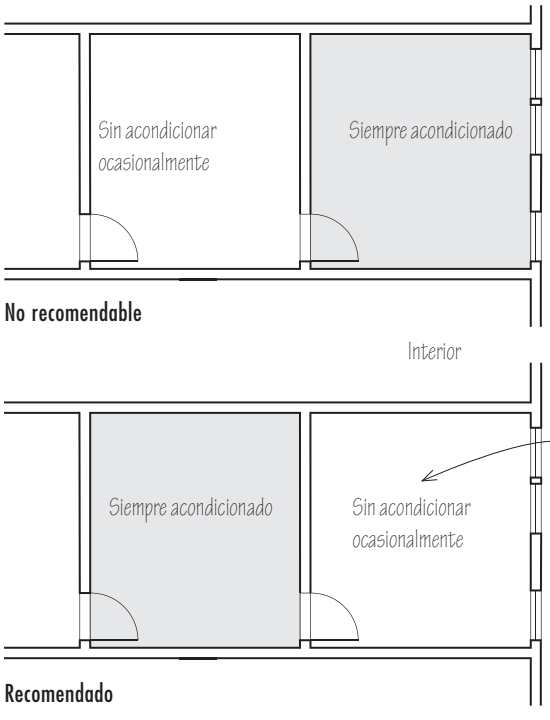
10.03 Permitir que los espacios acondicionados queden sin acondicionar en determinadas situaciones. ▶



Sin zonificación Un termostato controla la temperatura de los diferentes espacios. Ambos espacios son caldeados incluso cuando la habitación 101 está vacía



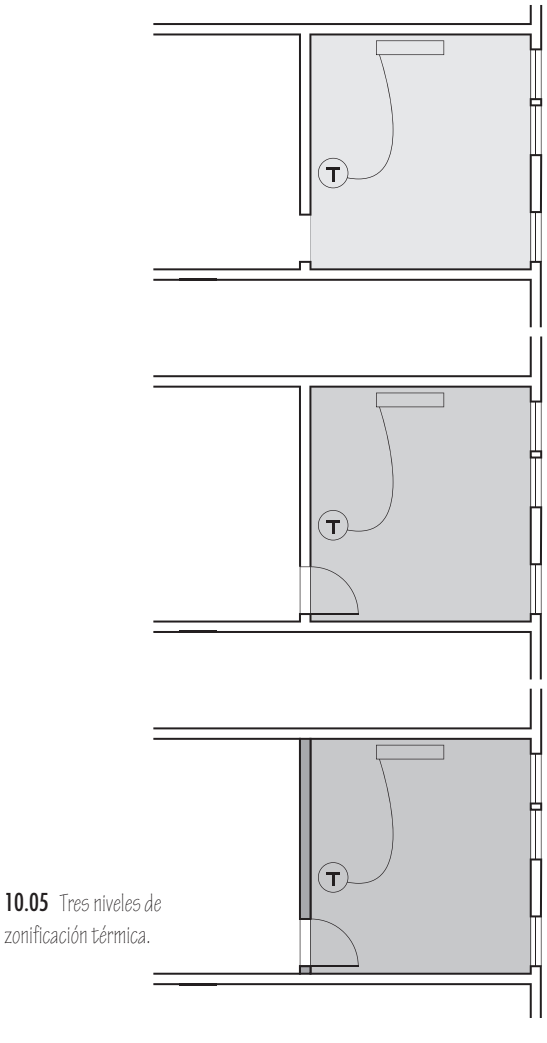
Zonificado Un termostato independiente para la habitación 101 evita que se active la calefacción cuando la habitación está vacía, con el consiguiente ahorro energético



10.04 *Cómo situar los espacios sin acondicionar ocasionalmente.*

Puesto que la zonificación térmica puede suponer ahorros energéticos significativos en cualquiera de estos casos, es importante identificar aquellos espacios que no necesitan calefacción o refrigeración de forma permanente.

Conviene que estos espacios que pueden quedar sin acondicionar ocasionalmente estén situados junto al muro exterior, pues de esta forma se evitan las pérdidas térmicas de los espacios caldeados hacia el exterior.



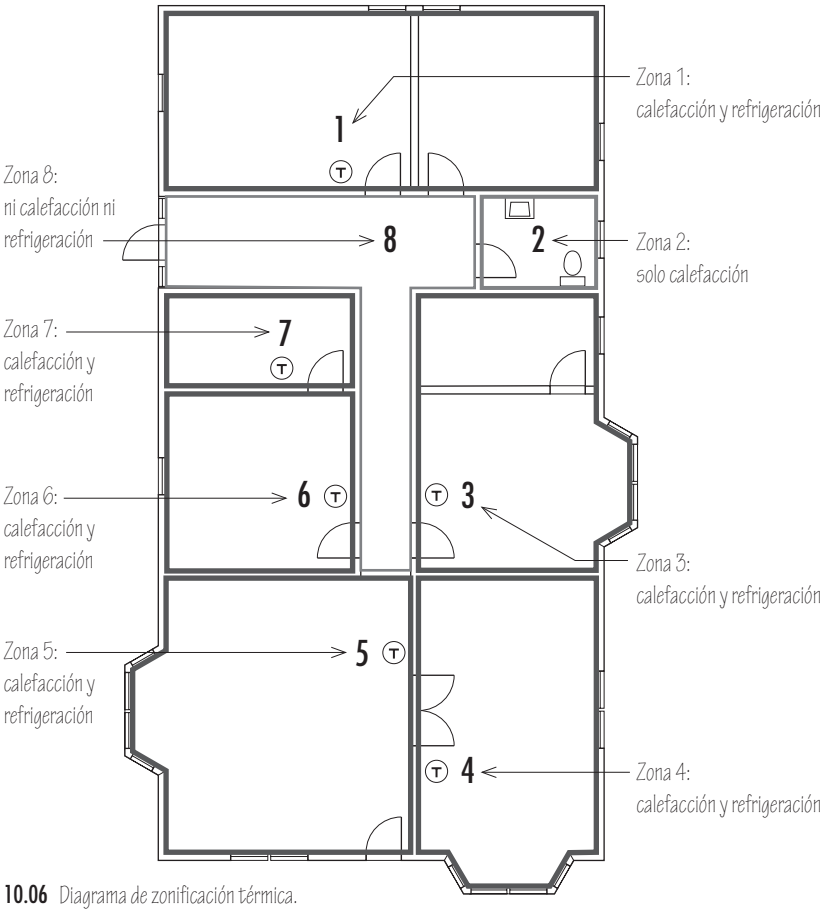
10.05 *Tres niveles de zonificación térmica.*

Podemos considerar tres niveles de zonificación térmica:

1. Control de temperatura: requerido. Sin control de temperatura no es posible la zonificación térmica. Significa que cada zona cuenta con su propio termostato u otros medios para controlar el dispositivo que proporciona calor o frío a cada una.

2. Puertas de clausura de una zona: recomendado. Para aumentar el ahorro energético de una zona, esta debería contar con puertas que eviten pérdidas por intercambio de aire entre zonas acondicionadas y otras temporalmente sin acondicionar. Un ejemplo podría ser la instalación de una puerta en la parte inferior o superior de una caja de escaleras de un edificio de oficinas de dos plantas, para crear dos zonas térmicas, una por arriba y otra por abajo de las escaleras.

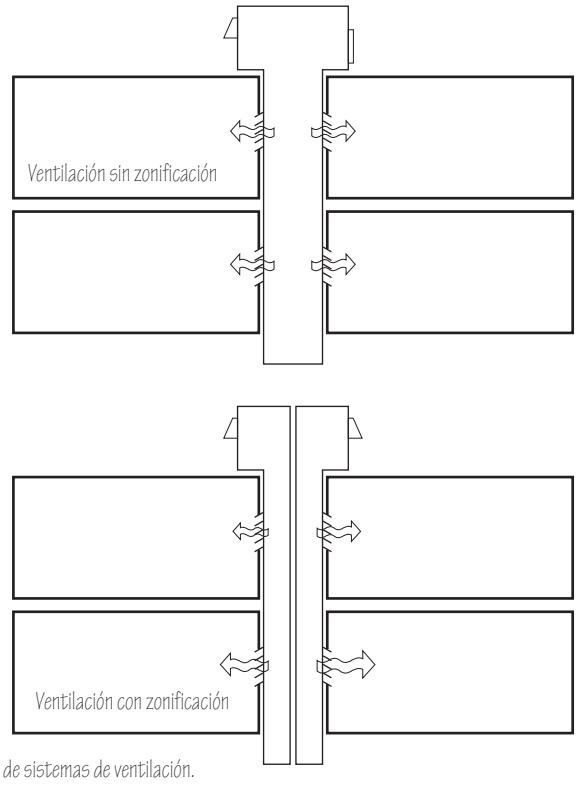
3. Aislamiento térmico de una zona: opcional. Los muros y los forjados interiores que separan diferentes zonas térmicas deberían estar aislados y sellados, y las puertas contar con sus correspondientes burletes. Esto resulta especialmente recomendable si una de las zonas está vacía durante la mayor parte del tiempo. Ejemplos: cuarto de invitados, estudio de una vivienda o habitaciones de un hotel.



10.06 Diagrama de zonificación térmica.

Puesto que ciertos sistemas de climatización no soportan la zonificación térmica, es de gran ayuda definir las zonas térmicas antes de elegir un sistema de climatización que la permita.

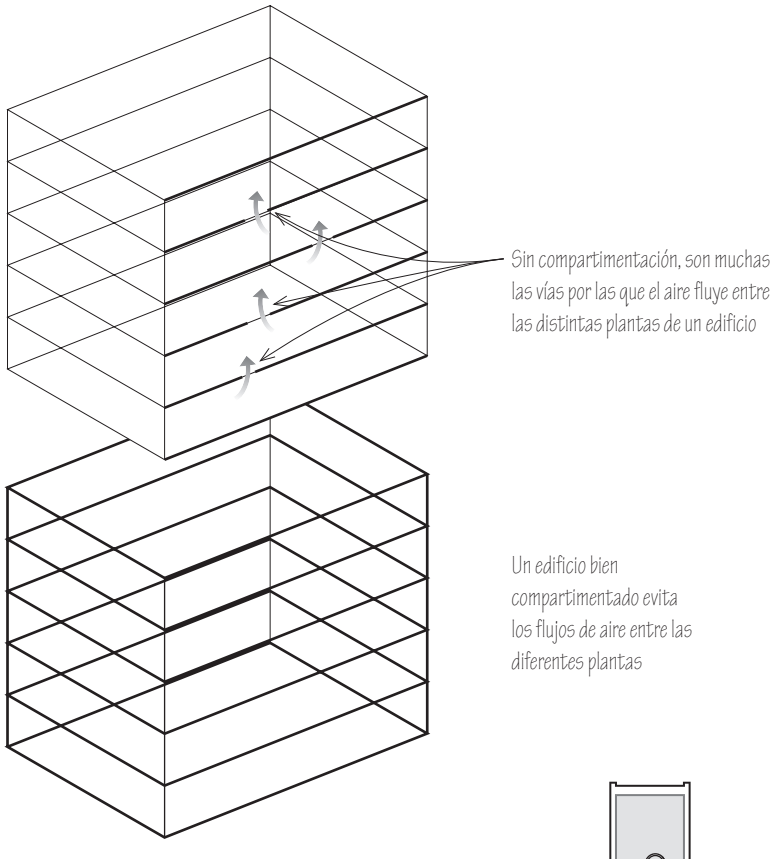
Los documentos técnicos del proyecto deberían incluir un diagrama de zonificación térmica para ayudar a delinear las zonas que estarán reguladas por controles de temperatura, los espacios que contarán con calefacción pero no con refrigeración, y aquellos que se mantendrán sin acondicionar de forma permanente.



10.07 Zonificación de sistemas de ventilación.

La división de un edificio en zonas también puede aplicarse a la ventilación. Un edificio comercial de grandes dimensiones suele contar con sistemas de ventilación potentes, que sirven a una superficie importante del edificio. Estos grandes sistemas son menos capaces de responder a necesidades localizadas de ventilación y, por ello, existe el riesgo de que una zona determinada esté excesivamente ventilada y, por tanto, se desperdicie energía en el proceso, o bien que otros espacios estén muy poco ventilados y de ponga en riesgo su calidad ambiental. Si un edificio se subdivide en zonas más pequeñas, con un sistema de ventilación adaptado a sus necesidades específicas, es posible asegurar una buena calidad de los interiores y un consumo energético menor.

El impacto de la zonificación térmica en el coste de construcción puede ser negativo o positivo. Los costes aumentan al añadir nuevos controles de temperatura, puertas o capas de aislamiento. Sin embargo, cuando puede evitarse la calefacción o la refrigeración de ciertos espacios, se consigue un ahorro en los costes.



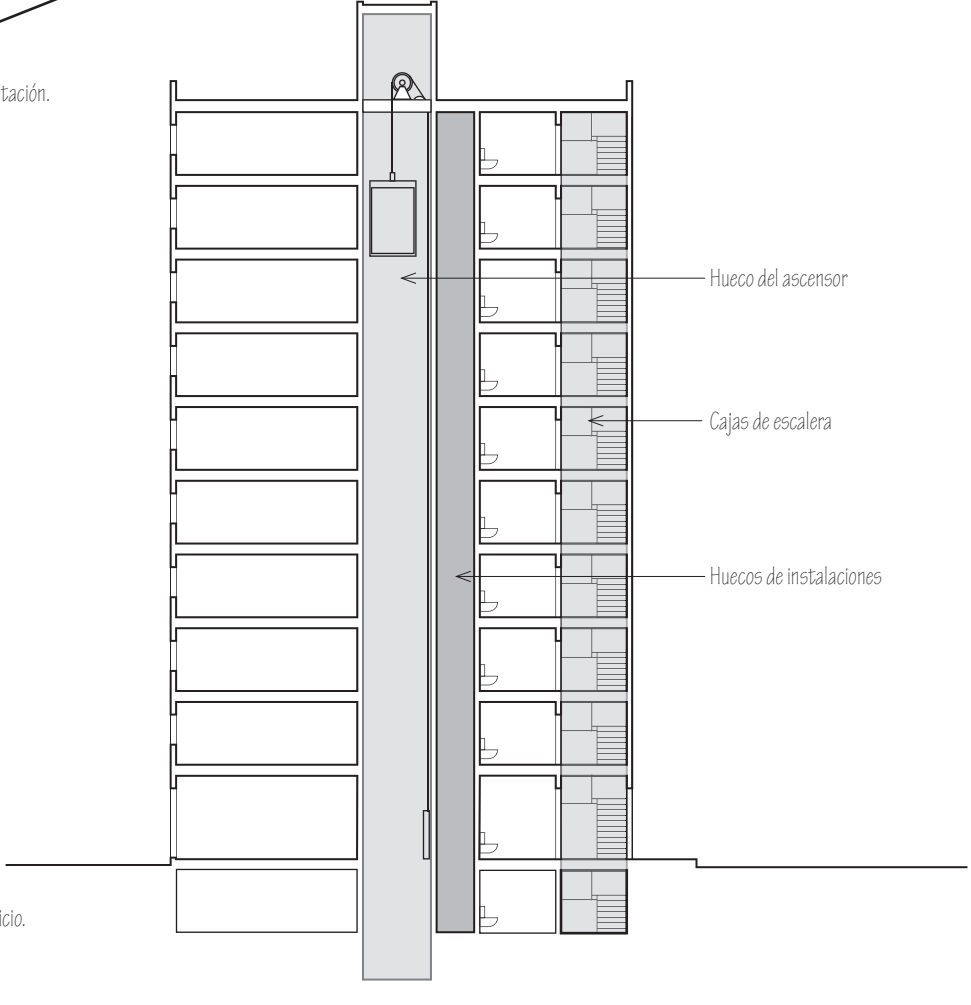
10.08 Las ventajas de la compartimentación.

Compartimentación

La compartimentación está relacionada con la zonificación térmica, pero presenta sus propias características. La compartimentación implica la separación física de distintas zonas de un edificio para reducir los intercambios de aire entre ellas. El principal objetivo de la compartimentación es reducir el movimiento de aire producido por el efecto chimenea, y se aplica tanto a espacios acondicionados como sin acondicionar.

Hemos tratado algunas formas de compartimentación al hablar del sellado de desvanes y sótanos. La compartimentación se vuelve incluso más importante en edificios de gran o media altura, pues la altura es uno de los factores que provoca el efecto chimenea. Sin embargo, no por ello deberíamos olvidarnos de la compartimentación en edificios de dos plantas, o incluso en los de una planta con sótano, pues diversos estudios han señalado que el efecto chimenea se da incluso en edificios de poca altura.

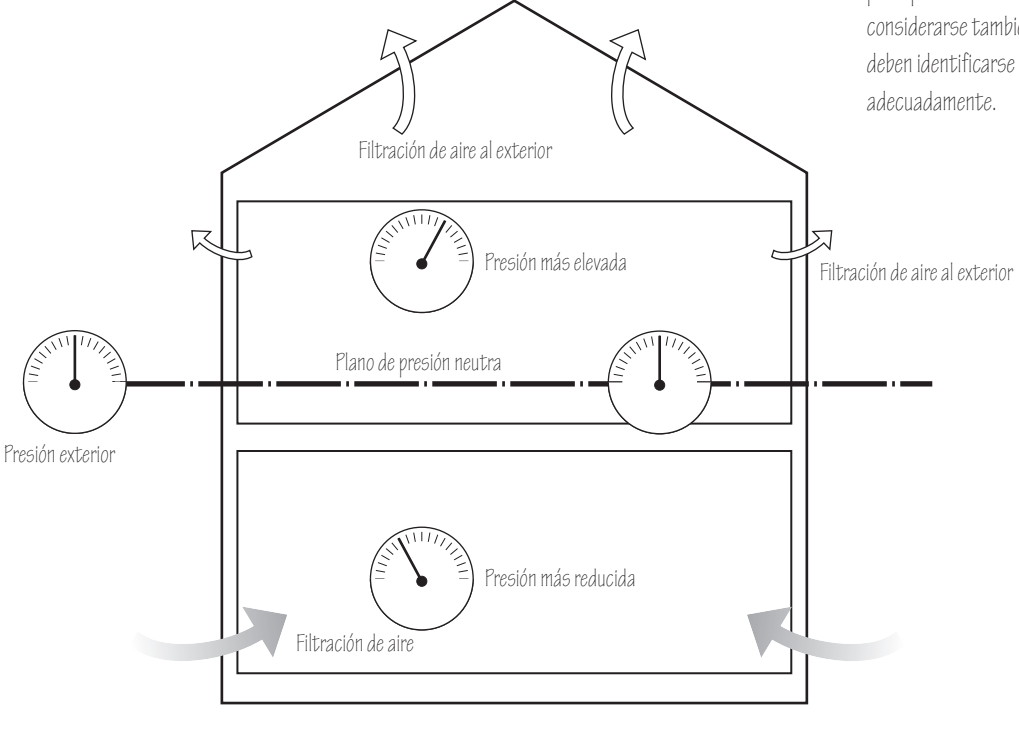
¿Por dónde circula el aire entre las plantas? Las vías principales para las corrientes verticales de aire son las cajas de escalera, especialmente cuando son abiertas; otras son los huecos de ascensor y los de instalaciones donde se alojan conductos y cableado que recorren toda la altura del edificio.



10.09 Recorridos verticales en un edificio.

Puesto que intentamos limitar el flujo de aire, resulta instructivo seguir el recorrido de los flujos asociados al efecto chimenea durante el invierno. Observemos cómo el aire fluye desde el exterior y cómo atraviesa el edificio en su ascenso, para salir finalmente por su parte superior. El aire entra en el edificio por cualquier punto por debajo del plano neutro de presión, plano en el que no hay diferencia de presión entre el interior y el exterior y, por tanto, tampoco se produce filtración por efecto chimenea. Podemos visualizar el plano neutro de presión como aquel situado a media de altura del edificio, aunque su localización exacta varía según las posiciones relativas de los puntos de filtración a lo largo de la altura del edificio.

El efecto chimenea impulsa mayor cantidad de aire al edificio cuanto más alejado esté el punto de filtración del plano neutro de presión, pues cuanto más bajo y cercano al terreno esté dicho punto, mayor será la diferencia de presión entre el interior y el exterior. Por ello, lo normal es que el aire entre en el edificio por las zonas bajas del mismo, especialmente por el sótano o por la primera planta, desde una puerta abierta, una grieta junto a una ventana o una entrada de servicio. El sótano y la planta baja no solo soportan el mayor diferencial de presión por el efecto chimenea, sino que suelen tener el mayor número de huecos, por ello, la primera medida para mitigar el efecto chimenea debe enfocarse hacia las grandes entradas del nivel inferior. Por ejemplo, un vestíbulo estanco en la entrada principal es una buena medida contra el efecto chimenea y debería considerarse también para otros accesos al edificio; así mismo deben identificarse el resto de los huecos existentes para sellarlos adecuadamente.

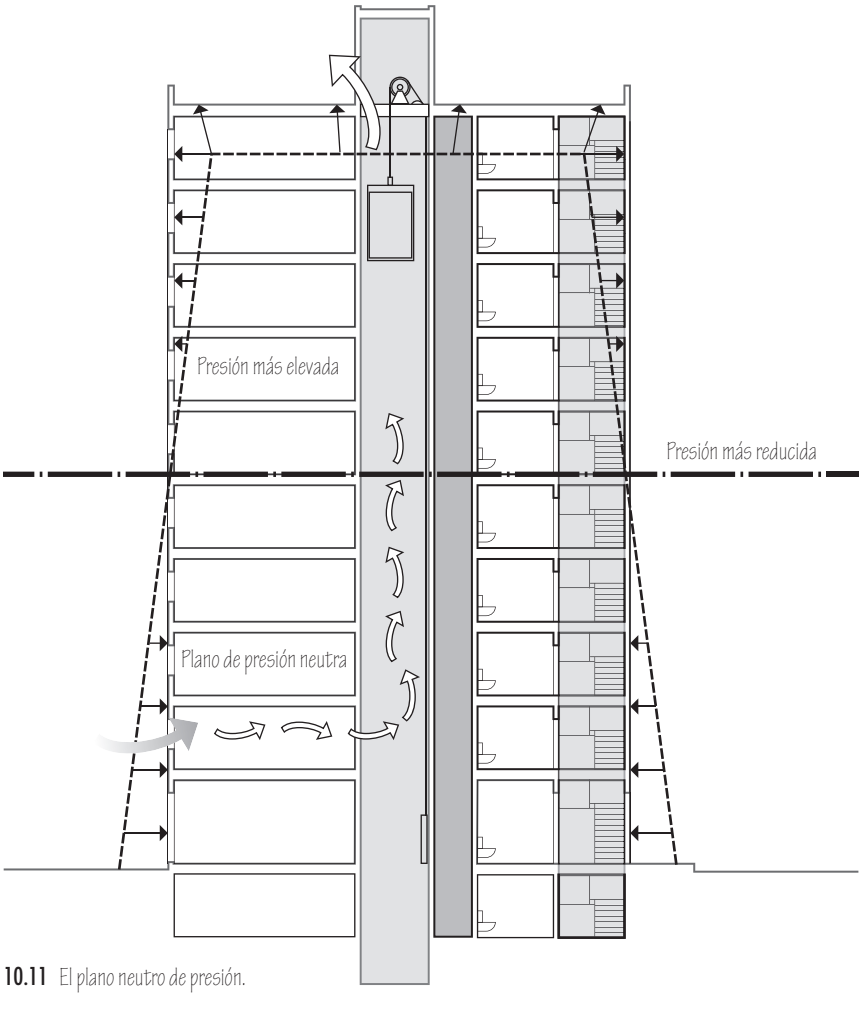


10.10 El plano neutro de presión.

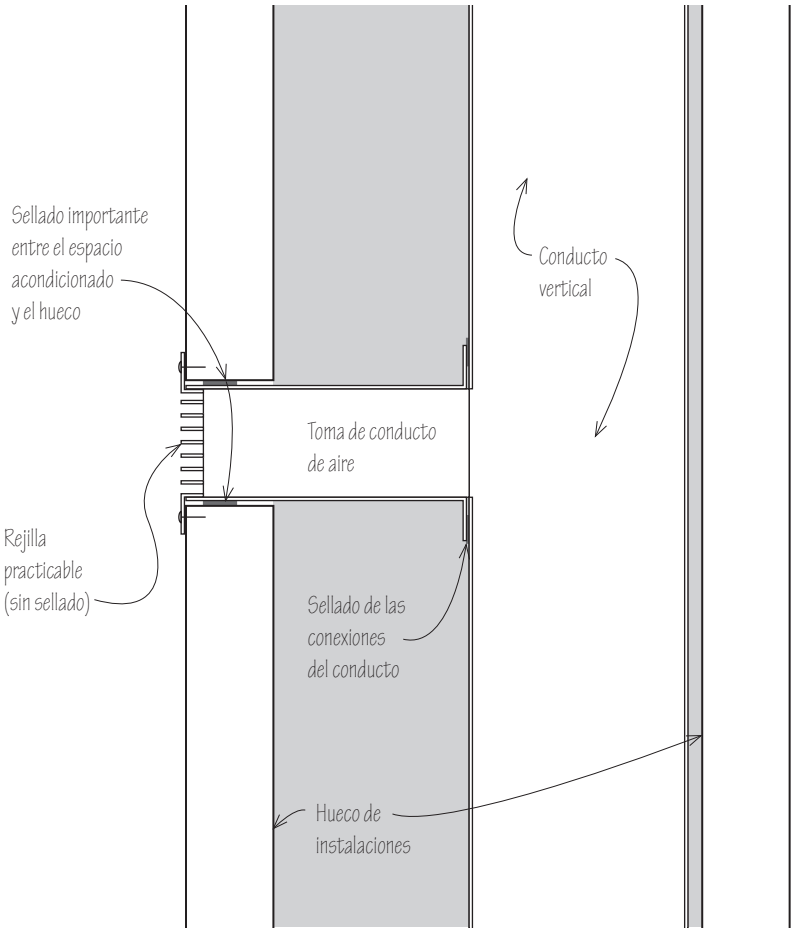
Una vez dentro del edificio, el aire necesita circular en horizontal hasta una escalera o un hueco vertical por el que ascender. Puesto que este aire atraviesa puertas abiertas y por debajo de ellas cuando están cerradas, y estancias y pasillos, podemos dar un nuevo uso a las puertas que separaban las distintas zonas térmicas para que evite el flujo horizontal de aire en su búsqueda de una vía vertical para ascender. Las puertas que puedan cerrar este recorrido reducirán el flujo de aire. Nótese de nuevo el concepto de capa de protección, ya que intentamos detener el flujo de aire asociado al efecto chimenea en distintos puntos de su recorrido.

A continuación, el aire debe entrar en un hueco vertical, por ejemplo, del ascensor, de la escalera o de los huecos de instalaciones. Las conexiones a los conductos de ventilación o fontanería se realizan fundamentalmente en cocinas y cuartos de baño. El aire busca los huecos por los que las tuberías entran en los conductos verticales procedentes de baños y sumideros, y puntos donde las rejillas de ventilación conectan con los conductos de evacuación de humos. Los embellecedores de las tuberías ayudan a reducir el flujo de aire, pero para aumentar su eficacia debería situarse un hilo de sellado a su alrededor.

En el interior de los huecos verticales de instalaciones es muy eficaz disponer sellados en cada planta para contrarrestar las corrientes asociadas al efecto chimenea; además, estos sellados suelen ser obligatorios a efectos de protección contra el fuego. En las cajas de escalera, el uso de burletes en las puertas suelen servir para reducir el flujo de aire. Para evitar que el aire entre por los huecos de instalaciones a través de los conductos de ventilación, estos deben estar convenientemente sellados, al igual que sus conexiones con cada rejilla (véase figura 10.12).



10.11 El plano neutro de presión.



10.12 Evitar que el aire entre en un hueco de instalaciones desde un conducto de aire o espacio acondicionado y suba por el efecto chimenea.

A medida que el aire asciende hacia las plantas superiores, el efecto chimenea es cada vez más positivo y obliga a que el aire salga de las cajas de escalera. Por tanto, el mismo sellado utilizado para prevenir que el aire entre por esas vías sirve también para evitar que salga de los pisos superiores. De modo similar, las puertas interiores sirven para evitar el flujo del aire hacia el exterior. Es ahí donde la necesidad de un techo estanco se vuelve crítica, y la razón por la que los desvanes son tan vulnerables. Si un edificio tiene una cubierta superior estanca, como una plana, el flujo de aire provocado por el efecto chimenea no puede salir del edificio por la cubierta, sino que solo lo puede hacer por las ventanas y los muros. Si las ventanas son más pequeñas, menores en número y están bien selladas, evitamos el efecto chimenea de una manera efectiva. Debe prestarse una atención especial a los marcos de las ventanas, pues las molduras y los tapajuntas suelen tener huecos sin sellar.

Puesto que las puertas del ascensor no son herméticas al paso del aire, debemos evitar que el flujo de aire alcance los ascensores de un edificio, y ello significa evitar que el aire entre en los pasillos que conducen a estos. Las rejillas de los huecos de ascensor pueden estar dotadas de amortiguadores motorizados de bajas pérdidas y deben mantenerse en posición cerrada, aunque deben estar conectadas con los controles de los sistemas antiincendios.

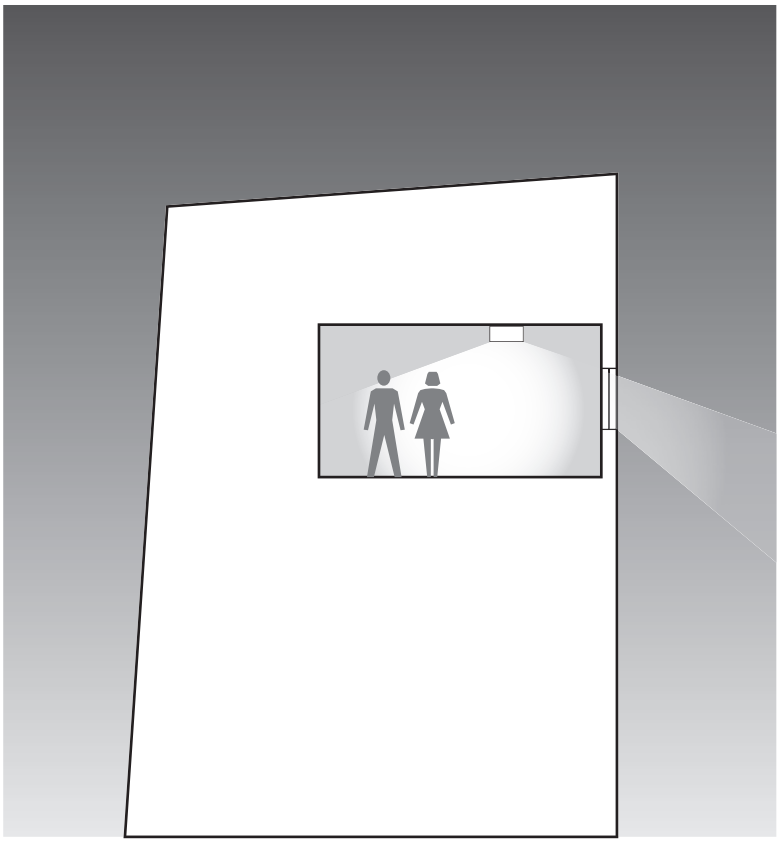
¿Cuál es el impacto de la compartimentación? En general aumenta el coste de construcción. El sellado entre las plantas de un edificio añade un sobrecoste de construcción, pero evita que el aire entre y salga del edificio.

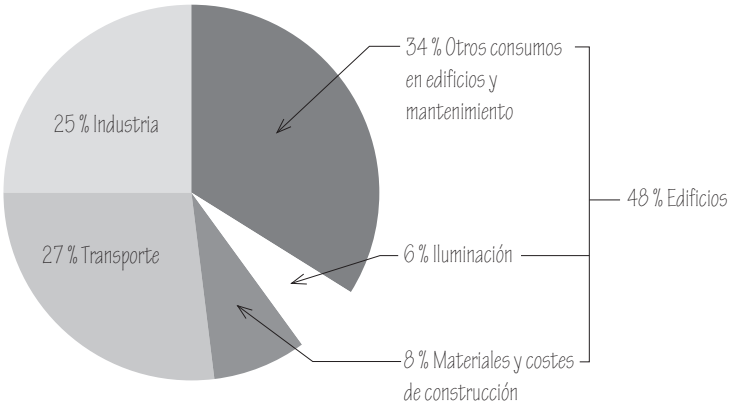
11

Iluminación y otras instalaciones eléctricas

En el proyecto de afuera adentro, deben estudiarse las alternativas de iluminación en las fases tempranas del proceso de proyecto, y antes de empezar a proyectar la iluminación artificial. En este capítulo analizaremos las formas de hacer más eficiente la iluminación artificial.

La iluminación artificial nos protege de las sombras y la oscuridad. Hasta que no seamos capaces de conseguir que la luz natural penetre en todos los espacios del edificio y podamos almacenarla para utilizarla durante la noche, seguiremos dependiendo de la luz artificial.

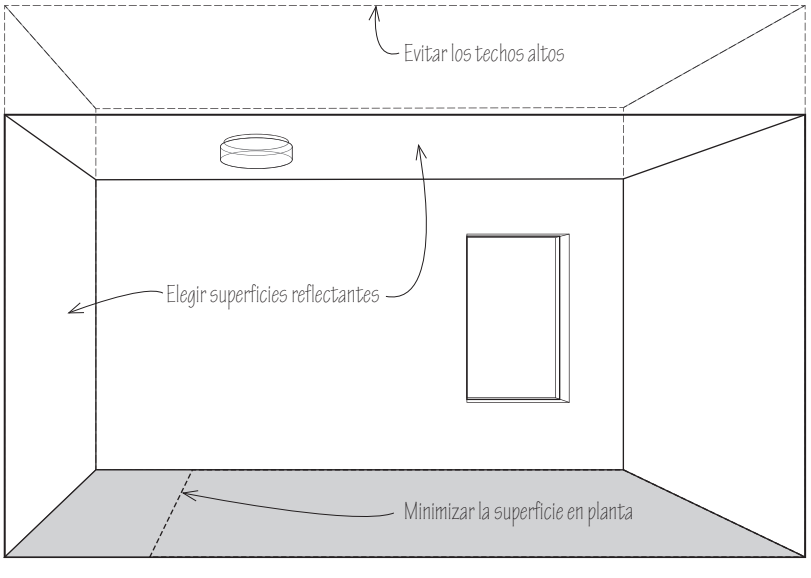




11.01 Porcentaje de consumo energético atribuible a la iluminación.

Iluminación

La iluminación es una importante carga energética para los edificios, la segunda partida que se les atribuye, solo por detrás del consumo en climatización. La iluminación puede proyectarse fácilmente para que consuma el 50 % de la energía que tradicionalmente se ha utilizado para este fin y, en ocasiones, incluso menos.



11.02 Proyecto de espacios para minimizar la iluminación artificial.

Proyecto de espacios para minimizar la necesidad de iluminación

La necesidad de iluminación artificial ha disminuido gracias al proyecto inteligente del espacio. En relación con las fases anteriores del proceso de proyecto, si puede proyectarse el edificio para que aloje sus usos en una superficie menor, también se reducirá la necesidad de iluminación artificial y, por tanto, la cantidad de energía necesaria para iluminarlo.

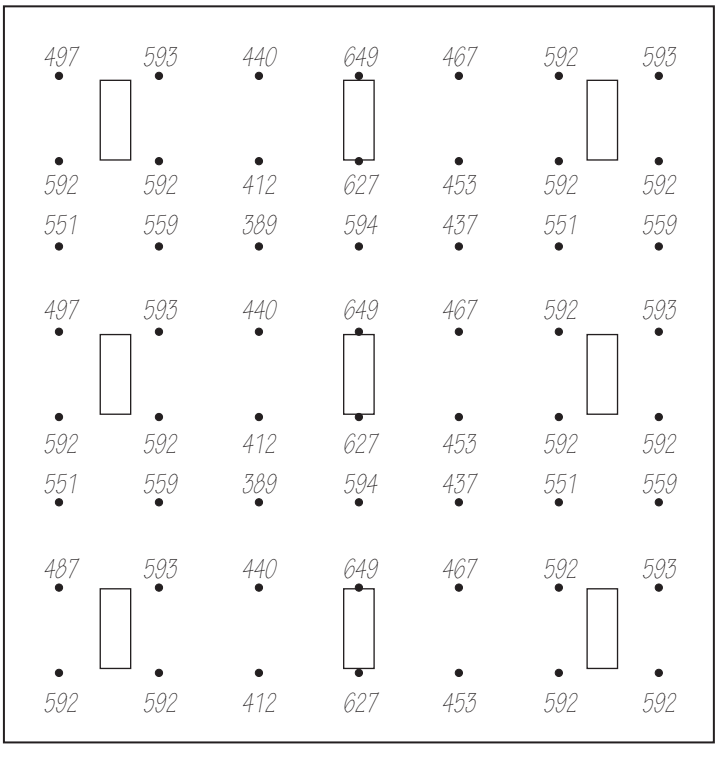
Es más, cuando un edificio es más pequeño, la luz natural puede llegar a una parte proporcionalmente más grande del mismo, en comparación con edificios equivalentes de mayores dimensiones.

También pueden obtenerse ganancias evitando los techos altos. Por ejemplo, un espacio con altura libre de 2,45 m requiere un 5 % menos de luz artificial que la necesaria para dotar del mismo nivel de iluminación a un espacio de 3 m de altura libre.

Del mismo modo, pueden seleccionarse acabados reflectantes para minimizar la necesidad de iluminación. Recordemos el ejemplo en el que con apenas un 10 % de aumento en la reflectancia de los acabados de techos, paredes y suelos se obtenía un 13 % de ahorro energético asociado a la iluminación, proporcionando la misma iluminación al espacio. También es posible alcanzar un ahorro de más del 30 % aumentando más aún la reflectancia de techos, paredes y suelos.

Proyecto optimizado de la iluminación

Con un espacio proyectado para minimizar la necesidad de iluminación artificial, podemos proceder al proyecto de la iluminación. En edificios ecológicos esto implica el uso de cálculos fotométricos o de programas informáticos para elegir el tipo y la disposición de lámparas en cada área del espacio. Históricamente se ha calculado la iluminación a partir de una serie de reglas aproximadas que a menudo han tenido como resultado mayor iluminación de la necesaria. Proyectar específicamente la iluminación de cada estancia es una buena práctica en términos de proyecto ecológico. Sin este proyecto adaptado a cada caso, el edificio probablemente terminará contando con más iluminación de la necesaria, con más lámparas, consumiendo más energía de la necesaria y más material, además de una energía incorporada mayor de lo estrictamente necesario.



11.03 Ejemplo de cálculo fotométrico.

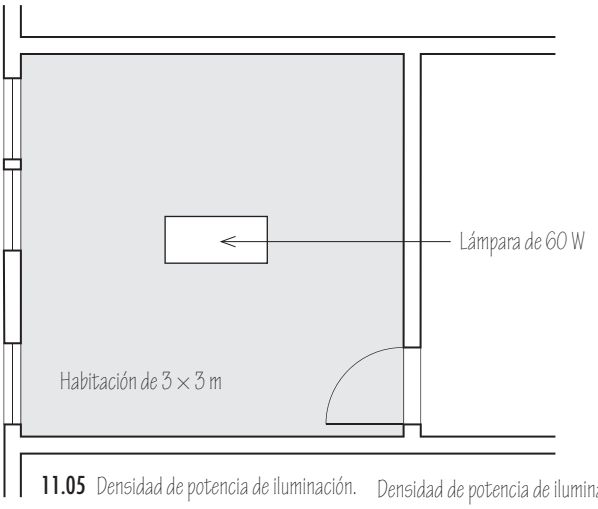
Número de luminarias	9
Iluminancia media	596 lux*
Iluminancia máxima	649 lux
Iluminancia mínima	389 lux
Potencia total	540 W
Densidad de potencia de iluminación	8,81 W/m^2

*1 lux = 1 lumen/m^2

11.04 Ejemplos de niveles de iluminación recomendados por la Sociedad de Ingenieros de Iluminación.

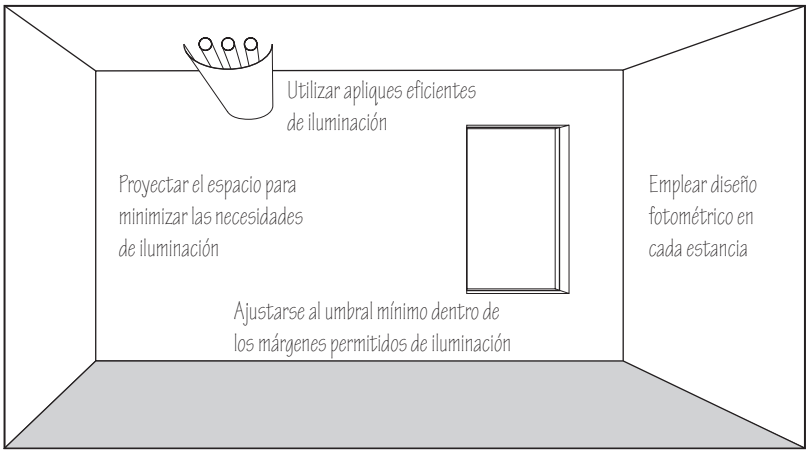
Área de trabajo	Lux
Salas de congresos	200-500
Oficinas	500-1.000
Aulas	500-750
Gimnasios	300-500
Zonas comerciales	300-1.500
Manufactura	500-5.000
Pasillos y escaleras	100-200

A la hora de proyectar la iluminación, hay un amplio abanico de niveles recomendados de iluminación. En el caso de los edificios ecológicos, debería plantearse la conveniencia de ajustarse siempre a los valores más bajos dentro de los rangos recomendados por el manual técnico de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros de Iluminación (IESNA). Por ejemplo, el consumo energético para un nivel de iluminación de 500 lux es más del doble del necesario que para un nivel de iluminación de 200 lux.



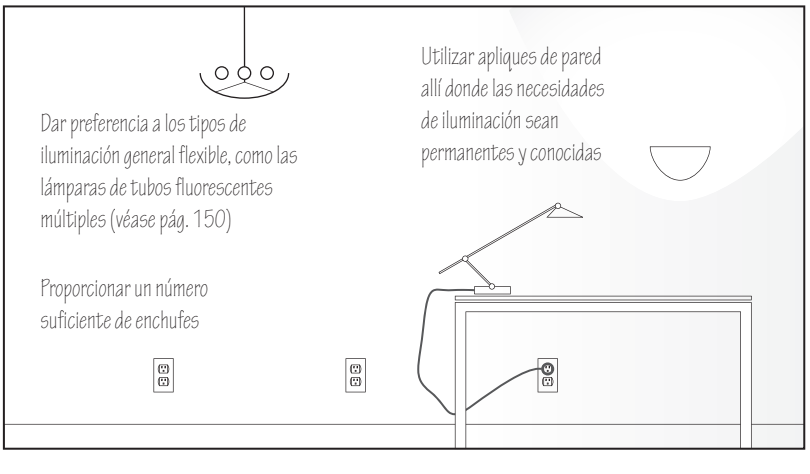
11.05 Densidad de potencia de iluminación. Densidad de potencia de iluminación = potencia consumida (W) dividida entre el área en planta (m^2) = 60W / 3 × 3 m^2 = 6,67 W/m^2

La densidad de potencia de iluminación es el consumo de potencia de iluminación (medida en vatios, W) dividida entre la superficie de la planta (en m^2). La densidad de potencia es una medida adecuada para el proyecto de iluminación. Las diversas normas energéticas y los estándares fijan o recomiendan sus valores máximos en lugar de plantear niveles generales para todo el edificio o para cada estancia individual, definiendo una densidad máxima de potencia de iluminación para distintas tipologías edificatorias.



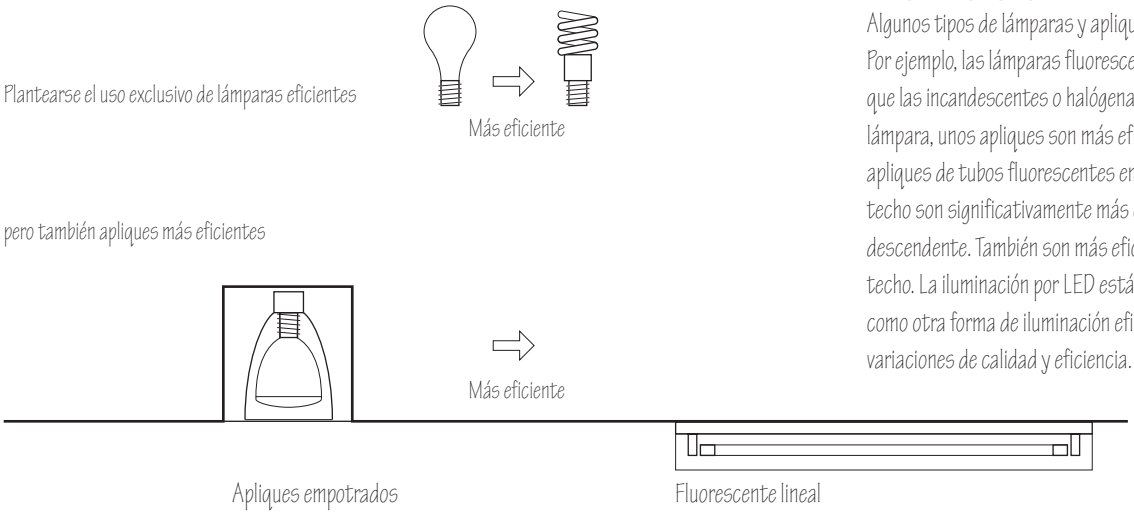
11.06 Estrategias integradas del proyecto de iluminación.

Las densidades máximas de potencia de iluminación citadas en las normas y los estándares ofrecen unos márgenes para permitir mejoras y cierta flexibilidad en el proyecto de los edificios, de forma que los valores fijados por dichas normas y estándares son normalmente más altos de los que sería viable o recomendable. Los edificios ecológicos pueden conseguir valores más bajos de densidad de potencia de iluminación que los referidos en dichas normas y estándares energéticos, aunque para alcanzar este objetivo es imprescindible combinar todos los enfoques mencionados hasta ahora, es decir, el proyecto fotométrico para cada estancia, tomar como referencia los valores más bajos de iluminación dentro de los márgenes recomendados por la Sociedad Norteamericana de Ingenieros de Iluminación (IESNA), utilizar superficies reflectantes en techos, paredes y suelos, y elegir lámparas de alta eficiencia.



11.07 Estrategias de iluminación de zonas de trabajo.

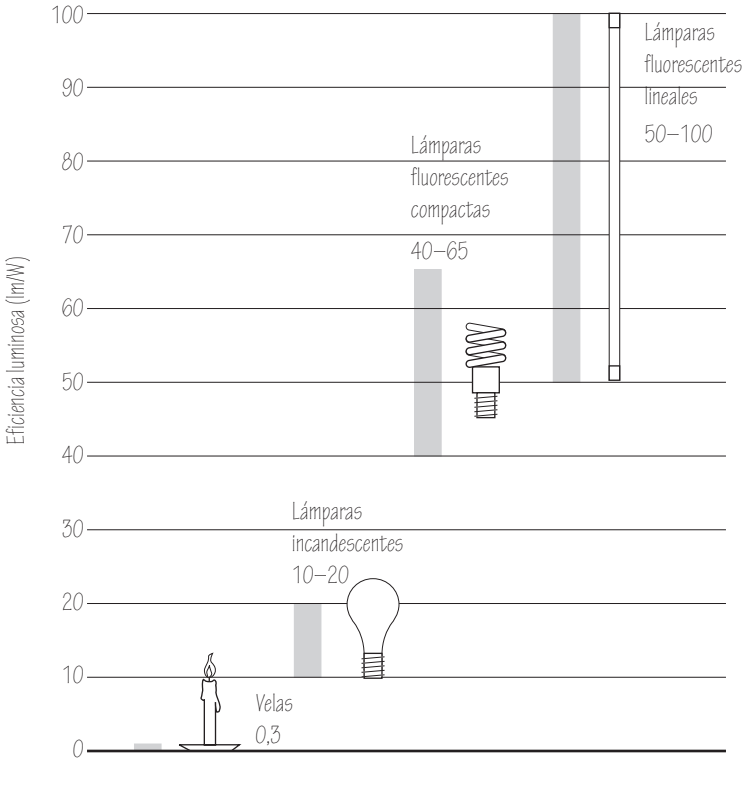
La iluminación de las zonas de trabajo se plantea como una opción para reducir la iluminación general de una estancia sin afectar a la iluminación necesaria para una tarea específica. Sin embargo, los estudios realizados señalan que este objetivo resulta difícil de alcanzar. Dado que esta estrategia aún no está definitivamente consolidada, en un edificio ecológico no conviene confiar exclusivamente en el potencial de este enfoque para reducir el consumo energético asociado a la iluminación. En su lugar, resulta mucho más prudente plantear un sistema de iluminación general flexible y fácil de controlar, además de eficiente. Para permitir que más adelante pueda desarrollarse una estrategia de este tipo, basta con disponer suficientes tomas para la instalación de lámparas específicas para cada tarea.



Lámparas y apliques eficientes

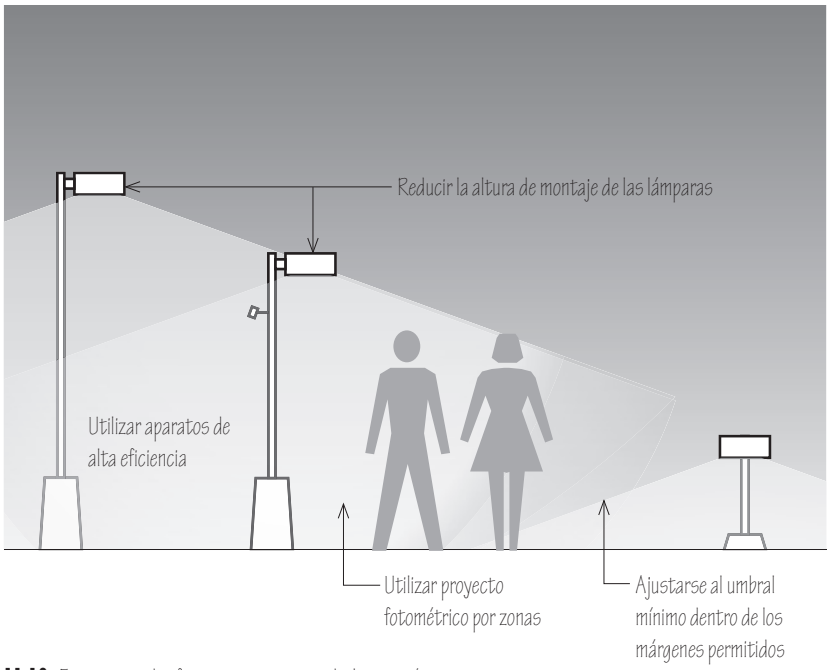
Algunos tipos de lámparas y apliques son más eficientes que otros. Por ejemplo, las lámparas fluorescentes son mucho más eficientes que las incandescentes o halógenas; además, para el mismo tipo de lámpara, unos apliques son más eficientes que otros. Por ejemplo, los apliques de tubos fluorescentes empotrados o montados sobre el techo son significativamente más eficientes que los de luz empotrada descendente. También son más eficientes que los focos circulares de techo. La iluminación por LED está empezando a tener aceptación como otra forma de iluminación eficiente, pero aún presenta amplias variaciones de calidad y eficiencia.

11.08 Utilizar lámparas y apliques eficientes.

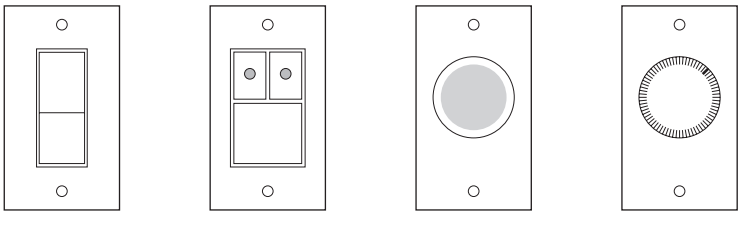


Una medida útil para seleccionar los apliques de luz es la eficacia luminosa, expresada en lúmenes/vatio (lm/W). Como referencia, una vela tiene una eficacia de 0,3 lm/W, las lámparas incandescentes de entre 10 y 20 lm/W, las lámparas fluorescentes compactas de entre 40 y 65 lm/W y los tubos fluorescentes de entre 50 y 100 lm/W, afirmando estos últimos su superioridad sobre las lámparas de fuente puntual, como los focos de luz directa.
Las lámparas LED actuales tienen eficacias luminosas muy variables, entre los 20 y los 120 lm/W.

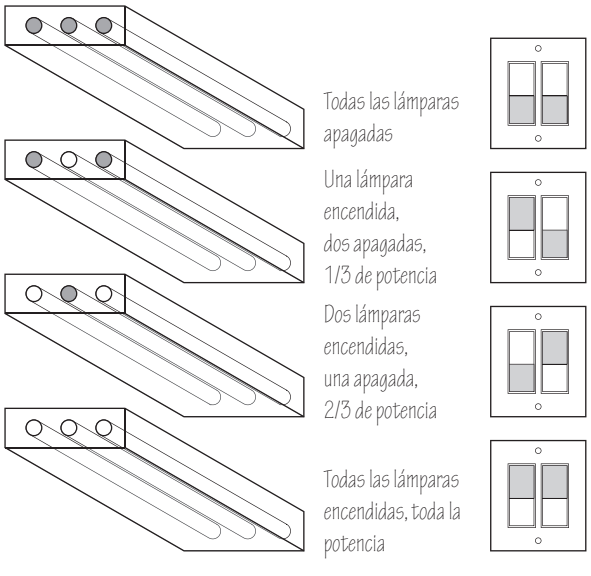
11.09 Tabla de eficacias aproximadas de iluminación.



11.10 Estrategias de eficiencia en sistemas de iluminación exterior.



11.11 Tipos de control de iluminación.



11.12 Control de iluminación mediante tubos fluorescentes en batería.

Iluminación exterior

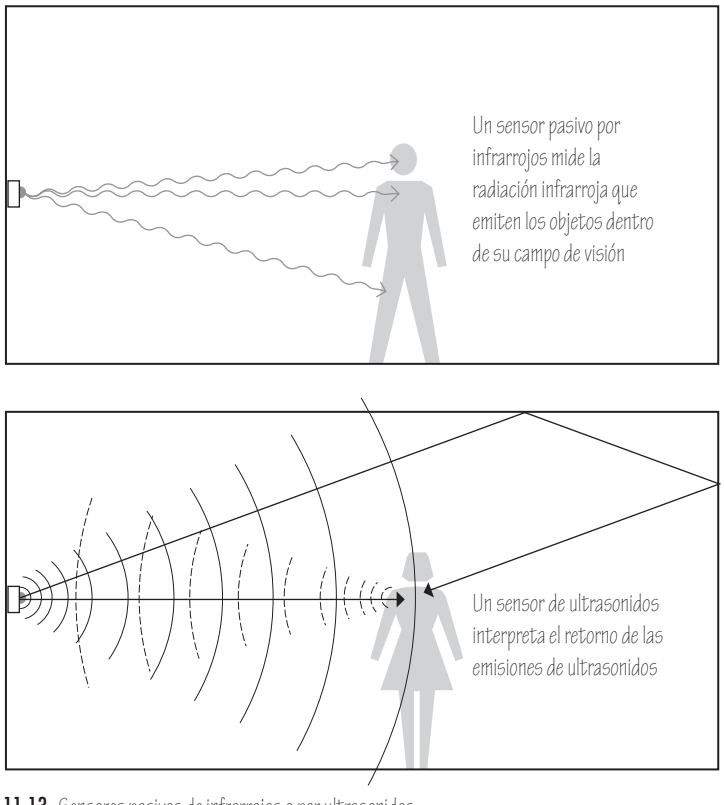
La iluminación exterior puede optimizarse con muchas de las herramientas utilizadas para la iluminación interior: instalar luminarias de alta eficiencia, proyectar la iluminación con ayuda de programas informáticos para proporcionar un nivel seguro de iluminación sin excederse, reducir la altura de las luminarias para acercar la fuente de luz a donde se requiere y mejorar su eficiencia, o emplear controles de encendido para mejorar la eficiencia global. El desafío adicional de minimizar la contaminación lumínica ya se discutió antes y es totalmente coherente con los objetivos de reducir el consumo energético.

Pueden minimizarse la iluminación, los costes, el consumo energético y la contaminación lumínica si se mantiene un diálogo con el cliente desde las primeras fases del proceso de proyecto para evaluar cuidadosamente la cantidad de iluminación exterior necesaria en cada punto. Por ejemplo, puede iluminarse una senda peatonal con focos a nivel del suelo más que con luminarias sobre postes. En el proyecto se pueden detallar los diversos tipos de iluminación exterior para parques, accesos al edificio, seguridad, necesidades decorativas y otros propósitos, como pueden ser las actividades deportivas y recreativas nocturnas en exteriores. Una cuestión central es decidir si son imprescindibles todos los tipos de iluminación. Cada luminaria innecesaria que se elimine de un proyecto supondrá una reducción en los costes de construcción, el uso de materiales y la demanda de energía.

Controles

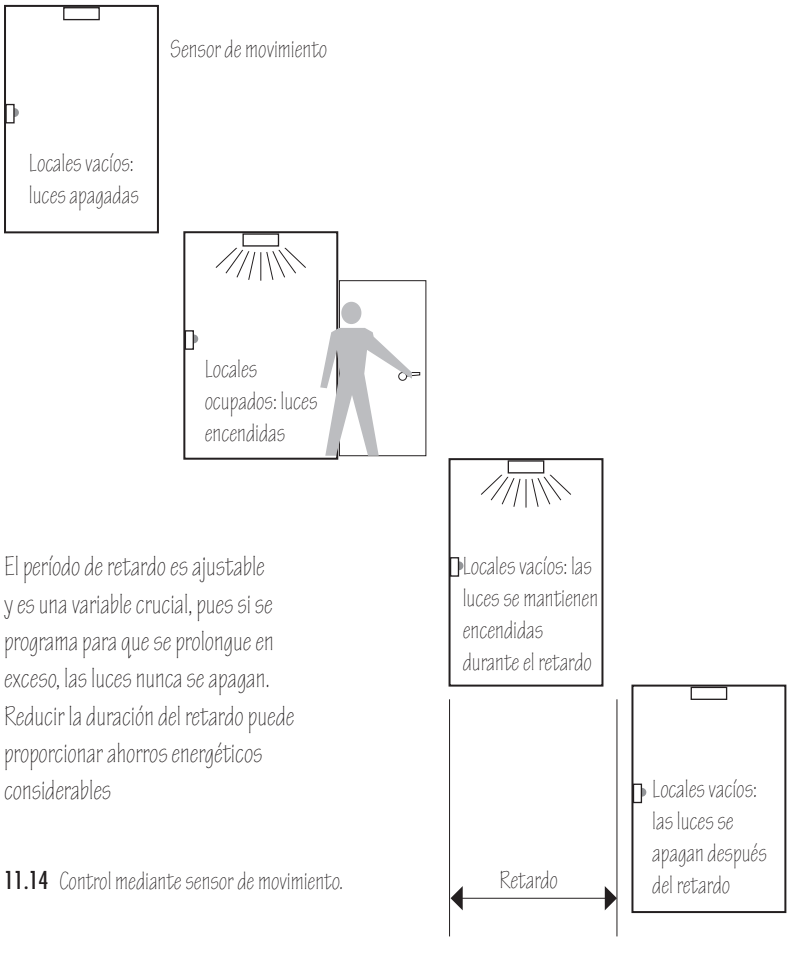
Hay cuatro tipos principales de control para reducir el consumo energético asociado a la iluminación, ya sea de forma independiente o combinados entre sí: controles manuales, sensores de movimiento, fotosensores y temporizadores.

El control manual puede realizarse mediante conmutadores o reguladores. Utilizar más de un control en un único espacio ofrece una mayor flexibilidad para fijar los niveles de iluminación y facilitar el ahorro energético. Esta estrategia de control se denomina sistema multinivel. Siguiendo este enfoque, se recomienda que en cada estancia, incluso en las más pequeñas, siempre haya al menos dos controles encargados de controlar alguno de los dispositivos de luz. Los controles pueden encender o regular una o varias lámparas, independientes o integradas en el mismo dispositivo, lo que se denomina interruptor multinivel. Para estancias de mayor tamaño se recomienda el uso de un número mayor de interruptores, y si cuentan con dos entradas, deberían situarse interruptores conmutados en cada una de ellas.



11.13 Sensores pasivos de infrarrojos o por ultrasonidos.

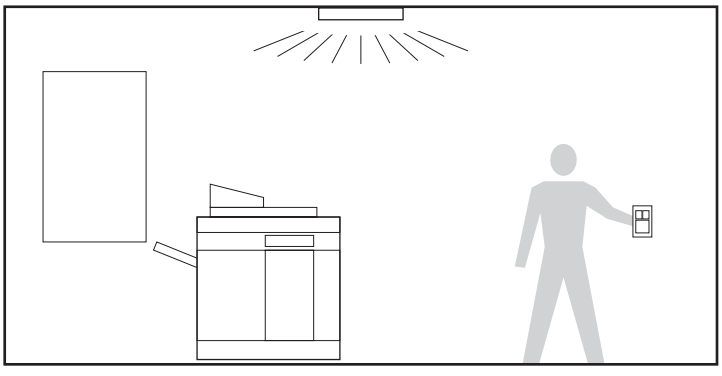
Escoger el sensor de movimiento más adecuado para cada aplicación específica garantiza su correcto funcionamiento. Los sensores pasivos de infrarrojos funcionan mediante la detección de calor de los usuarios en un espacio donde haya una visual directa sobre ellos. Los sensores por ultrasonidos interpretan el retorno de los ultrasonidos que emiten, por lo que no requieren estar en una visual directa sobre los usuarios. Sin embargo, los sensores por ultrasonidos pueden activarse erróneamente por movimientos en estancias adyacentes. Los controles duales de movimiento incorporan tanto sensores por ultrasonidos como pasivos de infrarrojos.



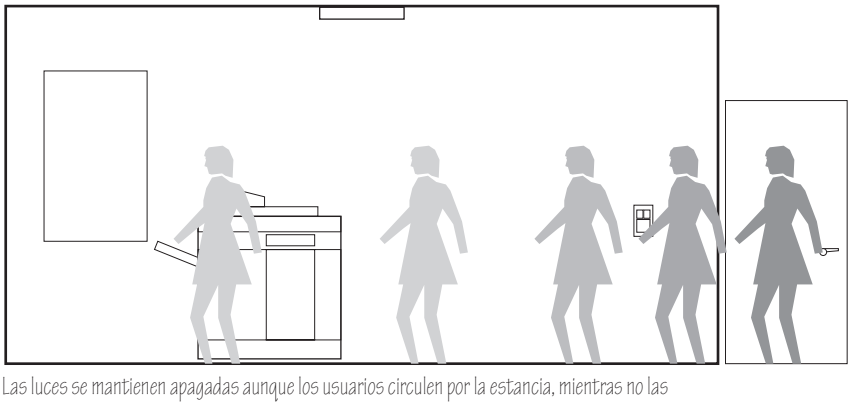
El período de retardo es ajustable y es una variable crucial, pues si se programa para que se prolongue en exceso, las luces nunca se apagan. Reducir la duración del retardo puede proporcionar ahorros energéticos considerables

11.14 Control mediante sensor de movimiento.

En el caso de los sensores de movimiento es importante la programación. Estos sensores mantienen la luz encendida por un período de tiempo después de que la sala quede vacía, el denominado retardo. Por ejemplo, el estándar 90 de ASHRAE requiere que este retardo sea de un máx. de 30 min; sin embargo, reducir este retardo puede multiplicar por tres los ahorros energéticos, desde el 24 hasta el 74 % de reducción del consumo en la iluminación de pasillos de bloques de vivienda. Estos pasillos de acceso a las viviendas pueden estar vacíos hasta un 97 % del tiempo, pero un retardo de 30 min puede significar que se mantengan las luces permanentemente encendidas, ya que nunca pasan 30 min sin que los sensores detecten a un usuario. Un retardo menor permitiría que los sensores de movimiento identificaran mejor los períodos en los que el espacio está realmente vacío. También pueden alcanzarse ahorros gracias a la reducción del período de retardo en otras áreas de alta ocupación, como los vestíbulos y los pasillos de escuelas y oficinas. Debería señalarse que, en el caso de las lámparas fluorescentes, fijar el retardo en valores muy reducidos puede perjudicar la vida útil de la lámpara. Como con todos los controles de iluminación, para una adecuada ejecución conviene que el período de retardo quede fijado en los documentos técnicos del proyecto.



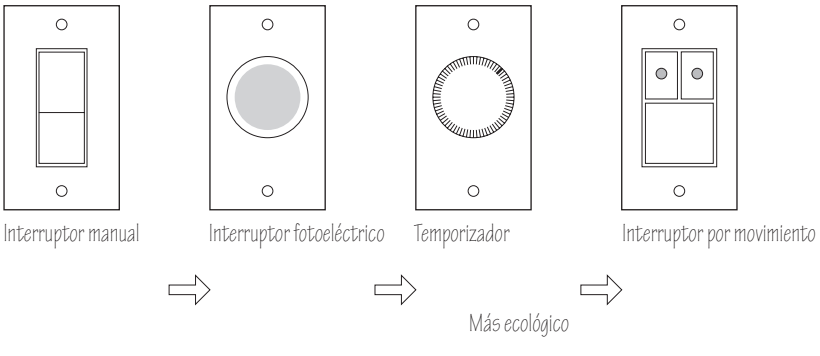
Los sensores de movimiento con activación manual, o sensores de ocupación, requieren que los usuarios activen manualmente la luz, que gracias al sensor se apaga automáticamente después de un cierto tiempo sin detectar movimiento en la estancia.



Las luces se mantienen apagadas aunque los usuarios circulen por la estancia, mientras no las enciendan manualmente

11.15 Sensores de movimiento con activación manual.

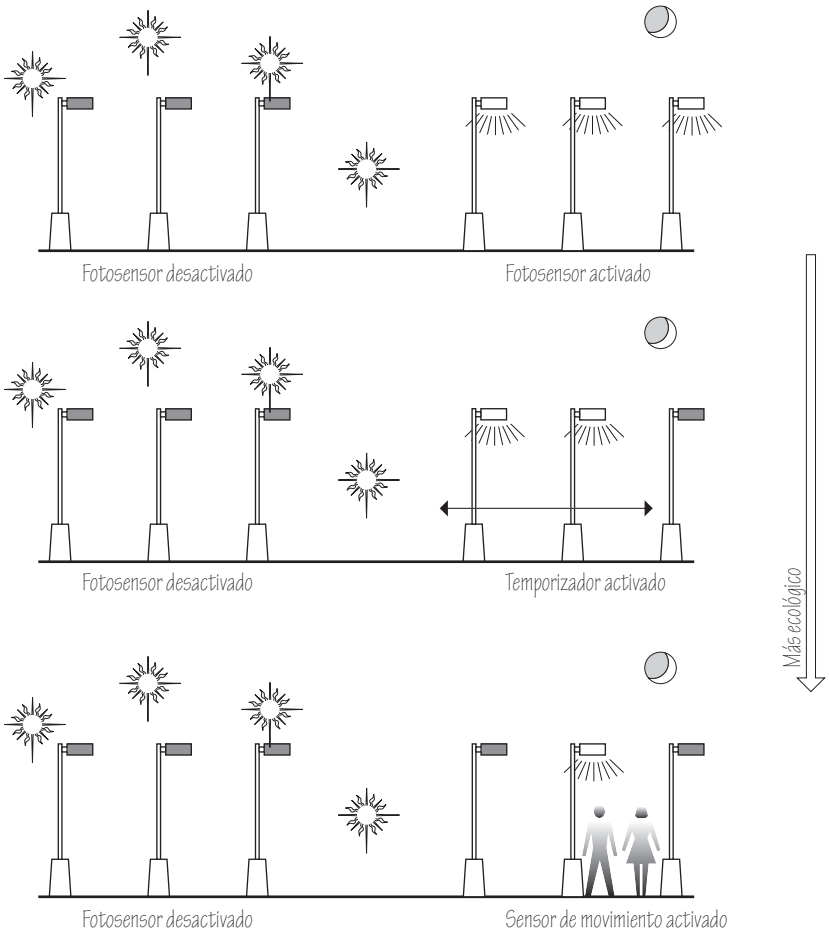
Los sensores de movimiento con activación manual, también denominados sensores de ocupación, requieren que el usuario encienda manualmente las luces de una estancia, mientras que el sensor de movimiento se encarga de apagarlas automáticamente cuando el espacio vuelve a quedar vacío. Este tipo de controles es aplicable a espacios donde no siempre es necesaria la iluminación artificial, como en oficinas donde puede haber luz natural suficiente, o lavaderos donde un paso fugaz no justifica el encendido de las luces. Este tipo de interruptores son especialmente eficaces para evitar el encendido de las luces por un error del sensor. Por otro lado, los sensores de activación automática pueden resultar más adecuados para espacios cuyos usuarios no estén familiarizados o no tengan fácil acceso a los interruptores, como salas de espera, garajes y pasillos.



11.16 Alternativas más ecológicas para el control de luces exteriores.

El control más eficiente en términos energéticos de la iluminación exterior se obtiene a través de la respuesta a dos preguntas:

1. De las diversas necesidades de iluminación exterior, ¿qué luces podrían controlarse mediante sensores de movimiento? La correcta aplicación de sensores de movimiento suele lograr los mejores resultados en términos de reducción del consumo energético y de la contaminación lumínica. Al igual que los sensores de movimiento utilizados en interiores, los sensores utilizados en exteriores deben programarse con un retardo lo más breve posible, preferiblemente por debajo de los cinco minutos. En exteriores, resulta recomendable combinar los sensores de movimiento con fotosensores para evitar que las luces lleguen a encenderse accidentalmente durante el día. Nótese la jerarquía de este tipo de control: las luces exteriores no se encenderán en ninguna circunstancia excepto si simultáneamente se detecta movimiento y la ausencia de luz ambiental.



11.17 Alternativas más ecológicas para el control de luces exteriores.

11.18 Niveles habituales de iluminación en exteriores.

Fase	Lux
Sol directo	100.000
Día despejado	10.000
Día nublado	1000
Atardecer	100
Ocaso	10
Ocaso tardío	1
Luna llena	0,1
Luna en cuarto creciente/menguante	0,01
Luna nueva	0,001
Noche cubierta	0,0001

Si alguna de las luces exteriores debe funcionar toda la noche, los fotosensores pueden utilizarse para asegurar que solo estén encendidas cuando está oscuro. Para un proyecto eficiente energéticamente, resulta esclarecedor hacerse también la siguiente pregunta:

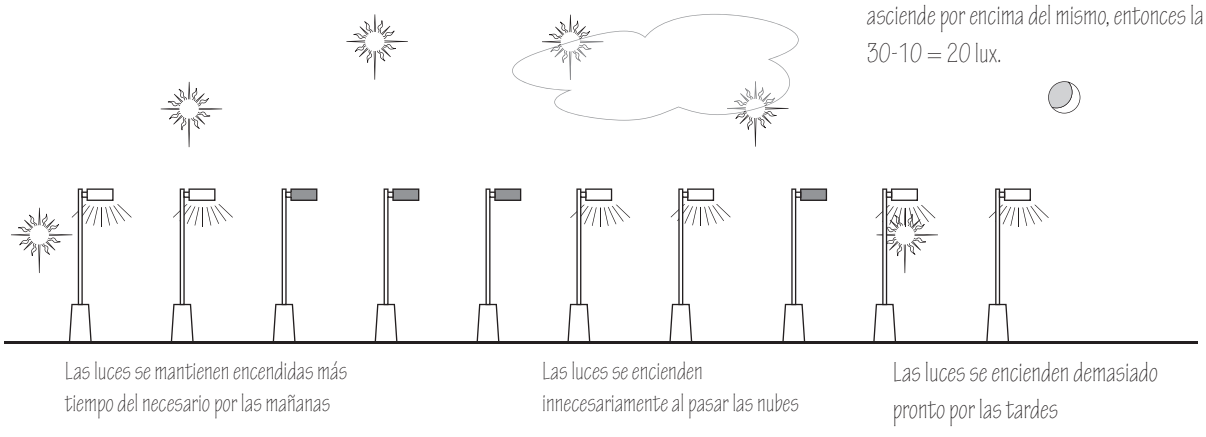
2. ¿Es necesario que las luces de acceso y seguridad estén encendidas toda la noche, o solo las primeras horas de la noche? En el segundo caso se requiere un fotosensor para encender las luces, pero también un temporizador para apagarlas. De esta forma, tal vez pueda ahorrarse un 50 % de la energía necesaria para tener las luces encendidas toda la noche. Nuevamente conviene dejar reflejado en los documentos técnicos del proyecto los requisitos específicos para cada luminaria exterior, como también el momento de la noche en que las luces pueden apagarse, de forma que los temporizadores puedan instalarse y programarse adecuadamente.

Nótese que las luces exteriores normalmente necesitan dos controles independientes para evitar que se enciendan cuando no sea necesario, ya sea una combinación de fotosensores y sensores de movimiento o de fotosensores y temporizadores. Otra opción pueden ser los interruptores manuales, pero en este caso también es conveniente contar con fotosensores para evitar que por descuido las luces queden encendidas durante el día.

Al igual que los sensores de movimiento, los fotosensores exteriores deben instalarse y programarse adecuadamente. Deberían situarse en lugares donde no llegue la luz artificial (como pueden ser los faros de un coche que circula por la noche) que provocarían una reacción del fotosensor y el apagado nocturno de la iluminación exterior. Lograr el máximo ahorro posible por el uso de fotosensores depende de que estén programados con los niveles adecuados de iluminación. Deberían estar programados con el nivel a partir del cual empieza a ser necesaria la iluminación artificial en los espacios exteriores.

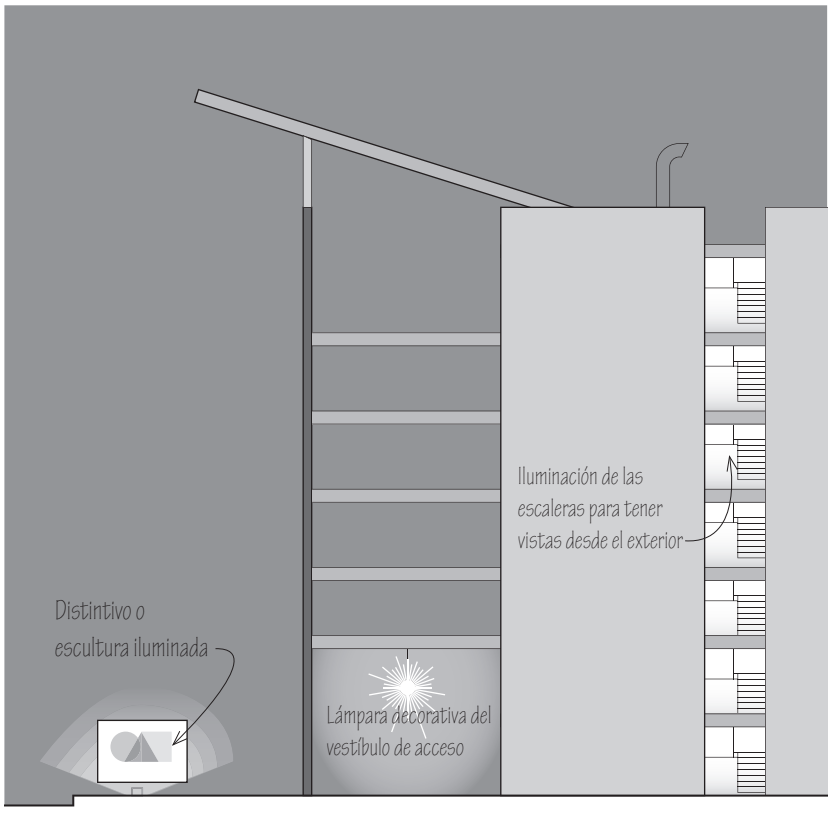
Los fotosensores suelen venir preprogramados para encender las luces cuando el nivel de iluminación cae por debajo de los 100 lux, un valor excesivamente alto. Este valor tan elevado puede hacer que las luces exteriores se enciendan inadvertidamente en días nublados. Diversas normas y estándares recomiendan niveles de solo 5 o 20 lux para diferentes instalaciones de iluminación exterior, como la iluminación de sendas peatonales o zonas de aparcamiento. El nivel de iluminación exterior debería quedar reflejado en la documentación técnica del proyecto, así como el nivel de iluminación a partir del cual los fotosensores deberían activar la iluminación.

También debería especificarse la banda neutra de los fotosensores; es decir, la diferencia entre los niveles de encendido y de apagado, lo bastante grande como para evitar ciclos de encendido y apagado demasiado rápidos y molestos. Por ejemplo, si el nivel de proyecto es de 10 lux para el encendido, el fotosensor enciende las luces cuando el nivel de iluminación del ambiente baje de ese nivel, y de 30 lux para el apagado, que se produce cuando el nivel de iluminación del ambiente ascienda por encima del mismo, entonces la banda neutra sería de 30-10 = 20 lux.



11.19 Resultado si se fijan niveles demasiado altos de iluminación en los fotosensores.

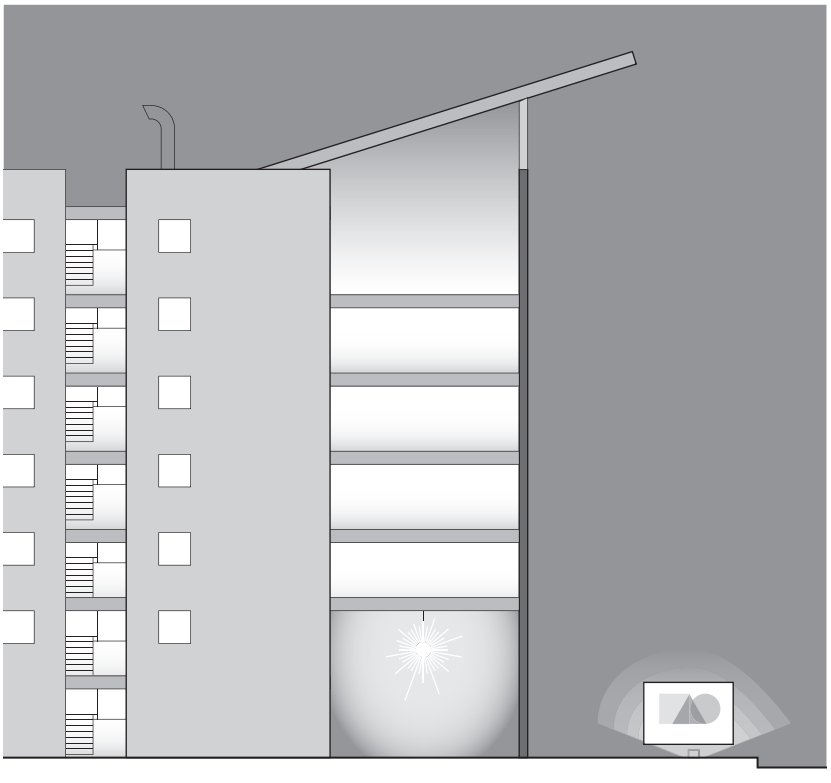
La correcta programación de los controles de la iluminación exterior debería revisarse antes de la entrega definitiva de la obra. Si una luz exterior se enciende al pasar las nubes o mucho antes del ocaso, si sigue encendida mucho después del amanecer o si apenas cambia el nivel de iluminación en torno a la luminaria, entonces el nivel del fotosensor está demasiado alto. Nótese que dicha inspección solo puede realizarse en horas de baja iluminación natural, ya que cubrir el sensor para ver si se encienden las luces no nos informa sobre si son correctos los niveles programados.



11.20 Luces decorativas en edificios.

Luces decorativas

La iluminación decorativa merece una discusión específica en el contexto de la arquitectura ecológica. Por iluminación decorativa se entienden las luces interiores que tienen como función llamar la atención de los observadores situados en el exterior, las luces exteriores destinadas a resaltar elementos de las fachadas u otras partes del exterior del edificio, la iluminación de señales y distintivos, o la iluminación destinada a destacar obras de arte o escaparates de comercios. La iluminación decorativa suele ser poco eficiente, aun utilizando lámparas y apliques eficientes que pueden regularse con controles de alta eficiencia.



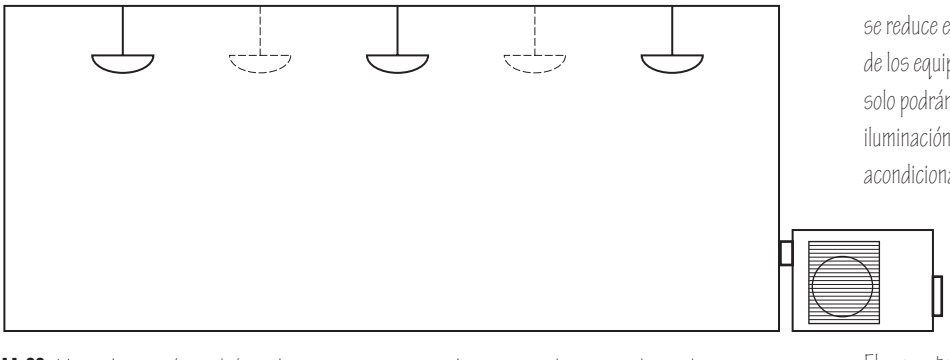
11.21 Los *renders* siempre enfatizan el esquema de iluminación exterior sobre las necesidades de iluminación interior de los usuarios.

Más allá de la alta eficiencia de las lámparas y de los controles, el proyecto de edificios ecológicos requiere plantearse la siguiente pregunta: ¿son realmente necesarias todas las luces decorativas de un edificio? Históricamente, los proyectos de edificios se basaban en imágenes que describían ventanas radiantes por la luz interior, en un intento de transmitir un sentimiento de calidez. Tales imágenes pueden llevar a proyectar sistemas de control que mantienen las luces encendidas toda la noche, o ventanas que responden más a criterios estéticos de composición de la fachada que a ofrecer iluminación natural según las necesidades de los usuarios del edificio.

La iluminación decorativa disfruta de cierta laxitud o excepciones en algunas normas, estándares o guías de arquitectura ecológica; sin embargo, debido a que esta iluminación suele ser bastante poco eficiente, debería analizarse su conveniencia en cada caso particular.

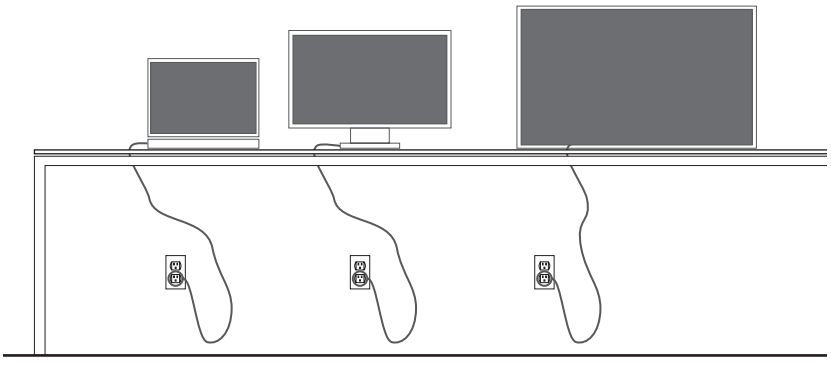
Otras cuestiones relacionadas con la iluminación

Reducir el consumo energético asociado a la iluminación tiene la ventaja añadida de que también se reducen las cargas de aire acondicionado. Reducir la iluminación de un espacio también aumenta sus necesidades de calefacción en invierno, pero sigue habiendo un beneficio neto en términos de energéticos y económicos en la reducción de la iluminación. Puesto que no se cuenta con las aportaciones térmicas de la iluminación para dimensionar los equipos de calefacción, no hay ninguna penalización constructiva cuando se logra reducir la iluminación. Sin embargo, los sistemas de refrigeración sí están calculados teniendo en cuenta las aportaciones de calor de la iluminación, de modo que puede haber un ahorro en costes si se reduce esta, específicamente, reduciendo las especificaciones de los equipos de aire acondicionado. Sin embargo, estas mejoras solo podrán aprovecharse en el caso de que se defina el sistema de iluminación antes de proceder al cálculo de la carga necesaria de aire acondicionado.

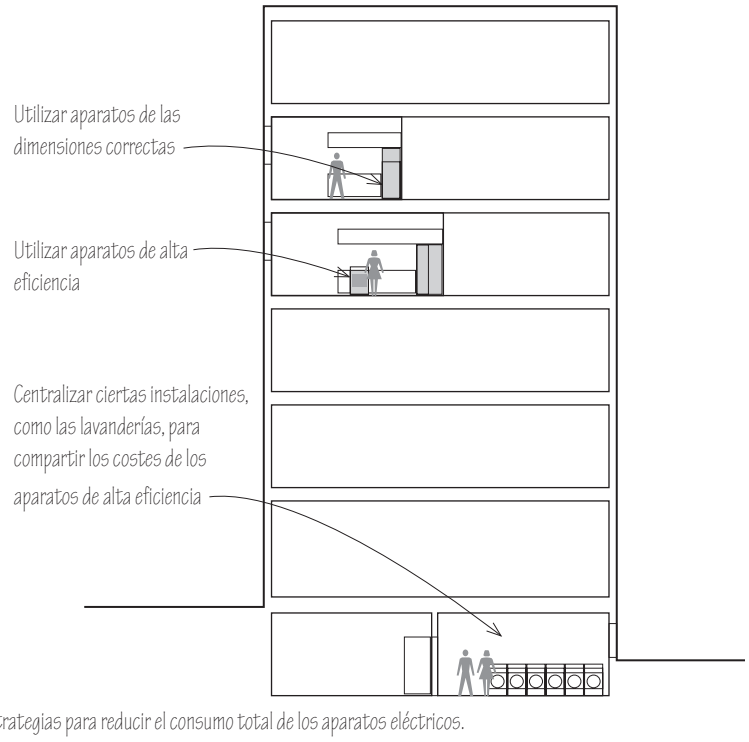


11.22 Menos iluminación también implica menores cargas para los sistemas de aire acondicionado.

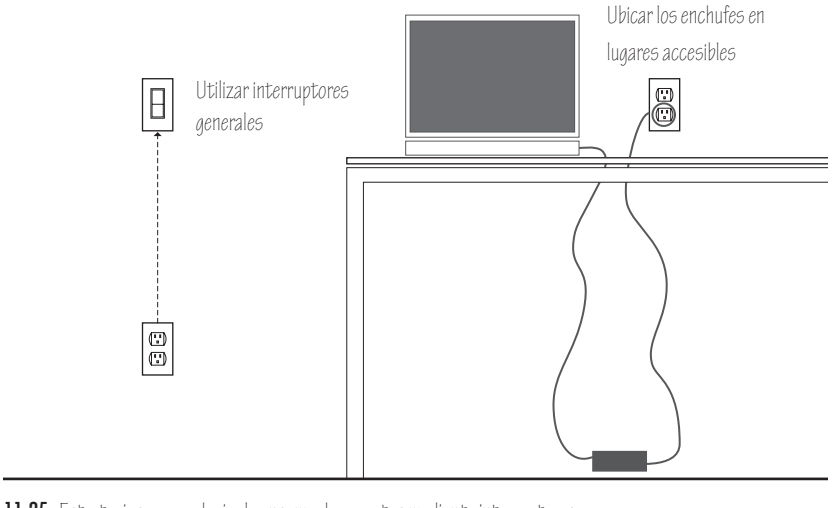
El proyecto de una iluminación eficiente a menudo reduce los costes de construcción en tanto que la cantidad de aparatos de iluminación instalados es menor Por otro lado, los dispositivos y sistemas de control de alta eficiencia tienen un coste superior al de otras alternativas convencionales.



11.23 El crecimiento del consumo de los aparatos eléctricos.



11.24 Estrategias para reducir el consumo total de los aparatos eléctricos.



11.25 Estrategias para reducir el consumo de aparatos mediante interruptores.

Consumo de aparatos eléctricos

El uso de diversos aparatos eléctricos está aumentando rápidamente el consumo energético de los edificios. Televisores cada vez más grandes, ordenadores, videoconsolas, frigoríficos y congeladores, y cargadores para todo tipo de equipos electrónicos están contribuyendo a este aumento de la demanda eléctrica.

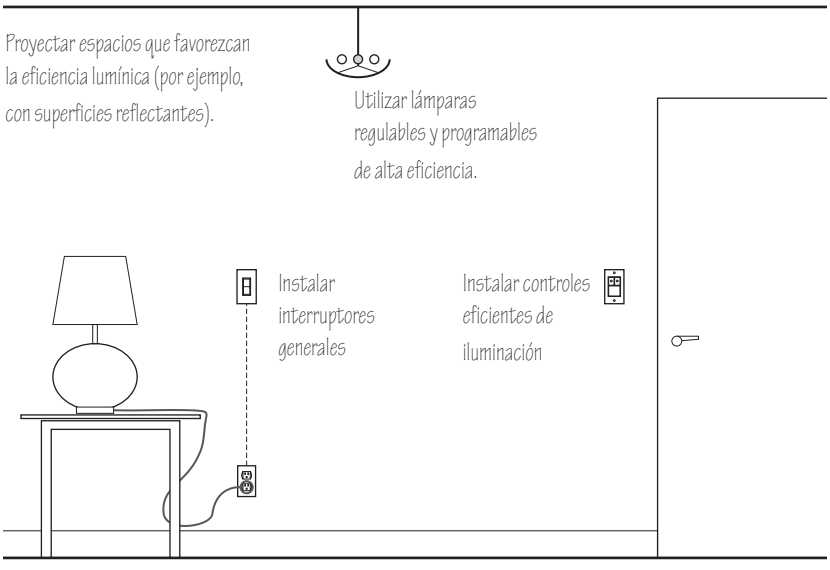
El proyecto tradicional de edificios deja la decisión acerca de los aparatos eléctricos en manos del usuario, pero en algunos casos está pasando a manos de los profesionales; en el futuro, el consumo energético de los aparatos eléctricos puede también influir en el proyecto arquitectónico de otros modos.

En el caso de grandes aparatos —frigoríficos, lavavajillas o lavadoras— pueden especificarse niveles de eficiencia energética. Cambiar el tipo de alimentación o el modelo de aparato puede permitir ahorros en el consumo energético o en las emisiones de carbono, como sería el caso de las secadoras con bomba de calor.

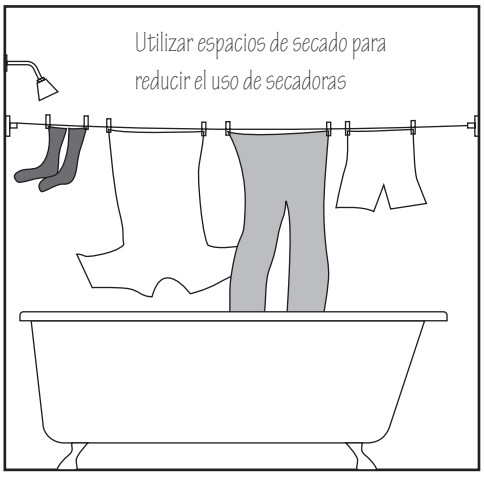
La centralización de ciertos aparatos —por ejemplo, disponer una lavandería central para un bloque de viviendas en lugar de una por vivienda—, permite que el sobrecoste de los equipos de alta eficiencia se reparta entre los usuarios. De igual modo puede resultar más eficiente y menos costoso un servicio central de agua caliente. Una lavandería central también permite reducir el número de perforaciones para tuberías de suministro de agua, conductos de ventilación o tuberías de gas, con la consecuente menor filtración que si los aparatos estuvieran distribuidos por cada vivienda.

Los distintos aparatos también deberían estar dimensionados adecuadamente. Por ejemplo, no debería instalarse un frigorífico de 0,6 m^3 en una vivienda donde fuera suficiente con 0,4 m^3. Los aparatos de alta eficiencia también deben utilizarse de forma eficiente. Por ejemplo, los frigoríficos no deberían instalarse junto al fogón o en cualquier otro lugar caldeado, pues perderá eficiencia. Los aparatos de aire acondicionado, como compresores y otros refrigeradores portátiles, tampoco deberían situarse en localizaciones con temperaturas por encima de la media.

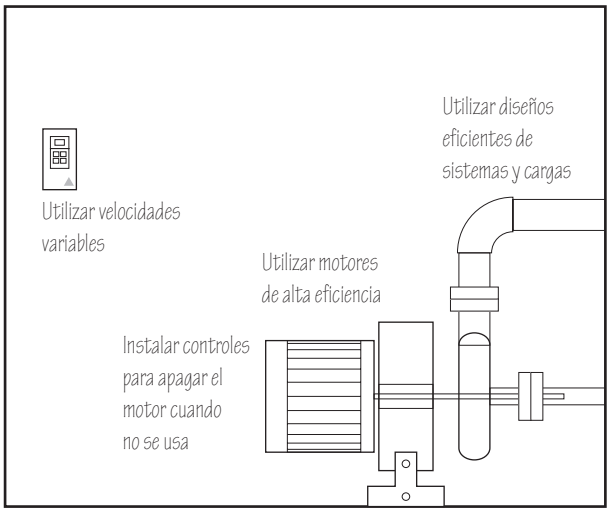
Los numerosos cargadores de aparatos electrónicos como ordenadores portátiles o teléfonos móviles consumen electricidad de forma permanente. Está demostrado que si se sitúan los enchufes en lugares más accesibles que junto al suelo, hay más probabilidad de que se desenchufen cuando no se estén utilizando. Otra alternativa puede consistir en dotar a los enchufes de interruptores generales de fácil acceso, por ejemplo, empotrados en la pared al alcance de la mano.



11.26 Estrategias para reducir las cargas de iluminación.



11.27 Estrategia para reducir el consumo de secadoras.



11.28 Estrategias para reducir el consumo energético de grandes motores.

En el caso del consumo asociado a la iluminación, el proyecto del edificio puede reducirlo mediante la instalación de lámparas y apliques de alta eficiencia directamente conectados a la red. Esto sería una alternativa a dejar toda la iluminación en manos de aparatos y lámparas portátiles, que normalmente cuentan con bombillas incandescentes o halógenas, menos eficientes. No solo son más eficientes los apliques de luz, sino que, por su propio diseño y disposición, proporciona una iluminación más eficaz y uniforme. También puede ser más eficiente el control de la iluminación en paredes —mediante sensores de movimiento, fotosensores, temporizadores o interruptores accesibles— en aquellos espacios donde se pueda confiar en que los usuarios enciendan y apaguen las luces sin problemas. Debería ofrecerse un número suficiente de enchufes para añadir iluminación específica a ciertas tareas.

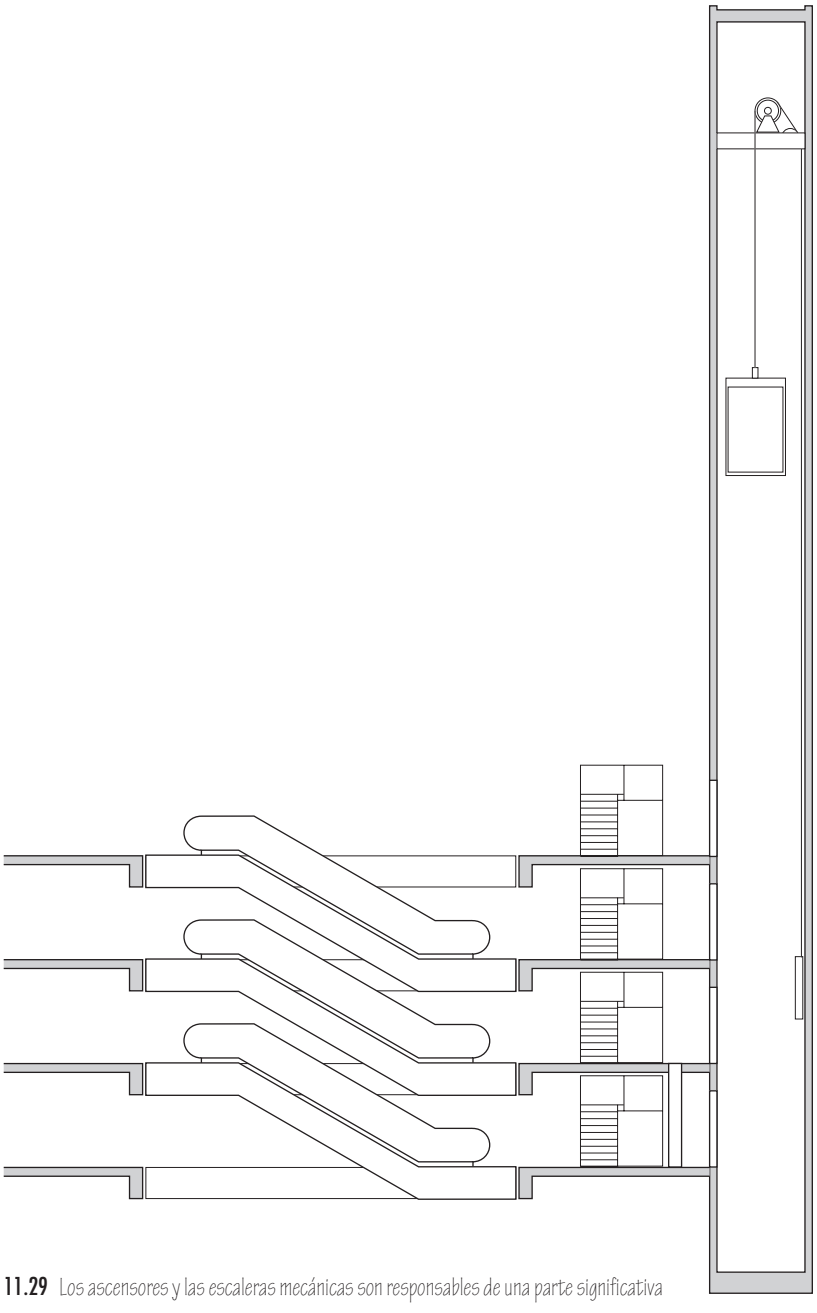
También se pueden aplicar enfoques creativos para reducir el consumo de los aparatos eléctricos. Por ejemplo, BREEAM otorga créditos si se incluyen espacios o cuerdas para el secado de la ropa.

La llegada de los sistemas de control conectados a Internet ofrece nuevas oportunidades para controlar el consumo de los aparatos y reducir el consumo energético. Es probable que con el tiempo dispongamos de una oferta mayor de controladores, cada vez más asequibles.

Grandes cargas eléctricas

Se consideran grandes cargas eléctricas los motores de ascensores, y los ventiladores y bombas de los equipos mecánicos. Por otra parte, otro tipo de carga eléctrica bastante común son los grandes transformadores.

En estos casos, debería presentarse atención a los grandes motores que funcionan por largos períodos de tiempo. Las alternativas ecológicas son el uso de motores de alta eficiencia, velocidad variable, diseño eficiente y sistemas de control que permitan apagar el motor cuando no esté en uso.



11.29 Los ascensores y las escaleras mecánicas son responsables de una parte significativa del consumo energético del edificio.

Se estima que los ascensores consumen entre el 3 y el 5 % de electricidad de un edificio moderno de varias plantas. Los edificios de baja altura suelen contar con ascensores hidráulicos por su bajo coste, mientras que los edificios de mayor altura utilizan maquinaria de voltaje y frecuencia variables (VVVF) con motores de corriente alterna, por su mayor eficiencia energética y su alta velocidad.

El consumo energético de un ascensor depende de muchos factores, como la frecuencia de uso, la capacidad de la cabina y la eficiencia de la maquinaria. El consumo energético puede reducirse instalando ascensores con maquinaria de alta eficiencia o frenos regenerativos. Los ascensores también pueden ahorrar energía mediante el uso de iluminación de alta eficiencia, apagado automático de las luces y de la ventilación cuando la cabina no está en uso. Los sistemas avanzados de control también pueden ayudar a reducir el consumo energético optimizando los algoritmos que definen la secuencia de paradas y que sitúan las cabinas allí donde se las va a necesitar con mayor probabilidad, o desactivando algunas cabinas en horarios de menor uso cuando se cuenta con varias. Para calcular el consumo energético, los ascensores hidráulicos consumen aproximadamente 0,02-0,03 kWh por viaje con carga ligera y baja altura, y algo más con cargas más pesadas en edificios de mediana altura. Este consumo puede reducirse hasta 0,01-0,02 kWh por viaje con maquinaria más eficaz. Los ascensores con maquinaria VVVF en edificios en altura utilizan aproximadamente 0,03-0,04 kWh por viaje, que puede reducirse hasta 0,02-0,03 kWh por viaje con frenos regenerativos y maquinaria de corriente continua con modulación por ancho de pulsos.

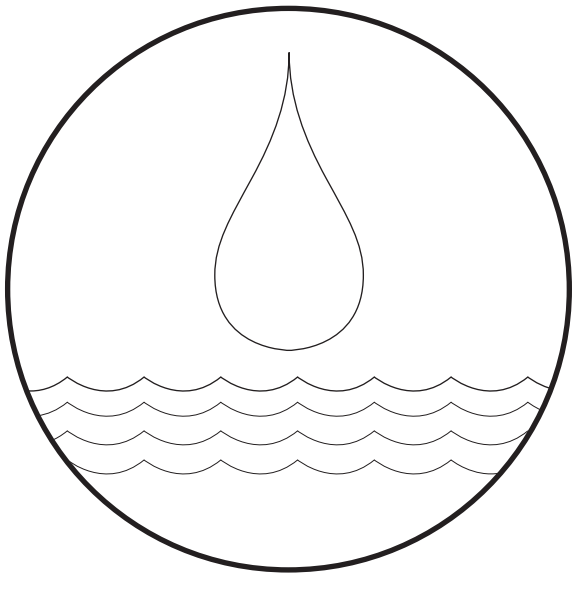
Las escaleras mecánicas tradicionales suelen consumir entre 4.000 y 18.000 kWh de electricidad por año. Los motores de velocidad variable pueden reducir esta cantidad utilizando sensores para detectar cuando la escalera está vacía y frenar los motores, o bien parando algunas escaleras en períodos de menor uso.

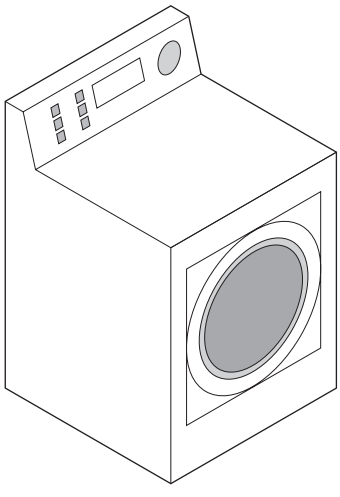
Los transformadores estándar deben cumplir con las normativas correspondientes, con eficiencias mínimas que van, en Estados Unidos, desde el 97 % para transformadores de 15 kVA hasta el 98,9 % para transformadores de 1.000 kVA. Los transformadores de alta eficiencia tienen actualmente definidos unos límites que van desde el 97,9 % hasta el 99,23 % para los transformadores de 15 y 1.000 kVA respectivamente. Los transformadores deben estar adecuadamente ventilados y alcanzan mayor eficiencia cuando están situados en espacios con bajas temperaturas. Por ello, no deberían estar situados en cuartos recalentados ni en áreas exteriores cerradas con ventilación insuficiente.

12
Agua caliente y fría

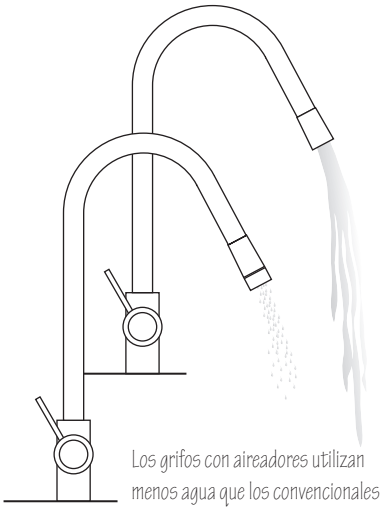
Actualmente, el agua se entiende cada vez más como un recurso finito. Al evaluar las mejoras en temas de agua que se pueden incorporar a la arquitectura ecológica, es preciso tomar en consideración la distribución y el consumo de agua tanto fría como caliente. Reducir el consumo de agua caliente ahorra agua y energía para calentarla.

El agua disponible en la parcela ya fue analizada en el capítulo 4: Contexto y emplazamiento. Este capítulo se centrará en el uso de agua en el interior del edificio.

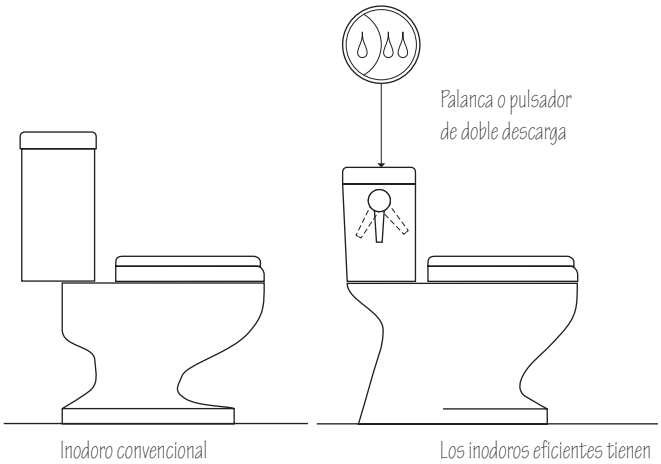




Las lavadoras de alta eficiencia son de carga frontal, con tambores de alta velocidad sobre eje horizontal y utilizan menos agua que una lavadora convencional



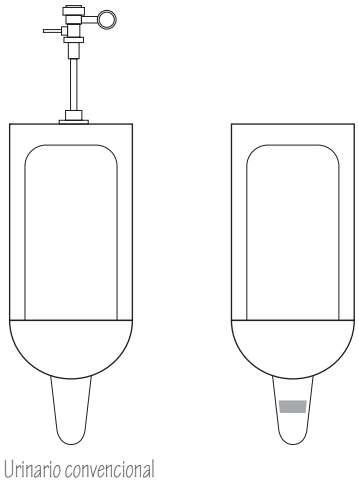
Los grifos con aireadores utilizan menos agua que los convencionales



Palanca o pulsador de doble descarga

Inodoro convencional

Los inodoros eficientes tienen cisternas de menor tamaño que los convencionales



Los urinarios sin agua utilizan un sellante líquido que flota por encima del líquido recogido por el sifón, a través del cual puede pasar el líquido evitando que los olores escapen del desagüe

Urinario convencional

12.01 Aparatos eficientes.

Reducir el consumo

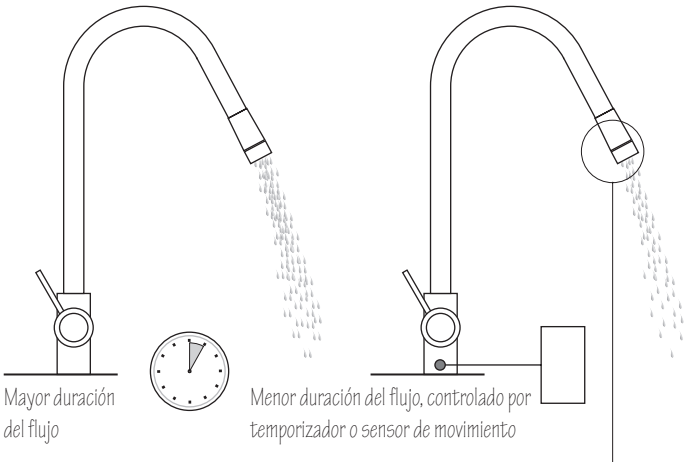
Es más eficaz acometer las reducciones en el consumo de agua y energía después de analizar las demandas de agua. Comenzando en el punto de la toma de agua, un primer paso consiste en utilizar aparatos eficientes, dispositivos que ofrecen el mismo servicio con un menor consumo de agua.

Los lavavajillas eficientes reducen el consumo de agua en un 20 % en comparación con los convencionales, y las lavadoras un 50 % menos. Las alcachofas de ducha de bajo flujo y los aireadores de grifo también reducen el consumo de agua.

Los inodoros de descarga dual utilizan menos agua, los urinarios sin agua no utilizan agua, si no que, en su lugar, emplean un sellante líquido de base aceitosa para evitar los olores. Los inodoros secos tampoco utilizan agua.

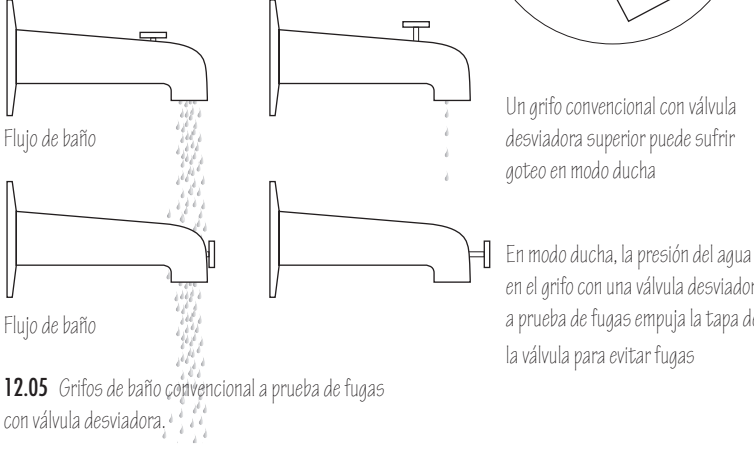
12.02 Aparatos de bajo consumo listados en el programa voluntario de sensibilización sobre el agua de la organización estadounidense EPA.

Aparato	Especificaciones requeridas	Programa voluntario EPA
Duchas 9,5 l/min	7,6 l/min	
Urinarios	3,8 l/descarga	1,9 l/descarga
Inodoros en viviendas	6 l/descarga	4,8 l/descarga
Grifos comerciales		
Lavabos privados	8,3 l/min	6,7 l/min
Grifos en viviendas		
Baños	8,3 l/min	5,7 l/min



12.03 Control de la duración de flujo como estrategia para reducir la demanda de agua.

12.04 Aireador de grifo con palanca de cierre temporal, puede retener la mezcla de agua caliente y fría con el consiguiente ahorro de energía.

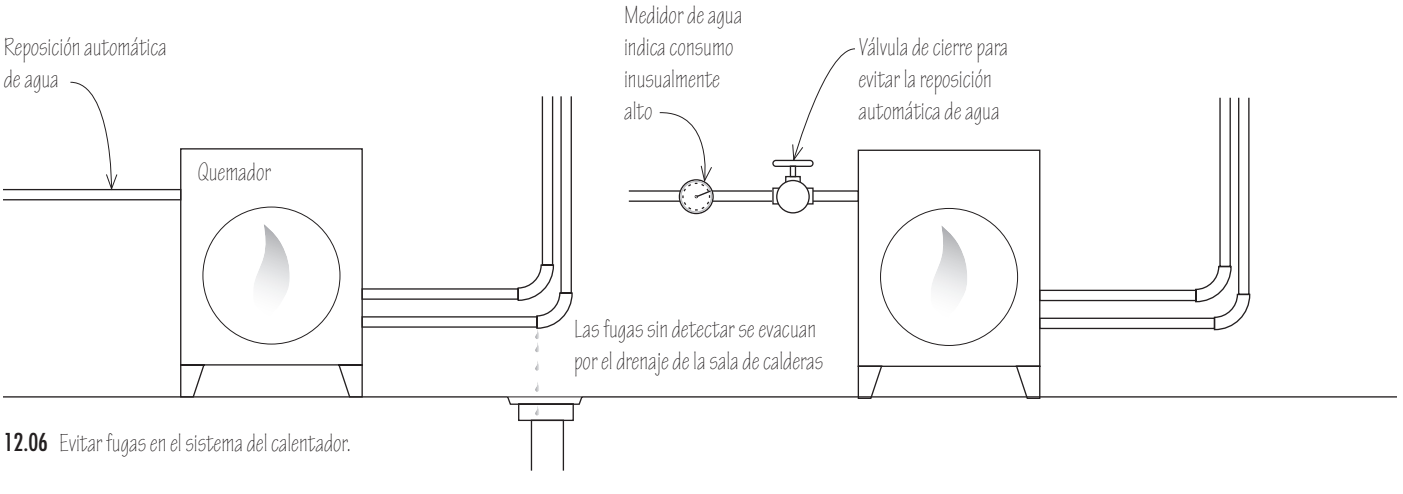


12.05 Grifos de baño convencional a prueba de fugas con válvula desviadora.

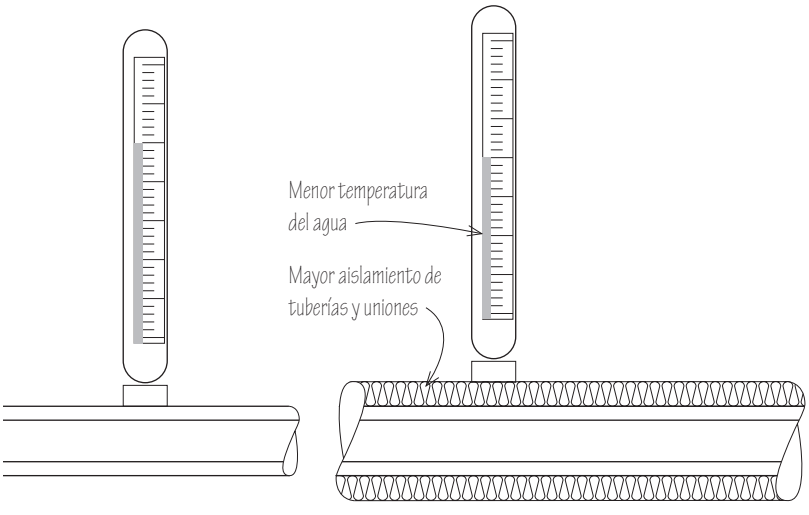
La demanda de agua no implica solo un flujo, sino también una duración, de modo que puede reducirse el consumo de agua reduciendo el caudal o la duración de la descarga. Los limitadores de duración del flujo, como los de los baños públicos que interrumpen el flujo de agua automáticamente, pueden reducir el consumo de agua limitando su duración. De forma similar, hay grifos y alcachofas de ducha con dispositivos que cortan temporalmente el flujo de agua, pero que conservan la mezcla de agua caliente y fría, de modo que también ahorran energía al limitar la duración del flujo.

Un importante gasto de agua se debe a las fugas. Puede pensarse que las fugas son algo inusual, un fallo que no puede controlarse con el proyecto del edificio. Sin embargo, algunas fugas están muy extendidas porque son intrínsecas a cierto tipo de aparatos, y pueden eliminarse simplemente suprimiéndolos. Por ejemplo, un grifo de baño con válvula desviadora superior tiene pérdidas cuando se activa el modo ducha. Un estudio encontró fugas en el 34 % de estos aparatos, con una pérdida media de 3 l/min. Se pueden evitar estas fugas fácilmente utilizando grifos con pulsador para el modo ducha al final de la salida para el baño. Otro ejemplo serían las cisternas de inodoros con válvulas de detección de fugas.

Un equipo con fugas sistemáticas de agua son los calentadores de agua por vapor. Esta tecnología típica del siglo XIX están viviendo un pequeño resurgir en los últimos tiempos. Sin embargo, estos calentadores a menudo tienen fugas de vapor, y al estar abiertos a la atmósfera, las fugas de vapor no se detectan. Pueden evitarse estas fugas evitando este tipo de aparatos en el proyecto. Por otra parte, no debería permitirse el flujo de agua de reposición automático hacia la caldera, ya sea vapor o agua caliente, pues este puede enmascarar fugas del sistema. La entrada de agua de reposición debería estar controlada con una válvula y utilizarse exclusivamente para llenar la caldera, no para cubrir permanentemente las fugas de agua.



12.06 Evitar fugas en el sistema del calentador.



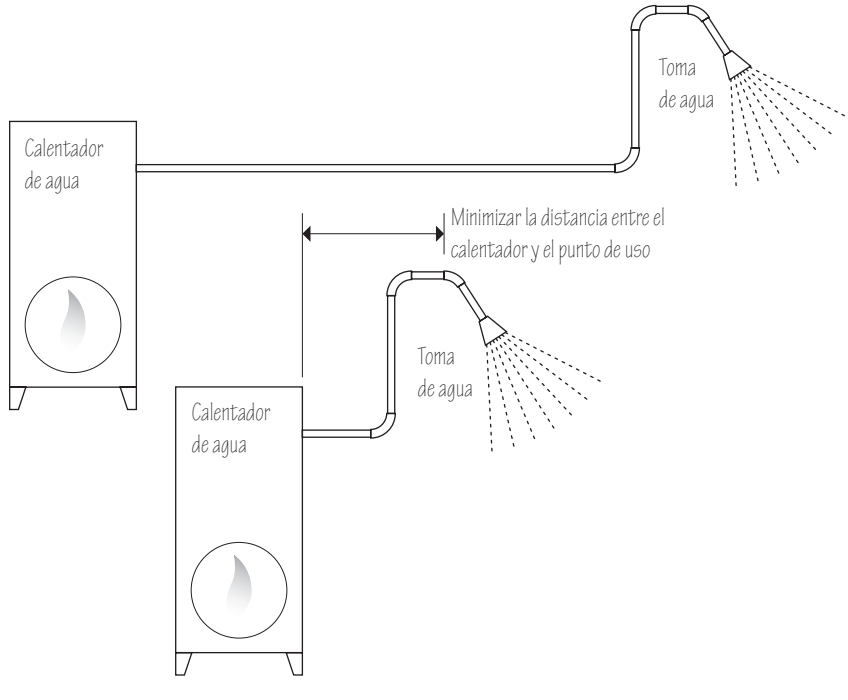
12.07 Reducir la temperatura del agua y aumentar el aislamiento de las tuberías y uniones puede ayudar a reducir las pérdidas de agua caliente.

Agua caliente sanitaria

El agua caliente utilizada en cocinas, baños, lavaderos y otras instalaciones suele implicar un importante consumo energético, el segundo mayor consumo en edificios residenciales, más del 9 % del uso primario de energía en los edificios, y la cuarta partida energética global después de la calefacción, la iluminación y el aire acondicionado. En las oficinas el uso de agua caliente es bajo, mientras que otros edificios, como hospitales, hoteles, viviendas y fábricas son usuarios intensivos. Este agua caliente de consumo se denomina agua caliente sanitaria cuando procede de la red de agua potable y se destina a consumo humano. No debería confundirse con el agua que se utiliza para calefacción.

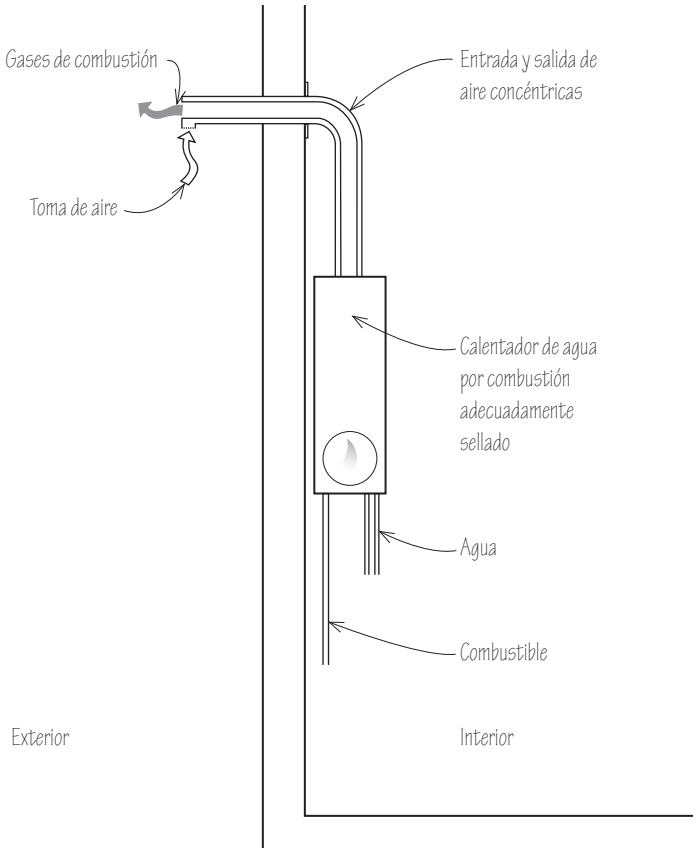
El consumo energético asociado al agua caliente no está directamente influido por cargas exteriores como la temperatura, el sol o el viento, aunque se incrementa ligeramente en invierno debido a que el agua de suministro suele estar a una temperatura más baja.

Para el suministro de calor, conviene disponer los sistemas para calentar agua dentro de la envolvente térmica, de modo que las pérdidas de calor puedan aprovecharse en invierno, especialmente en climas fríos. En otras palabras, es preferible que los calentadores de agua no se sitúen en espacios sin acondicionar con conexiones con el exterior, como los sótanos. Igualmente, si el circuito de distribución circula por espacios caldeados, las pérdidas por distribución pueden resultar útiles durante la mayor parte del año, aunque afectarán negativamente a la carga de aire acondicionado, de ahí que resulte importante minimizar dichas pérdidas aislando las tuberías.



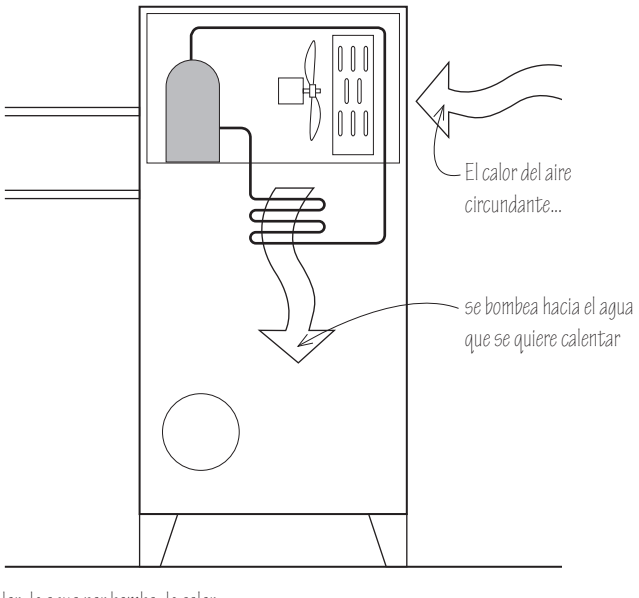
12.08 Minimizar la distancia entre el calentador de agua y los puntos de uso puede ayudar a reducir el consumo energético.

Otra estrategia para recortar el consumo de energía consiste en minimizar la distancia entre el calentador del agua y el punto de uso final. Esto puede lograrse mediante el uso de calentadores asociados a cada toma, o agrupando las distintas tomas, como en baños y cocinas.



12.09 Calentador de gas con mayor eficiencia.

Los calentadores de agua que utilizan combustibles fósiles, como el gas natural, y las calderas de combustión selladas, suelen operar con niveles de eficiencia óptimos y evitan las filtraciones propias de las calderas sin sellar. Algunos combustibles resultan más eficientes que otros. Por ejemplo, las calderas de gas natural o propano suelen alcanzar mayores niveles de eficiencia que las de fuel.



12.10 Calentador de agua por bomba de calor.

Un tipo de calentador de agua que cada vez se emplea más es el que utiliza bombas de calor con la electricidad como fuente de energía para bombear el calor del aire circundante hacia el agua caliente. Por lo general, estos sistemas son bastante eficientes, aunque la tecnología aún está en desarrollo. Puesto que el aire circundante suministra el calor, las bombas de calor tienden a enfriar el espacio en el que se encuentran. Es preciso que haya suficiente espacio para extraer dicho calor, pues de otro modo se verá reducida la eficiencia del aparato y aumentará el consumo energético. De igual modo, puesto que la bomba de calor enfría el espacio en el que se encuentra, es preferible que no esté situada en un espacio frío, pues este enfriamiento también supone un aumento en las cargas de calefacción en invierno.

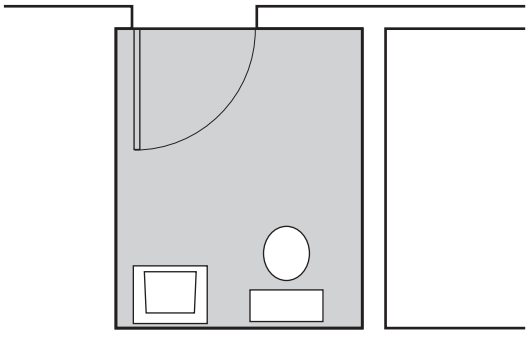
Los calentadores de bomba de calor también tienen límites en cuanto a la temperatura que pueden alcanzar, y a altas temperaturas disminuyen su eficiencia y su capacidad. Por ello, estos aparatos no son capaces de proporcionar las altas temperaturas que requiere una cocina profesional. A pesar de estas limitaciones, los calentadores de bomba de calor merecen ser considerados para su uso en edificios ecológicos. También podemos anticipar que, a medida que los sistemas geotérmicos de calefacción y refrigeración se vayan aceptando, el circuito geotérmico se utilizará con más frecuencia como fuente de calor para los calentadores de agua domésticos, y este será un sistema eficiente para calentar el agua que no tendrá los problemas de extraer o añadir calor al interior del edificio.

En los edificios de mayores dimensiones, el agua caliente sanitaria también puede generarse como subproducto de los sistemas de cogeneración de calor y electricidad.

En el agua caliente sanitaria de uso doméstico, el calor necesario para elevar la temperatura del agua suele ser menor que el que se pierde en producir y distribuir el agua caliente. Se producen muchas pérdidas, entre ellas, las debidas a conducción en el depósito de almacenamiento de agua, las asociadas a la salida de humos de la caldera de combustión y a los quemadores, que deben mantenerse encendidos incluso cuando no se está usando el agua caliente, las de las tuberías del sistema de distribución, el exceso de caudal en grifos y alcachofas de ducha, y aquellas asociadas a las fugas en todo el circuito, como tuberías, válvulas y grifos. El esfuerzo para mejorar la eficiencia térmica del sistema de agua caliente debería centrarse en reducir las fugas. Por ejemplo, las calderas selladas y los calentadores instantáneos sin depósito reducen considerablemente las fugas. Los calentadores instantáneos, además, tienen una serie de características únicas, como la posibilidad de empezar a funcionar con un caudal muy reducido, el requisito de un lapso de tiempo para empezar a proporcionar agua caliente, ciertas fluctuaciones en la temperatura del agua bajo ciertas condiciones y la vulnerabilidad frente a aguas duras. Por otra parte, los calentadores asociados a las tomas de agua reducen al máximo las pérdidas en la distribución.

En muchos casos, todas estas pérdidas pueden evitarse simplemente no suministrando agua caliente a todos los puntos de toma de agua, por ejemplo a los aseos. Estos aseos pueden funcionar muchas veces sin agua caliente, algo habitual en muchos países. También puede estudiarse la necesidad de agua caliente en otras tomas de agua, pero conviene consultar las normas sobre instalaciones para confirmar si puede prescindirse o no de agua caliente en determinados usos.

La producción de agua caliente sanitaria de uso doméstico puede integrarse con los sistemas de calefacción, por ejemplo, en calderas de doble servicio. Históricamente, esta energía se desperdiciaba porque las calderas se utilizaban durante todo el año para proporcionar agua caliente sanitaria, también a lo largo de los meses de calor. Es posible que se produzcan pérdidas térmicas incluso cuando el agua caliente proceda de un depósito que forme parte de un sistema de calderas de condensación de alta eficiencia, que utiliza una bomba eléctrica para recuperar el calor de la caldera y conducirlo hasta el depósito de agua.



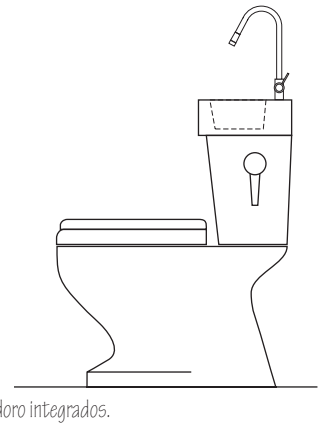
12.11 Plantearse suministrar exclusivamente agua fría en los aseos.

Nuevas fuentes de agua y de calor

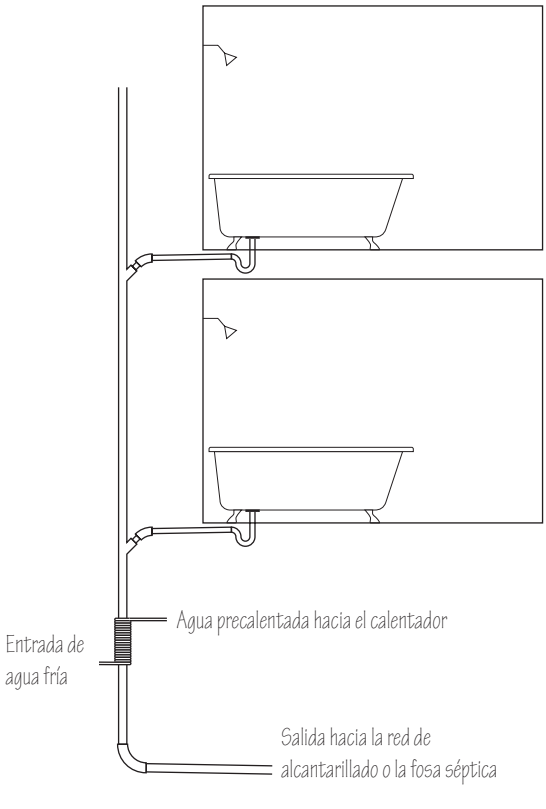
Una vez reducidos los consumos y minimizadas las fugas y las pérdidas, puede reducirse aún más la demanda de agua y calor mediante distintas soluciones de reaprovechamiento.

Reciclaje de agua y calor

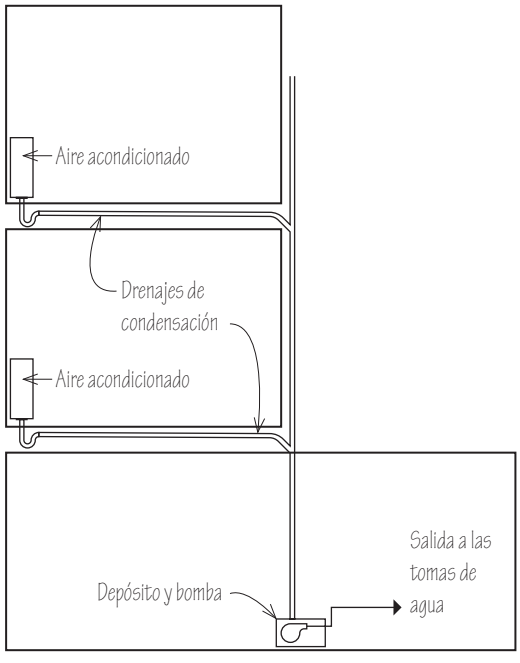
El reciclaje del agua permite que se aproveche la misma agua para distintos propósitos. Por ejemplo, un inodoro lavabo es un aparato que permite utilizar agua potable para lavarse las manos y después para llenar la cisterna del inodoro. Las aguas grises pueden filtrarse y reutilizarse dentro del edificio. De igual modo, puede reutilizarse el calor del agua caliente ya utilizada, aumentando la temperatura del agua fría y reduciendo el consumo energético de calentarla.



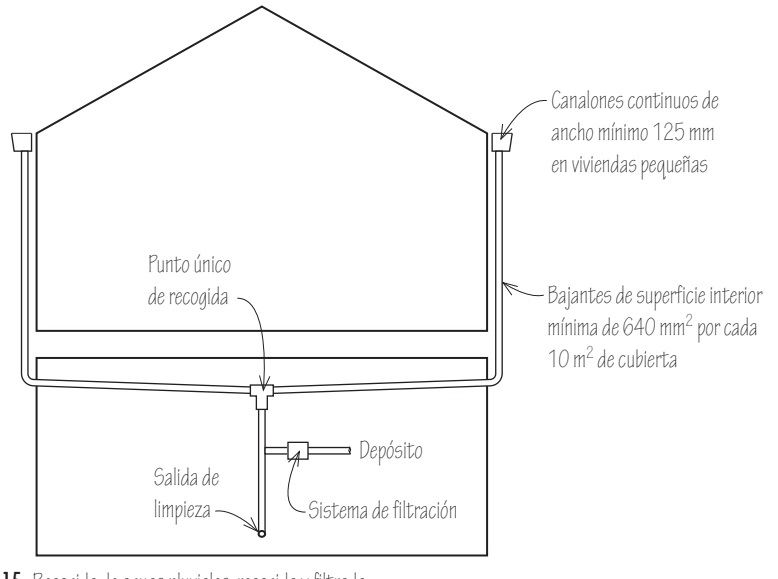
12.12 Lavabo e inodoro integrados.



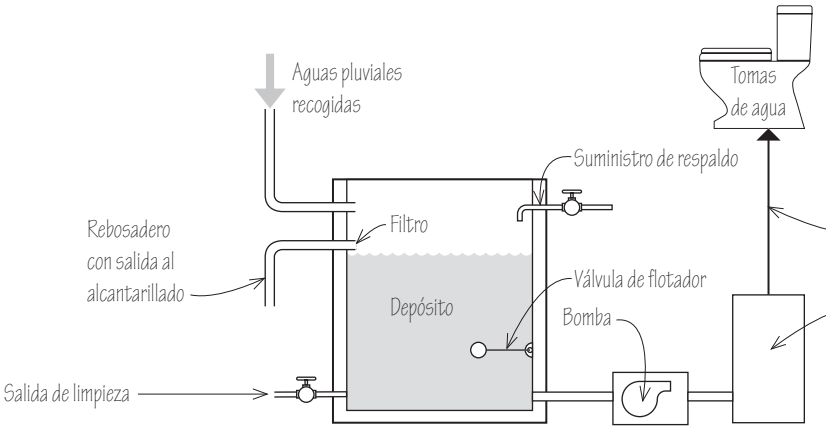
12.13 Recuperación de calor de las aguas grises.



12.14 Recuperación de agua condensada.



12.15 Recogida de aguas pluviales: recogida y filtrado.



12.16 Recogida de aguas pluviales: almacenaje y distribución.

Recuperación de la condensación

El agua condensada puede recuperarse de los aparatos de aire acondicionado —que producen agua sin impurezas, aunque con caudales pequeños e intermitentes— y que pasa a ser cero en invierno. La cantidad de agua condensada generada variará en función del edificio y del clima. Se puede hacer una estimación anual de 0,38 a 0,75 l/m^2, o algo menos en climas más fríos que requieran menos refrigeración, y mayor en edificios que requieran mayor refrigeración y deshumidificación. La condensación debe recogerse y transportarse a un acumulador, un depósito que también podría utilizarse para recoger aguas pluviales, de forma inmediata o como sumidero abierto de la torre de refrigeración, por ejemplo.

Finalmente, una vez minimizados los consumos y las pérdidas, debe prestarse atención a las fuentes renovables de agua y energía.

Recogida de aguas pluviales

Se puede recoger el agua de la lluvia para ser utilizada en el edificio y reducir, así, el consumo de agua procedente de la traída o de un pozo. Un sistema de recolección de aguas pluviales consiste en una superficie de recogida, normalmente la cubierta del edificio, un sistema de transporte que dirige el agua de lluvia hacia un depósito, un depósito de almacenamiento, un sistema de filtrado y, en muchos caso, un sistema de potabilización, uno de respaldo para que no falle el suministro en épocas de baja pluviosidad, un rebosadero y, por último, uno de distribución que conduzca el agua a las correspondientes tomas.

Como ya se ha mencionado, los canalones, las bajantes y demás elementos de drenaje deben disponerse para que dirijan el agua de lluvia hacia un único punto. Como predimensionado inicial, podemos prever canalones con una anchura de 125 mm para edificios pequeños, mientras que las bajantes deberían contar con una sección mínima de 640 mm^2 por cada 10 m^2 de superficie de cubierta.

En climas fríos, el depósito debe estar situado en el interior del edificio o enterrado para evitar que el agua almacenada se congele. Los depósitos pueden ser de muchos materiales, como de acero, hormigón, madera, fibra de vidrio o plástico.

El agua de lluvia se usa habitualmente en las cisternas de los inodoros. En este caso, los inodoros se conectan al depósito de aguas pluviales en lugar de a la red de suministro de agua fría. Normalmente, estas instalaciones requieren un equipo de bombeo para hacer llegar el agua hasta las cisternas. Sin embargo, si el almacenamiento está situado por encima de los inodoros, es posible prescindir de la bomba. Los sistemas de recogida de aguas pluviales cuentan con una válvula de flotador que permite que el depósito tome agua de la red general de distribución en períodos de baja pluviosidad. Si los inodoros utilizan válvulas de descarga, habrá que seleccionar la bomba para proporcionar la presión mínima demandada por las válvulas de descarga, normalmente de 0,8 bar. Alternativamente, pueden utilizarse inodoros con cisternas conectadas a un sistema de distribución alimentado con aguas pluviales.

Aunque el agua de lluvia puede considerarse potable, puede estar contaminada por la polución atmosférica o por su paso por la cubierta y el sistema de recolección. La mejor forma de evitarlo es que no se formen charcos en agua en la cubierta, ya que pueden aparecer bacterias. Otros posibles contaminantes biológicos son la orina y las heces de aves y otros pequeños animales. En su paso por la cubierta, el agua de lluvia también puede arrastrar contaminantes químicos de suciedad acumulada o lixiviados de materiales de construcción. O contener partículas de hojas, ramas y otros restos vegetales. Si se utiliza el agua de lluvia en usos que no requiere su potabilización, como la descarga de inodoros, basta con aplicar un filtro para eliminar las partículas en suspensión, pero si se utiliza en usos que requieran agua potable, será necesario aplicar un tratamiento adicional para eliminar los contaminantes biológicos.

Los sistemas de recogida de aguas pluviales deberían proyectarse con apoyo de programas informáticos que tengan en cuenta las condiciones pluviométricas del emplazamiento, la superficie disponible de cubierta y la demanda prevista.

.

Energía solar

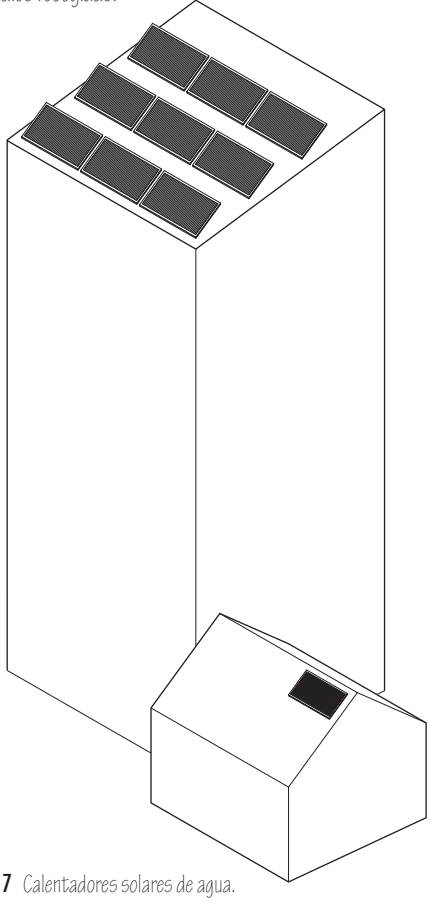
La energía solar es una tecnología que se adapta muy bien a la producción de agua caliente para uso doméstico, especialmente en edificios con una demanda permanente de agua caliente: edificios de vivienda, hoteles, hospitales y algunos tipos de fábrica. También se ha difundido bastante en casas unifamiliares, especialmente en climas templados y sin heladas, y donde el circuito exterior puede simplificarse y las tuberías no necesitan protección contra el hielo. La energía solar se tratará con mayor detalle en el capítulo 15: Energías renovables.

Costes de las mejoras en la gestión del agua

¿Cuál es el impacto económico de las diversas mejoras introducidas en la gestión del agua? Los aparatos de alta eficiencia y de bajo consumo de agua suelen ser más costosos que los convencionales, aunque las diferencias de coste cada vez son menores. Disminuir la distancia entre los calentadores y las tomas de agua caliente, en general tenderá a reducir los costes de construcción, al igual que descartar el suministro de agua caliente de lugares donde no sea indispensable. Los calentadores de alta eficiencia cuestan más que los convencionales. Los calentadores de agua que funcionan con energía solar y los sistemas de recogida de aguas pluviales supondrán sobrecostes en la construcción. Globalmente, habrá que pagar más por un edificio que permita ahorros significativos en el consumo de agua y no utilice combustibles fósiles para producir agua caliente.

Resumen sobre la gestión del agua

En resumen, los esfuerzos para conseguir sistemas más eficientes de agua caliente se dirigen a reducir al máximo el consumo y situar los calentadores y el sistema de distribución en el interior de la envolvente térmica y lo más cerca posible de los puntos de uso. En el proceso, el objetivo final es reducir la demanda de calor a niveles que pueda cubrir la energía solar. Como en el caso del agua fría, los consumos y las fugas deberían reducirse tanto como sea posible, para conseguir una demanda que puedan ser servida por las aguas pluviales recogidas.



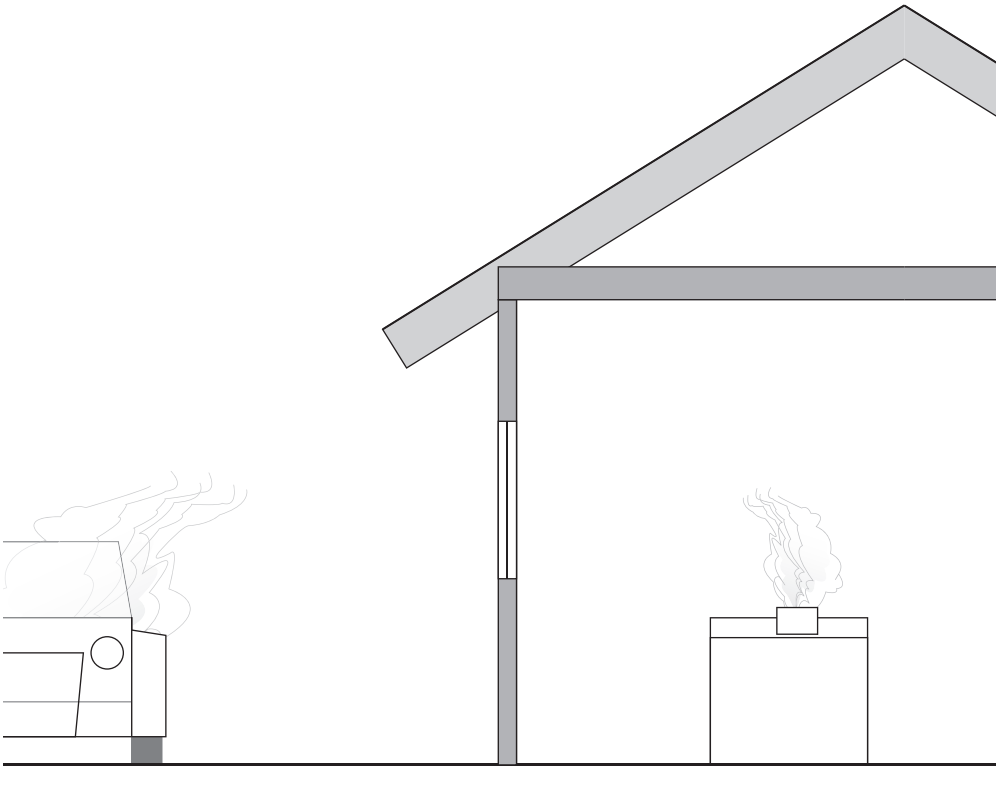
12.17 Calentadores solares de agua.

13

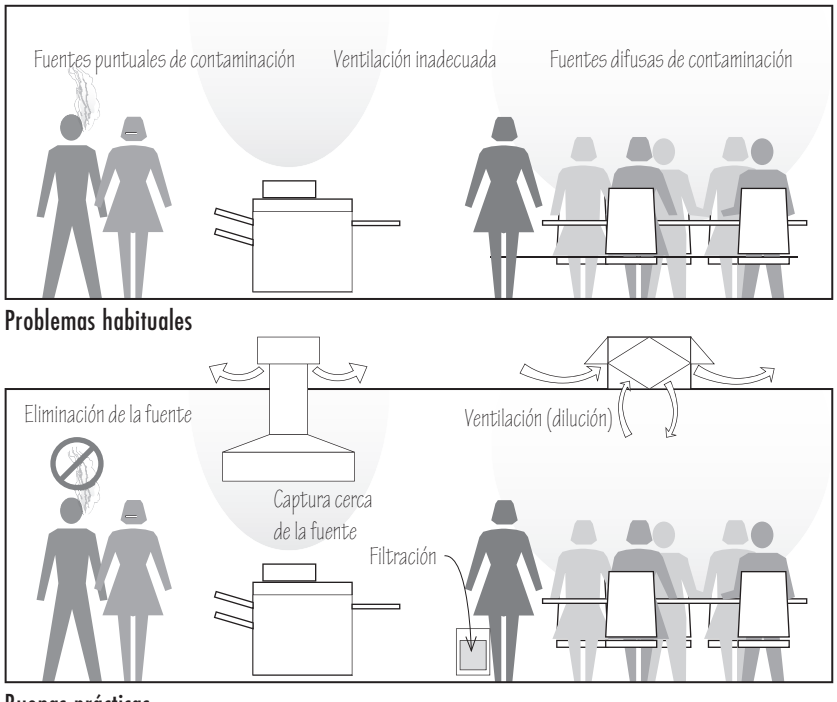
Calidad del ambiente interior

Calidad del aire interior

Para que el aire del interior del edificio sea de buena calidad, no debe contener concentraciones excesivas de contaminantes, como partículas de polvo, CO_2, sustancias químicas peligrosas, humo de tabaco, olores, humedad y contaminantes biológicos. Esta contaminación del aire constituye una carga para el edificio, pero con la complicación adicional de que no solo proceden del exterior, sino que también pueden originarse en el propio edificio.



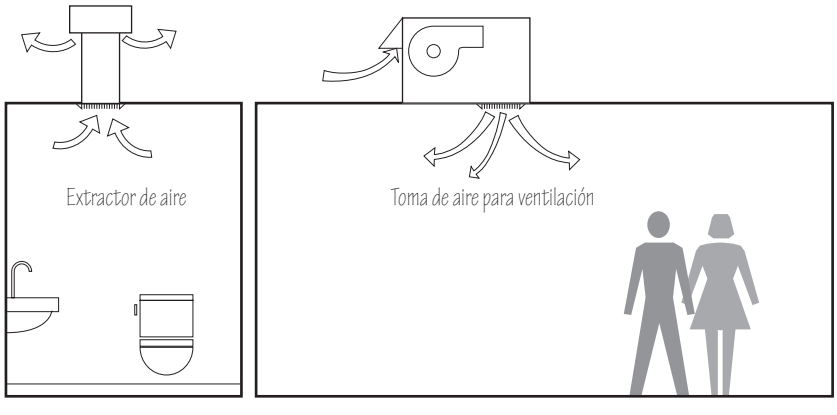
13.01 Los contaminantes del aire se originan no solo en el exterior del edificio, sino también en su interior.



13.02 Enfoques para conseguir un aire interior de buena calidad.

Las cuatro medidas principales para conseguir un aire interior de buena calidad son reducir las fuentes de contaminación, retener los contaminantes, filtrar el aire y diluir los contaminantes. La mejor opción es empezar por la fuente. En primer lugar, intentaremos evitar las fuentes interiores de contaminación: prohibido fumar en el edificio y utilizar pinturas y alfombras que emitan menos productos químicos. La captura de los contaminantes implica interceptar los contaminantes antes de que alcancen la zona de respiración de los usuarios. Esto normalmente implica la instalación de campanas y extractores en baños y cocinas. La filtración evita los contaminantes del aire. Las tres primeras medidas son perfectamente válidas, pero pueden dejar pasar ciertos contaminantes que no se pueden eliminar, retener o filtrar, como algunas trazas químicas emitidas por materiales de última generación, o el dióxido de carbono exhalado por la respiración. Este es el propósito de la última medida para conseguir un aire interior de buena calidad: diluir los contaminantes con aire exterior, lo que también se conoce como ventilación.

En la ventilación se parte de la presunción de que el aire exterior está limpio, pero también pueden tomarse diversas medidas para garantizar que esté lo más limpio posible.

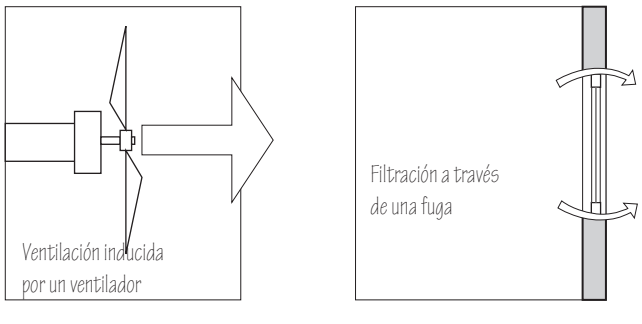


13.03 Diferencia entre extractores de aire y tomas de ventilación del exterior.

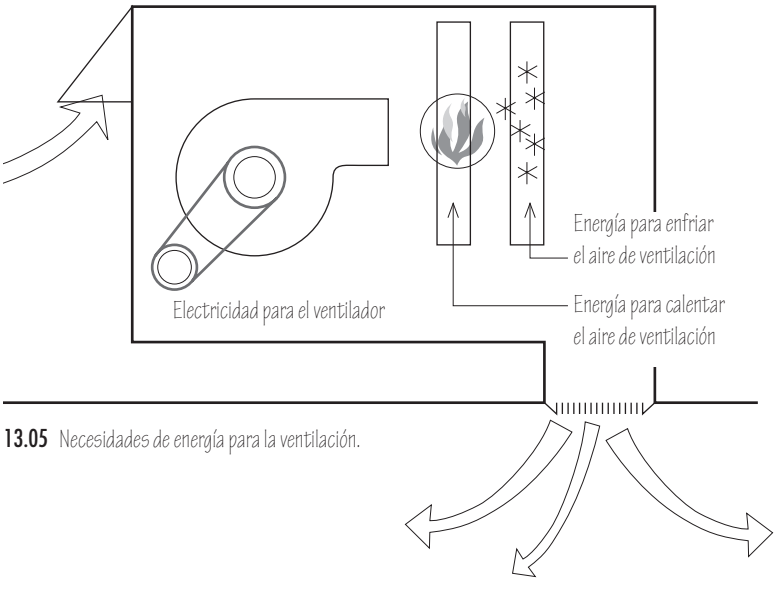
Puede producirse cierta confusión entre la extracción de aire, que es un medio para capturar los contaminantes, y la ventilación con aire exterior, que es una forma de dilución de contaminantes. La confusión se da porque ambas reciben, por lo general, el nombre de ventilación y se analizan conjuntamente. Además, ambas interactúan, ya que la extracción induce la entrada de aire del exterior en el edificio.

La confusión también se debe a la interrelación entre la ventilación y la filtración. Aunque la ventilación se realiza normalmente a partir del funcionamiento de un ventilador, la filtración puede producir efectos similares, puesto que introduce aire del exterior en el edificio y diluye los contaminantes del aire interior. Al igual que ocurre con la interacción entre extracción y ventilación, la ventilación y la filtración también interactúan. Si el aire exterior entra en el edificio por ventilación sin sus correspondientes extractores, entonces la salida del aire se producirá por las fugas en el edificio. Por ello, cualquier discusión sobre ventilación tratará, inevitablemente, el tema de la filtración.

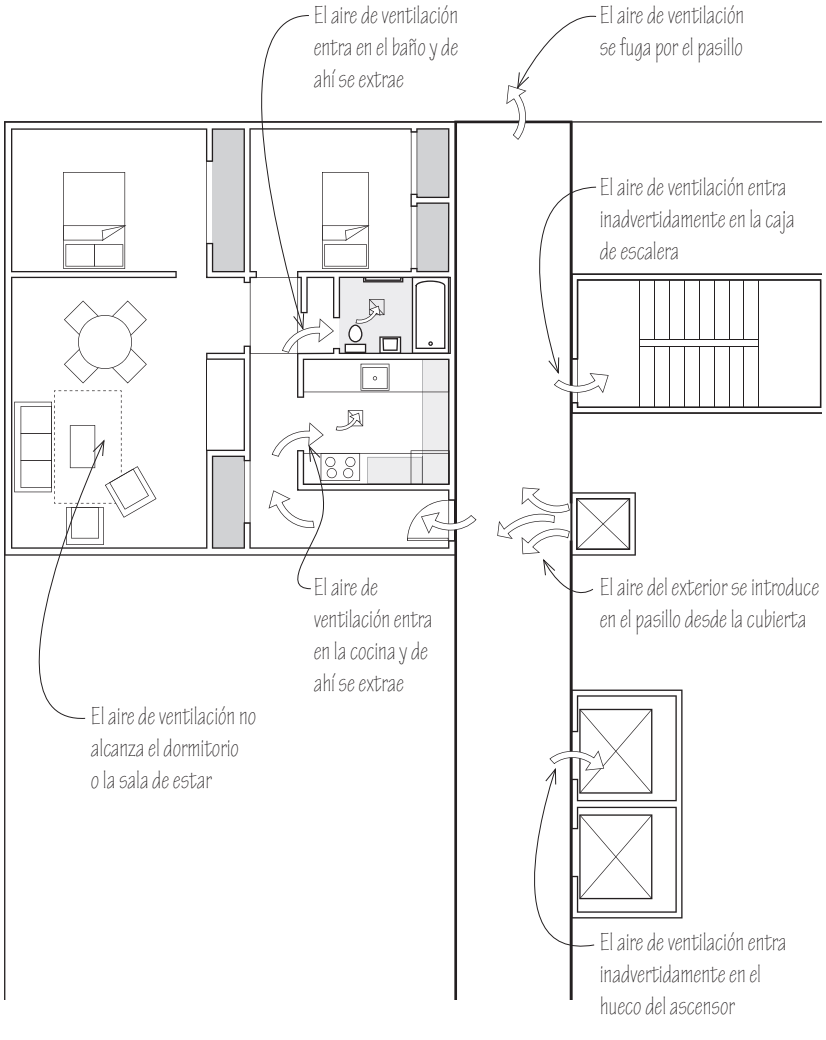
Finalmente, también hay confusión entre ventilación y refrigeración, ya que la ventilación a veces se utiliza para reducir la temperatura de un ambiente.



13.04 Diferencia entre ventilación y filtración.



13.05 Necesidades de energía para la ventilación.



13.06 El aire de la ventilación no siempre alcanza a las personas a las que va dirigido.

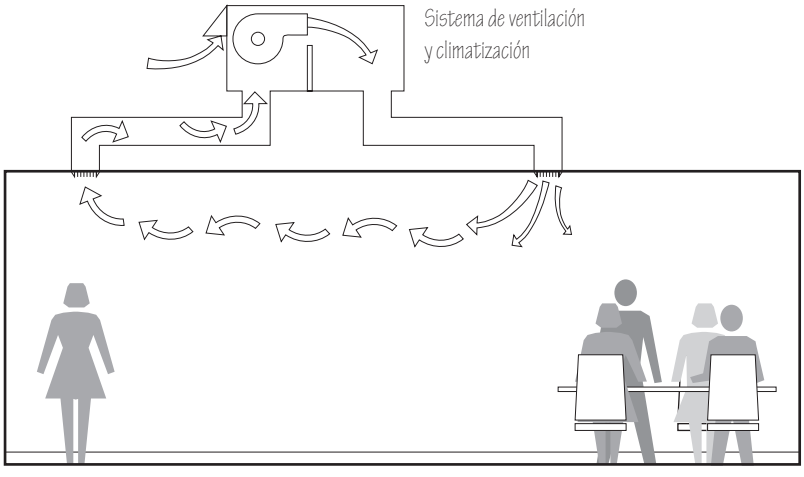
Desafíos de la ventilación

El enfoque tradicional para mejorar la calidad del aire interior utiliza la ventilación, pero una ventilación adecuada también debe resolver otros desafíos.

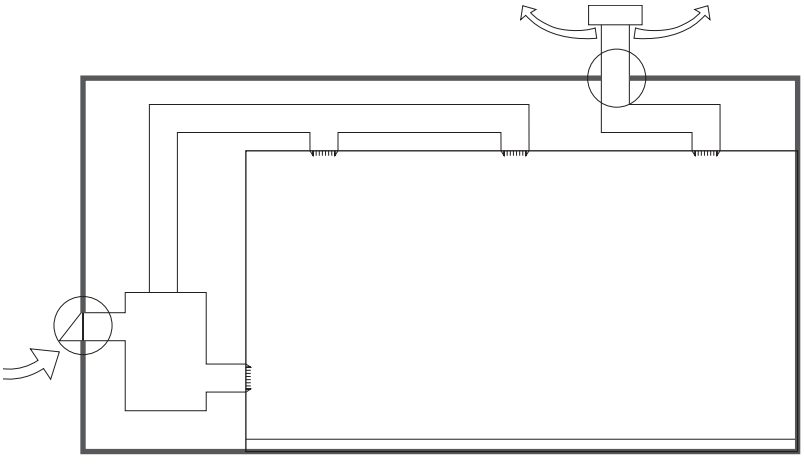
La ventilación utiliza mucha energía. Para hacer funcionar los ventiladores que mueven el aire se necesita electricidad, pero aún es más significativa la energía necesaria para calentar o enfriar el aire de ventilación que se introduce en el edificio. La tasa de consumo energético de un edificio es extremadamente sensible a la ventilación. Un incremento mensurable de la ventilación producirá un aumento inmediato y significativo del consumo energético del edificio.

Introducir aire exterior en el edificio sin causar cierto malestar es un desafío. Si no se calienta o se enfría, el aire del exterior entra al edificio con la temperatura del exterior y no es lo mismo introducir aire a -20 °C que a 0, 20 o 40 °C. El principal desafío reside en que la energía necesaria para calentar o enfriar el aire del exterior sigue cambiando conforme cambia la temperatura del exterior. El problema es especialmente crítico con la calefacción, por el riesgo elevado de generar malestar térmico. Se han detectado problemas como el sobrecalentamiento del aire de ventilación y los espacios donde se introduce, calentadores que dejan de funcionar o sistemas de ventilación que se desconectan por un control de la temperatura inadecuado.

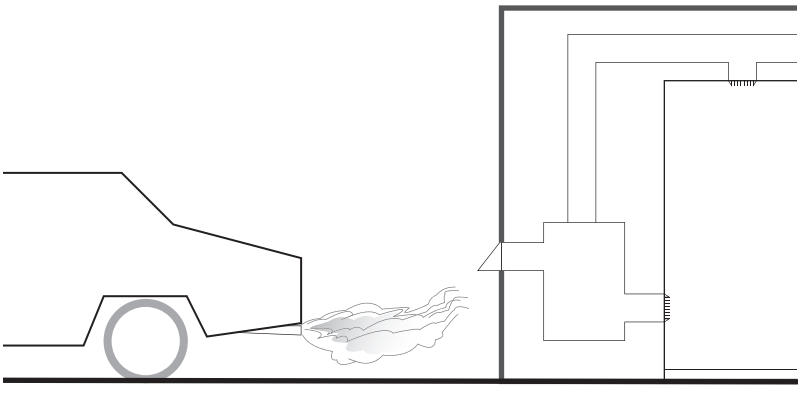
La ventilación a menudo no llega a las personas a las que va dirigida. Por ejemplo, en muchos bloques de vivienda y hoteles de cierta altura, el aire de ventilación se introduce desde la cubierta a través de rejillas en los muros de los pasillos, que a menudo están situadas sobre las cabezas de los usuarios. El sistema de ventilación está proyectado para que el aire fluya hacia el pasillo, y en las viviendas o habitaciones, por debajo de las puertas. Sin embargo, una gran proporción de este aire nunca alcanza a las personas a las que va dirigido, sino que una buena parte no llega a entrar y se escapa por los huecos de los ascensores, las cajas de escaleras, las bajantes de basuras o las ventanas de los pasillos. Parte del aire pasa por debajo de las puertas de las viviendas o las habitaciones de hotel, pero una porción importante del mismo solo llega hasta la cocina o los cuartos de baño, desde donde se vuelve a extraer. Las cocinas y los baños suelen estar junto a las entradas de las viviendas o a las habitaciones de los hoteles, lejos del perímetro del edificio. Por lo que el aire fresco vuelve a salir del edificio sin haber llegado a alcanzar a las personas que están situadas en los dormitorios o las salas de estar.



13.07 La ventilación puede pasar de largo sin atravesar la zona de respiración de los usuarios.



13.08 Las entradas y salidas de ventilación rompen la continuidad de la envolvente térmica.



13.09 La ventilación puede introducir contaminantes en el edificio si las tomas están muy próximas a las fuentes de contaminación.

Similares problemas (ineficacias) presentan los edificios que transportan el aire de ventilación por el sistema de distribución de calefacción y refrigeración, en muchos de los cuales tanto la salida como el retorno del aire de ventilación se lleva a cabo desde los techos, de modo que gran parte del mismo nunca llega a alcanzar la zona de respiración de los usuarios.

Otro problema de la ventilación son las perforaciones que rompen la continuidad de la envolvente térmica del edificio, pues estas permiten la circulación del aire de ventilación. Un sistema de ventilación bien proyectado tiene un flujo de aire solo cuando se necesita. Por ejemplo, un edificio de oficinas no necesita ventilación por la noche, cuando el edificio está vacío, de modo que entonces los orificios de ventilación se cierran con compuertas, unos dispositivos tipo válvula que pueden cerrarse o abrirse. Sin embargo, el aire es un fluido dispuesto a encontrar su camino al margen de las compuertas; es decir, como filtraciones. También ocurre que las compuertas se rompen o se atascan, y quedan siempre abiertas y dejan pasar más aire del necesario, o siempre cerradas e impiden cualquier ventilación.

La ventilación es difícil de medir y también es complicado inspeccionar y entender el funcionamiento de estos sistemas. Como resultado, los inspectores normalmente no pueden señalar si hay algún aspecto incorrecto en el proyecto o la instalación del sistema de ventilación, de ahí que estos sistemas no solo fallan cuando el edificio ya está en uso, sino incluso antes de terminar la obra; y, aunque fallen, es raro que los usuarios o los administradores del edificio se percaten de ello. Comparemos esta situación con otros elementos de un edificio que pueden fallar. Si falla la calefacción y el aire acondicionado, es cuestión de horas darse cuenta, pues rápidamente el edificio se enfría o se calienta. O si falla un ascensor o el calentador de agua caliente, lo descubrimos de forma inmediata. Pero si falla la ventilación, muchas veces nadie se da cuenta hasta que pasan meses o incluso años.

Pero aunque el sistema de ventilación funcione y proporcione suficiente aire a los lugares adecuados, resulta un desafío reducir o aumentar dicha ventilación en función del uso más o menos intensivo del edificio. Lo más próximo a una ventilación por demanda se ha conseguido normalmente mediante el uso de detectores de CO_2, que aumentan la ventilación en caso de que la concentración de este gas alcance niveles muy altos. Esto ha supuesto un avance considerable, pero este tipo de ventilación por demanda solo se aplica en edificios comerciales y todavía no ha llegado a edificios más comunes, como las viviendas unifamiliares, los bloques de viviendas o los hoteles.

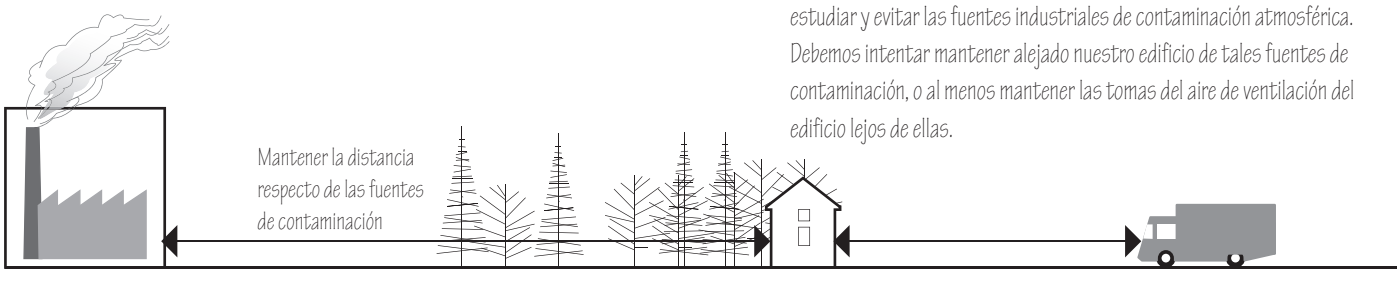
Otro problema con la ventilación es que las aberturas de toma de aire a veces se sitúan demasiado cerca de las fuentes de contaminación, de modo que, en lugar de diluir los contaminantes del aire interior con aire fresco del exterior, la ventilación introduce nuevos contaminantes al interior del edificio. Son prueba de este problema la presencia de gases procedentes de tubos de escape, o las manchas negras en las rejillas, en edificios con muelles de carga o aparcamientos cerca de las tomas de aire.

Soluciones de calidad del aire interior

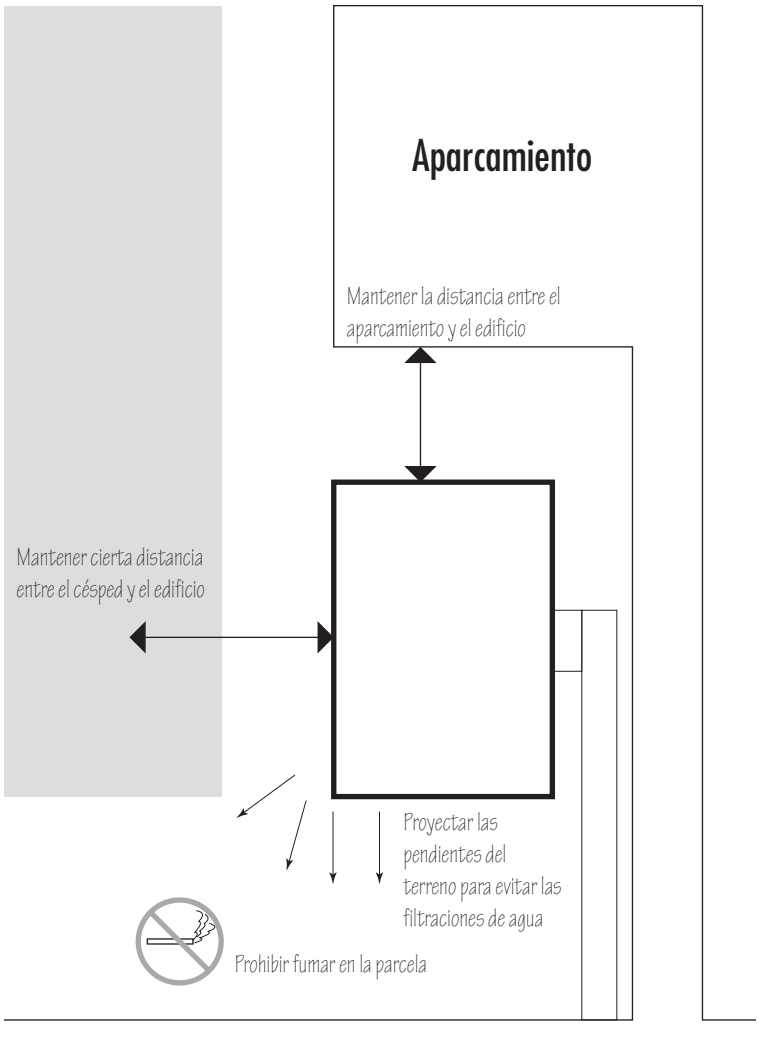
Recurriendo nuevamente al enfoque de afuera adentro, comenzamos en el entorno del edificio y vamos acercándonos progresivamente.

Entorno

En primer lugar, intentaremos elegir un entorno para el edificio que no sufra una contaminación atmosférica intensa, y trataremos de reducir la contaminación en nuestros barrios, conscientes de que el aire interior solo será tan bueno como lo sea el aire exterior. Debemos evitar puntos de alta generación de contaminantes, especialmente el humo de los vehículos, como las calles de tráfico intenso o esquinas donde paren los automóviles. También hay que estudiar y evitar las fuentes industriales de contaminación atmosférica. Debemos intentar mantener alejado nuestro edificio de tales fuentes de contaminación, o al menos mantener las tomas del aire de ventilación del edificio lejos de ellas.



13.10 Estrategias de emplazamiento para evitar problemas de calidad del aire interior.



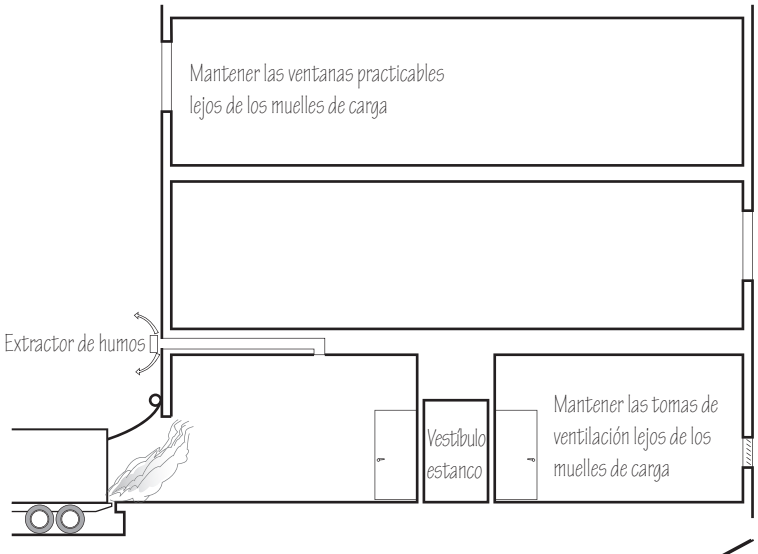
13.11 Estrategias de implantación en la parcela para evitar los problemas de calidad del aire interior.

Parcela

Dentro de la parcela, deberíamos intentar que los accesos, la circulación y el aparcamiento de vehículos estén lo más lejos posible del edificio. También deberíamos plantearnos prohibir que se fume en las proximidades del edificio, especialmente cerca de las tomas de aire, de los accesos y las entradas, y a ser posible en toda la parcela. Habría que intentar reducir o suprimir cualquier fuente de contaminación que se encuentre en la parcela, como maquinaria de combustión, químicos u hogueras, y deberíamos prestar especial atención a gestionar la evacuación de agua presente en la parcela. Muchos de los problemas más serios que tienen que ver con la calidad del aire se deben a la humedad, cuya fuente suele localizarse en las aguas superficiales que se abren camino hasta el edificio, especialmente si este tiene sótano.

Forma del edificio

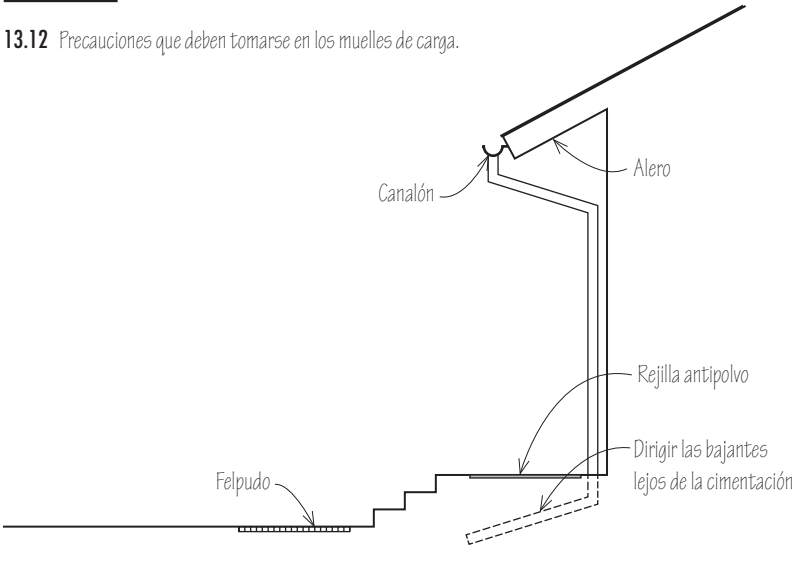
En relación con la forma del edificio, ya se ha realizado parte del trabajo en las fases anteriores del proceso de proyecto de afuera adentro, en especial en decisiones como proyectar un edificio con la menor extensión en planta y suprimir los techos altos, ya que reducen significativamente las necesidades de ventilación. Por ejemplo, en edificios residenciales, incluyendo bloques de viviendas, durante muchos años se ha requerido una tasa de ventilación de 0,35 renovaciones por hora, tasa que puede reducirse significativamente gracias a estas decisiones de proyecto. En este sentido, la tasa de ventilación requerida para una vivienda media en Estados Unidos, con 240 m^2 de superficie y techos de 3 m de altura, implica un volumen de aire de 4,25 m^3/min, mientras que la ventilación de una vivienda más modesta, típica de la década de 1970, de apenas 155 m^2 de superficie y 2,45 m de altura, requiere una ventilación de solo 2,15 m^3/min, ahorrando casi el 50 % de la energía necesaria para transportar y acondicionar el aire de ventilación. En muchas normativas, la ventilación de la cocina también se mide en renovaciones por hora, de modo que se asocia a la superficie y a la altura libre de la propia cocina.



13.12 Precauciones que deben tomarse en los muelles de carga.

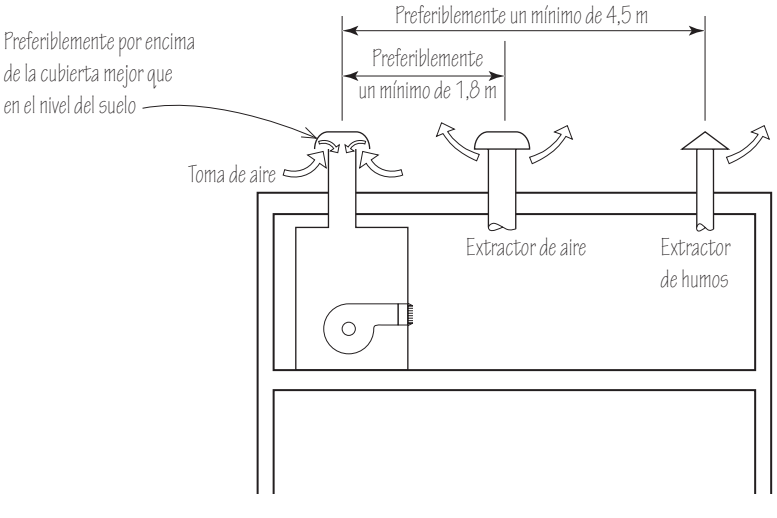
Entorno del edificio

Cuando llegamos a los elementos situados en el entorno inmediato del edificio, los muelles de carga suponen un riesgo, por lo que deberían situarse a una distancia significativa de cualquier toma de aire. Además, deberían tener su propio sistema de extracción de humos para evitar que el aire contaminado entre en el edificio debido al efecto chimenea. Finalmente, debería situarse una capa de protección, como un vestíbulo estanco, entre el muelle de carga y el edificio.



13.13 Elementos en el entorno del edificio para evitar problemas de calidad del aire interior.

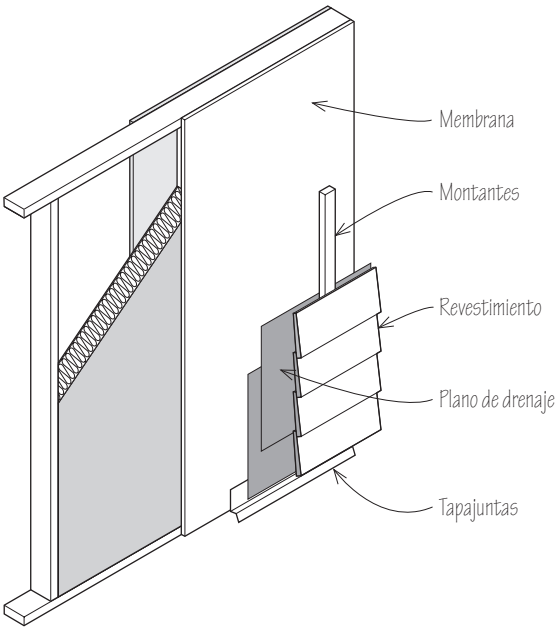
Para mantener el polvo y otras partículas fuera del edificio, es conveniente que los accesos del edificio tengan rejillas o felpudos que reduzcan la cantidad de polvo y suciedad que entra en él por el calzado de los usuarios. De nuevo, la gestión del agua resulta crítica en este aspecto, y debe asegurarse un uso adecuado de los canalones. Estos elementos recogen el agua de lluvia de la cubierta y deberían alejarla lo más posible del edificio, a no ser que vaya a ser recogida para su aprovechamiento. Los aleros también pueden servir para proteger el edificio y evitar que entre el agua de lluvia, origen de muchos problemas de humedad en los ambientes interiores.



13.14 Localización preferible para las tomas de ventilación.

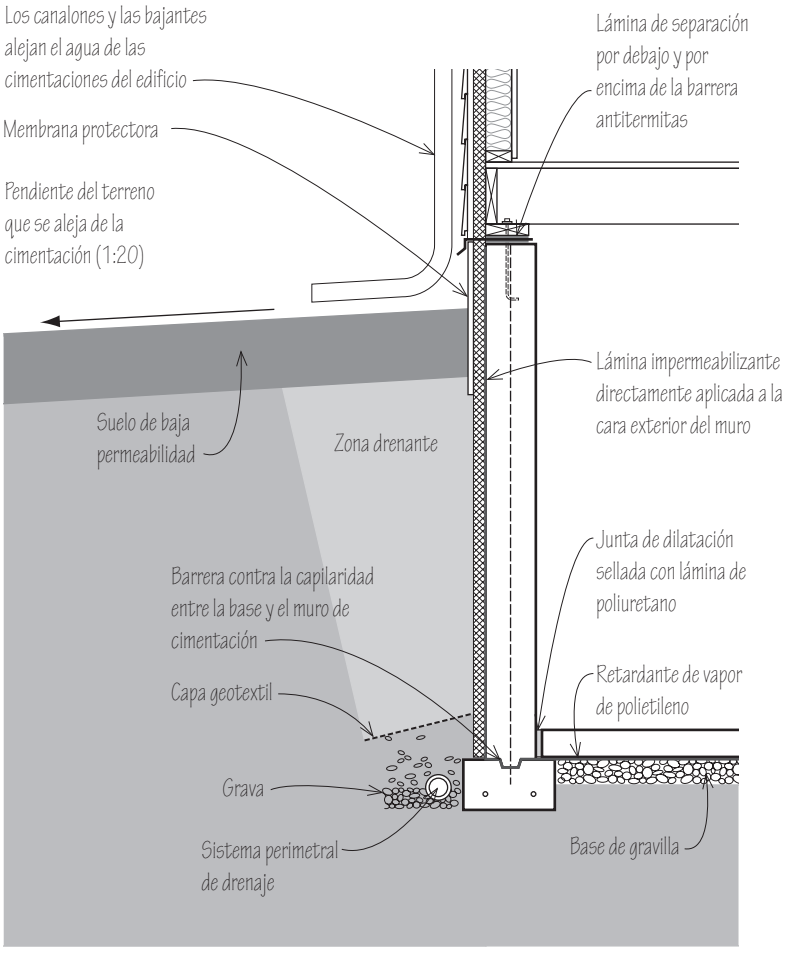
Envolvente exterior

El aire exterior debería recogerse tan lejos del suelo como sea posible, preferiblemente a nivel de la cubierta, donde el aire está más limpio y alejado de las diversas fuentes de contaminación, como los automóviles, los cortacéspedes y otros pequeños aparatos a motor o el humo de tabaco. Las tomas de aire deberían también estar alejadas de los extractores del edificio y de las salidas de ventilación y, mucho más importante, de chimeneas y otras salidas de humos.



13.15 Reforzar la envolvente exterior contra la entrada de agua.

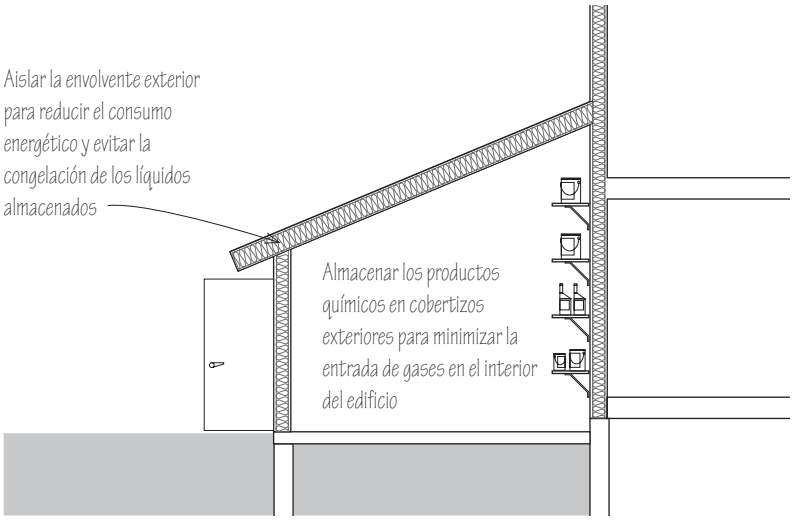
En la gestión del agua, los esfuerzos para reforzar la envolvente exterior frente a la intrusión de agua sigue siendo el tema central. En este sentido, son de ayuda las capas robustas de protección. La primera capa es el revestimiento exterior, bajo el que debe haber un plano de drenaje perfectamente definido y continuo que desaloje el agua que haya podido entrar en el revestimiento. Este plano de drenaje puede construirse con cartón aislante, placas de aislamiento recubiertas o membranas de protección con su correspondiente sellado. Los tapajuntas también forman parte del plano de drenaje y protegen de las discontinuidades en ventanas, puertas y juntas de muros. Las funciones de evitar la entrada de agua y las filtraciones de aire normalmente son compatibles, en la medida en que los muros y las cubiertas resistentes a la filtración tienen menos probabilidad de sufrir entradas de agua.



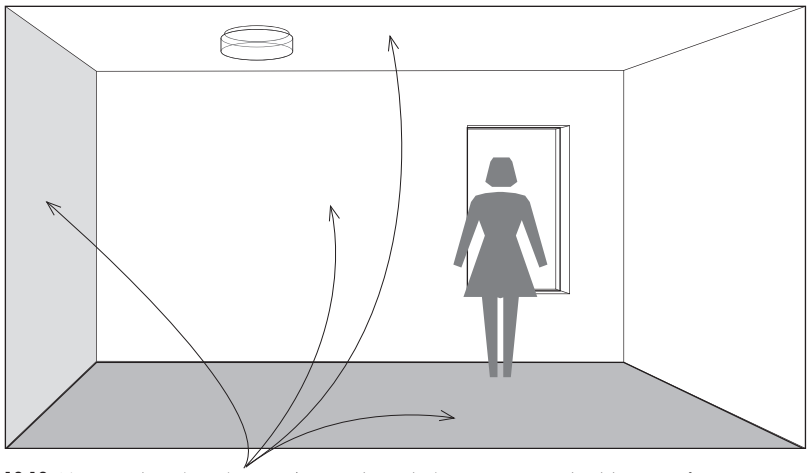
13.16 Detalles de la barrera de vapor en el muro de cimentación.

Por debajo de la rasante, las barreras de vapor tienen una importancia crucial. Cada tramo de estas barreras de vapor debe contar con el correspondiente solape y sellado para evitar las discontinuidades. La barrera de vapor debería tener un grosor mínimo de 0,25 mm. Es imprescindible evitar cualquier perforación de la barrera de vapor, ya que incluso rupturas mínimas permiten la entrada de la humedad. Tanto los bordes de las losas como las juntas de dilatación deben contar con su correspondiente sellado. La resistencia a la entrada de humedad de la cimentación también supone una resistencia frente a la entrada del radón, un gas inodoro y cancerígeno que se encuentra en el terreno.

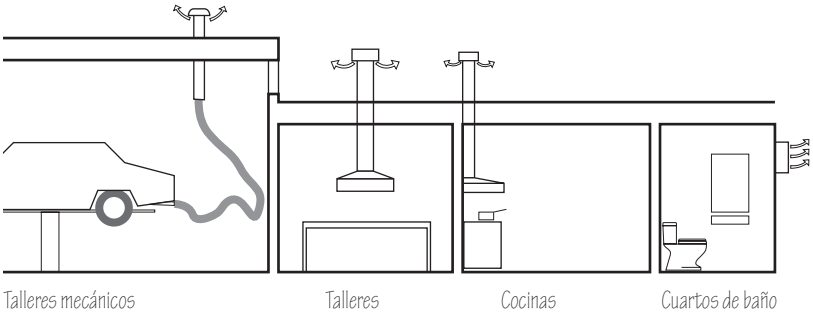
También es preciso reducir las discontinuidades que se producen en la envolvente térmica por la necesidad de ventilación. Una solución consiste en utilizar compuertas automáticas motorizadas que eviten el flujo de aire en cualquiera de los sentidos cuando no sea necesaria la ventilación, en lugar de compuertas por gravedad, que solo evitan el flujo en uno de los sentidos. También ayuda el sellado estanco, o las compuertas con tapa, en lugar de aquellas sin ella, tan comunes en muchos extractores.



13.17 Reforzar las capas de protección con cobertizos adosados.



13.18 Minimizar el uso de productos químicos en los acabados interiores y en el mobiliario para favorecer una mejor calidad del aire.



13.19 Utilizar la salida de ventilación para retener los gases en la fuente de contaminación.

Espacios sin acondicionar

Los garajes adosados suponen un riesgo para la calidad del aire interior, pues los gases de los coches pueden penetrar en el edificio. Como ya se indicó anteriormente, los garajes adosados también son una oportunidad para convertirse en espacios sin acondicionar que sirvan como una capa adicional de protección para reducir las pérdidas y las ganancias térmicas. Si se está pensando en un garaje adosado, resulta conveniente proyectarlo para que sea una capa robusta de protección, no solo en términos de aislamiento térmico, sino también en cuanto al sellado frente a filtraciones, para evitar la entrada de gases contaminantes en el edificio.

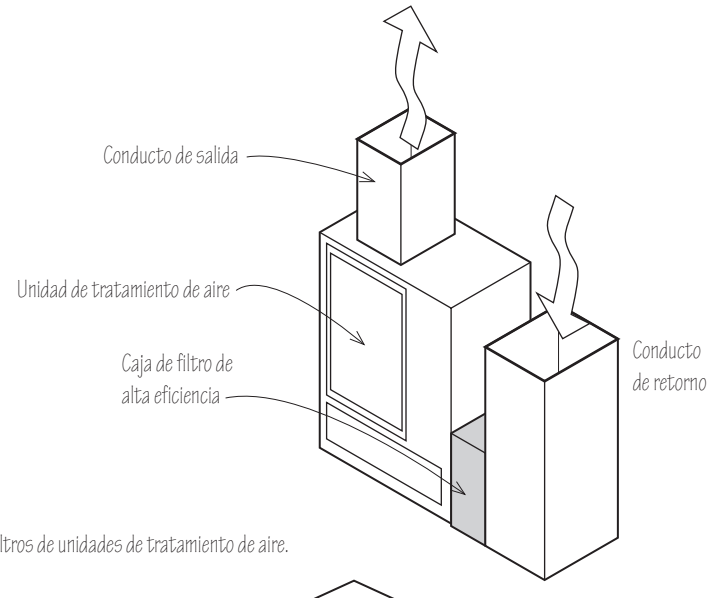
Suprimir los sótanos también puede ayudar a reducir considerablemente los problemas de humedad. Habría que plantearse la opción de trasladar el almacenaje de productos químicos —como productos de limpieza, plaguicidas o pinturas— a un cobertizo adosado, en lugar de guardarlas en espacios sin acondicionar como desvanes o sótanos. Un cobertizo adosado bien construido, con capas robustas de protección, tanto del lado del edificio como del lado del exterior, no sufrirá el riesgo de congelación de los líquidos almacenados en la mayor parte de los climas. En regiones más frías, la superficie de separación con el ambiente interior puede dejarse sin aislar (aunque sellado frente a filtraciones) para evitar la congelación, pero, en este caso, debe aislarse la envolvente exterior. Las capas robustas de protección también evitan la entrada de humos y gases contaminantes en el edificio, gracias a su sellado contra las filtraciones de aire.

Envolvente interior

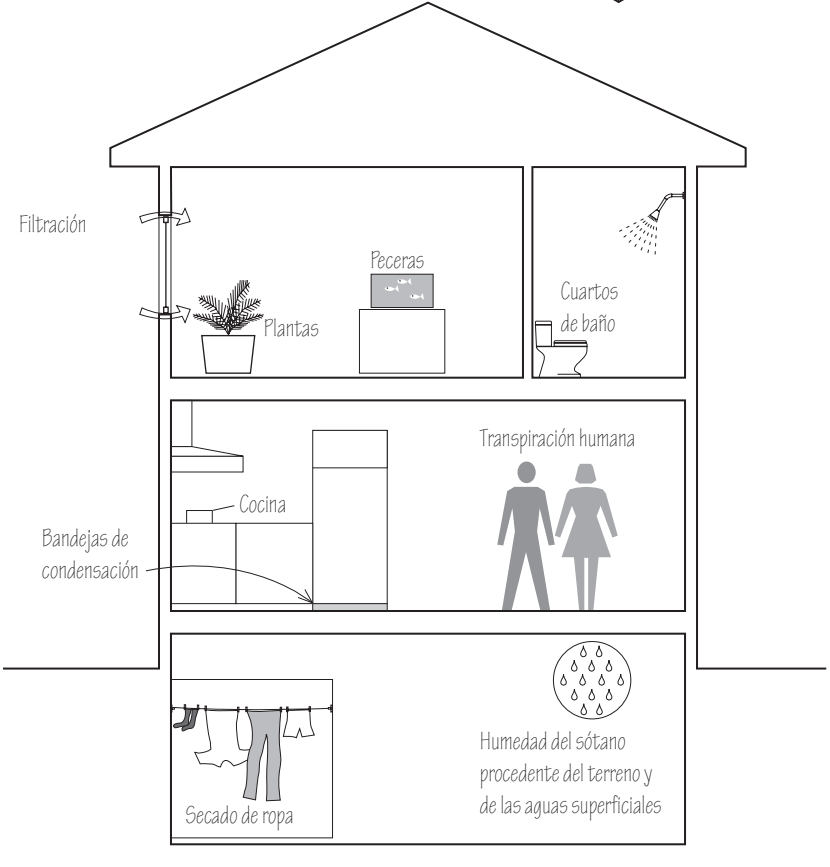
El principio de reducción en la fuente también puede aplicarse al uso de químicos en la construcción, específicamente en los acabados de la envolvente interior, como pinturas, alfombras y maderas. Esta cuestión se tratará con más detalle en el capítulo 16: Materiales.

Ganancias internas

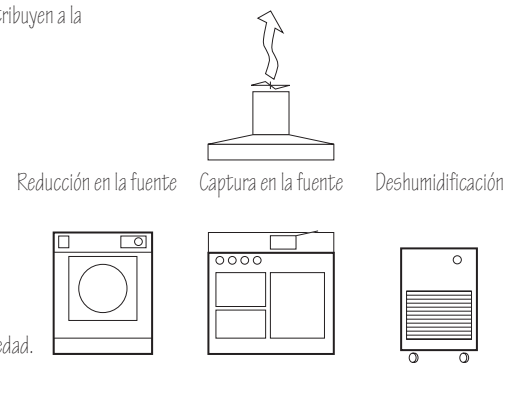
Aunque ya se ha hablado de las ganancias internas en el contexto de las ganancias de energía procedentes de la iluminación y de otros aparatos, el concepto de las ganancias interiores también puede aplicarse a los contaminantes aéreos. Se pueden elegir los acabados para minimizar el uso de productos químicos durante la construcción y en el mantenimiento. De igual modo, puede prohibirse fumar tanto dentro como en el entorno inmediato del edificio. Además de la reducción en la fuente, puede pensarse en retener los gases, como sucede con las campanas extractoras de las cocinas que extraen los humos del edificio en lugar de hacerlos recircular. Los extractores de los cuartos de baño son otra forma de retener los gases en la fuente, que pueden extenderse a otras fuentes de contaminantes, como talleres, zonas de trabajo donde se utilicen pegamentos y otras sustancias químicas, talleres mecánicos o almacenes de productos químicos.



13.20 Filtros de unidades de tratamiento de aire.



13.21 Fuentes de humedad que contribuyen a la humidificación del ambiente interior.



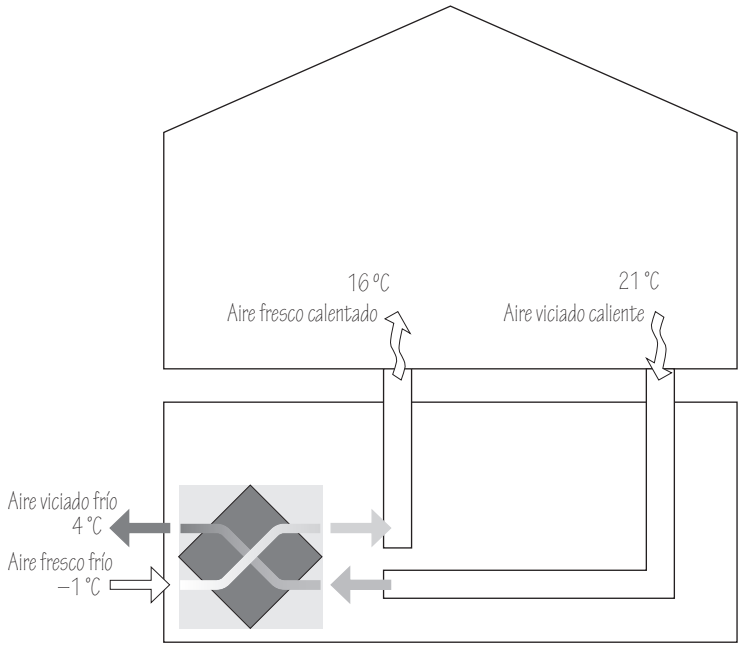
13.22 Medios para controlar la humedad.

Además del control en la fuente, también pueden utilizarse filtros. En lugar de utilizar filtros de baja eficiencia en las unidades de tratamiento de aire, debería plantearse el uso de filtros de partículas de alta eficiencia o filtros químicos. Los filtros de las unidades de tratamiento deberían encajar con precisión, evitando las fugas que reducen su eficacia. Las carcasas de los filtros también deberían estar bien selladas para evitar las fugas.

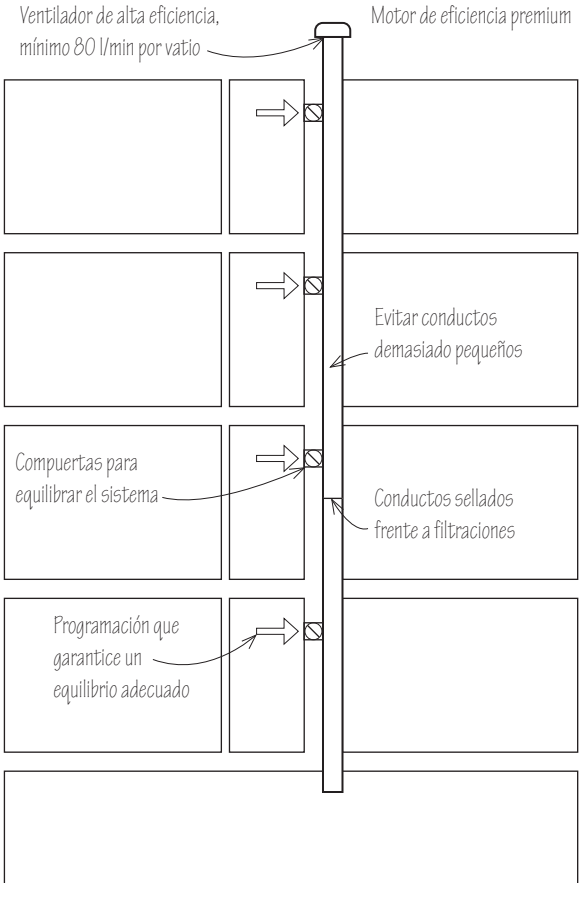
Una forma de ganancia interior que merece una especial atención es la humedad. La humedad es la principal causa de muchos problemas de calidad del aire interior, daña los materiales y favorece el crecimiento de moho. En los interiores, la humedad proviene de numerosas fuentes: la cocina, la transpiración humana, las plantas, las duchas y los baños, el secado de la ropa, el agua de piscinas y acuarios, y las fugas de tuberías. Como se ha mencionado anteriormente, la humedad también puede proceder del exterior, como resultado de la entrada de agua de lluvia o superficial a través de los muros y la cimentación. La humedad también puede ser resultado de filtraciones cuando la humedad del exterior es superior a la del interior, como suele suceder en verano.

El control de la humedad interior es esencial para conseguir una buena calidad del aire interior. La humedad relativa debería mantenerse preferiblemente por debajo del 60 %, para mantener un nivel de seguridad por debajo del 70 %, a partir del cual se produce el crecimiento de moho.

Como en otros casos, la reducción en la fuente es la forma más eficaz de reducir la humedad interior. Esto puede conseguirse secando la ropa en el exterior o con secadoras bien ventiladas, utilizando lavadoras de alta eficiencia que centrifuguen más la ropa, alcachofas de ducha de bajo caudal y proyectando pensando en evitar las fugas de agua. En el caso de equipos de aire acondicionado ubicados en el interior, las bandejas de condensación pueden obstruirse y derramarse. Para dar respuesta a este problema, debería plantearse la instalación de una segunda bandeja de condensación bajo el aparato, equipada con un sistema de alarma para alertar cuando haya riesgo de desbordamiento. También puede capturarse parte de la humedad mediante los sistemas de extracción de cocinas y baños. Finalmente la deshumidificación resulta extremadamente eficaz como red de seguridad, y puede llevarse a cabo no solo con los tradicionales deshumidificadores, sino también mediante el propio aire acondicionado, pues algunos modelos vienen equipados con un control específico de la humedad, independiente del de temperatura.



13.23 Ventilación de recuperación de calor.

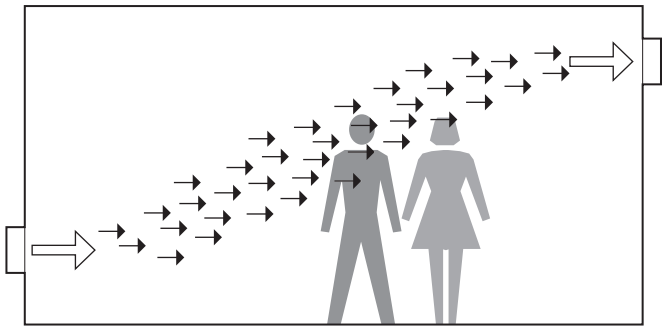


13.24 Buenas prácticas de ventilación.

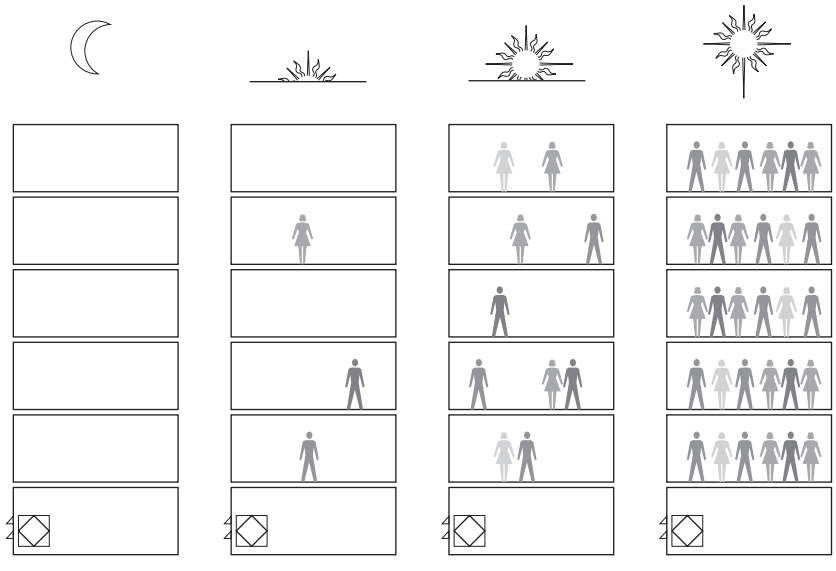
Ventilación

Una vez reducidos y evitados muchos de los contaminantes interiores potenciales, la atención puede dirigirse hacia el sistema de ventilación. Puede plantearse la posibilidad de utilizar ventilación con recuperación de calor, que reduce la necesidad de calentar y enfriar el aire de ventilación y también algunos de los desafíos del control de la temperatura. Este enfoque combina una ventilación auténtica (introducción de aire del exterior) con captura en la fuente (como la extracción en baños) en un único sistema, siempre que el aire extraído no esté tan sucio que bloquee el intercambiador de calor, como es el caso con la extracción en cocinas. En edificios con aire acondicionado puede recurrirse a una forma de recuperación de calor que se denomina "ventilación con recuperación de energía", que transfiere tanto calor como humedad. Este sistema mantiene la humedad fuera del edificio cuando no se necesita, en verano, y dentro del edificio cuando sí es necesaria, en invierno, reduciendo aún más el consumo energético. Los beneficios del control de humedad que aporta la ventilación con recuperación de energía solo pueden obtenerse en el caso de que el edificio disponga de aire acondicionado; si el edificio no cuenta con él, la ventilación con recuperación de energía corre el riesgo de mantener la humedad indeseada en el interior durante el verano. Los sistemas de ventilación con recuperación de calor o de energía deben contar con sus propios equipos, así como todo el circuito de conductos para el aire acondicionado, dentro de la envolvente térmica, no fuera. Si parte de los conductos de los equipos se instalasen sobre la cubierta, se perdería energía hacia el exterior por conducción y por fugas de aire. La recuperación de calor encaja perfectamente con el proyecto de afuera adentro, calentando o enfriando el aire del exterior antes de que entre en el edificio y reduciendo la carga del sistema de climatización.

Los sistemas de ventilación tienen diversas eficiencias energéticas. En aquellos sistemas cubiertos por el programa ENERGY STAR, normalmente hasta 15.150 l/min, se especifican una serie de requisitos para asegurar una mínima eficiencia para el sistema del ventilador y el motor, y también un bajo nivel de ruido. Para los extractores de mayor caudal, la opciones incluyen motores de eficiencia premium, un mínimo de eficiencia para el sistema del ventilador y el motor, como el mínimo requerido por ENERGY STAR, que es de 80 l/min por vatio, y tener en cuenta los motores de velocidad variable, con tasa de ventilación también variable. Un dimensionado adecuado de los conductos y las rejillas también permite reducir la potencia del ventilador, siempre que este y el motor no estén sobredimensionados. Equilibrar y sellar el sistema también puede contribuir a mejorar la eficiencia global, permitiendo que un motor de menor potencia genere el mismo nivel de ventilación.



13.25 Conseguir una ventilación eficaz mediante la correcta localización de la entrada y salida de aire.



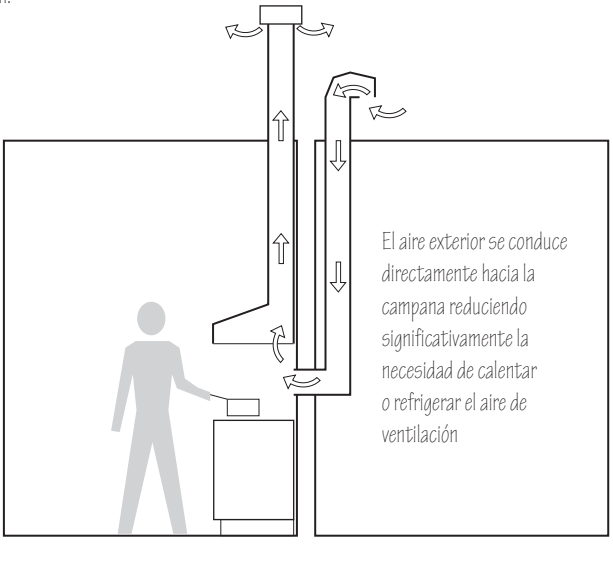
De noche/desocupado
Ventiladores apagados/compuertas cerradas

Primera hora de la mañana/baja ocupación
Ventiladores aún apagados/compuertas cerradas

Media mañana/ocupación parcial
Ventiladores a baja velocidad/compuertas abiertas

Mediodía/máxima ocupación
Ventiladores a alta velocidad/compuertas abiertas

13.26 Control de la ventilación.



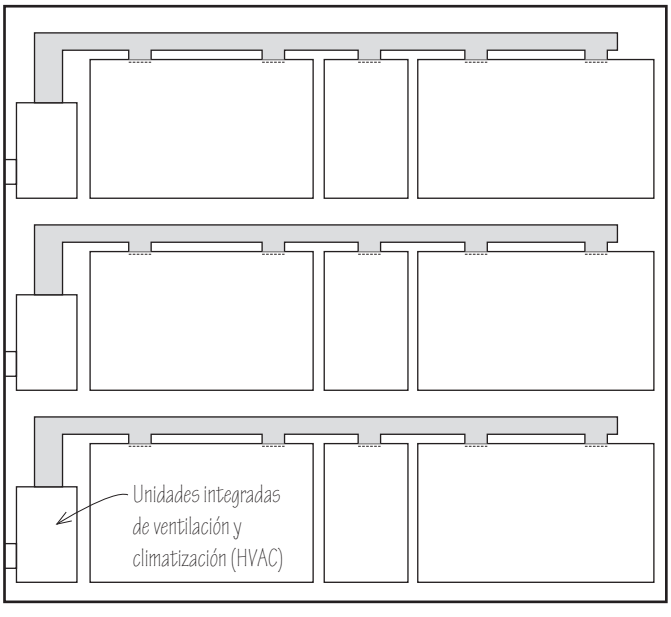
13.27 Ventilación por campana extractora.

Debería prestarse atención a los lugares donde entra y donde se extrae el aire de ventilación. El aire exterior debería entrar en lugares sin obstrucciones y donde se minimice el tema de la temperatura. El aire de ventilación debe suministrarse de modo que asegure cubrir todo el volumen del espacio y que llegue a la zona de respiración de los usuarios antes de ser extraído. Para alcanzar un alto grado de eficacia, la ventilación debería proyectarse para que el aire entre por el techo de un espacio y lo abandone cerca del suelo, o viceversa, con las entradas y salidas situadas en lados opuestos de la estancia.

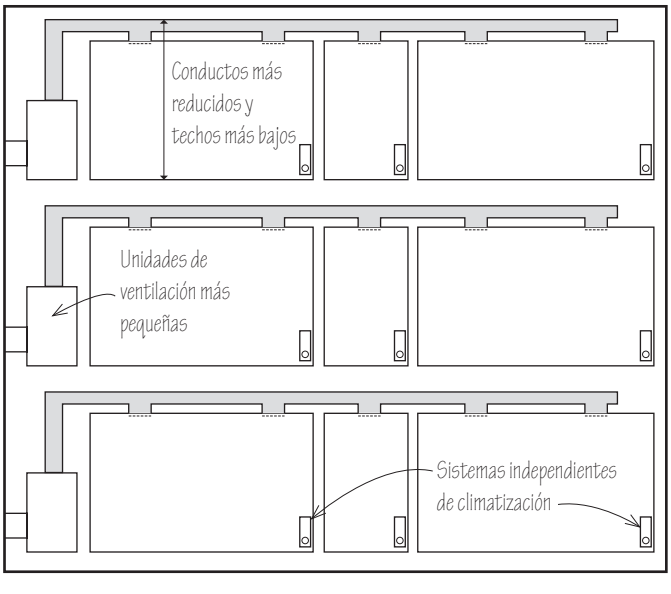
Los controles de ventilación también pueden servir para ahorrar energía. Conviene plantear la ventilación como un elemento independiente de la climatización, de modo que pueda controlarse autónomamente y calentarlo o enfriarlo según convenga; además, de esta manera también podría controlarse el nivel de ventilación en función de la intensidad de uso del espacio, incrementándolo en los momentos de máxima actividad y reduciéndolo, o incluso desconectándolo. Con todo ello podría llegar a plantearse el uso de ventilación a demanda, controlada por temporizador, el uso de varios ventiladores o incluso el uso de las ventanas para ventilar.

La supervisión de los sistemas de ventilación es importante, y la ventilación debe medirse mientras el edificio está en construcción. Sobre una base flexible, deberíamos plantear algún tipo de medición, como medidores de CO_2 en el muro junto al control de temperatura, o sensores de CO_2 monitorizados automáticamente con alarmas u otro tipo de indicadores para alertar de los fallos de la ventilación.

Para los aparatos especializados en extracción, como las campanas extractoras de cocinas y laboratorios, o comprensores de refrigeración, puede conseguirse un ahorro de energía proporcionando aire del exterior directamente al aparato extractor. Esto permite que se lleve a cabo la extracción sin necesidad de climatizar el aire de reemplazo. En todo caso, hay que tener cuidado de que esta entrada directa de aire del exterior no genere problemas de malestar. Por ejemplo, el aire puede llegar a la campana de una cocina a través de un conducto situado detrás de la misma, y salir por la campana arrastrando los contaminantes de la cocina sin generar malestar alguno en las personas que están trabajando alrededor.



Enfoque tradicional
Ventilación integrada en los sistemas de climatización.



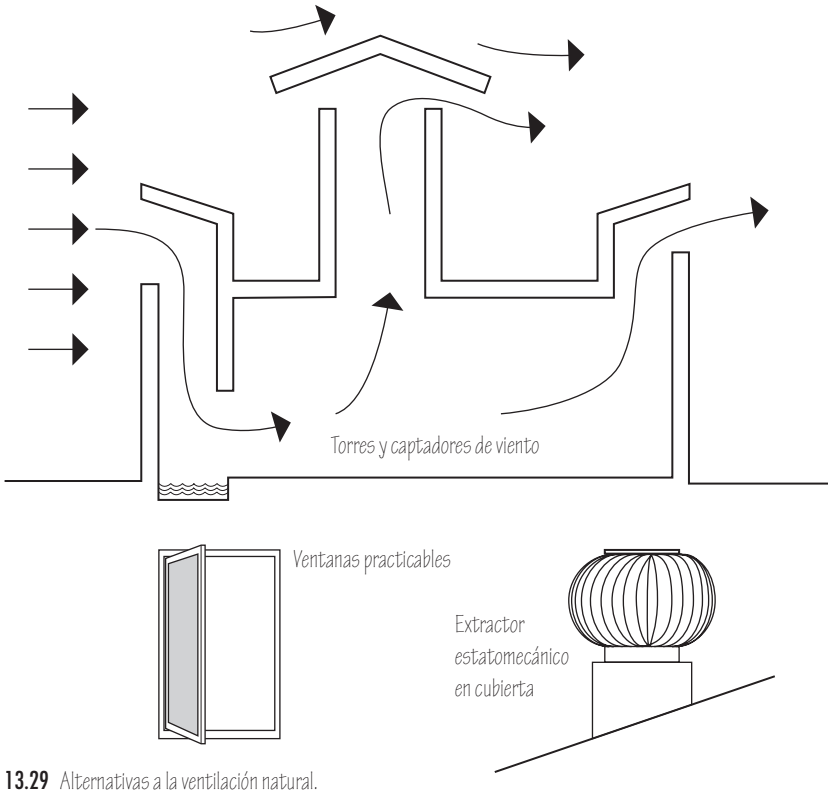
Enfoque de ventilación separada
El sistema de ventilación con aire del exterior es independiente de los sistemas de climatización.

13.28 Separar el sistema de ventilación de los sistemas de climatización.

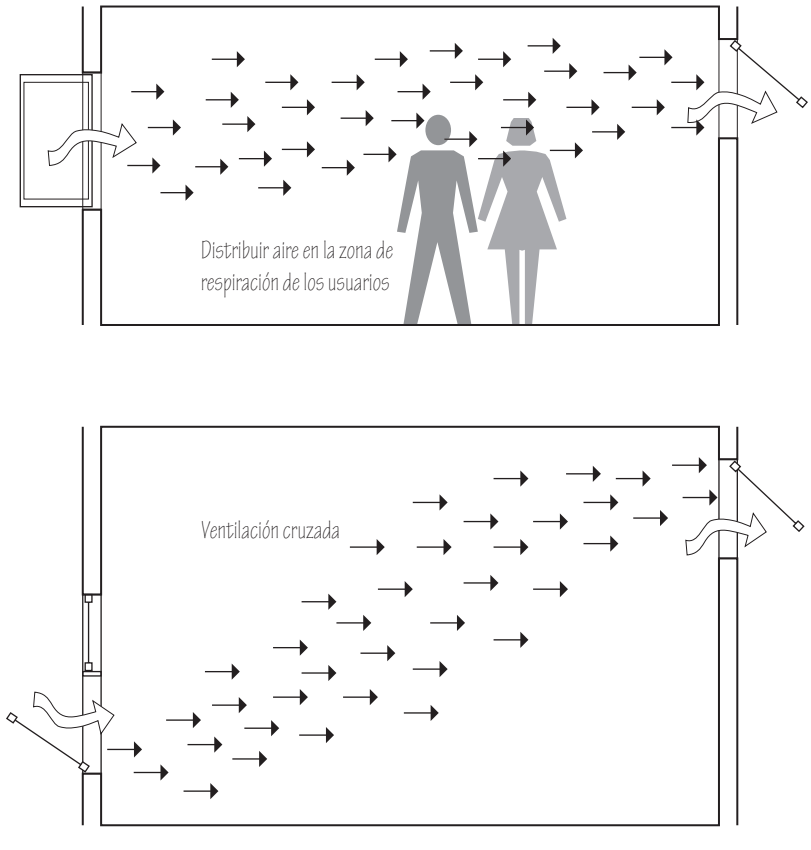
Una tendencia actual son los sistemas de ventilación independientes de los de climatización. Históricamente, los edificios comerciales contaban con un sistema de ventilación integrado en el de climatización, que puede verse en las cubiertas de los edificios comerciales de una planta. Consisten en unas cajas que son unidades de climatización y unos pequeños apéndices triangulares que protegen las tomas de aire contra la lluvia. En edificios comerciales de mayores dimensiones, la toma de aire es una gran rejilla de pared que llega hasta las unidades centrales de climatización. Sin embargo, por diversos motivos, en edificios ecológicos es deseable separar la ventilación de la climatización:

- Reduce la potencia del ventilador. El caudal de ventilación suele ser varias veces menor que el de climatización. Depender de un gran ventilador central para mover una pequeña cantidad de aire supone utilizar más electricidad de la necesaria en los períodos en que no se necesita ningún tipo de climatización.
- Permite un control más ajustado del caudal de ventilación, independiente del de climatización.
- Permite un mayor ajuste del grado de climatización del aire de ventilación.
- Permite que la presión dentro del edificio sea más fácil de equilibrar. La típica pequeña unidad de cubierta, por ejemplo, impulsa el aire de ventilación sin extraer aire alguno, de modo que presuriza el edificio y fuerza la exfiltración creando peligros como la condensación en las juntas de los muros.
- Requiere conductos más pequeños, por lo que puede reducirse la altura de techos.

La ventilación natural también es una posibilidad, pues aprovecha las aberturas de los edificios, como las ventanas practicables, los ventiladores de ventana, las pequeñas aberturas en los muros bajo las ventanas, las torres o los captadores de viento que potencian el efecto chimenea, para general un flujo de aire inducido por las corrientes del exterior. Pueden utilizarse ventiladores de turbina sobre la cubierta para inducir la salida de aire del interior del edificio, pues la entrada se produce de forma natural a través de los huecos del edificio, especialmente en las plantas inferiores. Los usuarios pueden controlar la ventilación natural y, como en el caso de las ventanas practicables, quedar sin control mediante aberturas fijas, o puede potencialmente automatizarse.



13.29 Alternativas a la ventilación natural.



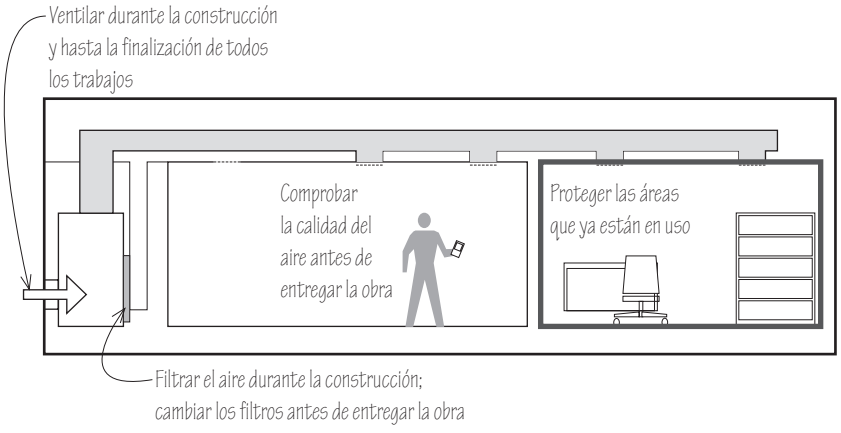
13.30 Ventilación natural eficaz.

El estándar BREEAM plantea un enfoque para la ventilación natural que ha servido de referencia y se basa en dos niveles de control de la ventilación natural: un nivel superior de eliminación de los olores temporales y uno inferior de ventilación permanente. Cuando es viable, la ventilación cruzada, que debe disponer de abertura a ambos lados de un espacio, es una estrategia importante. Para conseguir una ventilación a partir de corrientes naturales, debe prestarse atención a las vías que atraviesan los flujos de aire. Para que resulte eficaz, el aire fresco debe llegar a las zonas de respiración de los usuarios.

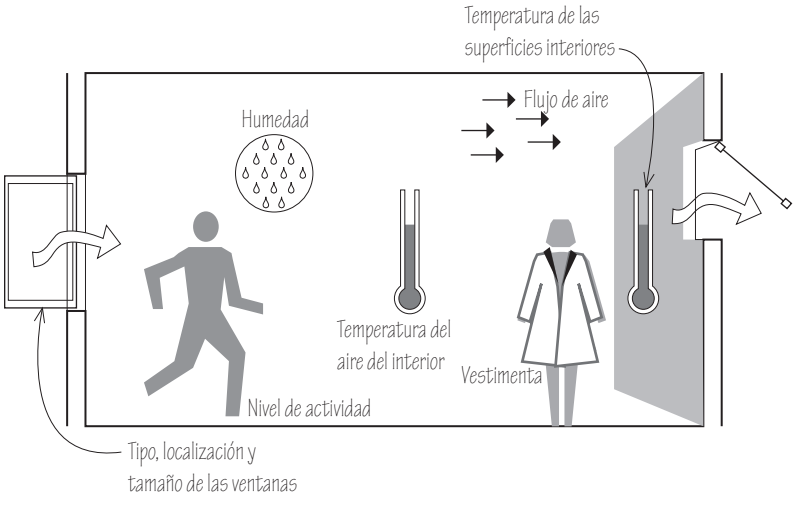
Cabe señalar que la ventilación natural, que necesita vías para que el aire discurra por el edificio, entra en conflicto con las ventajas de la compartimentación. Por ello, deberían evaluarse los beneficios relativos de cada enfoque para buscar un equilibrio. La ventilación cruzada de una estancia genera menos conflicto con la compartimentación que una ventilación natural que pretenda atravesar todo el edificio.

Las fuerzas que generan la ventilación natural son el viento y la diferencia de presión, ninguna de las cuales puede ser controlada adecuadamente, de modo que la ventilación natural siempre tiene un alto grado de impredecible. Entre sus ventajas se cuentan el ahorro energético de los ventiladores y, en el caso de las ventanas, el control por parte de los usuarios; entre las desventajas, el poco control sobre la ventilación, que puede tener como resultado poca ventilación y un aire interior de mala calidad, o demasiada ventilación y un exceso de consumo energético para calentar o enfriar el aire de ventilación. La ventilación natural se utiliza en ocasiones para controlar la temperatura, aunque su principal función es mejorar la calidad del aire interior al diluir los contaminantes del aire.

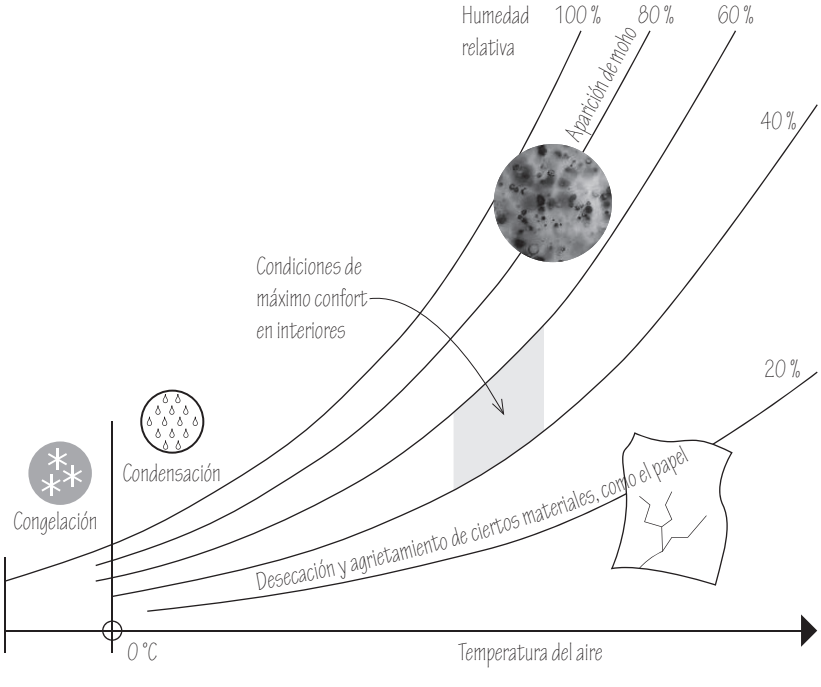
¿Qué efecto tienen las mejoras de la ventilación en los costes de construcción? Una menor ventilación, resultado de reducir el tamaño de los edificios para un uso dado, implica un menor coste de construcción. Evitar las fuentes de contaminación no suele conllevar ningún tipo de coste ni de ahorro. Asegurar las entradas de ventilación del edificio para evitar las fugas de aire suele suponer un sobrecoste. La reducción de las fuentes de contaminantes mediante la utilización de pinturas, acabados y alfombras de baja toxicidad suele suponer un sobrecoste modesto. La ventilación con recuperación de calor es una partida costosa de los costes de construcción, y debería estudiarse al analizar los costes en todo el ciclo de vida del equipo. Generalmente, será rentable en situaciones donde se requiera ventilación durante largos períodos, pero menos atractivo en casos donde solo se necesite unas pocas horas al día. La separación de los sistemas de ventilación y climatización normalmente supondrá unos mayores costes, debido a la necesidad de dos circuitos de distribución separados. Los controles de ventilación, como los sensores de CO_2, suelen suponer unos sobrecostes modestos.



13.31 Medios para evitar la contaminación durante la construcción.



13.32 Factores que afectan al confort térmico.



13.33 Efectos de la humedad en el confort térmico.

Calidad del ambiente interior durante la construcción y antes de la entrega de la obra

Como un tema asociado al esfuerzo por conseguir un ambiente interior de buena calidad a largo plazo, también es necesario evitar la contaminación del edificio y de los distintos sistemas que lo conforman durante el proceso de construcción. Para ello, se pueden tomar medidas como ventilar durante la obra, proteger las unidades de tratamiento de aire y los conductos del polvo en suspensión, proteger las áreas del edificio en uso durante una obra de rehabilitación o ampliación, y asegurar que los olores y las emisiones de los acabados se han disipado adecuadamente antes de ocupar el edificio, para lo que habría que hacer comprobaciones de calidad del aire interior antes de entregar la obra.

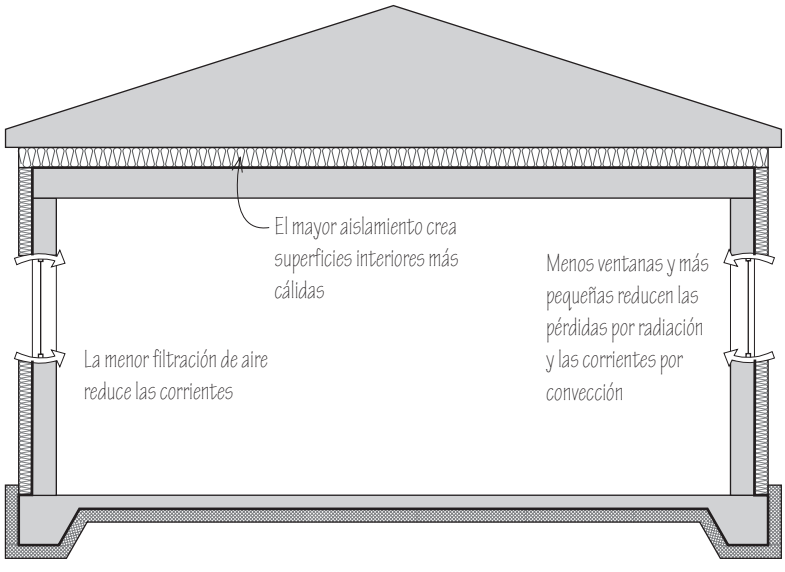
Confort térmico

Antecedentes

Históricamente, el factor que más ha influido en el confort ha sido la temperatura del aire interior. Con el tiempo, se ha empezado a entender el papel de otros factores adicionales, como la humedad, el movimiento del aire, la ropa, el grado de actividad, la temperatura de las superficies del entorno, como paredes y suelos, la superficie de las ventanas por la que se producen las pérdidas por radiación, y otros factores físicos. Más recientemente, se ha reconocido el papel de la temperatura del aire exterior, así como el de las preferencias, sensibilidades y respuestas psicológicas de las personas ante el entorno construido.

Los efectos de la incomodidad pueden ser la insatisfacción, la baja productividad y el estrés sobre el sistema inmunológico de las personas. Las elevadas temperaturas del aire pueden dar lugar a la percepción de una baja calidad del aire. Los efectos extremos de un control térmico inadecuado serían la enfermedad, los golpes de calor, la hipotermia e incluso la muerte.

Otros efectos se relacionan con un control inadecuado de la humedad, con un impacto no solo sobre el confort térmico, sino también sobre los materiales del edificio. Niveles altos de humedad causan problemas como la aparición de moho, la expansión de la madera de elementos constructivos como ventanas y puertas, o la condensación sobre superficies frías. Por otro lado, unos niveles demasiado bajos de humedad producen la desecación y el agrietamiento de la piel humana y de materiales como la madera, el papel o las películas. Las fluctuaciones de humedad pueden causar estrés y daños en los materiales, como grietas y deformaciones.



13.34 Ventajas de los edificios ecológicos en términos de confort térmico.

Los edificios ecológicos normalmente tienen menos problemas de confort, incluso antes de aplicar medidas específicas sobre esta cuestión. El mayor aislamiento de los muros y de la cubierta moderan las temperaturas de las caras interiores de esos elementos durante el invierno. La menor filtración de aire reduce las corrientes y disminuye el impacto de la baja humedad del exterior en invierno y la excesiva humedad en verano, con la prevención de que la baja filtración puede aumentar los riesgos de acumulación de humedad interior en ciertas circunstancias. Menos ventanas y más pequeñas reducen las pérdidas por radiación del cuerpo humano, al tiempo que limitan las corrientes convectivas. Los sistemas de ventilación con recuperación de energía mantienen la humedad allí donde debe estar: en el interior en invierno y en el exterior en verano.

La estratificación de la temperatura también puede reducirse si se evitan los techos abovedados y los suelos por debajo de la rasante, y si los edificios están bien compartimentados.

A pesar de las buenas bases que ya proporciona el proyecto ecológico, aún hay trabajo pendiente para asegurar un confort térmico adecuado.

Medir el confort

El confort en el interior se mide principalmente a través de la temperatura del aire y, de forma secundaria, mediante la humedad. Pueden incorporarse variables como la velocidad del aire, la temperatura radiante, el tipo y cantidad de vestimenta, la presión del aire o la tasa metabólica para obtener diagnósticos más precisos sobre la probabilidad de que un conjunto específico de usuarios encontrarán confortable un determinado espacio.

Las encuestas entre los usuarios son una alternativa para determinar si un edificio proporciona un adecuado confort térmico. La mayor parte de las normas, estándares y guías definen el 80 % de usuarios satisfechos como el umbral mínimo para que un edificio pueda ser considerado confortable.

Investigaciones recientes han demostrado que los usuarios de edificios con ventanas practicables, y que no tienen acceso al aire acondicionado, pueden mostrar tolerancia a un rango más amplio de temperaturas en el que se consideran cómodos. Estas personas tienen una capacidad para adaptarse a las condiciones climáticas y hacer ajustes, como abrir o cerrar las ventanas, o cambiar su vestimenta, que resulta menos común en el caso de usuarios de edificios cerrados con sistemas centralizados de aire acondicionado. Estos descubrimientos han llevado a un cambio en el enfoque de la medición del confort térmico en edificios ventilados de forma natural.

13.35 Las ventanas practicables permiten que los usuarios ajusten y adapten mejor las condiciones climáticas locales.

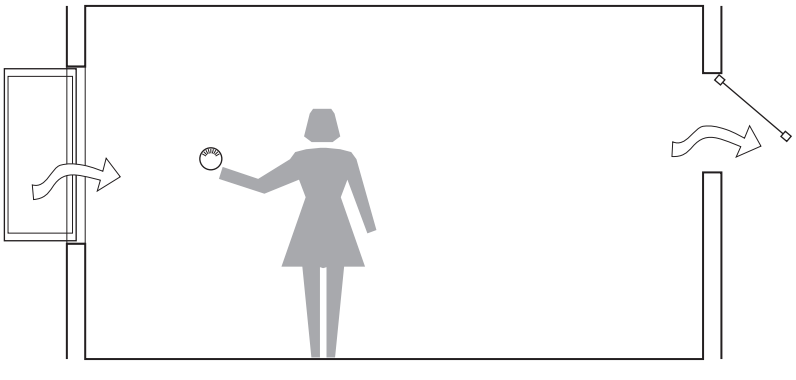
Objetivos/requisitos

El objetivo más habitual para alcanzar el confort térmico es cumplir con el Estándar 55 de ASHRAE (Condiciones térmicas ambientales para el confort humano) a través del proyecto documentado, de las medidas de verificación, o de ambas. Este estándar establece una zona de confort basada principalmente en la combinación de temperatura y humedad, dentro de la cual deben situarse las condiciones del aire interior. El cumplimiento del Estándar 55 de ASHRAE se establece mediante el uso de un diagrama psicométrico.

Además, como se ha indicado anteriormente, puede utilizarse una encuesta entre los usuarios para determinar la satisfacción del confort térmico.

Al establecer los objetivos de un proyecto, y antes de que comience su desarrollo, puede resultar útil ir más allá del mero cumplimiento de una norma como la ASHRAE 55. Preguntas como las siguientes puede ayudar mucho a la hora de proporcionar confort térmico a los usuarios de un edificio:

- ¿Qué espacios contarán con aire acondicionado?
- ¿Qué espacios contarán con calefacción?
- ¿Qué espacios contarán con su propio control de temperatura?



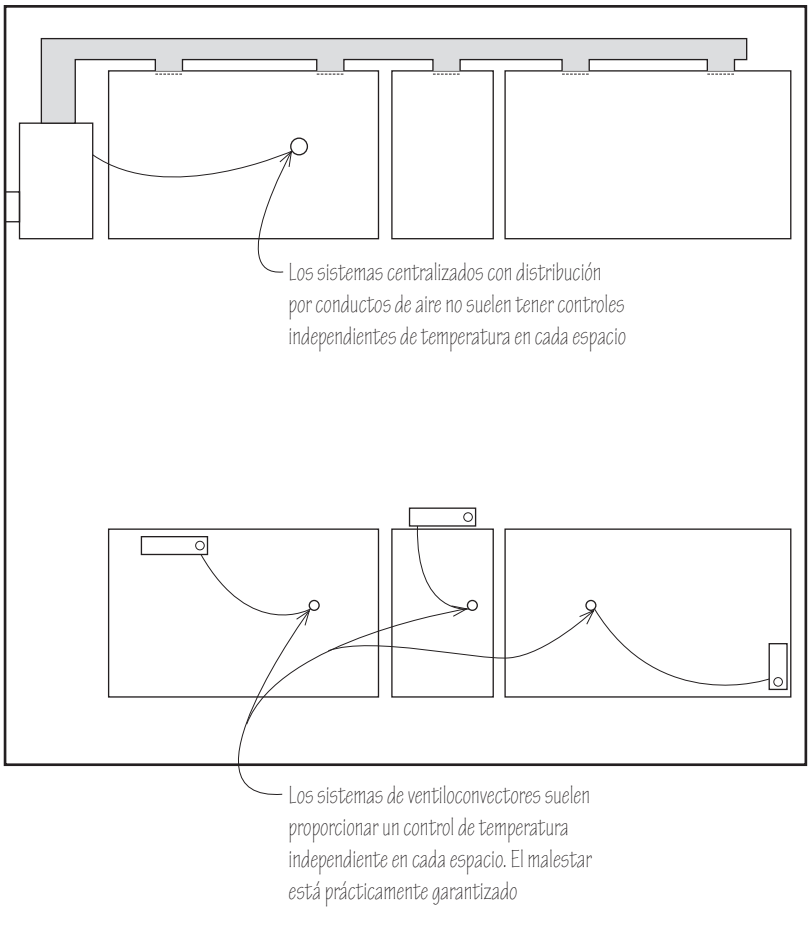
13.36 Una pregunta importante: ¿qué espacios contarán con controles de temperatura?

Las dos primeras preguntas pueden parecer evidentes, pero vale la pena formulárselas por si existen ciertos espacios que, de hecho, no necesitan calefacción o aire acondicionado, o ninguno de los dos.

Junto a la pregunta sobre qué espacios deben contar con aire acondicionado, habría que preguntarse si, de hecho, el edificio lo requiere. Los sistemas mecánicos de aire acondicionado se componen de dos funciones distintas relacionadas con el confort térmico: reducir la temperatura del aire y su humedad. En muchos climas y para muchas personas, el aire acondicionado no es necesario, e incluso se considera un lujo. Existen toda una serie de estrategias pasivas de enfriamiento que deberían explorarse. Ya hemos hablado de algunas de ellas, como la introducción de parasoles para reducir las ganancias solares, la reducción de las filtraciones, la ventilación con recuperación de calor, el aumento del aislamiento, el menor tamaño o la forma simplificada de los edificios, la reducción de las ganancias internas o de la iluminación artificial. De hecho, según el clima y las necesidades específicas del edificio, podría evitarse el aire acondicionado. Los recientes descubrimientos que acabamos de mencionar sobre la capacidad de las personas para adaptarse a condiciones sin aire acondicionado, apoyan vías alternativas para el confort térmico sin necesidad de recurrir a este.

Sin embargo, en numerosos climas y para muchos tipos de edificio, suprimir el aire acondicionado resulta imposible si queremos mantener una condiciones del ambiente interior confortables y saludables. Sin duda, la arquitectura ecológica se esforzará para reducir el uso del aire acondicionado y, en muchas ocasiones, será capaz de proyectar edificios que no necesiten enfriamiento mecánico. Sin embargo, también resulta plausible que seguiremos necesitando proyectar muchos edificios con aire acondicionado en un futuro inmediato.

La tercera pregunta es crítica: ¿qué espacios contarán con su propio control de temperatura? La respuesta a esta pregunta tendrá un impacto significativo tanto en el confort térmico como en el consumo energético. Hay muchas maneras de conseguir un control sobre la temperatura, de ahí que las decisiones tempranas sobre los objetivos de confort térmico afectarán, con seguridad, al tipo de sistema de climatización elegido y al tipo de confort térmico que se ofrecerá, tanto en términos de medición objetiva como de percepción subjetiva de los usuarios.



13.37 Una comparación entre sistemas centralizados y sistemas de ventiloconvectores.

Estrategias

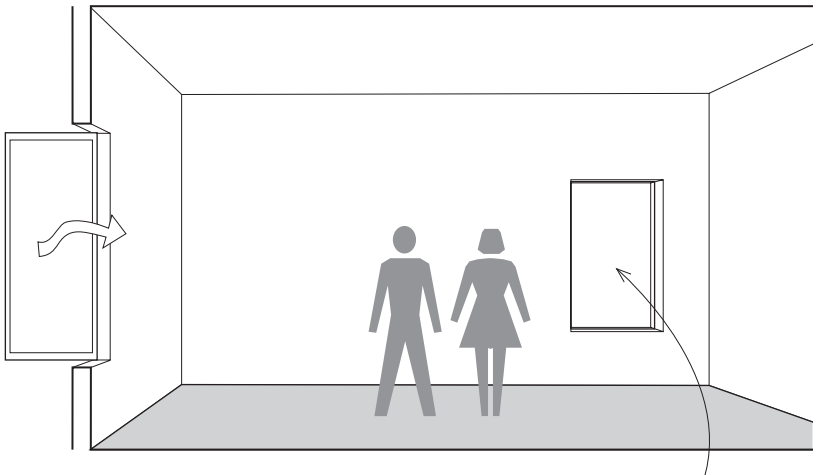
La primera estrategia consistiría en definir los objetivos y requisitos de confort térmico en la documentación técnica del proyecto.

A continuación debe elegirse una estrategia de control de la temperatura. En los primeros tiempos de la calefacción central, el número de lugares donde se hacía un control y un seguimiento de la temperatura eran escasos, a veces una sola lectura para todo el edificio, o una para cada una de sus orientaciones (norte, sur, este y oeste). Esto ya no es tan común en nuestros días. Sin embargo, quizás como resultado de la estrategia original de control único de temperatura para todo el edificio, aún es raro encontrar controles de temperatura independientes para cada espacio, y aquí es donde los edificios ecológicos necesitan analizar cuidadosamente las alternativas existentes, pues el control de temperatura en cada espacio ofrecerá un confort térmico y una eficiencia energética mejores.

La mayor parte de los sistemas de climatización por aire —desde los grandes equipos centralizados hasta los equipos domésticos, ya sean calderas o bombas de calor— no facilitan controles de temperatura para cada espacio. Incluso los sistemas de volumen variable de aire, que utilizan unidades terminales controladas por termostatos para proporcionar múltiples controles de temperatura para cada unidad de tratamiento de aire, tampoco suelen facilitar un control de temperatura para cada espacio. Aunque es posible, en la práctica no suele hacerse. Los sistemas de climatización por aire no suelen ser tan pequeños como para servir a una única estancia, mientras que el control de temperatura no suele aplicarse de forma sistemática a cada estancia.

Puesto que estos sistemas no tienen un control de temperatura específico para cada estancia, se ven obligados a situar el sensor de temperatura en uno de los diversos espacios servidos, o a hacer una media entre las temperaturas de varios de los espacios servidos, lo que supone compromiso forzado con el confort térmico. Cuando un espacio determinado recibe un flujo de aire de un sistema que mide la temperatura en otro espacio, lo que sucede en el espacio puede afectar a la temperatura de su aire —si las luces están encendidas o apagadas, si cierta maquinaria está funcionando o no, o si hay o no ganancias solares— y no obtendrá una respuesta adecuada por parte del sistema.

Por su lado, los sistemas que calientan directamente el aire, como las unidades ventiloconvectoras, normalmente proporcionan un control de temperatura por espacio en la medida en que cada sistema suele servir a un único espacio y tiene su propio control de temperatura.



13.38 Para mejorar el confort, proporcionar ventanas practicables, pero no más de las necesarias.

Aquí retomamos una pregunta crítica que se planteó al establecer los requisitos de confort térmico del proyecto: ¿es necesario un control de temperatura para cada espacio? Si la respuesta es afirmativa, entonces, es casi seguro que nos vemos abocados a sistemas de climatización directa, como las unidades ventiloconvectoras, como base de nuestra distribución de calefacción y refrigeración. Otra alternativa son los sistemas de radiadores.

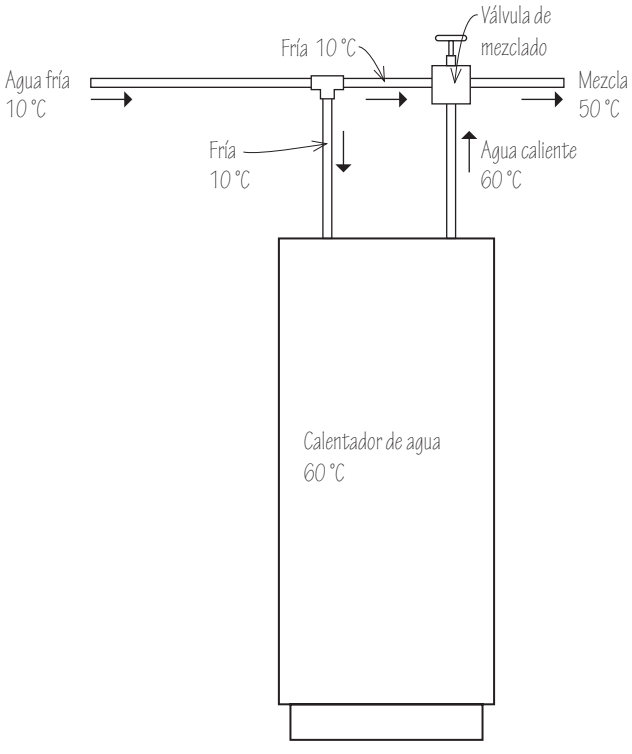
Revisaremos las alternativas de climatización con más detalle en el próximo capítulo, pero la importancia crítica del confort térmico en la selección del sistema de climatización no puede subestimarse.

Otras estrategias para cumplir los objetivos de confort térmico son el dimensionado adecuado de los equipos de climatización y los correspondientes sistemas de distribución. Se necesita capacidad suficiente para responder a la demanda de calefacción y refrigeración, y si el sistema se queda pequeño, no alcanzará el nivel suficiente de servicio y el espacio no será confortable. También hay riesgo para el confort y el consumo energético si los equipos están sobredimensionados, algo que está penalizado en los estándares de arquitectura ecológica.

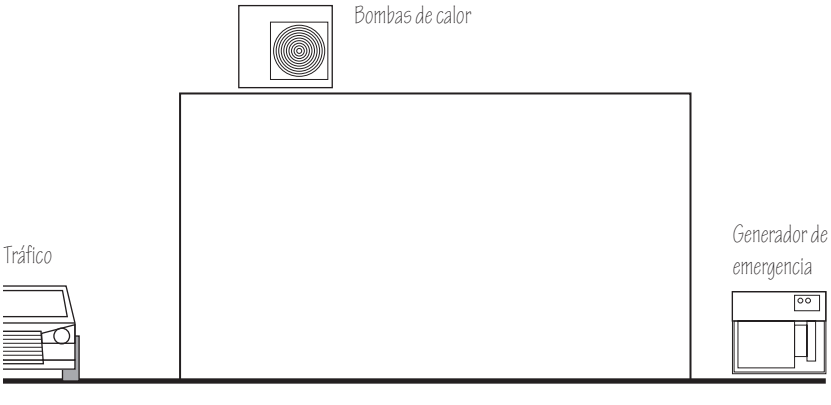
La velocidad del aire y la ubicación de las salidas de aire también tienen un impacto en el confort térmico, y necesitan definirse para cada espacio. Las velocidades altas por encima de las cabezas de los usuarios provocarán malestar, incluso aunque la temperatura del espacio sea confortable.

Se ha demostrado que las ventanas practicables mejoran el confort térmico y permiten que los usuarios puedan ajustar la ventilación en cada estancia. Si nos decidimos por ventanas practicables, es importante definir su número. Recordemos que cada ventana practicable es un foco potencial de filtración de aire. Debería definirse el número y la posición de las ventanas practicables para permitir que los usuarios puedan gestionar adecuadamente la ventilación, lo cual no implica que todas las ventanas deban ser practicables.

La supervisión de los sistemas de confort térmico constituye otra estrategia importante, e incluye la documentación de los requisitos, la medida y la verificación del confort térmico efectivamente obtenido, y el diseño de medidas correctoras para mejorar aquellas zonas con resultados deficientes.



13.39 Gestión de la temperatura del agua en calentadores de agua caliente.



13.40 Fuentes de ruido exterior.

Calidad del agua

En ocasiones, en las normas, estándares y guías de arquitectura ecológica se soslaya la calidad del agua, quizás porque se dan por descontados los grandes avances conseguidos para disponer de un buen suministro de agua de calidad en los edificios. Sin embargo, un agua de baja calidad puede suponer un serio riesgo para la salud.

Un edificio ecológico debería proporcionar agua limpia apta para el consumo humano. Si el servicio municipal de suministro de agua no es la única fuente de agua potable y si, por ejemplo, es necesario utilizar agua de un pozo, de lluvia o reciclada, es esencial aplicar filtros y tratamientos adecuados.

En una cuestión relacionada, debe llevarse a cabo una gestión del agua en el edificio que evite el riesgo de legionela, un tipo de bacteria muy peligrosa. Esto implica que el agua caliente se debe mantener a temperaturas lo bastante altas como para matar a la legionela, pero no tan altas como para provocar pérdidas energéticas o riesgo de ebullición. Una estrategia eficaz puede ser generar agua a alta temperatura y después emplear una válvula para reducir su temperatura antes de que entre en el circuito de distribución. El agua estancada en lugares como las torres de aire acondicionado también debería gestionarse para evitar el riesgo de legionela.

Acústica

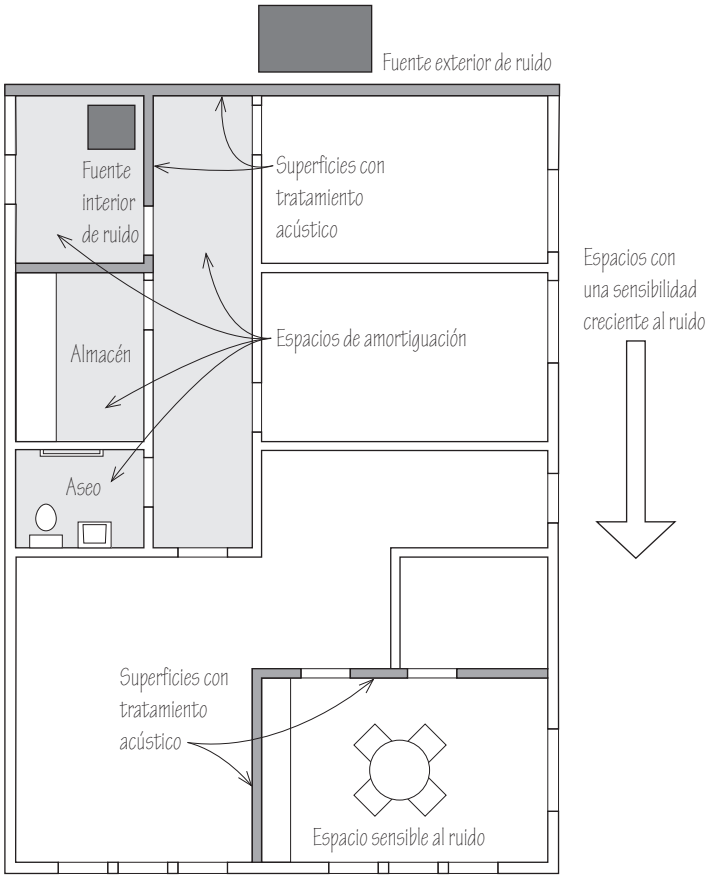
Un buen proyecto acústico consiste en evitar la transmisión de ruidos indeseados del exterior hacia el interior del edificio, definir zonas con distintos niveles de ruido dentro del edificio y proteger aquellos espacios donde cualquier nivel de ruido resulta intolerable.

Las fuentes exteriores de ruido pueden ser la maquinaria pesada, el tráfico o incluso la lluvia que golpea una cubierta ligera.

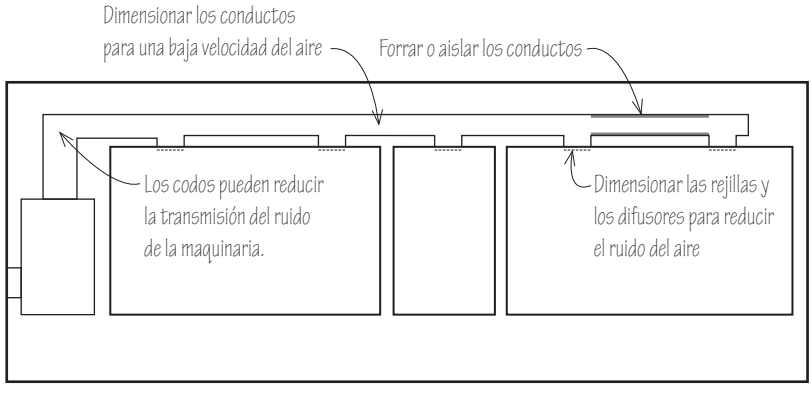
Como en el caso del confort térmico, los edificios ecológicos suelen estar más aislados acústicamente que los tradicionales por dos razones:

1. Las menores filtraciones implican menos transmisión del ruido por orificios y grietas, vías por las que se desplaza el ruido.
2. Mayor aislamiento térmico en los muros y en las cubiertas también implica mayor aislamiento acústico.

Los edificios ecológicos suelen ser una base sólida para evitar la transmisión del ruido generado en zonas ruidosas del interior (como habitaciones con equipos de sonido o salas de máquinas) a otras partes del mismo edificio, así como que este ruido alcance espacios sensibles al ruido, como salas de conferencias y de reuniones o salas de ensayo. Estas ventajas se derivan de la zonificación y la compartimentación térmica, que son recomendables por una cuestión de ahorro energético.



13.41 Aislar los espacios acústicamente sensibles de las fuentes de ruido.



13.42 Reducir el nivel de ruido del flujo de aire a través de conductos, rejillas y difusores.

No deberíamos asumir que un edificio ecológico evita cualquier problema de ruidos. Es una buena práctica realizar un inventario de todas las fuentes potenciales de ruido, de los espacios sensibles y de las vías posibles de transmisión del sonido, con el fin de resolver estos problemas en una fase temprana del proceso de proyecto.

Comenzando de afuera adentro, la orientación y la forma del edificio pueden servir para minimizar las principales fuentes exteriores de ruido. Dentro del edificio, conviene trabajar a partir de las fuentes de ruido buscando formas de aislarlas; a continuación, hay que trabajar sobre los espacios sensibles, tratándolos y aislándolos cuando el ruido que llega hasta ellos sigue siendo excesivo.

También debería prestarse especial atención a las principales fuentes de ruido dentro del edificio, como los equipos de climatización o el ascensor. Estas zonas deberían estar aisladas físicamente dentro del edificio, situándolas convenientemente y disponiendo espacios de amortiguación entre estas y los espacios ocupados. A continuación, habría que aislar acústicamente paredes, techos y suelos hasta alcanzar los niveles que fije la correspondiente norma, y también instalar puertas con aislamiento acústico convenientemente selladas.

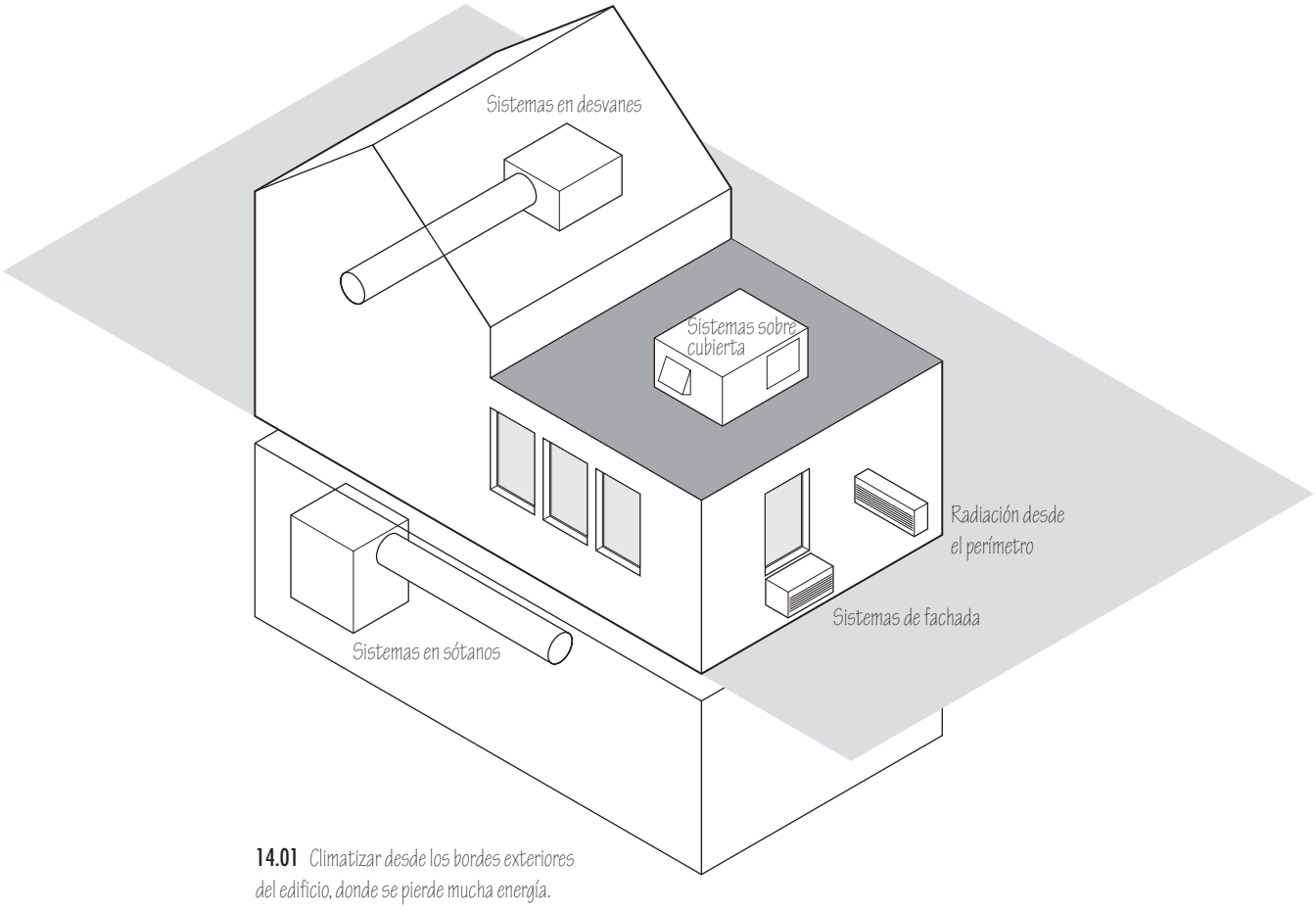
El caudal de aire por los conductos y por rejillas y difusores también puede convertirse en una fuente importante de ruido, por lo que deberían proyectarse para producir el menor posible, dimensionando los elementos para reducir la velocidad del aire, utilizando codos y otros aislantes físicos, forrando los conductos con material aislante y dimensionando correctamente las rejillas y los difusores. El caudal de agua en las tuberías también puede ser una fuente perceptible de ruido si estas están infradimensionadas y la velocidad del agua es demasiado alta. Las tuberías de fundición transmiten menos ruido que las de plástico. También deberían tenerse en cuenta otras fuentes de ruido, como fotocopiadoras e impresoras, comedores y salas de descanso, o cocinas. Tampoco pueden ignorarse las fuentes inusuales o intermitentes de ruido, como los generadores de emergencia, lo cual requiere un seguimiento periódico.

Deberían establecerse objetivos de nivel de ruido para los distintos tipos de espacio y medidas para alcanzar dichos objetivos. Todos los requisitos deberían quedar reflejados en la documentación técnica del proyecto. Cualquier proyecto debería incorporar requisitos de comprobación de las condiciones acústicas del edificio. De ser necesario, puede incorporarse un ingeniero acústico al equipo de proyecto para que asesore en esta materia.

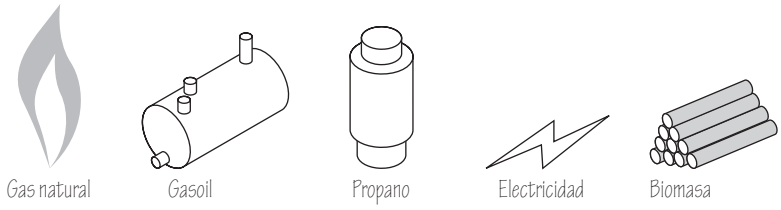
14
Climatización

Los sistemas de climatización (calefacción y refrigeración) suelen presentar desafíos para el proyecto y la construcción de un edificio. Pueden ser complejos, costosos, propensos a generar problemas de confort, ruidosos, consumen energía, necesitan de mantenimiento intensivo y pueden ser físicamente grandes, con un impacto significativo en el proyecto arquitectónico. En última instancia, los mejores sistemas de climatización son aquellos cuya presencia pasa desapercibida, aquellos que no se ven, no se oyen y no causan ningún tipo de malestar.

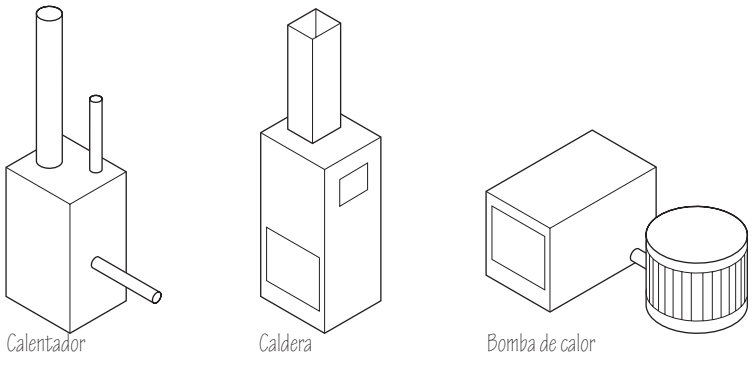
La climatización es la última capa de protección. Sin embargo, esta debería provenir totalmente desde el interior de la envolvente térmica. Tradicionalmente, los equipos de climatización se han situado en lugares donde se perdía gran parte de su producción de frío o de calor, cerca y fuera de la envolvente térmica, en cubiertas, sótanos, cámaras sanitarias, desvanes, huecos de muros o forjados, y próximas a ventanas y muros exteriores. Cada vez hay más consenso acerca de que los edificios están mejor climatizados desde el núcleo interior, no desde sus bordes exteriores.



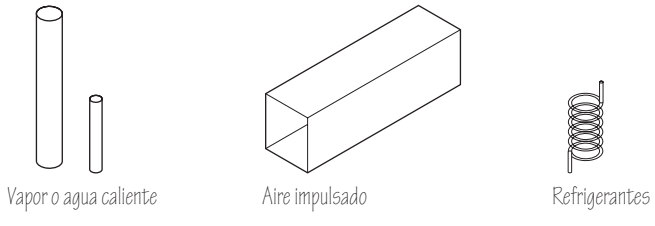
14.01 Climatizar desde los bordes exteriores del edificio, donde se pierde mucha energía.



Tipo de combustible



Equipo generador de calor



Medio de distribución

14.02 Clasificación de los sistemas de climatización.

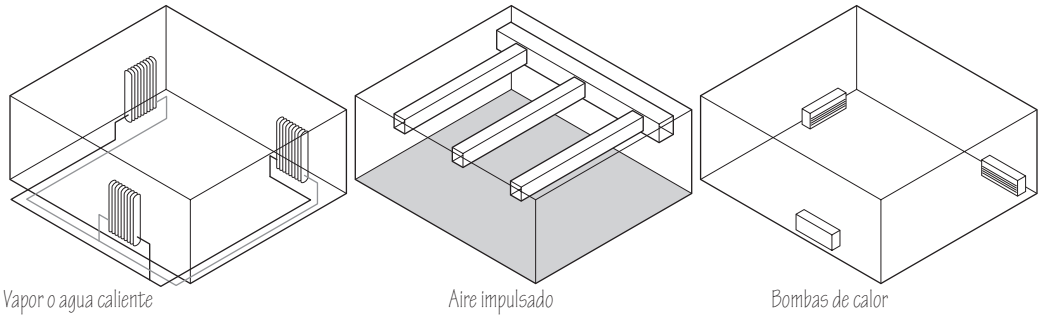
Tipos de sistemas

La elección de un sistema de climatización puede ser más eficaz cuando se conocen y se entienden las diferencias entre los sistemas disponibles.

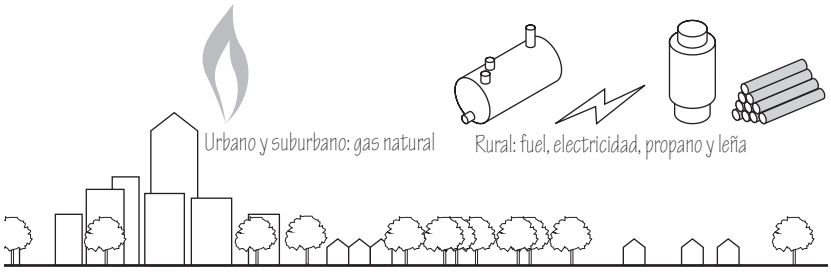
Los sistemas de climatización pueden clasificarse de diversos modos. Pueden distinguirse en función del tipo de combustible utilizado: combustibles fósiles (gas natural, gasoil, carbón o propano), electricidad (bombas de calor o calentadores de resistencia eléctrica) o biomasa (madera, pellets o virutas de madera). Otra forma de diferenciar los sistemas de calefacción es por la forma en que se genera el calor, en cuyo caso cabe distinguir entre calentadores (calientan aire), calderas (calientan agua o vapor) o bombas de calor (calientan agua o aire). Los sistemas de calefacción también se pueden clasificar según el sistema de distribución: vapor, agua caliente, aire impulsado o refrigerante. También es posible que los sistemas de calefacción carezcan de sistemas de distribución, como calefactores portátiles, de habitación o de infrarrojos, que suelen encontrase en fábricas.

Ningún sistema de clasificación es mejor que otro, tan solo sirven para mostrar la complejidad de elegir un sistema. En todo caso, pueden ayudarnos a empezar a entender las alternativas y alentar a plantearse una serie de preguntas a la hora de elegir un sistema: ¿qué combustible se utilizará?, ¿cuál será el sistema de climatización?, ¿cuál será el sistema de distribución?

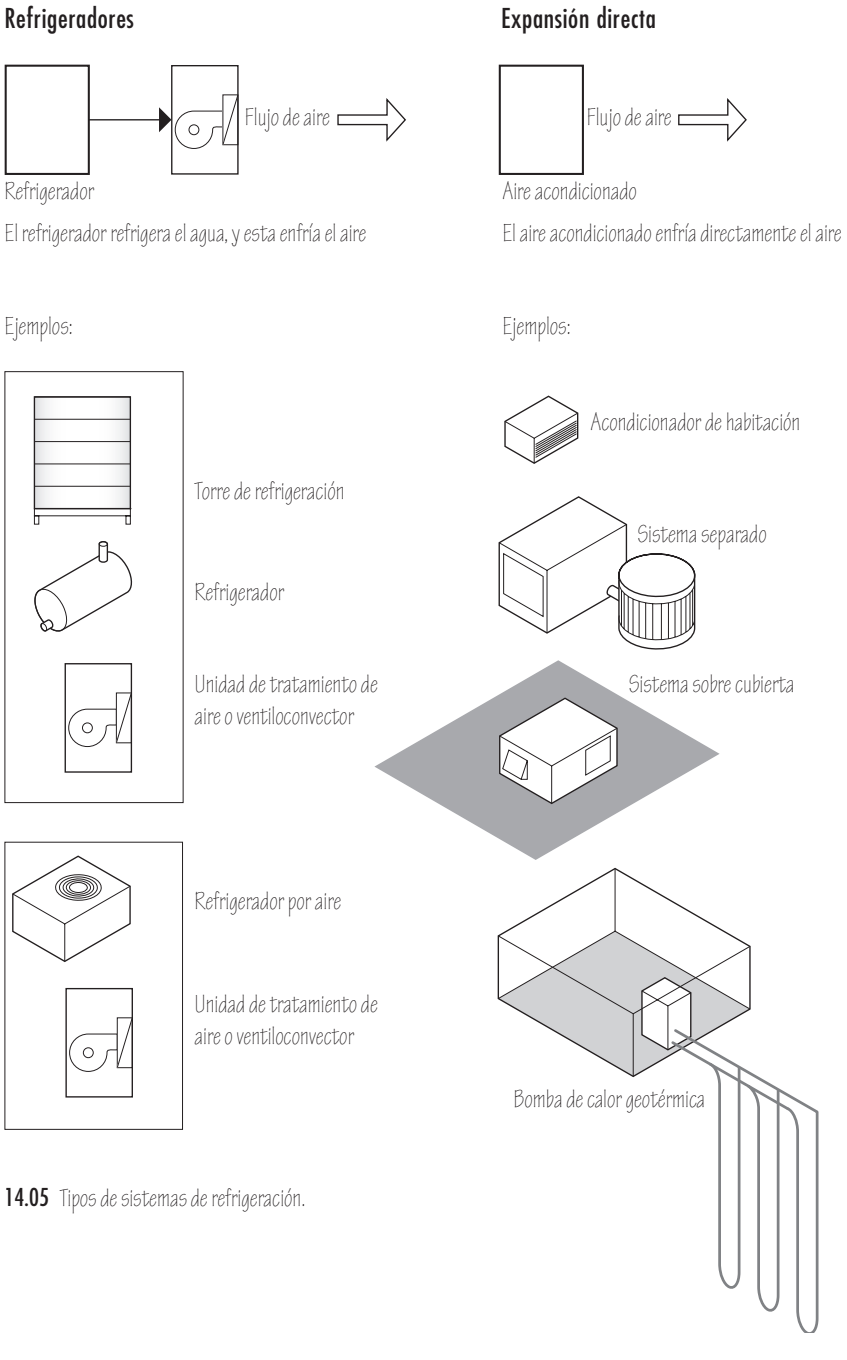
La historia proporciona una visión de la evolución de los sistemas de calefacción. Antes de 1900 el sistema más común eran las chimeneas alimentadas por leña. Los sistemas de vapor y de agua caliente surgieron en la primera mitad del siglo xx, simultáneamente a los primeros sistemas de conductos con circulación por gravedad de aire. Los sistemas de conductos con circulación forzada de aire se hicieron comunes en la segunda mitad del siglo xx. Más recientemente han llegado los sistemas sin conductos basados en refrigerantes, y las bombas de calor geotérmico, también basadas en el uso de refrigerantes. Cabe señalar que los sistemas más antiguos siguen siendo populares, y están resurgiendo los sistemas basados en agua caliente e incluso los anticuados sistemas de calefacción por vapor, en el proyecto de algunos edificios de nueva planta.



14.03 Desarrollo histórico de los sistemas de calefacción.



14.04 Preferencias urbanas, suburbanas y rurales para la selección de combustibles.

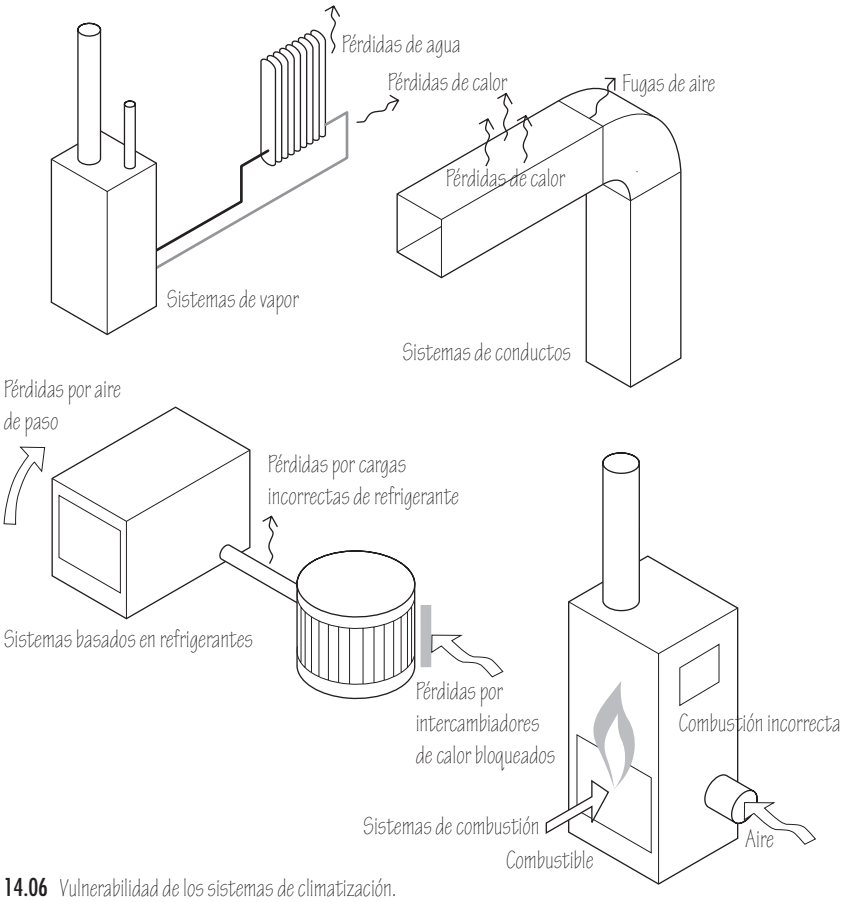


14.05 Tipos de sistemas de refrigeración.

Los factores geográficos también influyen en la elección del sistema de calefacción, especialmente en el combustible. El gas natural es la opción preferida en zonas urbanas y suburbanas que disponen de red de distribución, mientras que el propano, el gasoil, la leña, el queroseno o la electricidad predominan en las áreas rurales. Las bombas de calor sin sistema de distribución son el sistema predominante en muchos países con una historia de implantación de sistemas de climatización más reciente y donde la climatización centralizada con sistemas de distribución nunca llegó a adoptarse de forma generalizada.

Los sistemas de refrigeración se dividen en dos tipos principales: los sistemas refrigeradores, que primero refrigeran agua para que después esta enfríe el aire, y los sistemas de expansión directa, en los que un refrigerante enfría directamente el aire en un intercambiador de calor. En cualquier caso, hay otras muchas formas de clasificar los sistemas de refrigeración. Si todo el sistema está contenido en una caja, se denomina "equipo compacto", que a su vez puede clasificarse en equipos sobre cubierta (habituales en edificios comerciales de una sola planta), equipos de interior (menos comunes en la actualidad), pequeñas unidades empotradas (que se utilizan en hoteles y moteles) y unidades montadas en ventanas (la forma más económica de aire acondicionado). Si el sistema viene en dos secciones (interior y exterior) se denomina sistema separado, que a su vez puede incorporar o no su propio sistema de distribución. El sistema separado con conductos es la forma más común de aire acondicionado en la actualidad. El sistema separado sin conductos es el más común fuera de Estados Unidos. En edificios grandes, también se distingue entre distintos tipos de refrigeradores en función del tipo de compresor (centrífugo, rotativo, de tornillo o de émbolo) y del tipo de evacuación del calor (por líquido o por aire).

El tipo y las dimensiones del edificio también influyen en el tipo de sistemas. Los edificios grandes tienden a contar con calentadores y refrigeradores que utilizan agua como medio de distribución. Los edificios más pequeños tienden a contar con calefacción por caldera y refrigeración por expansión directa, si se usa agua como medio intermedio de distribución.



14.06 Vulnerabilidad de los sistemas de climatización.

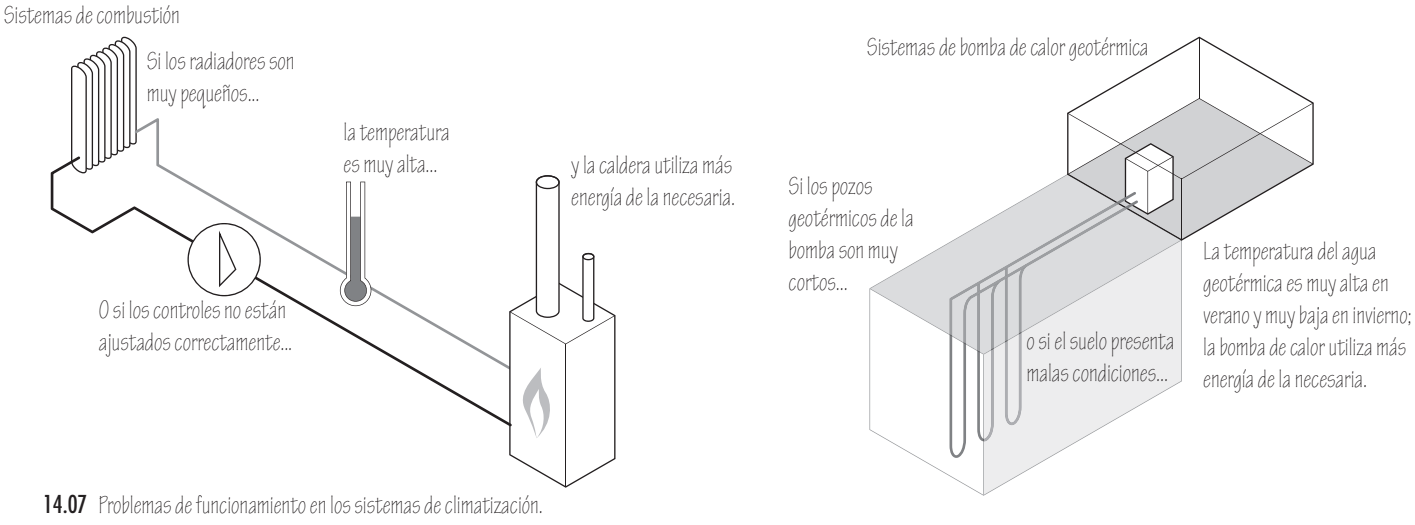
Vulnerabilidad de los sistemas

Los distintos tipos de sistemas presentan diferentes vulnerabilidades.

Los sistemas por vapor sufren pérdidas exorbitantes de agua y energía, normalmente alrededor del 40 %. Los sistemas de circulación forzada de aire sufren fugas de aire y pérdidas en el circuito en torno al 25-40 %. Los sistemas basados en refrigerantes —que originalmente solo se utilizaban para refrigerar, pero que en la actualidad se emplean también para la calefacción en bombas de calor— son muy sensibles a cualquier error en la carga del refrigerante, con pérdidas estimadas entre el 10 y el 20 %. También tienen el problema de que los intercambiadores de calor sufren el bloqueo de la vegetación que crece cerca de las unidades externas, la suciedad de los filtros o el aire de paso, problemas que suponen un aumento del consumo eléctrico del equipo. Por otra parte, los sistemas alimentados con combustibles fósiles pueden tener problemas en el propio proceso de combustión.

Todos los sistemas pueden sufrir problemas por una mala instalación. Por ejemplo, los calentadores de agua de alta eficiencia funcionaran con eficiencias mucho menores si el sistema de distribución no está correctamente diseñado o instalado y si la temperatura del agua es demasiado alta. Una bomba de calor geotérmica de alta eficiencia funcionará peor si el flujo de aire no es el adecuado o si los pozos geotérmicos no son lo bastante extensos.

Algunos sistemas generan problemas al edificio que no guardan relación directa con el propio sistema de climatización. Por ejemplo, los sistemas basados en combustibles fósiles requieren aberturas en el edificio para evacuar el aire utilizado en la combustión y los subproductos de la misma, normalmente a través de una chimenea. Una chimenea suele generar una circulación de aire superior a la necesaria para la combustión, y este aire suele requerir también ser caldeado. Otro ejemplo son los equipos de aire acondicionado empotrados en el muro, que generan filtraciones de aire en el edificio y pérdidas por conducción a través de puentes térmicos.



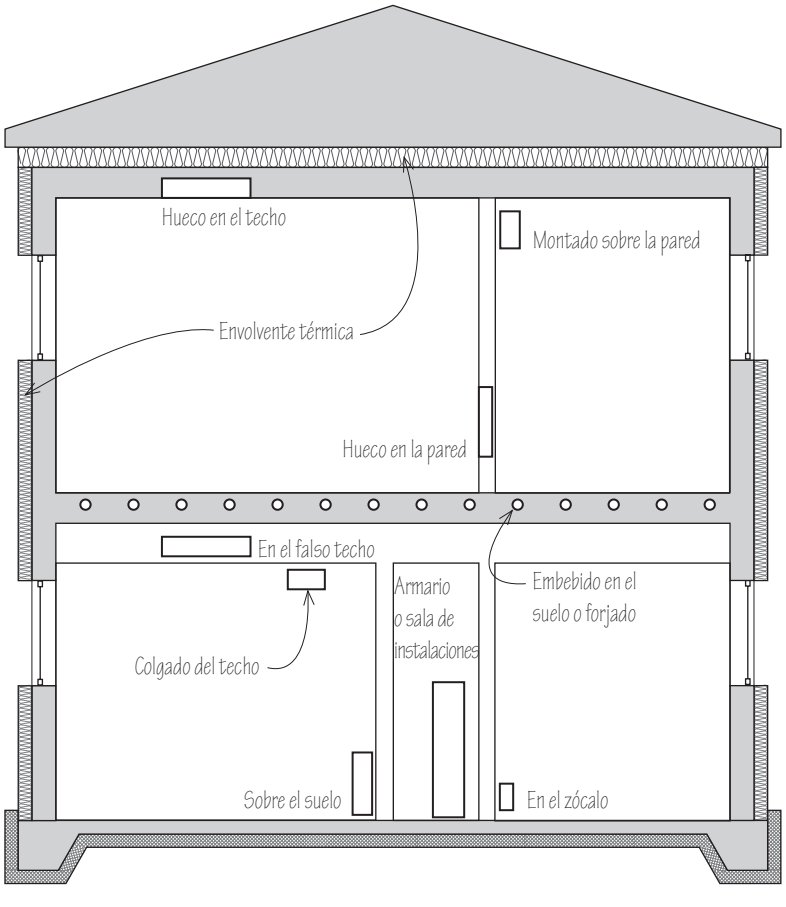
14.07 Problemas de funcionamiento en los sistemas de climatización.

Guía de proyecto de afuera adentro

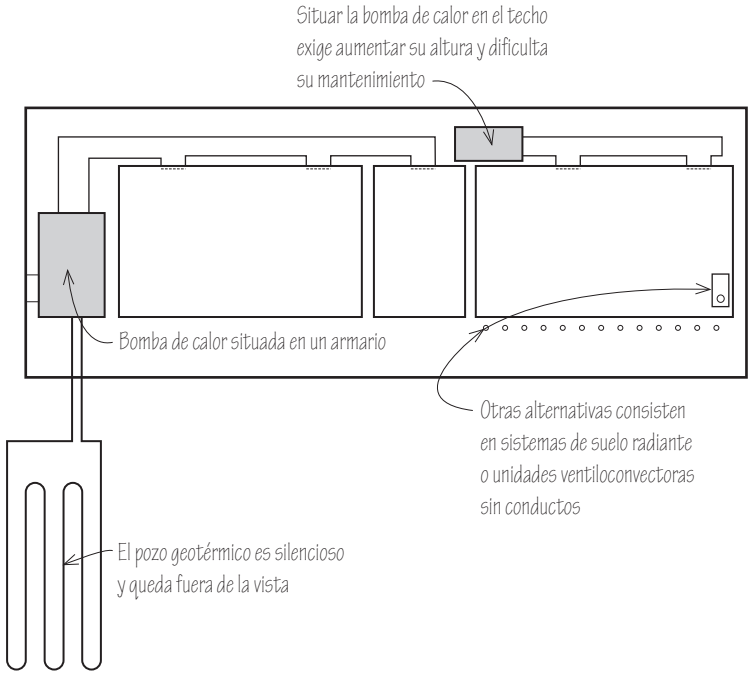
El foco para integrar la climatización en el proyecto de afuera adentro consiste en situar todo el sistema de climatización dentro de la envolvente térmica. Situar el sistema fuera de la envolvente térmica o en espacios sin acondicionar, como sótanos, implica sufrir una pérdida de al menos el 10 %.

Situar la climatización dentro de la envolvente térmica simplifica las alternativas de proyecto ecológico de edificios:

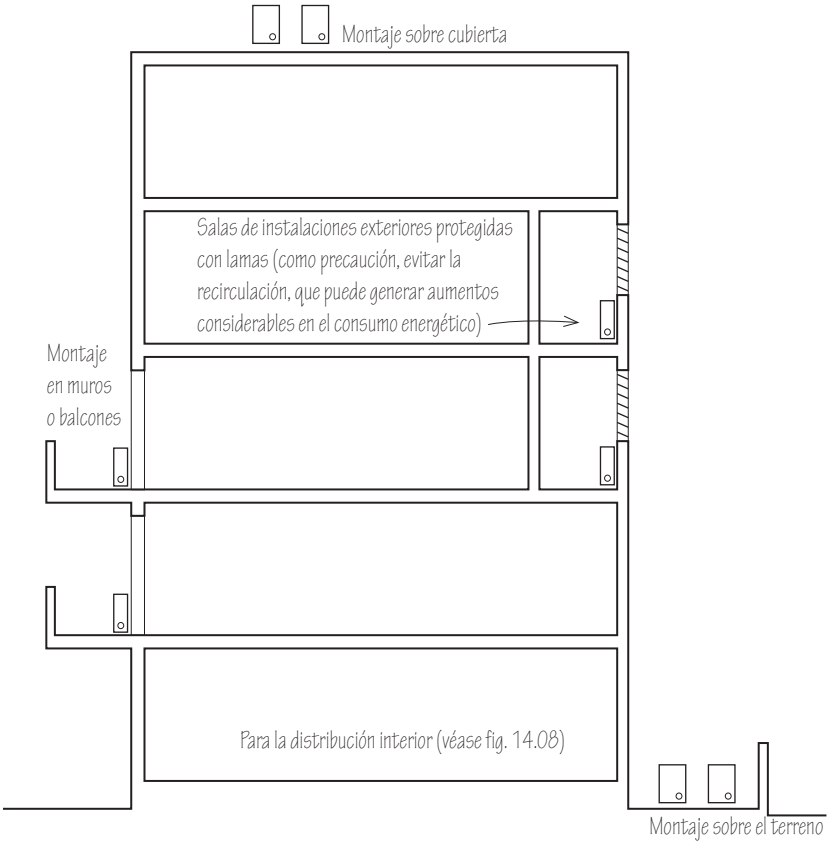
- Evitar que los sistemas de climatización y de distribución estén situados en espacios sin acondicionar, como sótanos, cámaras sanitarias o desvanes.
- Evitar que los sistemas de climatización estén situados en la cubierta o en el exterior. En este caso, nos referimos específicamente a las unidades de tratamiento de aire o a los equipos compactos, que implican un flujo de aire del interior desde y hacia la unidad de climatización. No nos referimos a la evacuación de calor del equipo, como sería el caso de las torres de refrigeración, los refrigeradores por aire o las unidades de condensación, que no implican flujo de aire interior y que, por definición, necesitan situarse en el exterior.
- Evitar los sistemas de combustión que perforan el edificio y se comunican con el interior del mismo. En otras palabras, evitar sistemas de combustión que no estén sellados.
- Evitar equipos que deban empotrarse en muros o ventanas, ya que generan filtraciones en el edificio.
- Evitar que la calefacción se instale en lugares próximos a la envolvente interior, como puede ser bajo las ventanas, en un muro perimetral, o en un suelo inmediatamente por encima de un espacio sin acondicionar o del terreno.



14.08 Localizaciones dentro de la envolvente térmica para los sistemas de distribución de calefacción y refrigeración.



14.09 Sistema de bomba de calor geotérmica.



14.10 Posibles localizaciones de las unidades externas de las bombas de calor.

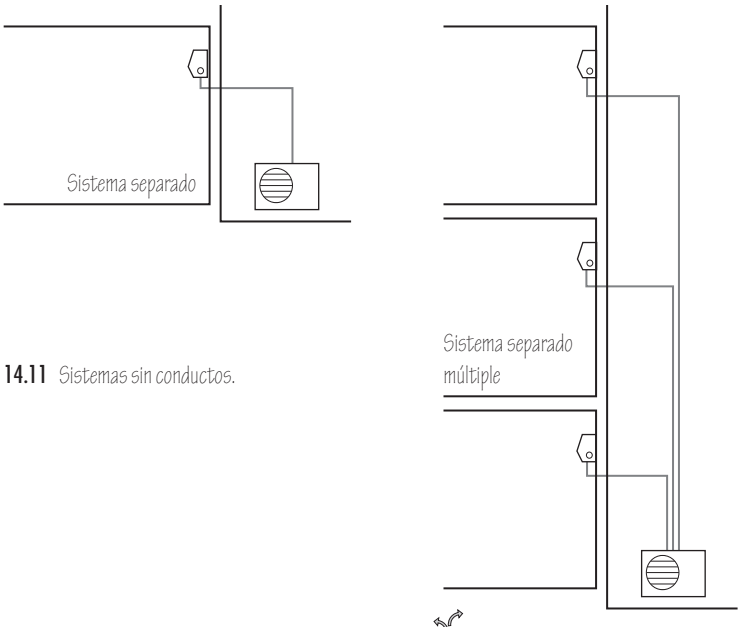
A pesar de que reducen el campo de posibilidades, estas simplificaciones aún dejan muchas alternativas abiertas.

Las bombas de calor geotérmicas dentro de la envolvente térmica son probablemente la alternativa de climatización más eficiente, y siempre es preferible evitar que las bombas de calor estén situadas fuera de la envolvente térmica, en una cubierta, un sótano, una cámara sanitaria, un desván o en el exterior de la parcela. En caso de utilizar un sistema de distribución con circulación forzada de aire, los conductos deberían estar convenientemente sellados. También debería prestarse atención a la ubicación de la bomba de calor, para evitar que el ruido y la vibración del compresor se transmitan a los espacios habitados y para facilitar su mantenimiento. Los armarios son una buena localización para las bombas de calor con sistema de distribución por conductos, pues combinan aislamiento acústico y facilidad de acceso. También pueden situarse por encima del falso techo, pero esto dificulta el acceso para realizar labores de mantenimiento, y puede obligar a ampliar las dimensiones del falso techo y la altura total del edificio. Los sistemas geotérmicos también presentan ventajas estéticas y acústicas, pues el intercambiador se sitúa bajo tierra, de modo que no asoman torres de refrigeración, unidades de condensación, unidades de cubierta o cualquier otro equipo que afee el exterior del edificio o genere ruido en la parcela o en la cubierta.

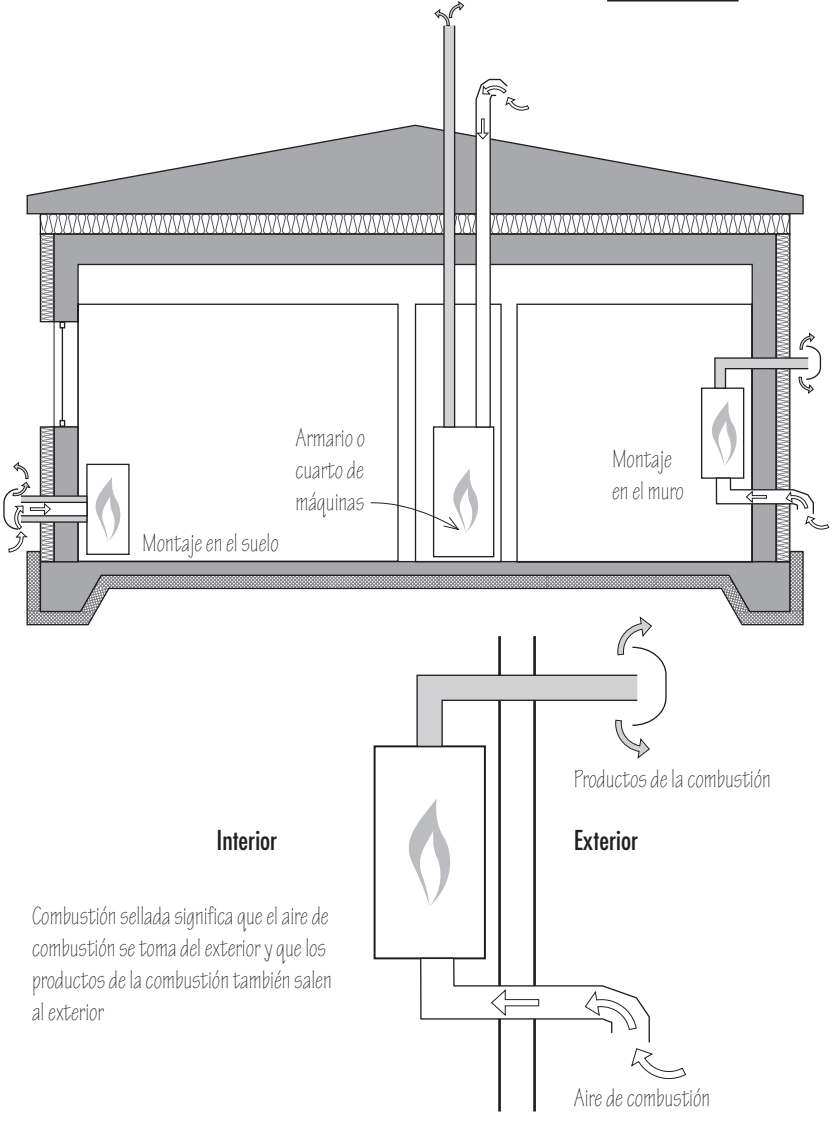
Otra posible alternativa son las bombas de calor sin conductos de distribución, sistemas habituales en todo el mundo y que están ganando aceptación en Estados Unidos. Los modelos de velocidad variable han mejorado su eficiencia y han aumentado su capacidad con bajas temperaturas en el exterior, permitiendo su uso en climas más fríos. Los modelos con recuperación de calor permiten la calefacción y la refrigeración simultánea y eficiente, y el intercambio de calor entre el núcleo central y el perímetro del edificio. Las pérdidas por distribución en las tuberías de refrigerante son menores que en los conductos de aire o en las tuberías de agua o vapor. La capacidad de transportar energía con bajo consumo de energía parásita —es decir, la necesaria para las bombas y los ventiladores— es excelente. El proyecto de estos sistemas tiende a ser más sencillo que el de los centralizados (calderas y refrigeradores).

Puesto que suelen fabricarse en modelos con capacidades reducidas, para un edificio grande suelen necesitarse varios equipos. Sin embargo, estas pequeñas dimensiones proporcionan flexibilidad a la instalación. El sistema de climatización también puede instalarse de forma modular, sin necesidad de usar grúas, ya que ningún componente individual del sistema es lo bastante grande como para no poder utilizar un ascensor convencional.

La limitación más significativa de los actuales sistemas de climatización sin conductos es que la distancia máxima entre los componentes internos y externos del equipo no puede superar los 150 m. De igual manera, la diferencia de altura entre las unidades internas y externas no puede superar los 90 m. También hay que encontrar una ubicación adecuada para las unidades externas.



14.11 Sistemas sin conductos.



14.12 Alternativas de localización para sistemas sellados de combustión dentro de la envolvente térmica.

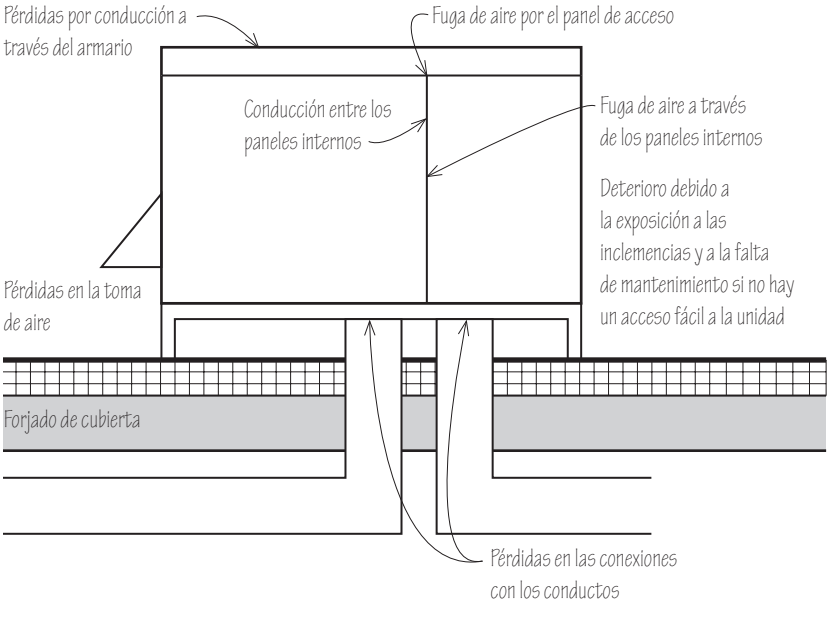
Los sistemas sin conductos de distribución están disponibles de dos maneras: el sistema simple, en el que una unidad externa sirve a una única unidad interna; y el múltiple, en el que una unidad externa se conecta a varias unidades internas.

Algunos sistemas basados en combustibles fósiles utilizan otra alternativa, como calderas selladas situadas en armarios o cuartos de instalaciones dentro de la envolvente térmica, y calentadores de habitación alimentados con gas.

En los sistemas de calentadores conviene que los radiadores no se instalen en los muros perimetrales, donde pueden sufrir pérdidas directamente a través del exterior del muro. La distribución por suelos radiantes es una opción, aunque no es la más adecuada para edificios que requieran respuestas rápidas a los cambios en el ambiente exterior o que tengan usos discontinuos. Los suelos radiantes también conllevan el riesgo de pérdidas a través de los forjados, incluso aunque estén aislados.

Otra alternativa son las estufas de habitación alimentadas con gas, con caldera de combustión sellada y una circulación de aire adecuada; funcionan igual y tienen el mismo aspecto que los calefactores ventilados, excepto por el hecho de que las estufas emiten los subproductos de la combustión directamente al espacio habitado. Los calefactores sin ventilación no son recomendables en edificios ecológicos por la humedad y porque los productos de la combustión evacuan directamente al espacio interior. Al igual que los calefactores eléctricos, ninguno de estos sistemas proporciona refrigeración.

Para cualquiera de los sistemas posibles (calentadores, calderas o bombas de calor) deberían exigirse, siempre que sea posible, ventiladores y bombas con motores de velocidad variable. Son opciones que están disponibles para la mayoría de los modelos, ya sean de menor o mayor capacidad. En los sistemas de mayores prestaciones, se habla de dispositivos de control de la velocidad, motores de velocidad variable o de velocidad ajustable. En los sistemas más pequeños se habla simplemente de motores de velocidad variable. También deberían exigirse sistemas de climatización de salida variable, como calderas, calentadores y bombas de calor moduladores. Los sistemas de dos fases son una alternativa más económica, sin por ello renunciar a las ventajas de eficiencia de los sistemas de capacidad constante.



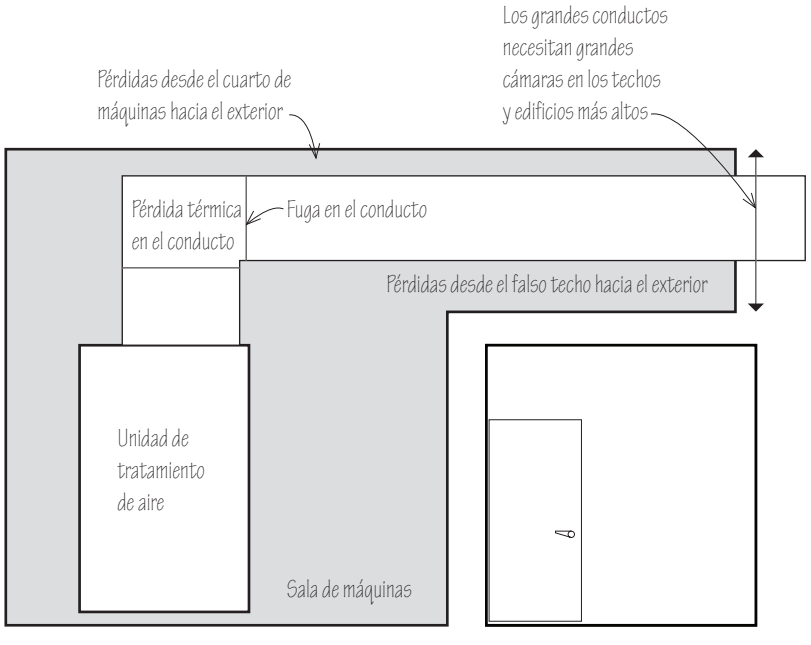
14.13 Vulnerabilidad en los sistemas sobre cubierta.

Los calefactores de resistencia eléctrica portátiles o de armario pueden colocarse en todas las habitaciones. Esta solución no es habitual en los edificios ecológicos, pues históricamente el calor producido en resistencias eléctricas se ha considerado una forma costosa y poco eficiente de generar calor. Dependiendo del origen de la electricidad, el calor de la resistencia eléctrica también puede producir altas emisiones de carbono. Por todo ello, puede que no sea la mejor opción para un edificio ecológico. Sin embargo, si la electricidad tiene su origen en fuentes renovables (eólica o fotovoltaica) y si el edificio se ha proyectado para tener un consumo energético de neto cero a casi cero para calefacción, entonces el calor generado por una resistencia eléctrica es una alternativa que implica pocas pérdidas de distribución, ningún impacto en la envolvente del edificio, bajos costes de instalación y un control adecuado.

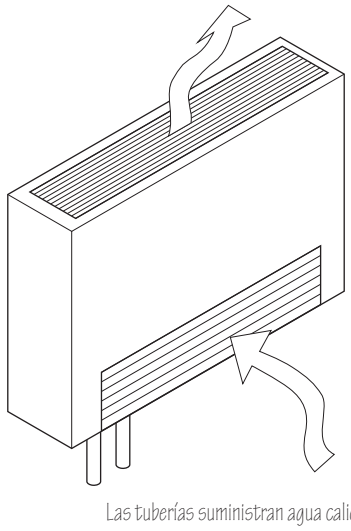
Los sistemas de climatización sobre cubierta, tan comunes en edificios comerciales de una sola planta, ¿son adecuados para un edificio ecológico? Se ha demostrado que las pérdidas térmicas de los sistemas sobre cubierta son considerables. Resulta complicado construir un equipo de climatización sobre cubierta convenientemente sellado frente a filtraciones. Dado que el aire de estas unidades se encuentra a una presión distinta a la del aire exterior, con una diferencia que puede ser negativa o positiva, el aire se filtra por grietas y orificios. Tanto el aire acondicionado exterior como el interior circulan a través de estas unidades, de modo que una sola lámina metálica separa ambos flujos dentro del aparato. Esta partición tiene muchos puntos susceptibles de sufrir fugas, como las perforaciones para las tuberías o los cables de alimentación y control, las juntas con la chapa que cierra la unidad, en los paneles laterales y en la unión con la base donde se apoya la partición, así como los diversos orificios de los tornillos de fijación. Además, el compartimento interior está revestido por el exterior, con más juntas metálicas, paneles de acceso y otras perforaciones que permiten el paso de aire hacia y desde el interior. El aislamiento que se utiliza en estas unidades suele tener grosores de apenas 2,5 o 5 cm, más delgado del que se utiliza en muros y cubiertas. También se producen pérdidas en las conexiones con los conductos, en el tramo de los conductos que discurre sobre la cubierta y en el resto del circuito que recorre el edificio. Con el paso del tiempo, la condición y la eficiencia de estos equipos se deteriora más aún, posiblemente porque están fuera de la vista, son poco accesibles para el mantenimiento y están expuestos al viento, la lluvia y el sol. En resumen, los equipos instalados sobre la cubierta suponen muchos riesgos energéticos para un edificio ecológico.

.

Los grandes sistemas de climatización con unidades de tratamiento de aire ubicadas en cuartos de máquinas son probablemente más eficientes que los instalados sobre cubierta, en sótanos o desvanes, pero aún presentan una serie de problemas energéticos, entre los que cabe señalar la ausencia de aislamiento adecuado en conductos y tuberías, con fugas y pérdidas incluso cuando están aislados y sellados. La potencia necesaria para el ventilador es alta, debido a la necesidad de suministrar grandes cantidades de aire a largas distancias, desde la sala de máquinas hasta los espacios acondicionados. Las unidades centralizadas de tratamiento de aire también requieren grandes conductos. Como resultado, el espacio por encima del falso techo debe ser bastante amplio, aumentando la altura total del edificio y los costes asociados hasta un 10 %, un 20 % o incluso más, y también las pérdidas energéticas a través de la envolvente del edificio. Los falsos techos que alojan los conductos de distribución también implican nuevas pérdidas a lo largo del recorrido entre la sala de máquinas y los espacios acondicionados.



14.14 Vulnerabilidad de las grandes unidades de tratamiento de aire y sus cuartos de máquinas.



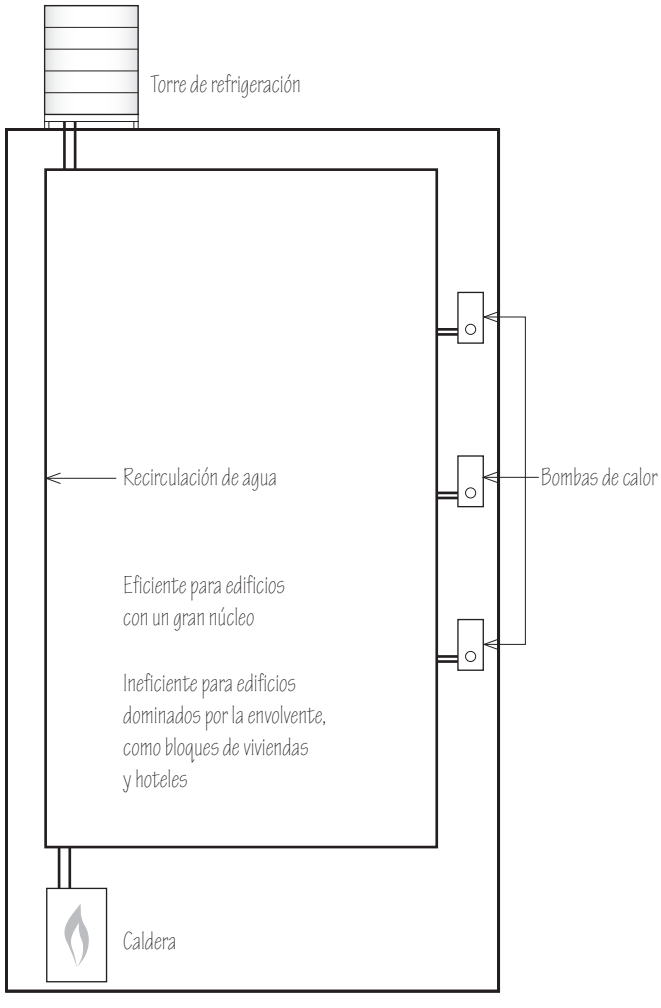
Las unidades ventiloconvectoras tienen un filtro de aire y un ventilador centrífugo para hacer pasar el aire por los intercambiadores de calor con agua caliente o refrigerada y devolverlo al espacio.

Las tuberías suministran agua caliente o refrigerada a las unidades ventiloconvectoras situadas en los espacios servidos.

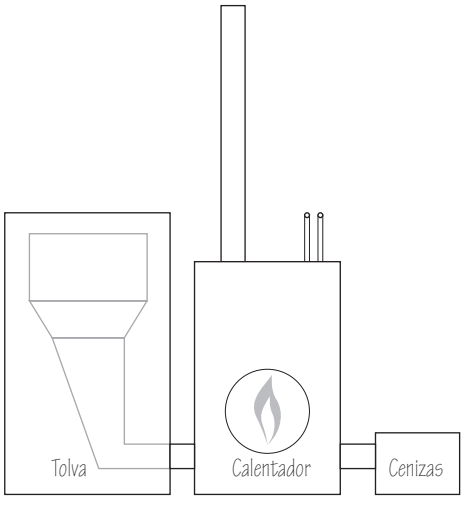
14.15 Unidad ventiloconvectora de agua.

Estos desafíos que afrontan los sistemas de climatización que dependen de salas de máquinas centralizadas y largos circuitos de distribución, sugieren que la mejor alternativa para ubicar los sistemas de distribución es hacerlo dentro de los espacios que requieren climatización, donde apenas tienen impacto las pérdidas o las fugas y no dependen del aislamiento y el sellado. Existen diversos sistemas que permiten esta posibilidad. Los sistemas separados de bombas de calor sin conductos son habituales en muchos países y en una gran diversidad de edificios, también en los edificios en altura. Las bombas de calor geotérmicas alcanzan con frecuencia niveles similares de eficiencia, a pesar de que la mayoría de los sistemas siguen utilizando conductos de distribución y, por tanto, sufren las pérdidas correspondientes, aparte de la necesidad de electricidad para bombear el agua a los pozos geotérmicos. Ciertos tipos de calefactores de habitación basados en combustibles fósiles también proporcionan calefacción adaptada a cada espacio, aunque no refrigeración. Los ventiloconvectores de agua son otra posible alternativa, ya que requieren poca potencia para el ventilador, no sufren pérdidas en los conductos y permiten un control adecuado de la temperatura, aunque aún soportan pérdidas en las bombas y las tuberías.

Como se comentó anteriormente en el contexto de la compartimentación, las unidades centralizadas de tratamiento de aire son consumidoras desmesuradas de electricidad, debido a la potencia necesaria en el ventilador. La ventaja energética de estos sistemas que disponían de motores de velocidad variable se ha visto reducida a medida que muchos de los sistemas más pequeños de ventiloconvección han ido incorporando también motores de velocidad variable. Los sistemas pequeños y distribuidos utilizan una potencia de ventilador significativamente menor que los sistemas centralizados. Como se ha comentado en la revisión sobre los sistemas de ventilación, las grandes unidades de tratamiento de aire para integrar la ventilación son conflictivas en sí. La integración de la ventilación en estos casos implica el uso innecesario de ventiladores de gran potencia, evita que se climatice por separado el aire de ventilación, lo que suele ser más eficiente, y a menudo acaba generando una ventilación excesiva. Por todo ello, los sistemas centralizados no suelen ser tan eficientes como los distribuidos, del tipo de las bombas de calor sin conductos, las bombas de calor geotérmicas o los ventiloconvectores de agua.



14.16 Sistema combinado de caldera, torre y bomba de calor con recirculación.



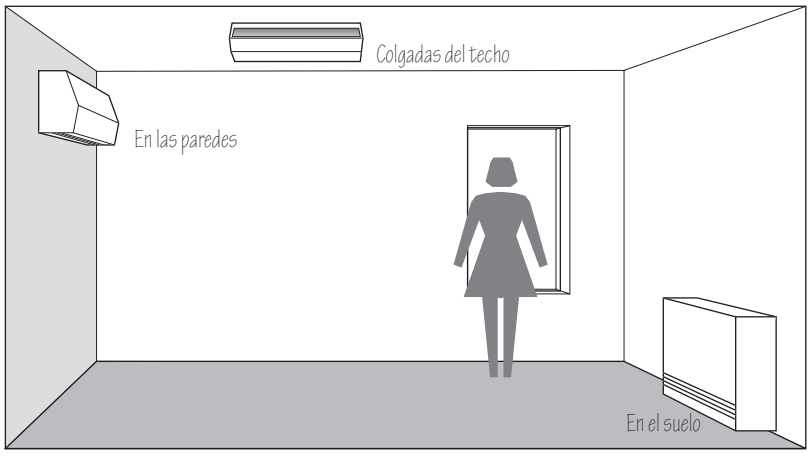
14.17 Sistema de combustión de biomasa.

Otra opción son los sistemas combinados de caldera, torre de refrigeración y bomba de calor, que utilizan la caldera como fuente de calor y la torre de refrigeración para evacuar el calor al exterior, en conjunción con la bomba de calor, que suministra calefacción o refrigeración al circuito de recirculación del agua.

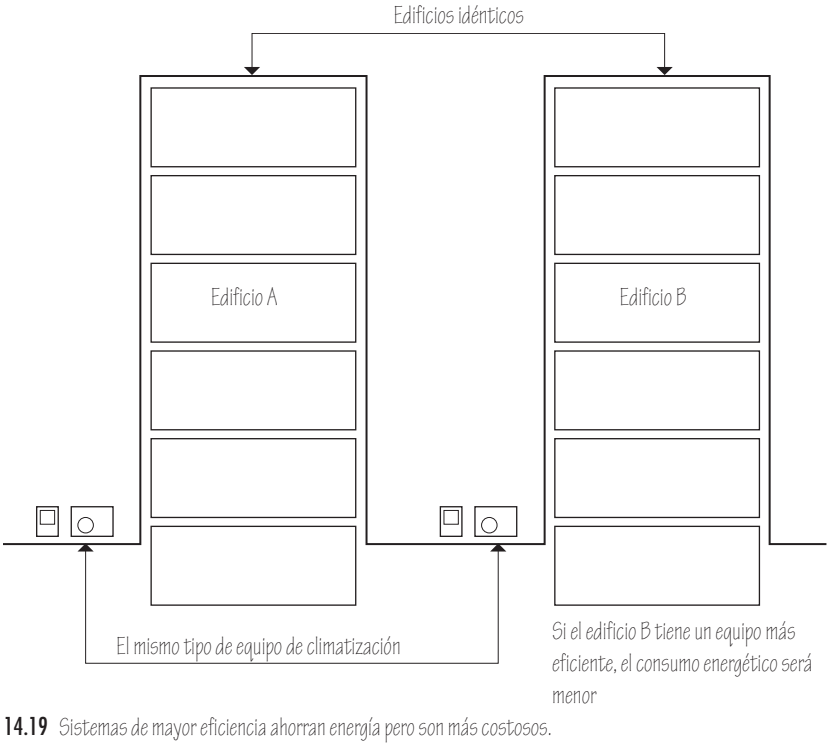
Sin embargo, estos sistemas combinados solo son eficientes en edificios con un núcleo central significativo y, por tanto, no están condicionados por la envolvente. En otras palabras, los sistemas combinados de caldera, torre y bomba de calor funcionan mejor en edificios con un exceso de calor permanente en el núcleo, calor que puede utilizarse para calentar el perímetro del edificio en invierno. En edificios condicionados por la envolvente —como viviendas, la mayoría de los hoteles, comercios de una planta y pequeños edificios de oficinas—, los sistemas combinados tienen consumos energéticos y emisiones de carbono superiores a los de cualquiera de las principales alternativas, como sistemas basados en combustibles fósiles, bombas de calor geotérmicas o convencionales. Los sistemas combinados en edificios dominados por la envolvente no pueden obtener calor ni del exterior, ni del terreno, ni de espacios con exceso de calor, por lo que se convierten inadvertidamente en edificios calentados en parte por combustibles fósiles, en parte por electricidad, con el mayor coste y las consecuencias energéticas asociadas al uso del calor eléctrico.

Una pauta habitual en los proyectos de edificios ecológicos es proyectarlos con bombas de calor geotérmicas y, después de comprobar los costes inasumibles para el presupuesto del proyecto, cambiar a un sistema combinado con caldera y torres de ventilación. Esto es un error en el caso de edificios dominados por la envolvente, ya que se instala uno de los sistemas menos eficientes y con mayor huella de carbono de todos los disponibles.

Otra alternativa para la calefacción son los sistemas alimentados con biomasa. Dentro de la denominación de biomasa entran combustibles como los pellets de madera, las virutas de madera y la leña. La ventaja de utilizar biomasa como combustible de calefacción es su bajo impacto en términos de emisiones de carbono, cuando se contabiliza la capacidad de absorción de CO_2 que tiene la biomasa. Los hornos de leña tradicionales, sin embargo, son sistemas abiertos que requieren aire para la combustión y la extracción de humos, lo que induce a una filtración de aire innecesaria. Los hornos de leña más modernos tienen una conexión directa con el exterior y pueden ser considerados sistemas de combustión sellada. En los últimos años también se comercializan calentadores de agua alimentados con biomasa, aunque normalmente no están ubicados dentro del núcleo caldeado del edificio, ya que necesitan estar en un espacio apto para la recarga del combustible. También es necesario eliminar y gestionar las cenizas. A pesar de todos los inconvenientes, la baja emisión neta de carbono de los sistemas de biomasa garantiza su aplicación en determinados edificios.



14.18 Ubicación de las unidades ventiloconvectoras dentro de una habitación.



14.19 Sistemas de mayor eficiencia ahorran energía pero son más costosos.

14.20 Una fórmula sencilla para estimar los costes energéticos.

Los ahorros de un equipo de alta eficiencia pueden expresarse así:

$$1 - (E_{baja}/E^{alta})$$

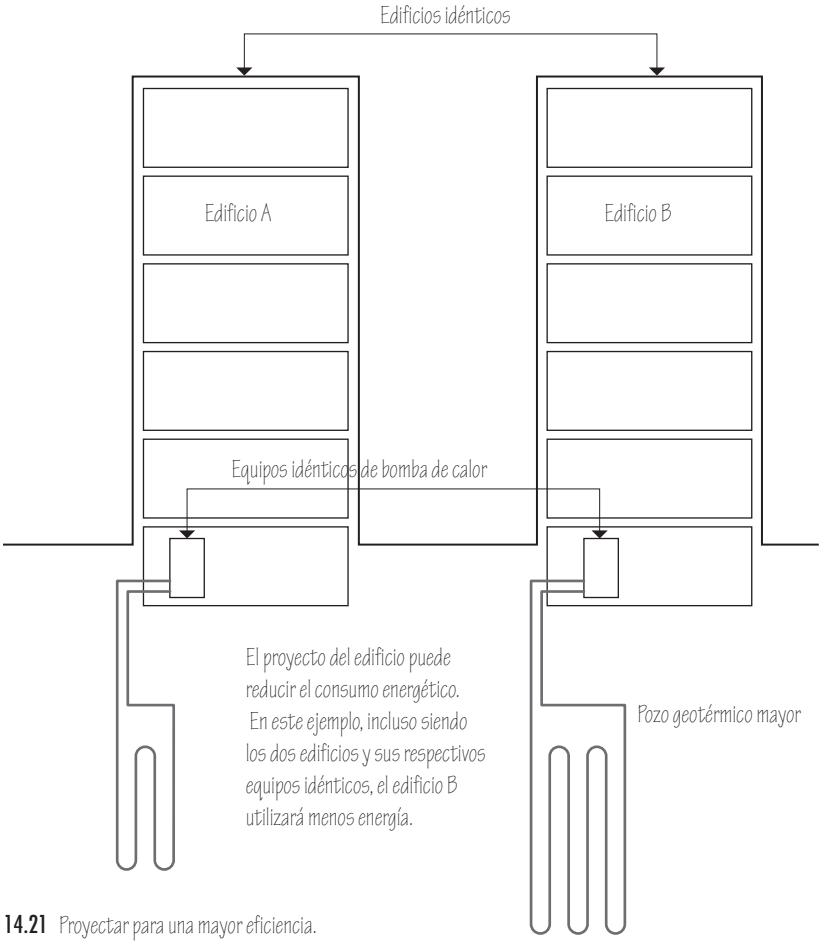
donde E_{baja} es la eficiencia más baja y E^{alta} es la eficiencia mayor. Por ejemplo, una caldera con un 95 % de eficiencia, comparada con una caldera con un 80 % de eficiencia, ahorrará: 1-(0,8/0,95) = 16 %.

Un tema importante que tratan los expertos en arquitectura ecológica al referirse a la climatización es la conveniencia de ubicar los equipos en los propios espacios que hay que acondicionar. Esto se aplica específicamente a los pequeños equipos de ventiloconvección, que pueden montarse sobre las paredes, el suelo o el techo. Los beneficios de ubicar los equipos en las habitaciones son numerosos: se evitan las pérdidas por distribución, la energía destinada a ventiladores es menor, permite controles de temperatura por zonas, se pueden suprimir las cámaras sobre los falsos techos o bajo el suelo para los conductos de distribución, y los costes de instalación son menores. Posiblemente, los únicos inconvenientes de esta solución sean el ruido y las cuestiones estéticas. A pesar de ello, la instalación de equipos de climatización en las habitaciones cuenta con una larga historia. Por ejemplo, los radiadores de fundición montados sobre el suelo formaban parte de los sistemas de calefacción más antiguos, y aún se siguen utilizando con frecuencia. Otro ejemplo son las escuelas, que suelen utilizar sistemas de climatización bajo las ventanas. Los ventiloconvectores sin conductos son la norma en muchos países, y si resulta imposible instalarlos en las habitaciones de ciertos edificios, pueden instalarse empotrados en el techo, en armarios o en otros lugares ocultos, acompañados de los correspondientes conductos de distribución. Una forma de instalación in situ que hay que evitar a toda costa son los sistemas que atraviesan los muros, como los sistemas compactos de aire acondicionado o sistemas similares de bombas de calor. La gran perforación que debe practicarse en el muro ha demostrado ser la causa tanto de filtraciones como de pérdidas por conducción.

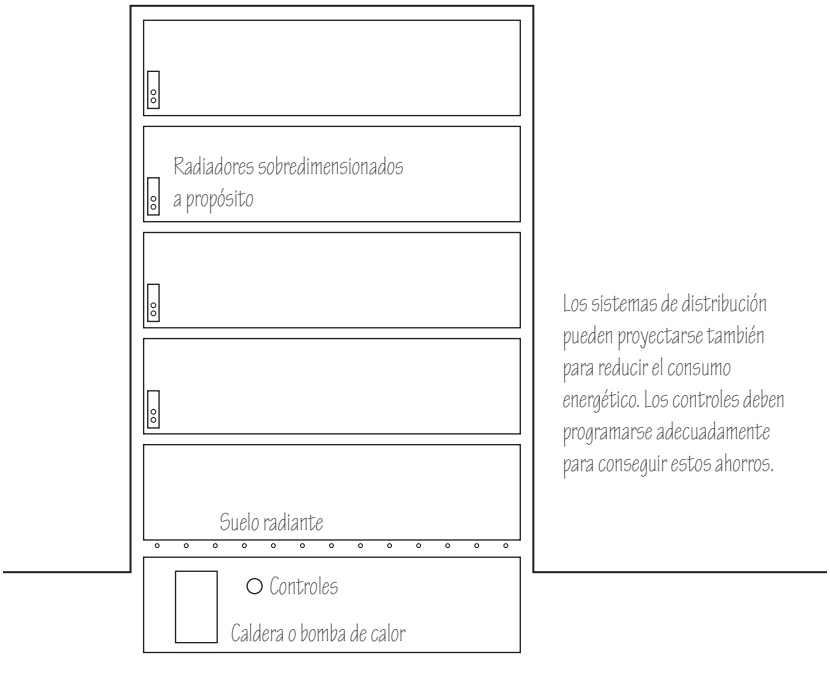
Eficiencia del sistema

Los diferentes sistemas de climatización están disponibles con varias eficiencias. En general, los de alta eficiencia ahorran energía, pero son más costosos de instalar. Normalmente, el mayor coste inicial de los sistemas de alta eficiencia se justifica por el ahorro energético a largo plazo, pero esto debe confirmarse en la simulación energética.

Las normas de eficiencia energética fijan unos valores mínimos de eficiencia para los distintos tipos de aparatos. Se recomienda la instalación de equipos de alta eficiencia para poder cumplir estándares de edificación de alto rendimiento (en Estados Unidos) como el ASHRAE 189 o el Código Internacional de Construcción Ecológica, o para estándares de no obligado cumplimiento como ENERGY STAR y otros programas de fomento de la eficiencia promovidos por administraciones públicas y empresas de servicios. Durante la simulación energética, es necesario buscar un equilibrio entre los costes de la instalación inicial y los costes a lo largo de la vida útil del aparato, aunque también puede hacerse un cálculo estimado menos sofisticado.



14.21 Proyectar para una mayor eficiencia.

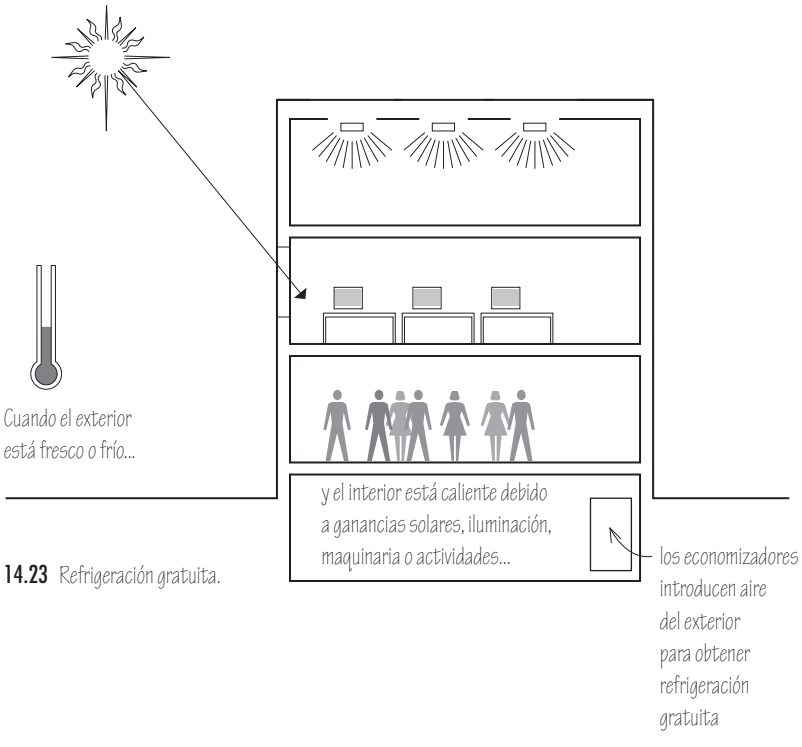


14.22 Proyectar sistemas de distribución para mejorar la eficiencia.

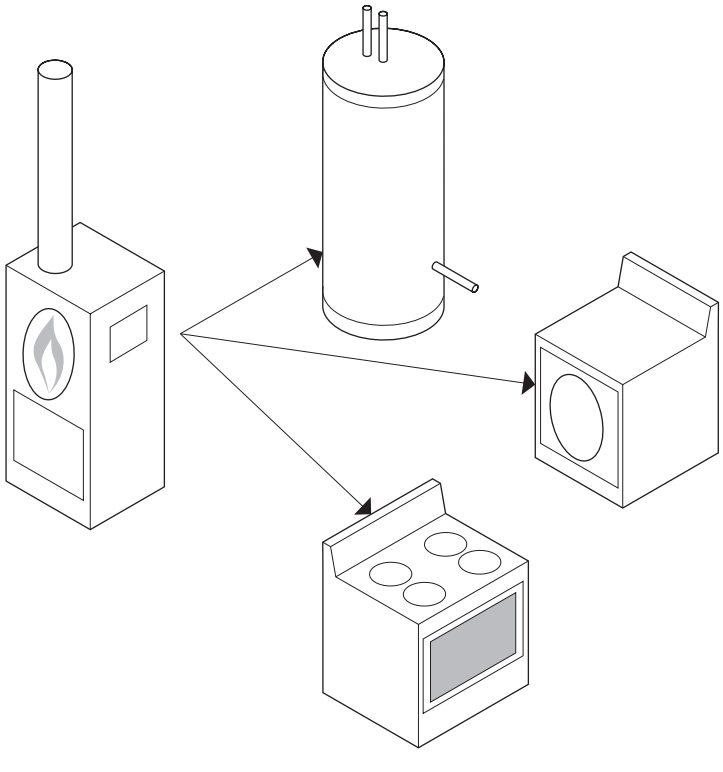
Cabe señalar que la eficiencia nominal de un determinado aparato no siempre se traslada al funcionamiento real en un edificio y un clima particulares. Es más, el proyectista del edificio puede tener un control significativo sobre la eficiencia real del aparato a través de una serie de medios. Por ejemplo, la bomba de calor geotérmica funciona con mayores niveles de eficiencia si el pozo geotérmico es más extenso, o si el suelo es más conductivo, permitiendo una mayor transferencia de calor con el terreno. Por el contrario, si las condiciones térmicas del suelo no son buenas o si el pozo no es lo bastante extenso, la eficiencia del sistema será mucho menor. De forma similar, un sistema refrigerador no funcionará a la máxima eficiencia posible si la torre de refrigeración está sobredimensionada.

Los equipos de calefacción que distribuyen agua caliente por el edificio, como calentadores o bombas de calor, funcionarán con mayores eficiencias si el sistema de distribución es lo suficientemente grande como para permitir temperaturas menores del agua. Ciertos tipos de sistemas de distribución, como los sistemas de suelo radiante, ofrecen intrínsecamente las grandes superficies necesarias para reducir la temperatura del agua si se diseñan adecuadamente. La clave es que la temperatura de retorno al calentador o a la bomba de calor sea baja.

Para sacar ventajar de estas estrategias de baja temperatura, los controles del sistema deben programarse de forma adecuada. Las ganancias potenciales en eficiencia son significativas. Una caldera de condensación que funcione con agua de retorno a 55 ºC y opere con un 87 % de eficiencia verá aumentada su eficiencia hasta por encima del 95 % si la temperatura de retorno del agua se reduce hasta los 32 ºC, utilizando radiadores más grandes o una instalación de suelo radiante. Una bomba de calor que opere en calefacción con agua de retorno a 40 ºC y un coeficiente de rendimiento de 3,1, verá aumentado este valor hasta 3,8 con agua de retorno a 32 ºC, un 23 % más de eficiencia.



14.23 Refrigeración gratuita.



14.24 La selección del combustible para calefacción suele impactar en la selección del combustible para equipos como calentadores de agua, secadoras y cocinas.

En la actualidad, los distintos equipos de climatización presentan muchas mejoras en eficiencia, y algunas de ellas son obligatorias en las normas de ahorro energético, especialmente en el caso de los equipos más grandes, aunque también pueden aplicarse en circunstancias a las que no obliga la normativa. Estas son:

- Refrigeración gratuita. También conocidos como economizadores, estos sistemas utilizan aire fresco o aire enfriado por agua del exterior en los momentos en que el exterior está más frío que el interior, normalmente en las épocas de cambio de estación, en edificios con gran inercia térmica.
- Reajuste de las temperaturas del agua refrigerada, el agua caliente o el aire suministrado según las condiciones exteriores. La eficiencia del sistema aumenta modificando las temperaturas de los sistemas de climatización, como, por ejemplo, cuando se aumenta la temperatura del agua en un refrigerador, en situaciones en las que la temperatura exterior es moderada, o se reduce la temperatura del agua de un calentador.

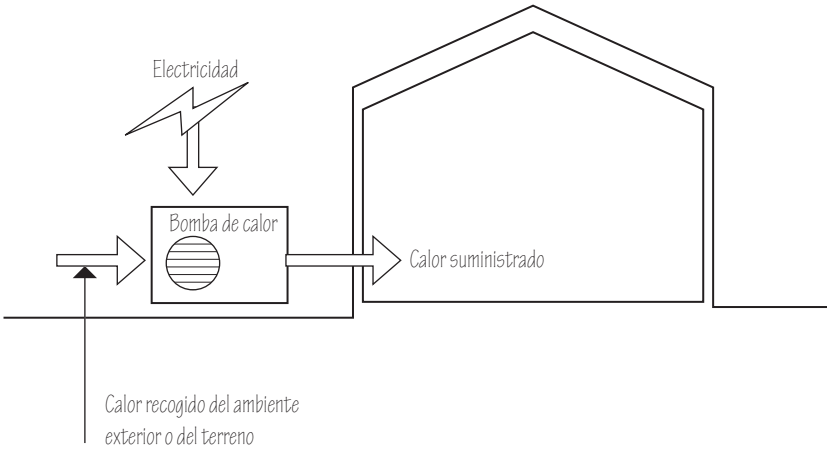
En los últimos años se ha determinado que el sobredimensionado de los sistemas de climatización puede provocar pérdidas energéticas debido a que el equipo sobredimensionado opera en ciclos cortos. Las normas de ahorro energético y los estándares de arquitectura ecológica requieren cada vez más que no se sobredimensionen los equipos y se adopten equipos de capacidad variable, que estarán menos sobredimensionado tanto a carga completa como a media carga.

También debería tenerse en presente la vulnerabilidad a cometer errores en los edificios ecológicos, ya que aunque un sobredimensionado tiene efectos negativos, no quiere decir que una instalación infradimensionada tenga efectos positivos. Un sistema de climatización con menos capacidad de la necesaria tendrá como resultado un edificio poco confortable, demasiado frío en invierno y demasiado caliente en verano. Los sistemas de climatización no deberían en ningún caso estar dimensionados por encima o por debajo de las necesidades, tan solo ajustarse lo más posible a las mismas.

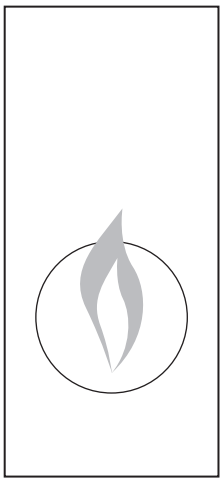
Selección del combustible

Una decisión importante en cualquier proyecto de edificio ecológico es la elección del combustible de calefacción, elección que a menudo tiene otras ramificaciones y se convierte en el combustible utilizado para otras aplicaciones, como el agua caliente, la cocina o el secado de la ropa.

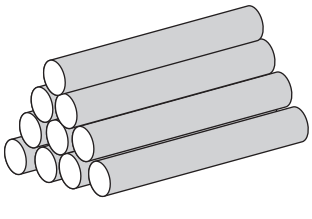
Los combustibles para calefacción son la energía solar, la electricidad para alimentar bombas de calor o resistencias eléctricas, el gas natural, el gasoil, el propano, el queroseno, la biomasa y el carbón. En ciudades o urbanizaciones con sistemas de calefacción de barrio. Puede adquirirse directamente el suministro de vapor o agua caliente, aunque estos tienen que volver a calentarse por alguno de los combustibles mencionados. Algunos sistemas industriales derivan calor residual gratuito de ciertos procesos industriales. La cogeneración —generación de electricidad y calor en un mismo proceso— es otra fuente de calor que, en cualquier caso, es alimentado por alguno de los combustibles antes mencionados.



14.25 Sistema de bomba de calor.



14.26 El gas natural es un combustible relativamente limpio, pero un recurso finito.



14.27 Los productos de biomasa son combustibles de rápida regeneración y se consideran carbononeutrales.

Debido a sus altas emisiones de carbono, algunos combustibles tienen menos probabilidad de incorporarse a un proyecto de edificio ecológico, como el gasoil, el queroseno, el propano o el carbón, lo que dejaría a la energía solar, la electricidad, el gas natural y lo biocombustibles como los candidatos más probables para ser utilizados como combustibles de calefacción en los edificios ecológicos.

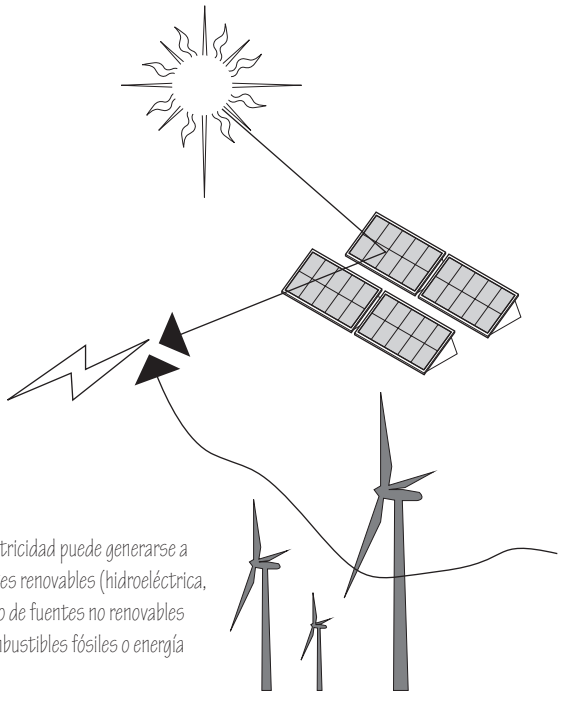
La energía solar térmica se trata específicamente en el capítulo 15: Energías renovables. En este capítulo nos centraremos en las formas no solares de generar calor.

La energía conseguida a través del calentamiento de una resistencia eléctrica debería descartarse en todos los casos, excepto en edificios que pretendan tener consumo energético neto cero o cercano a cero, o en habitaciones que requieran una carga de calefacción muy baja. El calor por resistencia eléctrica es una forma muy costosa de calentar un edificio. La electricidad es una forma de energía de muy alta calidad, y la generación de calor, que es una forma degradada de energía, no es el mejor destino que se le puede dar.

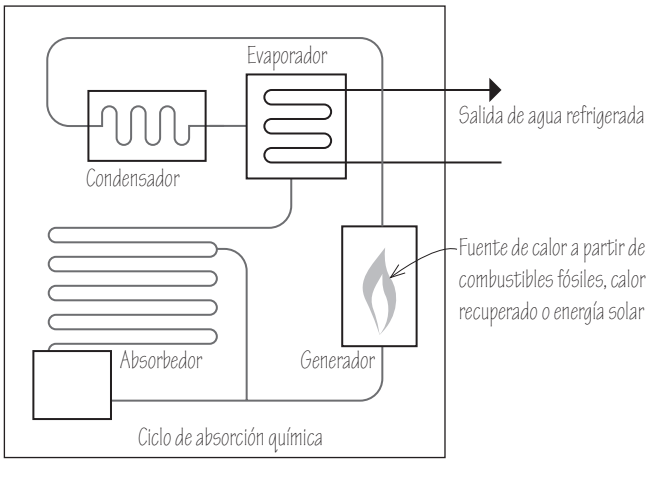
Cuando se utiliza la electricidad mediante una bomba de calor, la eficiencia del sistema se amplifica gracias al aprovechamiento del calor gratuito del aire exterior o del terreno o las aguas subterráneas. Hoy en día, las bombas de calor son probablemente la forma más utilizada de calefacción en los edificios ecológicos. Como se indicó antes, la única excepción son los sistemas combinados de caldera, torre y bomba de calor, que no se recomienda en edificios ecológicos, excepto en el caso de aquellos que cuentan con un núcleo interno o ganancias internas sustanciales.

El gas natural se utiliza en algunos edificios ecológicos. La combustión es relativamente limpia y en las últimas décadas se han desarrollado alternativas de alta eficiencia. Como desventajas podemos citar que el gas natural es un recurso finito y que los desarrollos recientes de extracción de gas natural, como la fractura hidráulica, están demostrando que tiene unos impactos significativamente adversos en el medio ambiente, como la contaminación del aire, el agua y los suelos, la contaminación acústica y lumínica debida a las máquinas perforadoras y los generadores empleados en los pozos de extracción, la transformación de los paisajes, y el impacto de los cientos de camiones necesarios para transportar el agua contaminada de la perforación.

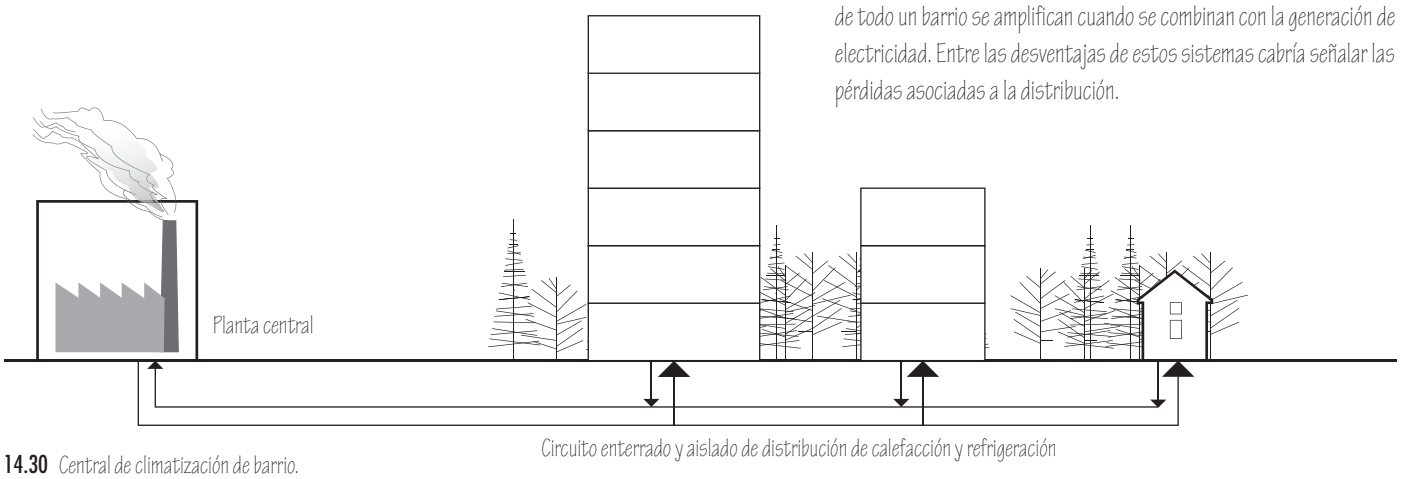
Los biocombustibles son la leña, los pellets y las virutas de madera, y una diversidad de otros combustibles de regeneración rápida. Las ventajas de la biomasa son sus bajas emisiones de carbono, pues absorbe carbono de la atmósfera en su fase de crecimiento. Los equipos de combustión son cada vez más limpios (un problema histórico de estos sistemas eran las partículas y otros contaminantes de la combustión). Sus desventajas son la contaminación del aire si la combustión no se lleva a cabo correctamente y la necesidad de cargar el combustible, aunque en los últimos tiempos se han podido automatizar algunos de los procesos. Los hogares y los hornos tradicionales de leña no se consideran ecológicos por la cantidad de aire de combustión que incorporan al edificio.



14.28 La electricidad puede generarse a partir de fuentes renovables (hidroeléctrica, eólica o solar) o de fuentes no renovables (quema de combustibles fósiles o energía nuclear).



14.29 Enfriamiento por absorción.



14.30 Central de climatización de barrio.

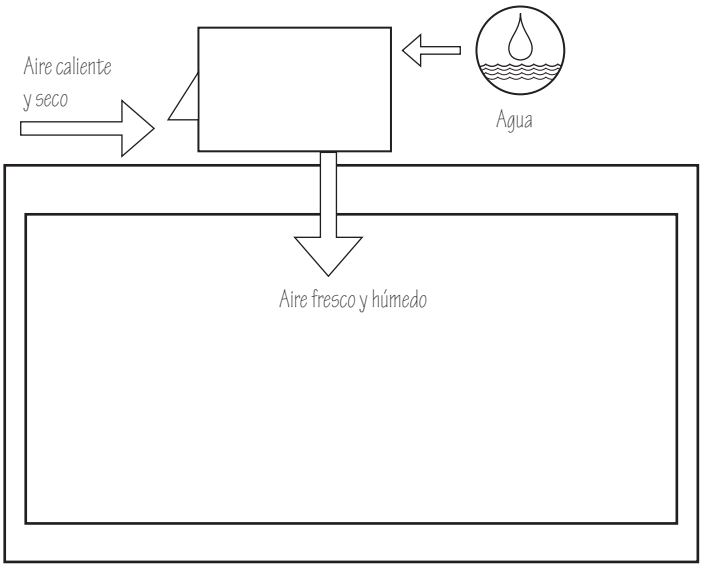
La elección del combustible para un edificio concreto normalmente se define en función de la disponibilidad de combustible y su adecuación al propio edificio, pero pueden aplicarse argumentos de tipo social en favor o en contra de los distintos combustibles. En favor de la electricidad puede decirse que cada vez se genera en mayor medida a partir de fuentes renovables, como la energía solar, la eólica o la hidroeléctrica. Los combustibles fósiles, por su parte, nunca serán renovables, y su extracción es cada vez más difícil, incrementando sus impactos ambientales negativos.

Una vez seleccionado un combustible de calefacción, pueden elegirse los combustibles para otros usos del edificio. La segunda elección importante es el combustible para la producción de agua caliente. Un edificio que utiliza electricidad para la calefacción probablemente elegirá aparatos eléctricos —cocinas, secadoras, y similares—, otra consideración que hay que tener en lo que se refiere a la selección del combustible y de los distintos equipos.

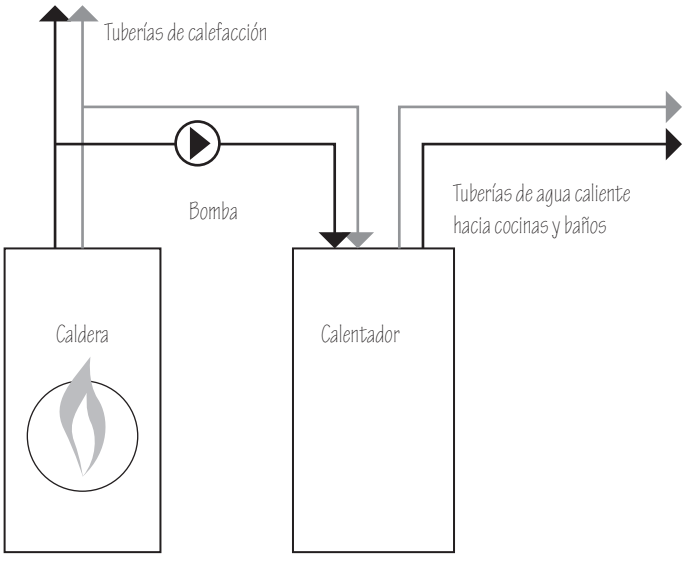
Sistemas avanzados y emergentes

Hay una diversidad de sistemas avanzados y emergentes para proporcionar especialmente climatización. Los sistemas de absorción refrigeran a través del uso de un ciclo de absorción química, y necesitan una entrada de calor más que un compresor eléctrico, aunque aún se requiere electricidad para hacer funcionar los ventiladores y el bombeo. Estos sistemas son de interés cuando se cuenta con una fuente gratuita de calor residual, como el calor procedente de procesos industriales, de la producción de electricidad o de energía solar. La refrigeración por absorción, alimentada por combustibles fósiles o por vapor o agua caliente, no suele ser competitiva o eficiente en términos energéticos si se la compara con la refrigeración convencional, a no ser que la fuente de calor sea residual y gratuita.

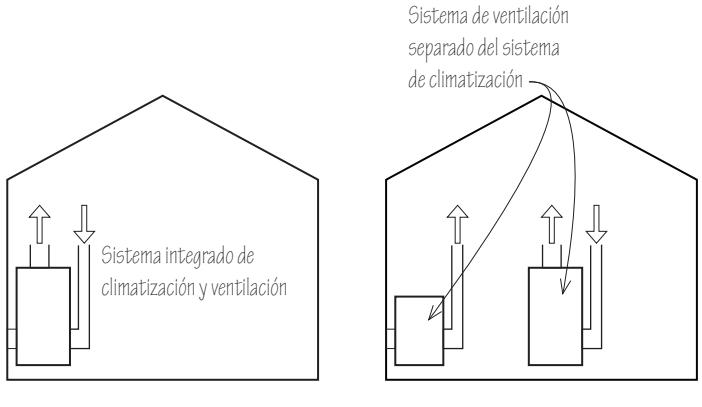
Los sistemas de climatización de todo un barrio, suministrados por una planta central, suelen utilizar vapor o agua para calefacción y agua para la refrigeración. En el caso de los edificios ecológicos debería evitarse el uso de vapor debido a su propensión a las fugas y por la dificultad de detectarlas, así como por las pérdidas térmicas que se producen, resultado de las altas temperaturas. Los beneficios de la climatización de todo un barrio se amplifican cuando se combinan con la generación de electricidad. Entre las desventajas de estos sistemas cabría señalar las pérdidas asociadas a la distribución.



14.31 Enfriamiento evaporativo.



14.32 Sistemas integrados.



14.33 En el proyecto de edificios ecológicos, suele ser prudente separar funciones como la ventilación y la producción doméstica de agua caliente de los sistemas de climatización.

La refrigeración evaporativa se logra mediante la evaporación de agua. Este sistema funciona en climas secos y utiliza menos energía que la refrigeración convencional, pero consume agua.

Se ha desarrollado toda una tecnología de almacenaje de energía térmica, como almacenar hielo, utilizado habitualmente para trasladar al horario nocturno parte del consumo eléctrico de las horas punta diarias. Más que ahorrar energía o reducir las emisiones de carbono, la intención de esta tecnología es reducir las puntas de consumo eléctrico en verano y, por tanto, el coste de la factura. Dependiendo del emplazamiento, el almacenaje de hielo puede reducir el consumo energético y las emisiones de carbono en algunos casos, pero en otros provocará su aumento. La considerable cantidad de energía incorporada a los recipientes de almacenamiento, que suelen ser de hormigón, debería tenerse en cuenta en el análisis.

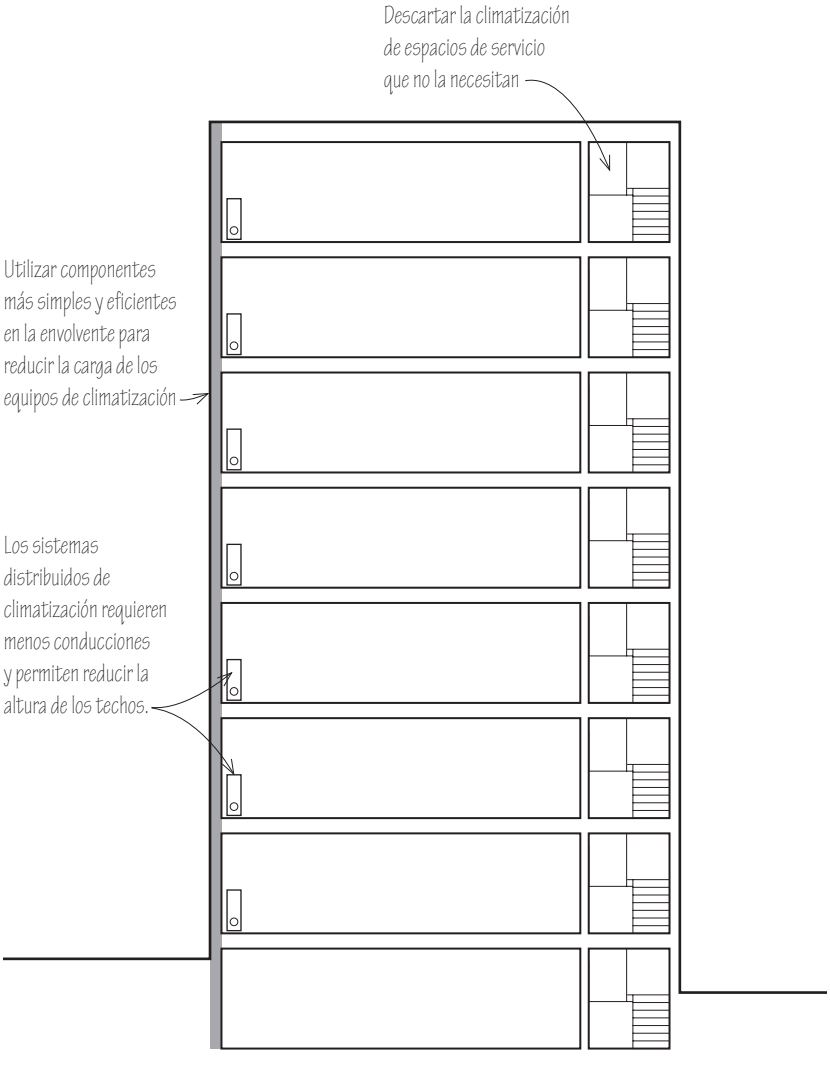
Otras tecnologías emergentes son los sistemas de distribución por vigas frías, los sistemas dedicados de aire exterior, o los sistemas de refrigeración y deshumidificación desecante. La refrigeración por vigas frías se utiliza cada vez más en combinación con el sistema de aire exterior para reducir la energía empleada en la refrigeración separando las dos funciones del aire acondicionado —reducir la temperatura y eliminar la humedad— y suministrándolas con una gran eficiencia.

Integración de sistemas

Los sistemas de climatización suelen integrar funciones adicionales, como la ventilación o la producción de agua caliente. Tal integración puede reducir los costes de la instalación, pero históricamente ha incorporado una complejidad con consecuencias imprevistas, como el exceso de consumo de energía.

La integración de la producción de agua caliente en sistemas de calderas más grandes suele resultar ineficiente, pues muchos calentadores funcionan con bajas eficiencias en verano, para proporcionar una cantidad relativamente pequeña de calor necesaria para el agua caliente. Aún quedan dudas sobre si la integración de la producción de agua caliente con calentadores de condensación de alta eficiencia supone un ahorro de energía, en la medida en que se mantienen las pérdidas asociadas a la interconexión de las tuberías, las bombas y el propio calentador.

Integrar la ventilación con un sistema centralizado de climatización también ha sido problemático. La ventilación añade un tipo diferente de carga al sistema de climatización, específicamente, la de deshumidificación en verano. Por otra parte, cuando está integrado en la climatización, el sistema de ventilación necesita ventiladores hasta cuatro o cinco veces más potentes que los que necesitaría si fuese un sistema independiente. El desarrollo reciente de los sistemas dedicados de aire exterior ha demostrado que desacoplar ventilación y climatización presenta beneficios energéticos.



14.34 *Oportunidades de ahorro de costes con los sistemas de climatización.*

Costes y climatización

Los costes de instalación de un sistema geotérmico son altos debido al coste del pozo geotérmico. Sin embargo, los ahorros energéticos pueden justificar el sobrecoste cuando se hace un análisis del ciclo de vida. Los sistemas de flujo variable de refrigerante, que suelen formar parte de bombas de calor sin conductos, tienen un coste inicial inferior a los sistemas geotérmicos, pero sigue siendo superior al de los sistemas de climatización de gama baja. Los sistema de climatización más económicos suelen ser los menos eficientes en términos energéticos: equipos compactos sobre cubierta, unidades compactas de aire acondicionado y sistemas de combustión sin sellado.

A pesar de todo, diversas estrategias permiten reducir los costes de construcción mediante el proyecto ecológico.

Los mayores ahorros económicos que pueden obtenerse del proyecto ecológico derivan de la reducción de las cargas de climatización como resultado de una envolvente más simple y eficiente. La reducción de los costes del sistema de climatización no suelen ser proporcionales a la reducción de la carga de la envolvente; no obstante, estos ahorros solo pueden aprovecharse realmente si el dimensionado del sistema de climatización y distribución se realiza una vez completado el proyecto de la envolvente.

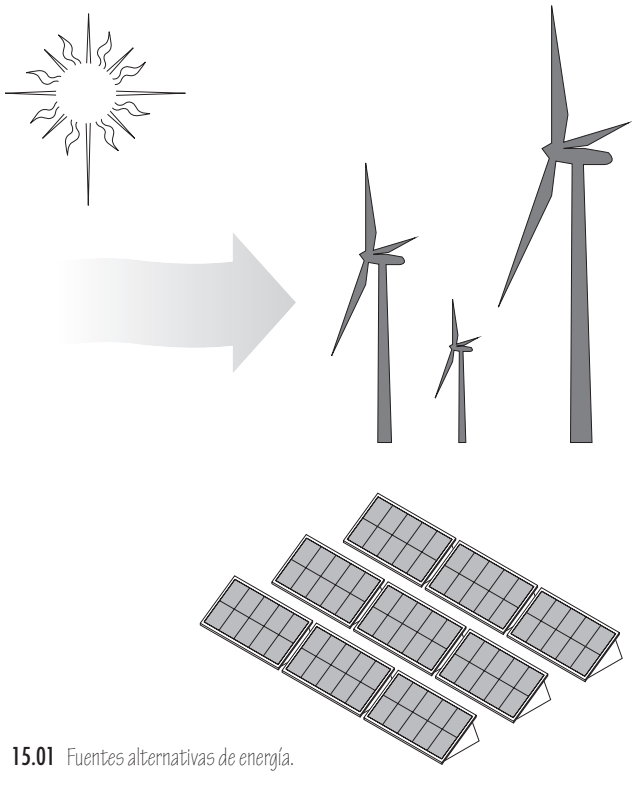
Otros factores del proyecto de edificios ecológicos permiten evitar la climatización de muchos espacios, reduciendo más aún los costes de construcción. Una mejor distribución de la temperatura interior, tanto horizontal (cerca de la envolvente del edificio) como vertical (dentro del mismo espacio, debido a una menor estratificación, y entre distintas plantas), también permite descartar la climatización de determinados espacios. Por ejemplo, se ha demostrado que los dormitorios de ciertas viviendas pueden calentarse de forma adecuada suministrando calefacción exclusivamente a las salas de estar.

La ubicación del sistema de climatización dentro de la envolvente térmica permite reducir los costes gracias a una menor longitud del sistema de distribución. Por ejemplo, en el proyecto de una instalación hidráulica convencional, las tuberías principales suelen disponerse a lo largo del perímetro del sótano, mientras que el circuito de distribución y los radiadores de las plantas superiores también se sitúan en el perímetro. Con una mejor distribución de la temperatura gracias a un buen diseño de la envolvente, los radiadores ya no necesitan estar situados en el perímetro del edificio, sino que pueden estar situados en muros interiores. De esta manera, la tubería principal puede estar situada en el núcleo interior del edificio y la conexión con cada radiador recorrerá una distancia menor desde el núcleo central hasta el muro interior donde está situado cada radiador, sin necesidad de recorrer la distancia hasta el muro exterior.

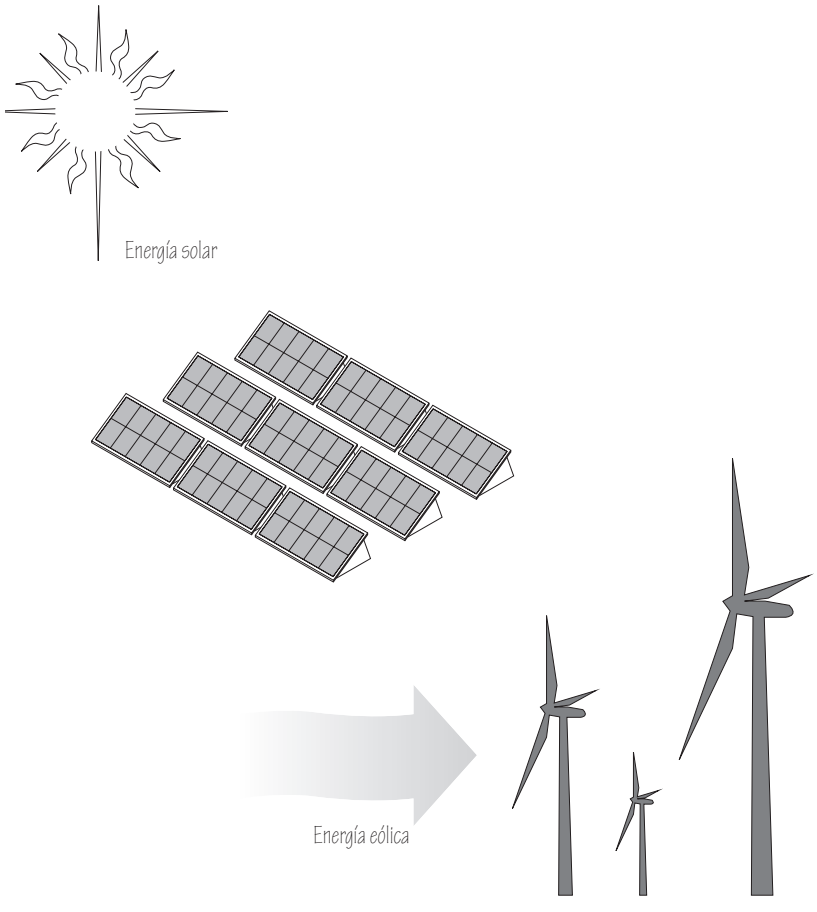
Uno de los mayores potenciales de reducción de los costes de construcción de los sistemas de climatización de pequeñas dimensiones y alta eficiencia reside en que no requieren tantos conductos de distribución e incluso no los necesitan. En la mayoría de los edificios, una dimensión crítica —la altura de los techos— viene determinada por el espacio necesario sobre el falso techo para albergar los conductos de distribución. Reducir el número de estos conductos o evitarlos implica que la altura de los techos es significativamente menor. En muchos edificios está dimensión se sitúa entre los 30 y los 60 cm, y con frecuencia alcanza los 90 o los 100 cm en las zonas por donde discurren las conducciones principales..

15
Energías renovables

Las energías renovables son energías procedentes de fuentes renovables, como el sol o el viento. Las energías renovables contrastan con la energía generada por combustibles no renovables, como el petróleo, el gas natural o el carbón, que se formaron a lo largo de millones de años y que la sociedad está consumiendo a una enorme velocidad. La energía renovable también contrasta con la energía producida a partir de combustibles que generan residuos de larga duración, como la energía nuclear.



15.01 Fuentes alternativas de energía.

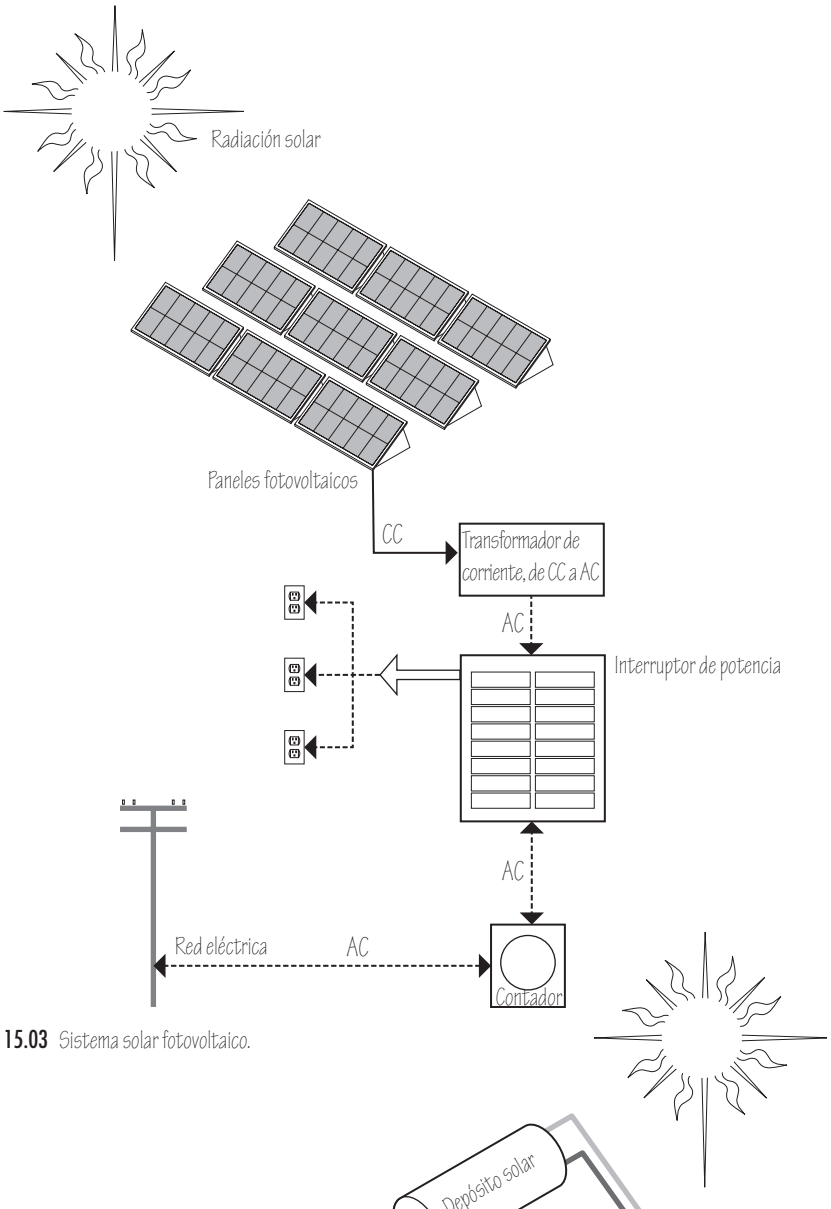


15.02 Fuentes renovables de energía.

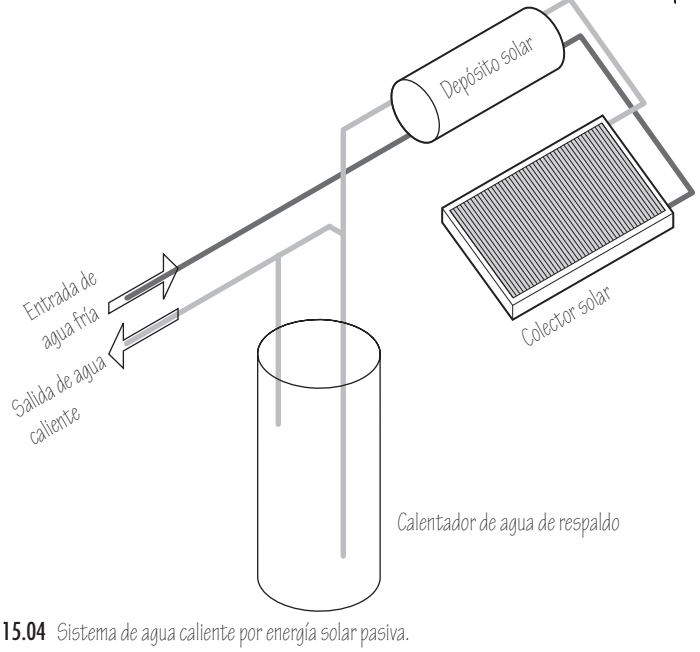
Una vez proyectado un edificio de bajo consumo energético, la atención puede dirigirse hacia las energías renovables para satisfacer parte de las necesidades energéticas del edificio. Es mejor tratar este tema de las energías renovables en este punto, pues suelen ser más costosas de instalar después que otras mejoras de eficiencia energética del edificio. Por otra parte, los equipos de energías renovables tienen una energía incorporada durante el proceso de fabricación y transporte que supone una penalización energética, como pequeño inconveniente frente a la energía que proporciona.

En esta coyuntura del proceso de proyecto de afuera adentro, el edificio debería ser capaz de recibir los equipos de energía renovable gracias a la atención que se ha prestado durante todo el proceso a esta posibilidad, especialmente en la cubierta y la parcela. Por ejemplo, la cubierta se ha orientado para maximizar la radiación solar y se han evitado las posibles obstrucciones para maximizar el área disponible para los paneles solares.

Los sistemas renovables que aquí se consideran son principalmente la energía solar y la eólica. El uso de biomasa para calefacción suele considerarse también una forma de energía renovable, pero ya ha sido tratada en el capítulo 14: Climatización. Las bombas de calor geotérmico también se describen en ocasiones como una tecnología de energía renovable, pero se trata de un error; aunque el calor geotérmico procedente de aguas termales puede ser considerado una fuente renovable de energía, las bombas de calor geotérmicas siguen dependiendo de la electricidad, al igual que otros tipos de bombas de calor, y no deberían por ello ser consideradas renovables.



15.03 Sistema solar fotovoltaico.



15.04 Sistema de agua caliente por energía solar pasiva.

Energía solar

La energía solar puede utilizarse para generar electricidad a través de sistemas fotovoltaicos o calor mediante sistemas de colectores solares. Ya hemos hablado de la ubicación de los paneles solares en los capítulos dedicados al emplazamiento (para sistemas montados sobre el terreno) y a los elementos externos del edificio (para los sistemas montados sobre cubierta).

Sistemas solares fotovoltaicos

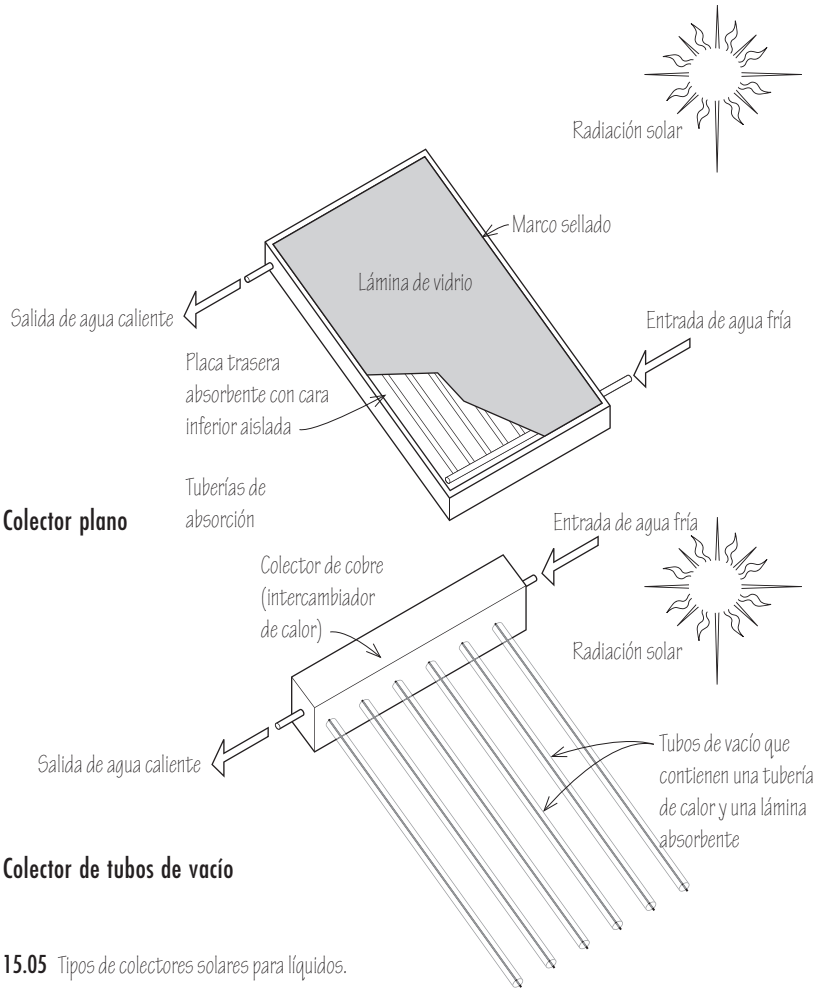
Los paneles solares fotovoltaicos suelen denominarse módulos y no tienen elementos móviles. La energía eléctrica se genera en los módulos en forma de corriente continua (CC), y un transformador la convierte en corriente alterna (CA) para dar servicio al edificio. La energía generada por los sistemas solares fotovoltaicos puede derivarse alternativamente hacia la red eléctrica cuando se genera más electricidad de la que necesita el edificio. Un sistema fotovoltaico puede conectarse a la red de suministro o utilizar baterías para convertirse en un sistema autónomo, o ambas cosas a la vez, permitiendo que el sistema se conecte a la red pero que tenga cierta autonomía en caso de caída de esta. La mayor parte de los sistemas actuales están conectados a la red, aunque los usuarios que valoran la autonomía pueden preferir el uso de baterías. Los beneficios de los sistemas solares fotovoltaicos son su tecnología probada y fiable y la cantidad de energía que puede generarse es predecible. El uso de energía solar fotovoltaica ha crecido significativamente como resultado de la bajada de precios de las instalaciones, los subsidios públicos y las nuevas alternativas de financiación. Los riesgos de fiabilidad suelen ser bajos y se resumen en los daños a los módulos y los problemas con los transformadores.

Sistemas solares térmicos

Los sistemas solares térmicos o termosolares pueden utilizarse para calentar un líquido o aire. Los paneles solares térmicos suelen recibir el nombre de colectores solares.

Los líquidos utilizados en los sistemas solares térmicos pueden ser el agua en los climas más cálidos, o una mezcla de agua con anticongelante en los fríos. Los sistemas basados en líquidos pueden ser pasivos (funcionan sin bombeo) o activos (requieren una bomba). Los sistemas pasivos suelen denominarse sistemas de termosifón, y tienen el depósito en la parte más alta del sistema, normalmente por encima de los colectores de la cubierta, para permitir que el agua circule por gravedad. Estos sistemas de termosifón basados en agua son los más comunes en climas cálidos, donde no hay riesgo de congelación.

.



15.05 Tipos de colectores solares para líquidos.

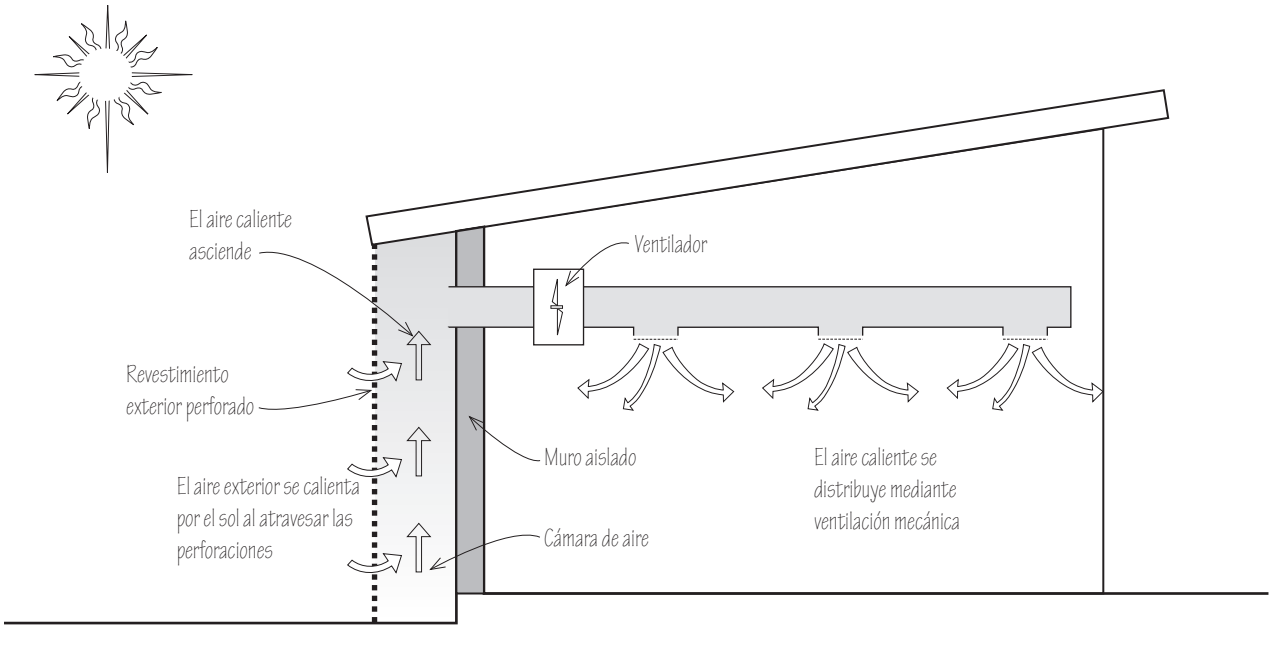
Los tipos de colectores más comunes son los planos y los de tubos de vacío. Los planos son más económicos, pero su eficiencia suele ser menor, mientras que los de tubos de vacío son más costosos, pero más eficientes y pueden instalarse fácilmente en las cubiertas, pues el panel está formado por una serie de componentes modulares que se montan in situ.

Los sistemas basados en aire pueden calentar el aire exterior que entra en el edificio impulsado por un ventilador, o bien calentar el aire interior. La aplicación de ventilación es común en el tipo de colectores solares de transpiración, donde el aire se impulsa a través de las perforaciones del colector. Los sistemas que calientan aire pueden dividirse en activos (utilizan ventilador para hacer circular el aire) o pasivos (funcionan sin ventiladores).

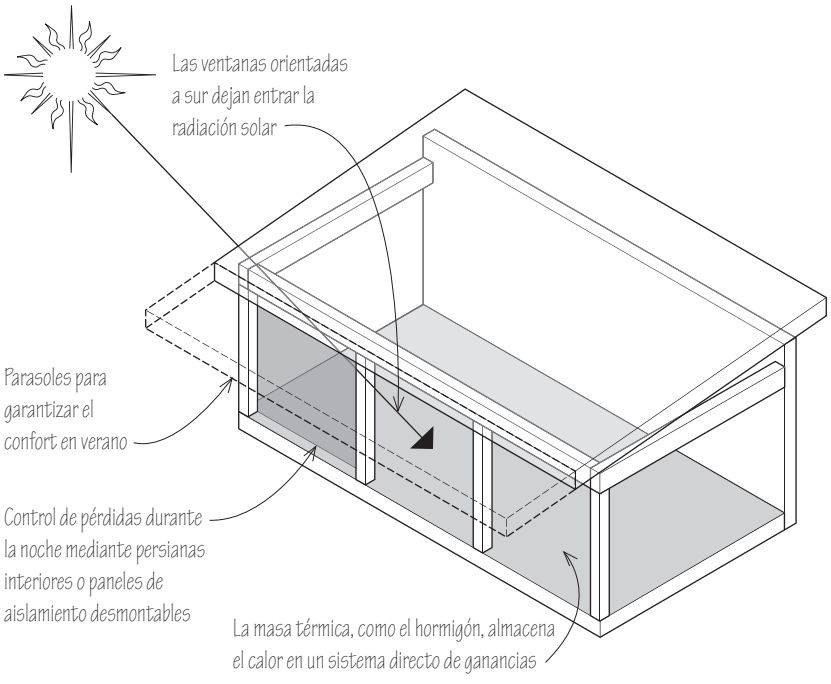
Ya sean activos o pasivos, los sistemas solares térmicos suelen contar con tres componentes::

- Superficie de recolección de la energía solar.
- Almacenamiento, donde se guarda el calor recogido durante los períodos de insolación para suministrarlo cuando no hace sol.
- Controles para activar la captación y el almacenamiento de la energía solar cuando está disponible, y evitar pérdidas cuando no hace sol.

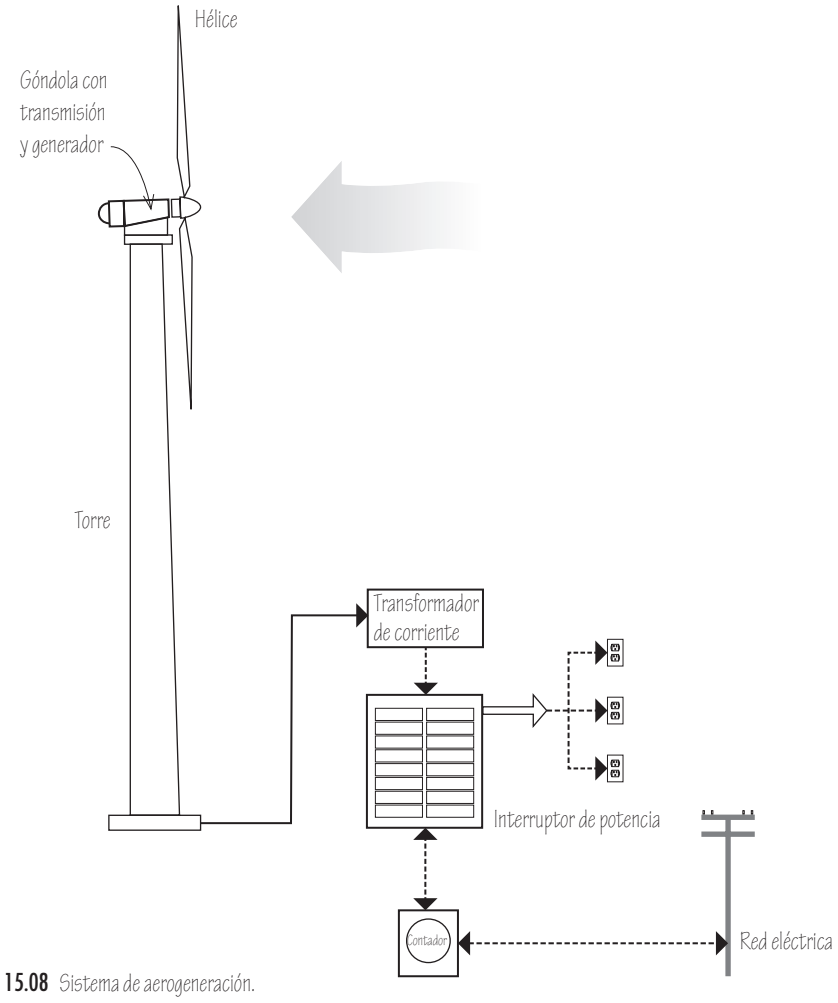
Estos tres componentes son importantes para la eficacia de un sistema solar térmico, y sin ellos se puede perder más calor del que se gana, ya que, si alguno de los componentes no funciona adecuadamente, los colectores pierden tanta energía por la noche como la que pueden ganar durante el día.



15.06 Sistema solar de transpiración.



15.07 Sistema de energía solar pasiva.



15.08 Sistema de aerogeneración.

Energía solar pasiva

La energía solar pasiva se refiere a la recolección de calor solar sin el uso de sistemas mecánicos o eléctricos, como bombas o ventiladores.

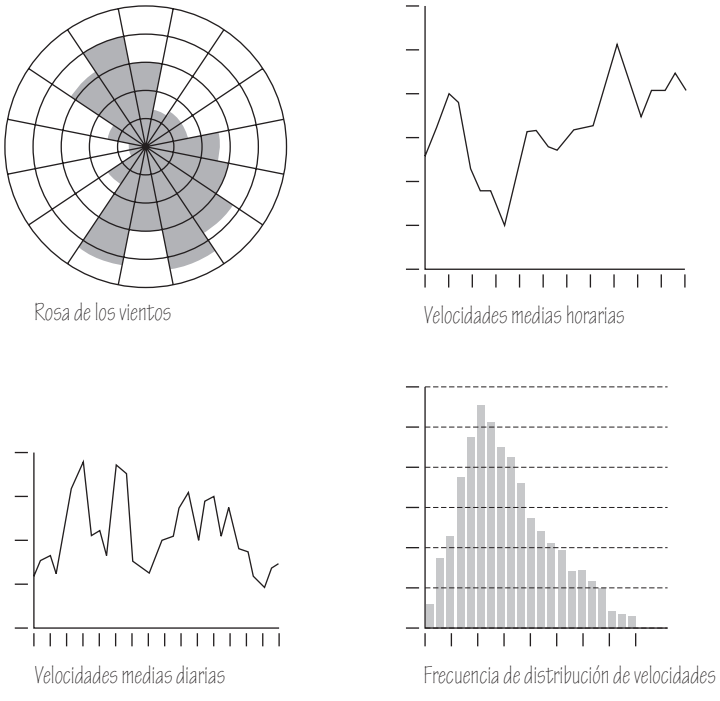
Desde el ámbito de la energía solar pasiva, se ha realizado gran parte del trabajo de campo para mejorar la eficiencia energética de los edificios y de la energía solar. Durante un largo proceso de desarrollo de sistemas de energía solar pasiva, hemos aprendido que los edificios calentados con esta energía necesitan los mismos tres componentes que los sistemas solares térmicos: captación, almacenamiento y control. La captación se lleva a cabo en las ventanas orientadas a sur; el almacenamiento, principalmente a través de la masa térmica, y el control, con medidas como la colación de aislamiento móvil para ventanas durante la noche. Ahora sabemos que las grandes ventanas, bien orientadas a sur pero sin el correspondiente almacenamiento y control, provocan el sobrecalentamiento del edificio durante el día y causan pérdidas durante la noche que suponen un consumo adicional e innecesario de energía fósil.

La energía solar pasiva sigue siendo una alternativa viable para las personas comprometidas con los sistemas energéticos con pocas partes móviles, dispuestos a aceptar imperfecciones, como las fluctuaciones de la temperatura interior, y a comprometerse activamente con el control de su sistema energético, por ejemplo, cerrando las persianas y colocando el aislamiento de las ventanas en el período nocturno.

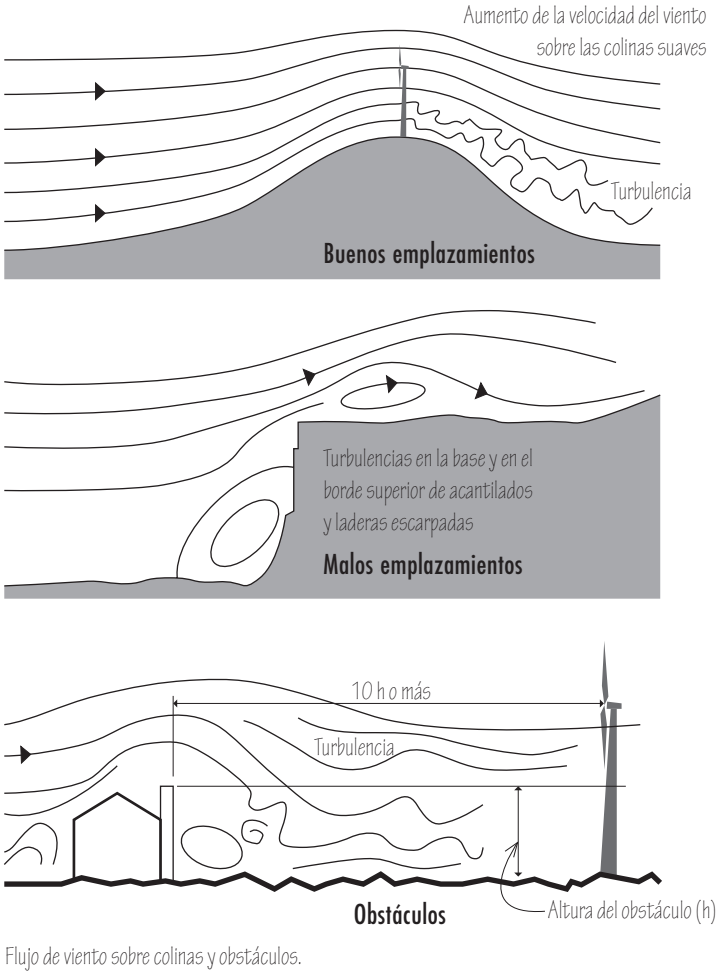
Energía eólica

Los aerogeneradores se utilizan para generar electricidad, y su ventaja frente a los sistemas solares fotovoltaicos es su potencial para generar electricidad tanto durante el día como durante la noche. Las desventajas son los altos costes, la dependencia de los vientos constantes y la contaminación acústica. Al igual que los sistemas solares fotovoltaicos, los aerogeneradores pueden conectarse a la red eléctrica o a baterías para conformar sistemas autónomos, o a ambos a la vez; están disponibles en diversos tamaños, desde los pequeños para suministrar electricidad a una sola vivienda a los grandes, agrupados en un parque eólico formando una planta de generación eléctrica. Su mejor ubicación es a gran altura sobre el suelo, normalmente montados sobre torres para elevarlos a la altura donde el viento sopla de forma constante. Se comercializan aerogeneradores para montar sobre cubierta, pero ofrecen bajas prestaciones tanto en eficiencia como en capacidad.

Como los sistemas solares fotovoltaicos, los sistemas de generación eólica producen corriente continua (CC) y emplean un transformador para convertirla en corriente alterna (CA).



15.09 Cartografiar las condiciones de viento para los sistemas de aerogeneración.



15.10 Flujo de viento sobre colinas y obstáculos.

El proyecto de un sistema eólico empieza por el análisis de las condiciones del viento. Instituciones públicas o empresas privadas ofrecen herramientas *on-line* que cartografían las condiciones normales de viento en distintas áreas. Para disponer de unos datos más precisos, es necesario realizar medidas sobre el terreno.

Una variable fundamental a la hora de considerar el uso de aerogeneradores es la velocidad del viento. Si se duplica la velocidad, se obtienen ocho veces más de energía. Por ello, pequeños cambios en la velocidad del viento causan cambios significativos en la cantidad de energía eólica suministrada. La energía eólica resulta más viable en zonas con velocidades medias de viento superiores a los 25 km/h a una altura de al menos 48 m sobre el terreno. Otra aproximación que se puede valorar es que las velocidades del viento en la superficie deben situarse entre los 10 y los 15 km/h.

Los aerogeneradores deberían estar situados lo bastante lejos del edificio como para evitar problemas con el ruido y las vibraciones, pero lo suficientemente próximos para evitar un coste excesivo en el cableado que lo conecta al edificio. También se podría evaluar el impacto del propio edificio sobre los patrones de viento. Un buen emplazamiento para los aerogeneradores sería una colina próxima al edificio, que debería ser tan alta como lo permita la normativa urbanística. Cuanto más alto se sitúe el aerogenerador, más fuerte y menos turbulento será el viento. En cualquier caso, no deberían montarse demasiado cerca del edificio ni sobre él, pues el viento próximo a un edificio tiende a ser débil y con turbulencias, y los aerogeneradores montados sobre la cubierta suelen ser muy poco eficientes. Como regla general, la parte inferior de las palas de un aerogenerador deberían quedar a unos 9 m como mínimo por encima de cualquier obstáculo situado a menos de 90 m.

Una preocupación en torno a la energía eólica concierne a la mortalidad de aves y murciélagos, aunque los cálculos la sitúan muy por debajo de la asociada a las líneas de alta tensión, las torres de comunicación o los propios edificios.

Riesgos de los sistemas renovables

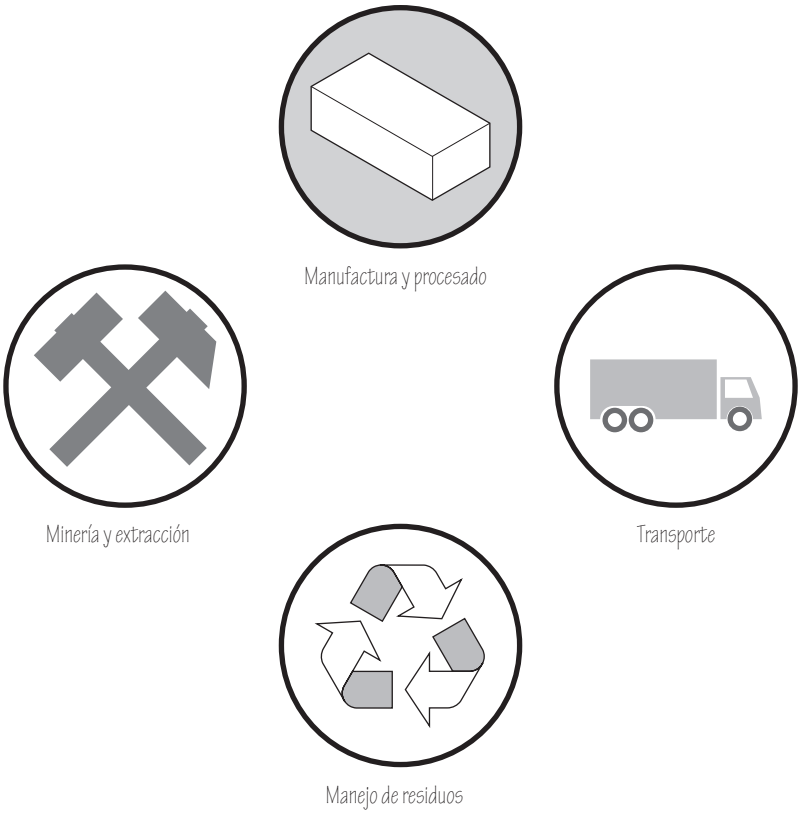
Todos los sistemas de energías renovables comparten dos riesgos.

El primero es que, si falla el sistema de energía renovable, es posible que el propietario no se de cuenta porque entran en acción automáticamente los sistemas de respaldo. En el caso de los sistemas fotovoltaicos o eólicos, el sistema suele ser uno basado en combustibles fósiles, que también favorece que el propietario desconozca cuándo ha dejado de funcionar el sistema solar.

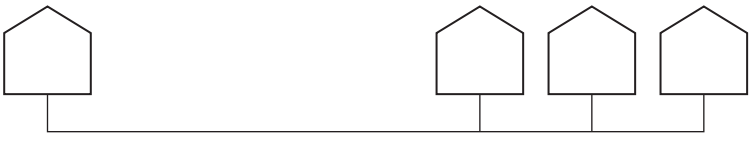
El segundo riesgo es que si el sistema solar está instalado sobre un revestimiento de la cubierta poco duradero, habrá que desinstalarlo cuando se tenga que renovar, de manera que aumentarán los costes de mantenimiento y renovación de la cubierta.

16
Materiales

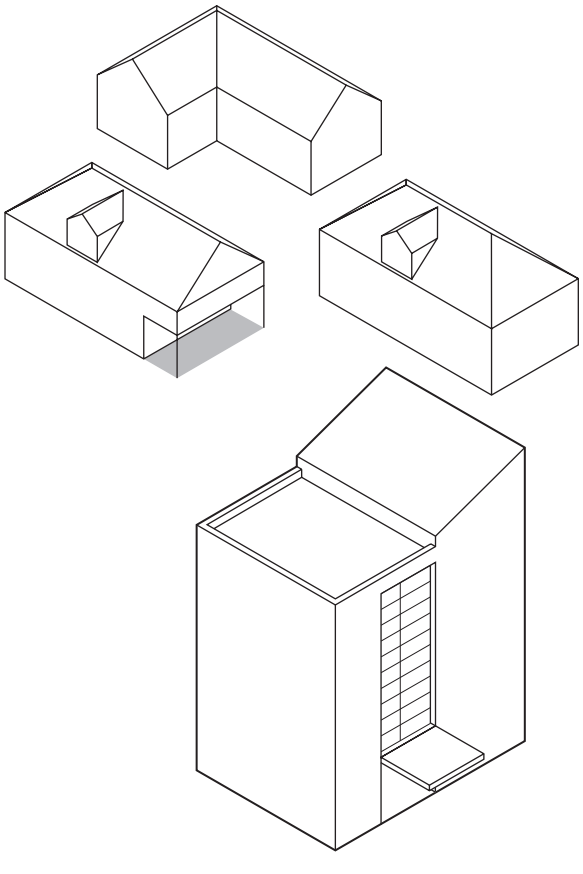
El impacto medioambiental de los materiales de construcción está asociado a la energía y a las emisiones incorporadas, al agotamiento de las fuentes finitas de materiales y a la acumulación indeseable de materiales en los vertederos. Las actividades que generan estos impactos son la minería y la extracción de materias primas, el procesado y la manufactura de los materiales elaborados, el transporte, el uso de materiales peligrosos y la generación de residuos. Podemos reducir sustancialmente estos impactos con un proceso sensato de proyecto y de selección de materiales.



16.01 El procesamiento de los materiales de construcción tiene impactos ambientales.



16.02 Compartir la infraestructura, como el viario y los equipamientos, reduce el impacto de una nueva construcción.



16.03 Disminuir el tamaño de la planta y las superficies del edificio también reduce el uso de materiales.

En el proceso de proyectar un edificio podemos anticipar y reducir el impacto de los residuos que se generarán por el funcionamiento del mismo a través, por ejemplo, de proyectar áreas de reciclaje en el propio edificio, planificar la gestión de los materiales peligrosos o del futuro desmontaje del edificio y reutilizar sus materiales.

El consumo energético asociado a la extracción y el procesado de los materiales se conoce como energía incorporada, una propiedad importante y cada vez más cuantificable, que refleja parte de la contabilidad ecológica de un edificio. Dado que los edificios se proyectan y se construyen para utilizar menos energía, la fracción correspondiente a la energía incorporada en los materiales es un factor importante.

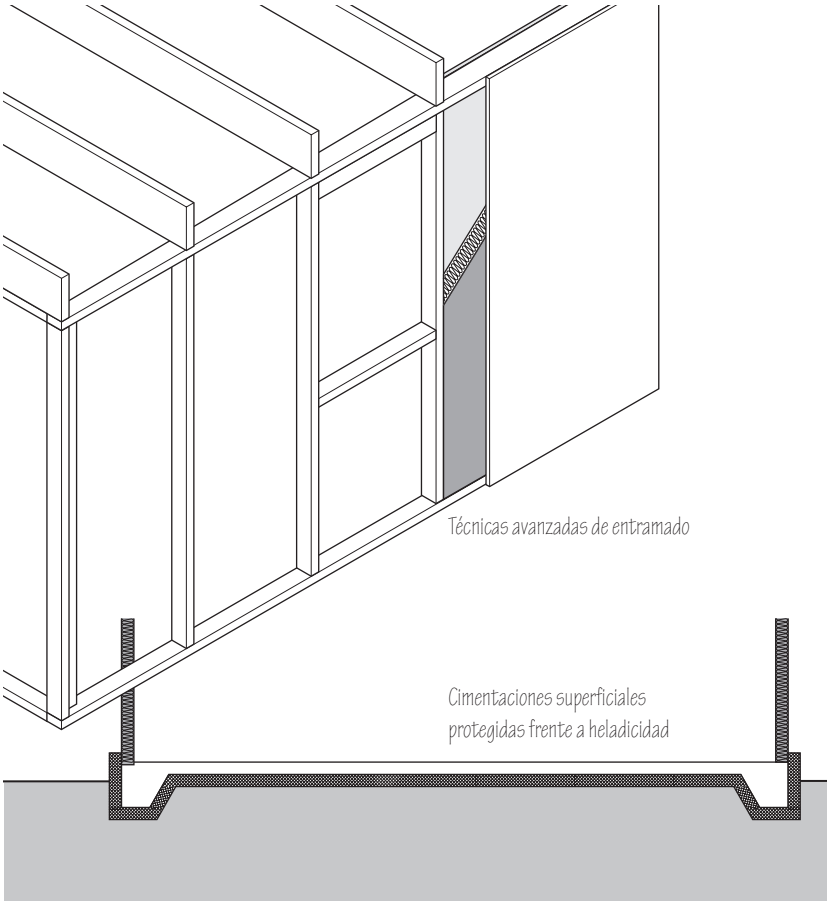
Finalmente, el impacto de los escombros puede minimizarse mediante una planificación correcta durante la fase de proyecto y una aplicación rigurosa durante la fase de construcción.

Utilizar menos material

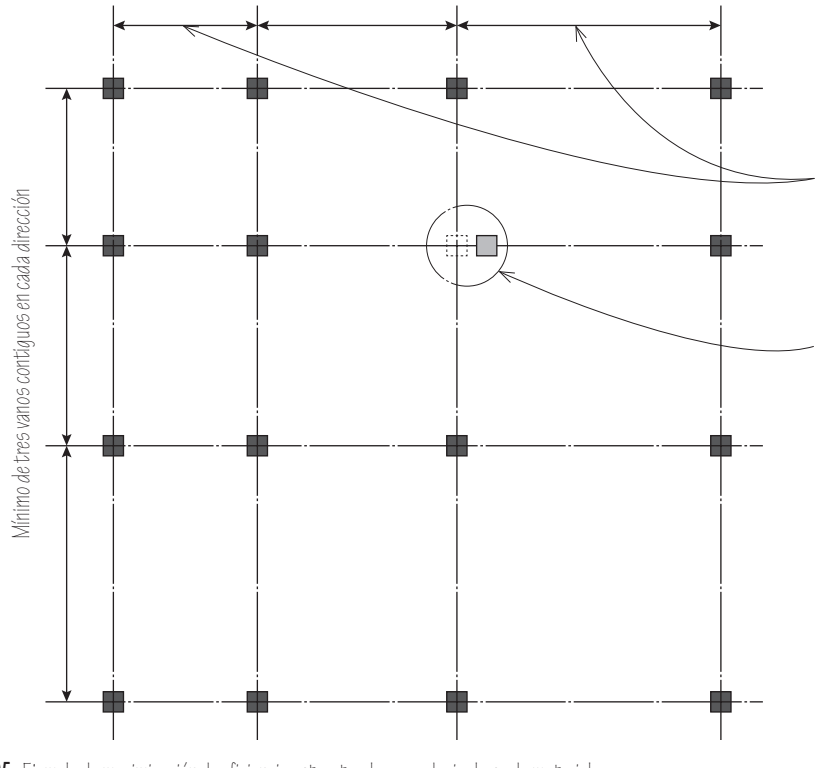
La elección más ecológica de materiales es aquella que minimiza su uso.

La fase de elección del emplazamiento puede ofrecer grandes oportunidades de ahorro de materiales, no tanto en la propia construcción del edificio como en la infraestructura asociada. Ubicar el edificio en una zona ya urbanizada permite aprovechar las infraestructuras construidas y ahorrar materiales asociados. Infraestructuras como el acceso viario o los sistemas municipales de distribución de agua son compartidos, y se evita el consumo asociado a la necesidad de infraestructuras nuevas.

Adoptar las dos medidas de disminuir la planta y las superficies de la envolvente, de las que hablamos al tratar la eficiencia energética, también posibilitan ahorro en el uso de materiales. Un edificio con una menor superficie en planta utilizará menos materiales y menos energía incorporada que uno de dimensiones mayores. Un edificio sin techos altos utilizará menos material y energía incorporada que otro que los tenga. Una estructura geométrica más simple utilizará menos materiales y energía incorporada que otra más compleja. Un único edificio grande utilizará menos materiales y energía incorporada que varios edificios separados que asuman la misma función.



16.04 Ejemplos de ahorro de material mediante el uso de técnicas avanzadas de construcción.

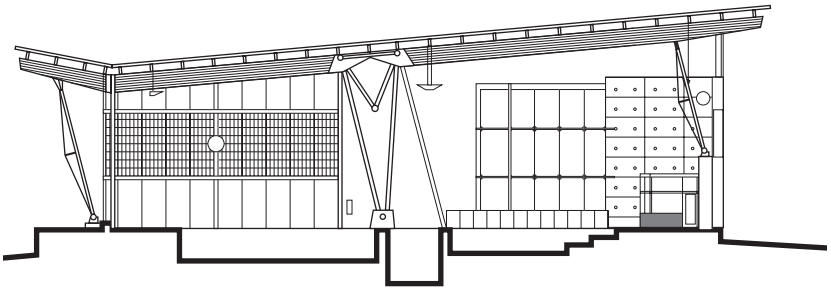


16.05 Ejemplo de maximización de eficiencia estructural para reducir el uso de material.

Otro enfoque para reducir el uso de materiales consiste en el proyecto eficiente en términos materiales. Antes hemos hablado de las técnicas avanzadas de entramados de muros, específicamente en el contexto de evitar al máximo los puentes térmicos y disminuir el consumo de materiales. Ejemplos de ello pueden ser la decisión de aumentar la separación entre montantes, el uso de cabeceros y dinteles sencillos, la simplificación de las jambas en puertas y ventanas o las soluciones de esquina. La discusión anterior se centraba en los muros exteriores y en las pérdidas energéticas por puentes térmicos. Con el propósito de reducir el uso de materiales, también pueden analizarse los muros interiores. En lugar de los entramados metálicos o de madera con montantes cada 40 cm, la normativa permite el uso de montantes cada 60 cm, opción que debería valorarse. Otro ejemplo sería el uso de cimentaciones superficiales con protección frente a la heladicidad, en lugar de los habituales muros sobre zapatas corridas. Las cimentaciones superficiales con protección frente a la heladicidad se han utilizado con éxito en más de un millón de viviendas en Estados Unidos y otro millón más en los países escandinavos.

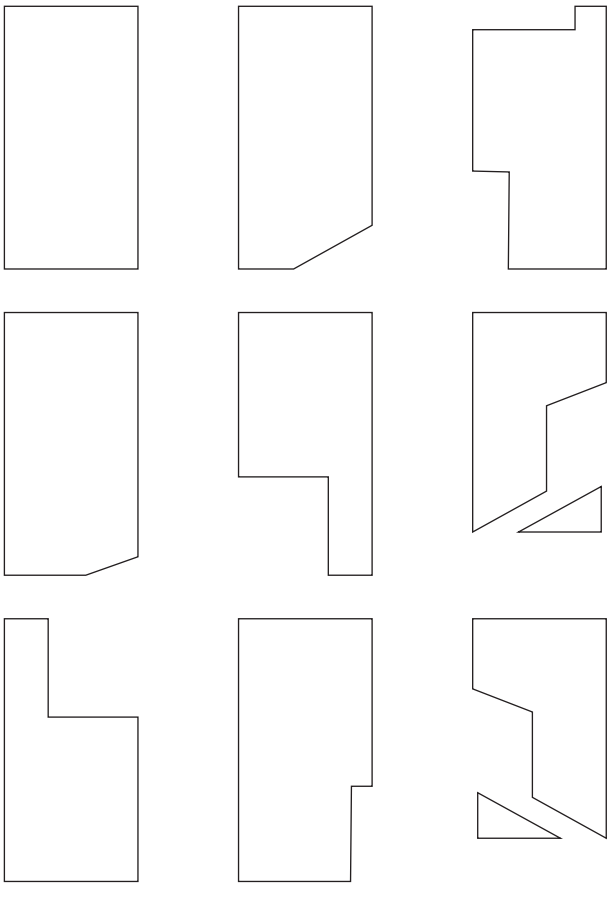
Descartar los desvanes en los edificios con cubierta inclinada es otra solución que conlleva una reducción en el uso de materiales, en la medida en que dos estructuras —el forjado de desván y la cubierta— se unen para formar una sola.

Al realizar la estructura, pueden encontrarse oportunidades de ahorro si dejamos de lado las convenciones y las reglas de cálculo tradicionales. Por ejemplo, una losa de 10 cm de grosor puede ser perfectamente viable en ciertos forjados de uso particular, en lugar de las losas de 12,5 o 15 cm que se usan habitualmente.



Centro comunitario y biblioteca Angus Glen, Markham, Canadá, 2006.
Arquitectos: Shore Tilbe and Partners
Estructura: Halcrow Yolles

16.06 Estructura expuesta como acabado.

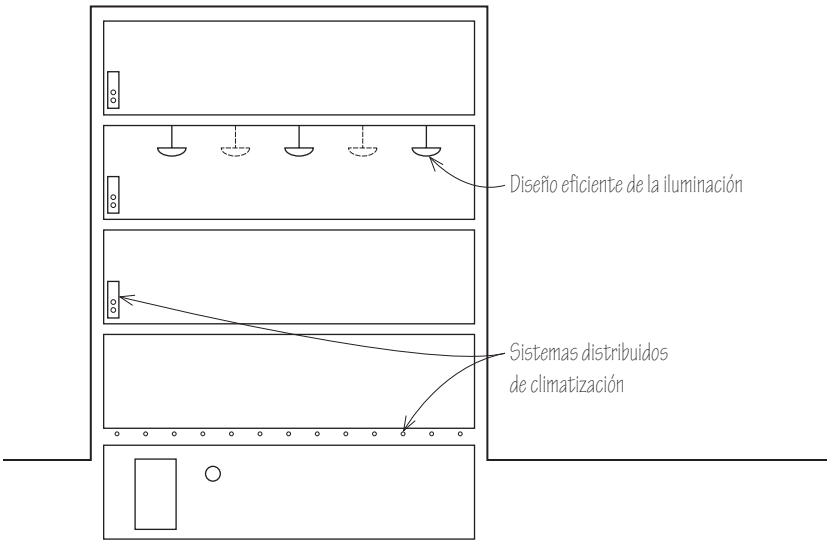


16.07 Planificar y proyectar para reducir los residuos de materiales.

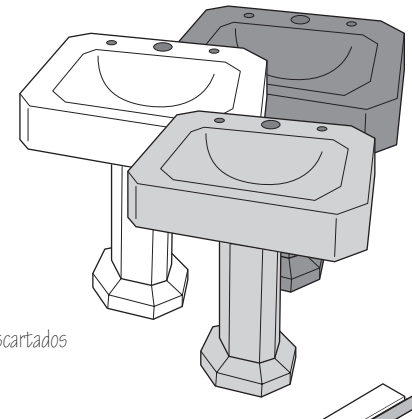
Otra forma de reducir el uso de materiales consiste en evitar los acabados allí donde no se necesitan. Las "estructuras vistas" permiten que los elementos estructurales sirvan de estructura y de acabado a la vez. Cuando los materiales de la estructura tengan valores bajos de reflectancia, deberían calcularse los costes adicionales de iluminación y contrastarlos con el ahorro en materiales. Otra medida que permite reducir el uso de materiales consiste en dejar expuestos elementos como las tuberías y los conductos. Esto reduce el uso de materiales como los tableros de yeso y las estructuras de montaje asociadas a cámaras, intradoses y falsos techos, así como los acabados.

Un último enfoque para utilizar menos material es generar menos residuos; es decir, evitarlos. Esto no se refiere tanto a evitar el vertido de residuos o fomentar su reutilización, sino a producir menos residuos, lo que implica planificar el proyecto para que los módulos de la estructura o el cerramiento sean múltiplos o divisores de las medidas comercialmente disponibles, ya sea madera o metal, membranas plásticas o tableros de cartón yeso. Esto puede suponer la elaboración de listas de cortes para la madera o un inventario de planchas de distintos materiales que permita ajustar las compras de material a su cantidad estrictamente necesaria, en lugar de encargar material y descartar el sobrante. También puede significar que se dosifique el hormigón fresco en las cantidades exactas. Es posible que las soluciones constructivas prefabricadas, como los paneles estructurales aislados, permitan reducir el residuo gracias a los listados de materiales generados directamente por el *software* correspondiente.

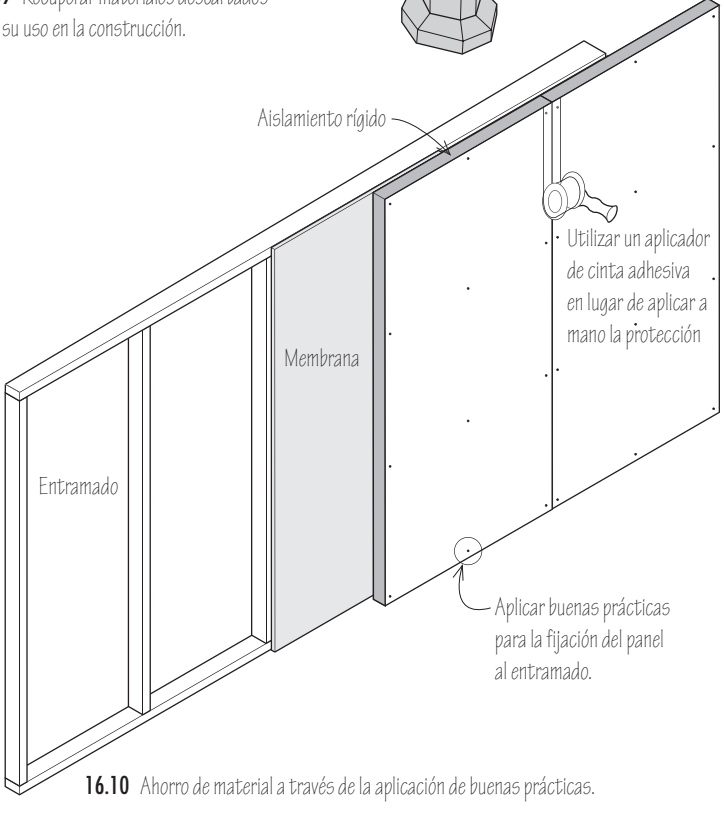
Los proyectistas pueden desempeñar un papel clave en el diseño eficiente de materiales facilitando información adicional en los documentos técnicos respecto a las cantidades de material. Por ejemplo, anotando en los planos las cantidades de materiales, como el hormigón, el asfalto o el aislamiento proyectado, puede ayudar a que los contratistas generen menos residuos evitando la sobrecompra de materiales. De igual modo, pueden anotarse las dimensiones superficiales de cubierta, revestimientos, pavimentos o áreas ajardinadas para facilitar que se encarguen las cantidades justas de cada partida. Definir todos los detalles de los entramados estructurales también ayuda a ajustar mejor los volúmenes necesarios y reducir el riesgo de compras excesivas.



16.08 Optimizar los sistemas para reducir el desperdicio de material.



16.09 Recuperar materiales descartados para su uso en la construcción.



16.10 Ahorro de material a través de la aplicación de buenas prácticas.

Utilizar menos materiales gracias al proyecto no se aplica solo a los elementos arquitectónicos, sino también a los componentes mecánicos y eléctricos, como la iluminación y los equipos de climatización. Como se indicó anteriormente, el diseño eficiente de la iluminación implica una reducción de los puntos de luz, en la medida en que el diseño se optimiza para dar la cantidad precisa de luz, y no se sobredimensiona mediante reglas de cálculo simplificadas. Otras técnicas de proyecto ecológico de iluminación también reducen el uso de material, como, por ejemplo, un edificio con menos techos altos y superficies reflectantes necesita menos luz artificial, lo que significa que no solo consume menos energía, sino también menos materiales y energía incorporada. En un edificio bien proyectado se consiguen ventajas similares para los sistemas de climatización, que pueden ser más pequeños no solo por un proyecto eficiente del edificio, sino, además, por un dimensionado correcto de los componentes. Tanto los equipos de climatización —como calderas, bombas de calor y calentadores— como los de distribución pueden ser más pequeños si están bien dimensionados, lo que conlleva un menor uso de materiales y su correspondiente energía incorporada.

También es posible ahorrar material utilizando materiales imperfectos. Por ejemplo, la selección de maderas lleva implícito el descarte de otras piezas que se desechan. Gran parte de la madera que se descarta es perfectamente funcional. También las piezas de piedra o ladrillo con imperfecciones pueden incorporarse a un proyecto de arquitectura ecológica si se planifica correctamente. O pueden recuperarse otros materiales siempre que el control de calidad se centre en la integridad de la función más que en la perfección de la forma. En una nueva estética ecológica, la imperfección puede exaltarse como una característica antes que como un defecto.

Se puede facilitar el ahorro de materiales mediante un proyecto y una ejecución bien planificados. En este sentido, los plazos muy justos trabajan contra el diseño ecológico, en la medida en que los distintos profesionales tienden a recurrir a las soluciones conocidas, en lugar de buscar una solución específica para cada contexto. Los proyectos de arquitectura ecológica no necesitan ser sinónimo de lentitud, pero es preciso prever unos plazos adecuados para diseñar con detalle cada componente importante del edificio para reducir el consumo de materiales.

Adherirse a ciertas buenas prácticas también ayuda a reducir sustancialmente las cantidades de materiales. Por ejemplo, al fijar un aislamiento rígido en un muro exterior suelen utilizarse entre 25 y 30 fijaciones para cada placa de 1,22 × 2,44 m; sin embargo, se demostrado que basta con 10 o 12 puntos para fijarla sin riesgo de abombamiento, flexión o desprendimiento. De forma similar, se ha demostrado que la lámina de protección de los paneles rígidos de aislamiento puede fijarse más rápida y eficazmente utilizando un aplicador específico que haciéndolo a mano, reduciendo considerablemente el desperdicio de cinta adhesiva.

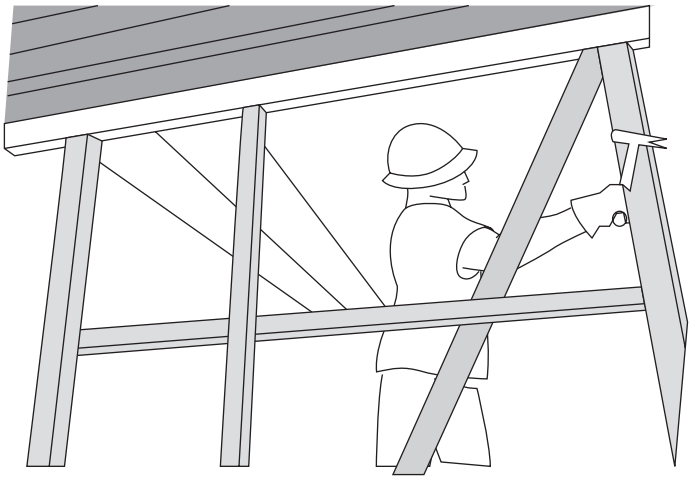
Materiales reutilizados

Para minimizar la energía necesaria para la extracción y el procesado de nuevos materiales y el agotamiento de las fuentes de materias primas, debemos reutilizar los materiales siempre que sea posible.

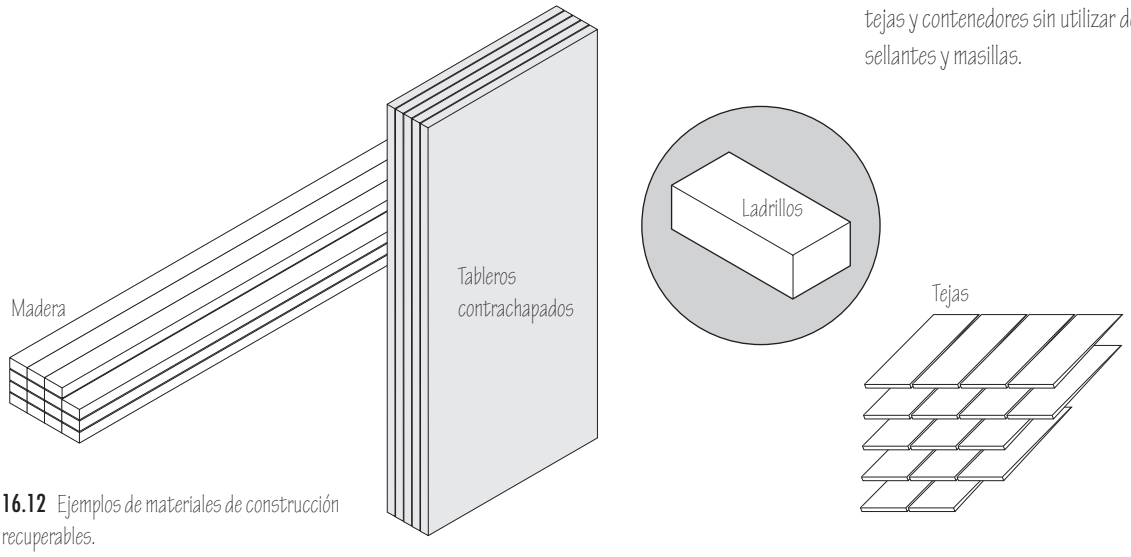
Materiales recuperados

Está surgiendo una nueva industria de desmantelamiento de edificios que puede proporcionar una fuente de materiales reutilizados para la construcción nueva.

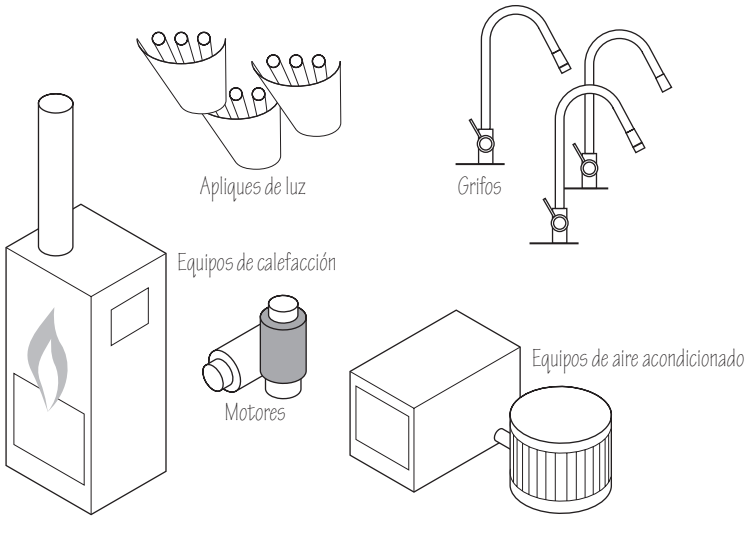
Los materiales que pueden ser recuperados para su reutilización en la construcción son los más comunes: piezas de madera, puertas, ventanas, revestimientos de muros, componentes de cocinas, tableros de yeso, tableros de contrachapado, paneles de aislamiento, baldosas, molduras, bloques, ladrillos, tapajuntas, tejas y contenedores sin utilizar de productos como adhesivos, sellantes y masillas.



16.11 Desmantelar otros edificios para suministrar materiales para un nuevo edificio.

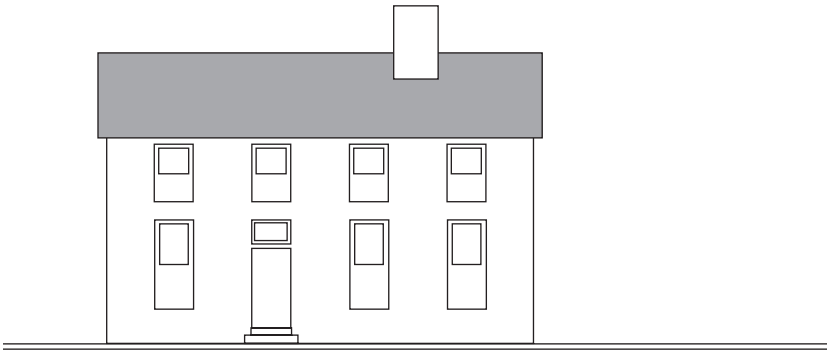


16.12 Ejemplos de materiales de construcción recuperables.



16.13 En la decisión de reutilizar equipos de consumo energético o aparatos sanitarios, intervienen diversos factores, como son el consumo total de agua y energía durante el ciclo de vida de los mismos.

Sobre las ventajas de reutilizar componentes con altos consumos energéticos, como apliques de luz, equipos de climatización y motores, así como aparatos sanitarios, como inodoros y grifos, se plantean una serie de preguntas. La cuestión medioambiental clave es si la energía incorporada en tales elementos es mayor o menor que los ahorros potenciales derivados de instalar un equipo nuevo de alta eficiencia a lo largo de toda la vida útil del aparato. También se plantea la viabilidad financiera de tal reutilización, cuya respuesta puede no ser la misma (positiva o negativa) que la referente a la energía incorporada. O puede haber problemas legales, como vender un equipo de baja eficiencia que no cumpla los requisitos mínimos normativos. En este sentido, instalar equipos de baja eficiencia puede ir contra las indicaciones de diferentes normas técnicas.



16.14 Si un edificio existente y que carece de valor histórico tiene una proporción del 30 % de ventanas en los muros y una relación de superficies de 2,1, ¿deberíamos rehabilitarlo o reconstruirlo?

16.15 Restaurar, recuperar y rehabilitar edificios existentes.

De modo similar pueden cuestionarse los componentes de la envolvente, como las ventanas viejas. En este caso, la evaluación de la viabilidad debería tener en cuenta también las necesidades de preservación de estos elementos. Si no es el caso, deben evaluarse las ventajas relativas de la reutilización en el marco de un análisis del ciclo de vida. Si se requiere conservar el elemento, pueden aplicarse una serie de mejoras para preservar la estética de la ventana, al tiempo que se incorporan mejoras de eficiencia energética, como la instalación de burletes, el sellado de las juntas o la instalación de contraventanas.

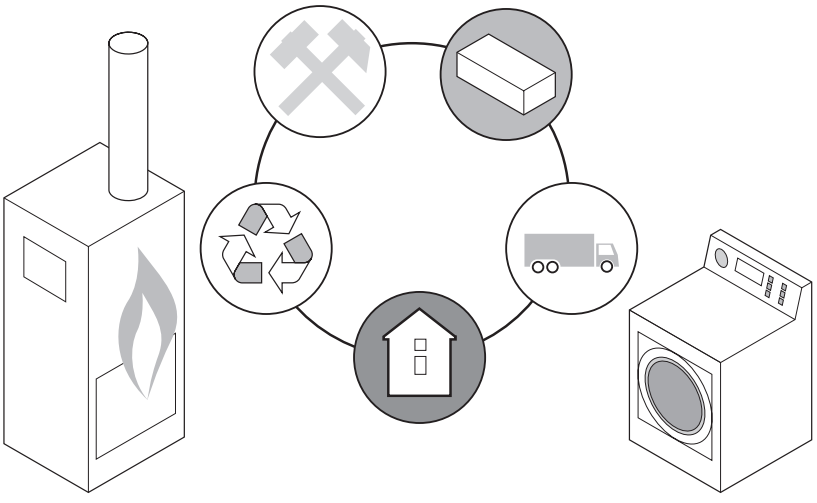
Reutilización in situ

Otra forma de reciclaje consiste en reutilizar todo un edificio existente, que también reduce la energía incorporada a los materiales debido al transporte.

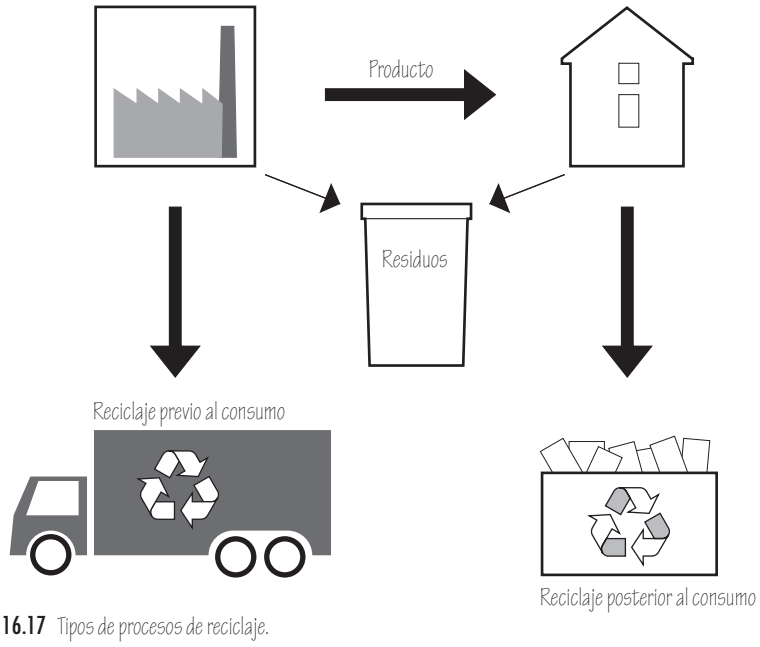
Los elementos estructurales, como forjados, muros y cubiertas, normalmente pueden aprovecharse, y también elementos no estructurales, como las divisiones interiores o los acabados de suelos y techos.

Esto plantea una pregunta interesante sobre el impacto energético que supone reutilizar un edificio frente a la opción de reconstruirlo. Si asumimos que el material incorporado a un edificio representa una cuarta parte de la energía que consumirá a lo largo de su vida útil, entonces un edificio nuevo necesita tan solo un 25 % más de eficiencia energética que un edificio existente para asegurar que su consumo energético total será inferior, incluso incorporando toda la energía asociada a su construcción. Muchos edificios antiguos son ineficientes en sí mismos, no solo por su escaso aislamiento o estanquidad, sino por otras características, como el tamaño, la forma y la proporción total de las ventanas. Para ser prudentes, se debería realizar un estudio comparativo del consumo de energía a lo largo de todo el ciclo de vida, con el fin de tomar una decisión informada sobre la conveniencia de reutilizar un edificio existente.

Otra serie de cuestiones tienen que ver con las ventajas de reutilizar los equipos mecánicos y los aparatos sanitarios instalados en un edificio. La cuestión es similar a las que se han planteado al hablar de los materiales recuperados, aunque con algunas diferencias. En el caso de la reutilización in situ, los obstáculos legales son menores: hoy en día, por ejemplo, siguen comercializándose aparatos que incumplen las normas vigentes, mientras que las cláusulas transitorias suelen evitar cualquier tipo de problemas en este sentido.



16.16 Debería aplicarse un análisis del ciclo de vida para evaluar la conveniencia de reutilizar equipos con consumo de energía y aparatos sanitarios.



16.17 Tipos de procesos de reciclaje.

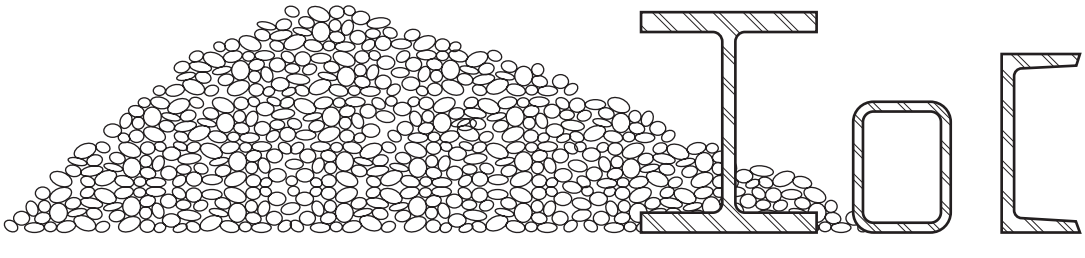
No obstante, la cuestión de la energía incorporada adquiere mayor importancia que en el caso de los materiales recuperados, ya que los aparatos no solo suelen tener una menor eficiencia, sino que además se instalaron de forma poco eficiente, o de una forma que no concuerda con las necesidades del nuevo uso del edificio. Consideremos el ejemplo de la iluminación en un edificio de oficinas. Un edificio existente probablemente cuente con tubos fluorescentes T12 de baja eficiencia, con balastos magnéticos y apliques no reflectantes. Para aumentar más aún su consumo energético, las luces se configuraron para iluminar el espacio de forma indirecta, con un consumo de 20 W/m^2 o incluso más. La sustitución de los dispositivos lumínicos proporcionará dos formas de ahorro de energía: unas lámparas más eficientes y un rediseño del sistema de iluminación que rebaja el consumo a una densidad de potencia lumínica inferior a 9 W/m^2. En este ejemplo puede plantearse la reutilización de algunos dispositivos en el esquema de iluminación más eficiente, con nuevas lámparas y balastos. En resumen, los análisis de ciclo de vida pueden resultar de gran utilidad para decidir sobre la reutilización de los equipos y aparatos disponibles en el lugar.

Materiales con contenido reciclado

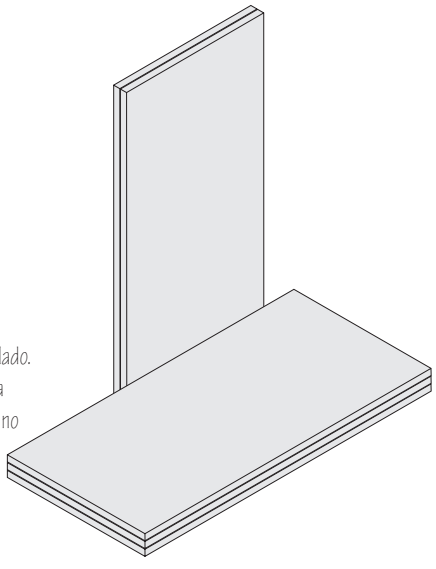
También es recomendable utilizar materiales con partes recicladas. En este caso, cabe distinguir entre los materiales reciclados antes de llegar al consumidor y los reciclados a posteriori.

El hormigón es el material de construcción más utilizado. Es posible que contenga áridos reciclados procedentes de hormigones molidos tras haber retirado las armaduras y otros materiales que incorpora. El hormigón también puede especificarse con un determinado contenido de cenizas volantes (subproducto de la combustión del carbón) o escorias (subproducto de los altos hornos).

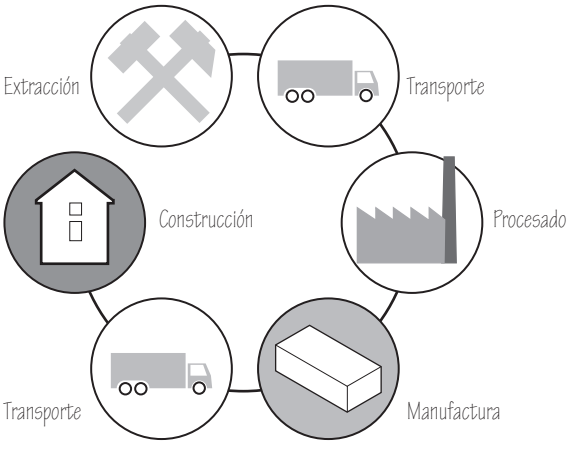
La producción de acero emplea altas cantidades de acero reciclado, proporción que recientemente ha alcanzado el 90 %.



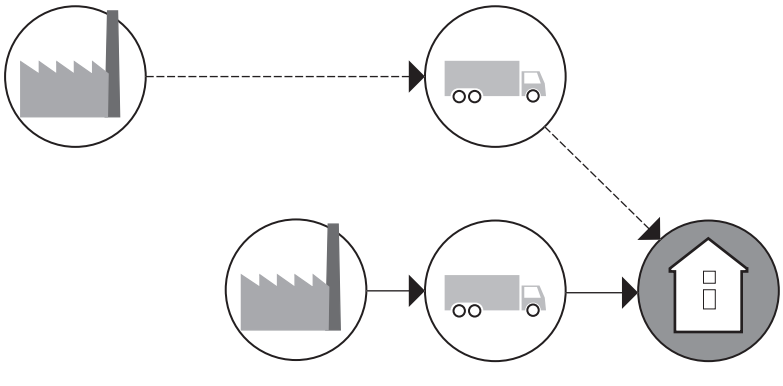
16.18 Materiales previamente utilizados, como el hormigón o el acero, pueden separarse y procesarse para su reutilización. El hormigón puede molerse, lavarse y tamizarse para producir áridos, que se incorporan a la mezcla del hormigón nuevo. El acero puede recogerse, separarse de otros residuos reciclables mediante imanes, comprimirse en grandes pacas y enviarse a una planta de procesado, donde el metal se mezcla con pequeñas cantidades de metal virgen para su uso en productos de construcción, como el acero estructural.



16.19 El interior de los tableros de cartón yeso puede contener hasta un 90 % de contenido reciclado. Revestido con tejido de fibra de vidrio resistente a la humedad, puede hacer frente a humedades que no soportarían los tableros convencionales.



16.20 La energía incorporada es la cantidad total de energía utilizada en la extracción, manufactura, procesado y transporte de los materiales hasta la obra.



16.21 Los proyectos de arquitectura ecológica enfatizan las ventajas de utilizar materiales locales.

Los productos derivados de la madera también pueden contener material reciclado.

Existen tableros de cartón yeso con cierto contenido de material reciclado, como materiales agrícolas, cenizas volantes, escorias y otros rellenos.

Incluso cuando un material tiene una cantidad sustancial de material reciclado, es preciso analizar otras variables, como el contenido químico o la energía incorporada. Por ejemplo, los tableros de partículas están fabricados principalmente de materiales reciclados, pero su contenido químico incluye cantidades significativas de formaldehído, que es cancerígeno. A pesar de que el acero reciclado conforma el 90 % del acero que se fabrica, su energía incorporada aún es considerable.

Selección de materiales nuevos

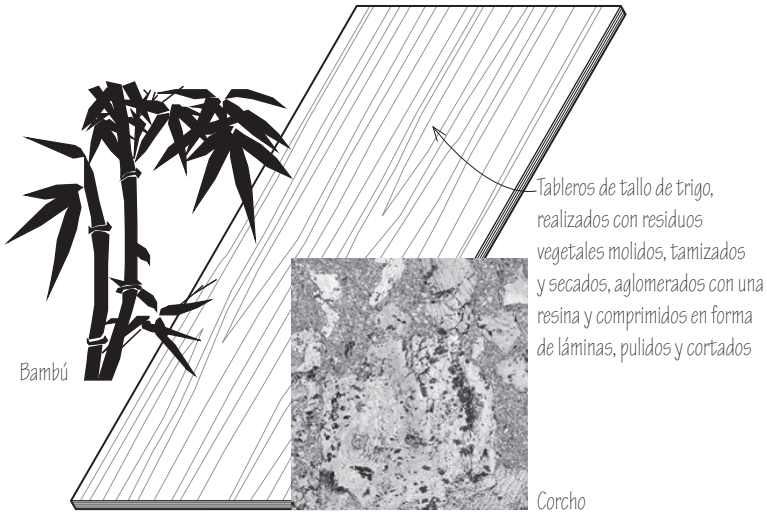
Una vez minimizado el uso de material y maximizado el uso de materiales reutilizados y reciclados, debemos poner nuestra atención en la selección de los materiales nuevos. Las opciones deseables son los materiales de renovación rápida, los naturales, los de baja toxicidad y aquellos que están disponibles localmente.

Energía incorporada

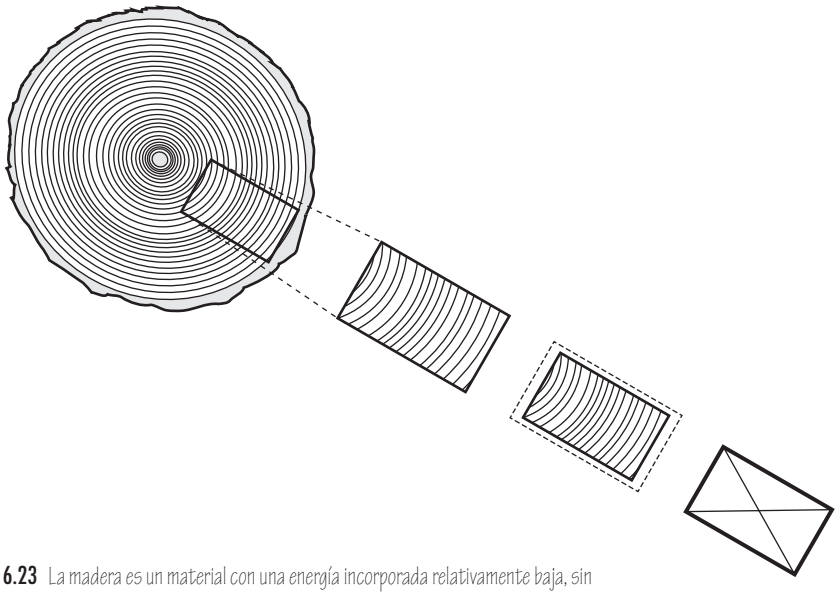
La energía incorporada se refiere a la que se necesita para extraer, manufacturar, preparar y transportar los materiales a la obra. Normalmente representa una proporción menor frente a la energía consumida durante la vida útil del edificio. Sin embargo, a medida que los edificios se proyectan para consumir menos energía, la fracción correspondiente a la energía incorporada no para de aumentar. En el caso de los edificios de energía neta nula, la única forma de energía que consumen es la incorporada en sus materiales.

En el contexto de la energía incorporada, los proyectos de arquitectura ecológica otorgan mayor valor a los materiales locales, pues minimizan la energía utilizada en el transporte. Algunas normas, estándares o guías de arquitectura ecológica premian aquellos materiales extraídos o procesados en un radio determinado de distancia a la obra. El sistema LEED permite un ajuste opcional basado en el tipo de transporte utilizado para los materiales, reconociendo las eficiencias relativas del transporte ferroviario o fluvial frente al transporte por carretera.

Una solución al impacto de la energía incorporada es proporcionar una compensación en términos de emisiones de carbono.



16.22 Ejemplos de materiales de renovación rápida.



16.23 La madera es un material con una energía incorporada relativamente baja, sin emisiones tóxicas, duradero si se protege de las inclemencias climáticas y reutilizable.

16.24 Logotipo del certificado de gestión forestal sostenible FSC.

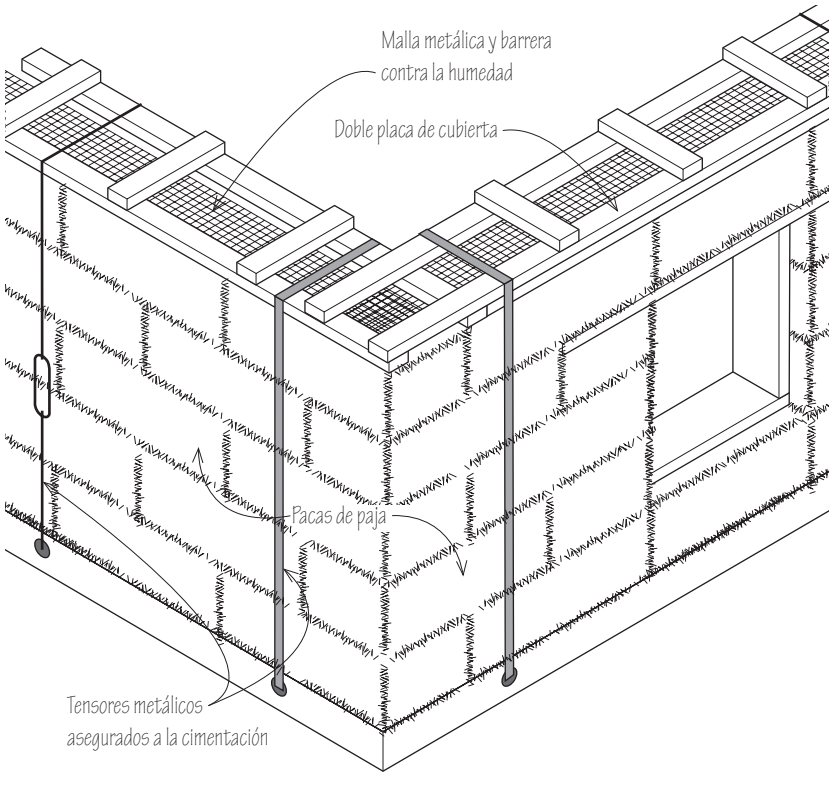
Materiales de renovación rápida

Los materiales de renovación rápida son aquellos que crecen de forma natural en un ciclo que permite su recolección en pocos años, como los diez años que define el sistema LEED. Los ejemplos son los suelos de bambú o corcho, los tejidos elaborados con fibras naturales como el maíz, el aislamiento de algodón, el linóleo natural, los suelos de caucho natural, el aislamiento de soja, las pacas de paja usadas en muros y aislamientos, los muebles aglomerados de paja, alfombras de lana y todo tipo de trabajos de carpintería con tableros de tallos de trigo. Al utilizar materiales de renovación rápida se reduce el consumo de materiales de crecimiento más lento, como la madera de bosques maduros, o de materiales procedentes de recursos finitos, como los plásticos derivados de los combustibles fósiles. En todo caso, es importante elegir la aplicación adecuada para cada material. Por ejemplo, los suelos de bambú no son muy duraderos en zonas de uso intenso o en espacios con una humedad excesiva.

Otros materiales naturales

La madera es un material natural de uso ancestral en la construcción. Se utiliza para entramados estructurales y no estructurales, para pavimentos, forjados, puertas, ventanas, mobiliario, acabados de paredes y techos, cercados, etc. La madera también se utiliza durante la obra en estructuras auxiliares temporales, como andamios y barandillas.

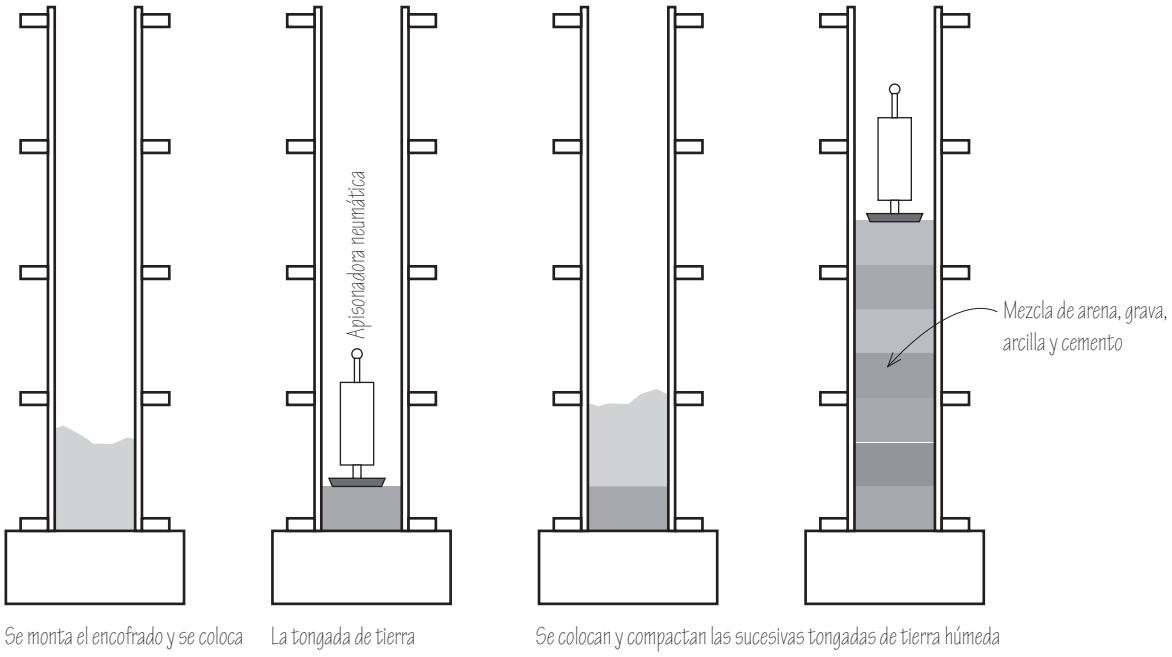
Aunque la madera es un producto natural, puede extraerse y procesarse de formas medioambientalmente muy destructivas, como desforestando bosques primarios, provocando la pérdida de cubierta forestal y la explotación de especies amenazadas, o utilizando compuestos químicos peligrosos. Para asegurarse de que la madera utilizada en la construcción ha sido extraída y procesada de una forma respetuosa con el medio ambiente, normalmente se exige que esté certificada bajo el sello FSC (Forest Stewardship Council).



16.25 Construcción con pacas de paja.

Un material natural estructural que también tiene propiedades aislantes son las pacas de paja. Los edificios de pacas de paja incorporan todas las características importantes de la arquitectura ecológica. Están compuestas de materiales de renovación rápida (en muchos casos, materiales de desecho), no es tóxico, tiene una energía incorporada baja y suele estar disponible localmente. Además, la construcción con pacas de paja combina dos funciones en una: estructura y aislamiento. Sus desventajas son la necesidad de tratarla contra la pudrición y el espacio que necesita, debido al grosor de sus muros: 45 cm o más.

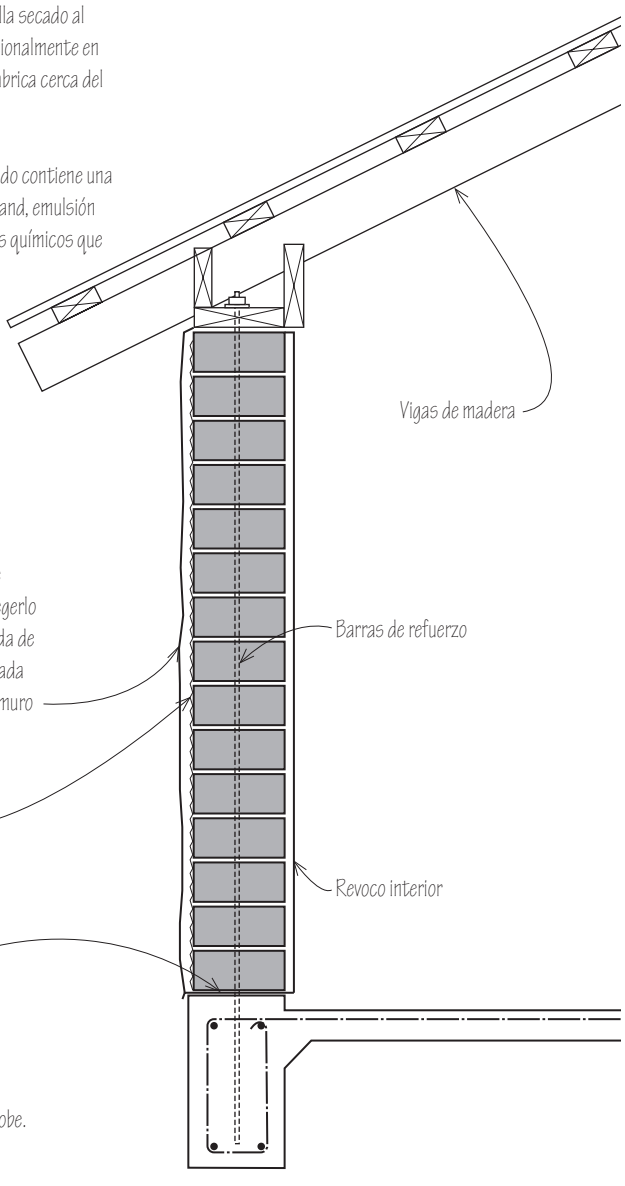
Un material natural de construcción que cuenta con una gran tradición y que está viviendo un renacimiento es el tapial, que puede encontrarse prácticamente en todos los continentes. Los muros de tapial se construyen compactando tierra dentro de unos encofrados. Son resistentes, naturales, de materiales locales, no combustibles y no tóxicos, excepto cuando se utiliza cemento como estabilizador. Su masa térmica es alta, pero su resistencia térmica es baja, por lo que suele necesitar una capa específica de aislamiento. Los muros de tapial resisten bien la filtración de aire y proporcionan en excelente aislamiento acústico. Al igual que otros muros naturales, como los de pacas de paja, los muros de tapial necesitan estar protegidos de la humedad. Su viabilidad depende de la disponibilidad de tierra adecuada. La energía incorporada es baja, pero los costes de mano de obra son altos, pues la formación específica que requiere esta técnica no es muy común.



16.26 Construcción de tapial.

El adobe es un bloque de arcilla secado al sol que se ha utilizado tradicionalmente en países con poca lluvia, y se fabrica cerca del lugar de construcción.

El adobe estabilizado o tratado contiene una aportación de cemento pórtland, emulsión asfáltica u otros compuestos químicos que limitan la absorción de agua.



16.27 Construcción con adobe.

El adobe es otro material de construcción producido con tierra con un contenido de arcilla entre el 15 y el 25 %, estabilizado con arena y paja y con cierto contenido de grava u otro árido. A diferencia de los muros de tapial, las estructuras de adobe no se construyen con encofrados, sino con ladrillos de grandes dimensiones aparejados y unidos con mortero. Por ello, la construcción de adobe no se limita a los muros, sino que también puede utilizarse para construir bóvedas. En todo caso, las características de la construcción de adobe no son muy diferentes a las del tapial: resistente, natural, local, no combustible, no tóxico, de alta masa térmica pero baja resistencia térmica (necesitan aislamiento), resistente a las filtraciones de aire y excelente aislamiento acústico. Las estructuras de adobe son vulnerables a los sismos.

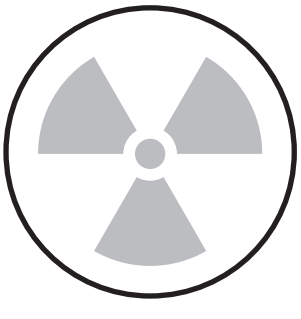
La construcción con *cob*, como el adobe, también se realiza con arena, arcilla, agua y algún refuerzo orgánico. Pero en lugar de ladrillos, los muros de *cob* se suelen construir a mano, y permiten que se plasmen en ellos formas artísticas y puertas y ventanas decorativas.

La piedra es un material de construcción resistente, bello, natural e inerte. Utilizado principalmente para construir cercados, la piedra se ha utilizado a lo largo de la historia para cimentar los muros sobre rasante. La piedra no tiene buenas propiedades aislantes y su peso conlleva una alta energía incorporada asociada al transporte. Puede tener limitaciones de disponibilidad según la región.

Materiales no peligrosos y de baja toxicidad

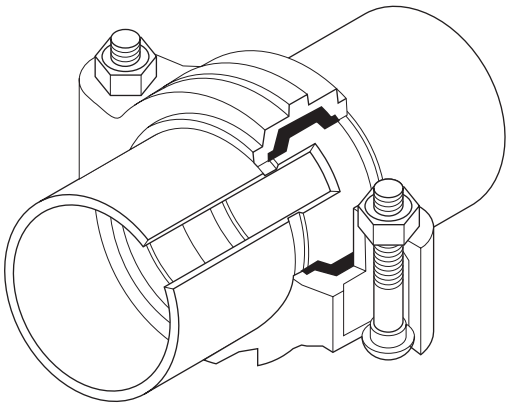
Los profesionales de la arquitectura ecológica intentan evitar el uso de materiales peligrosos. Por ejemplo, la lista de materiales prohibidos del Desafío del Edificio Vivo incluye los siguientes:

- Asbestos
- Cadmio
- Polietileno clorado y polietileno clorosulfatado
- Clorofluorcarbonados (CFC)
- Cloropreno (neopreno)
- Formaldehído (añadido)
- Retardantes del fuego halogenados
- Hidroclorofluorcarbonados (HCFC)
- Plomo (añadido)
- Mercurio
- Fertilizantes y plaguicidas petroquímicos
- Ftalatos
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Maderas tratadas con creosota, arsénico o pentaclorofenol

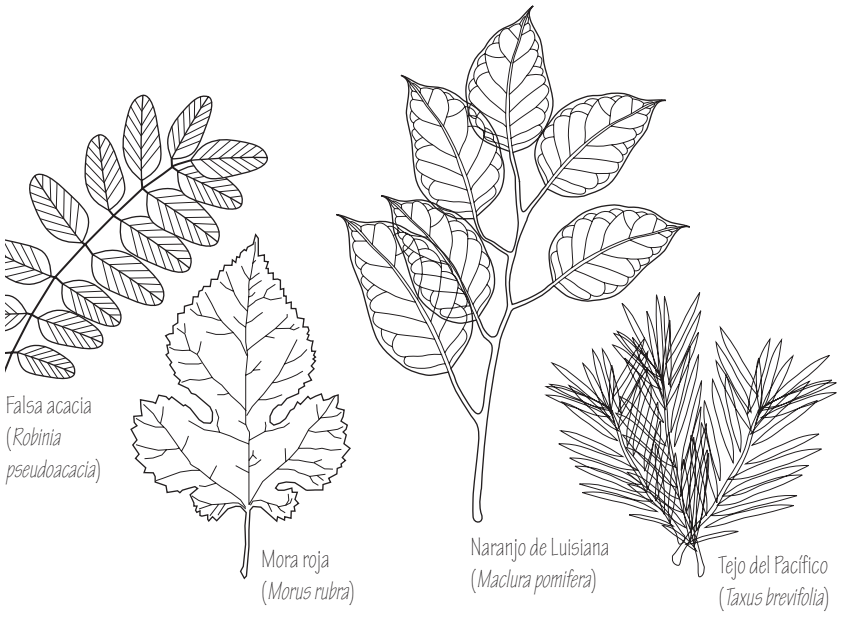


16.28 No solo es preciso evitar el uso de materiales tóxicos, sino que también es necesario identificar activamente y eliminar los materiales tóxicos presentes en los edificios rehabilitados.

16.29 Marca comercial de Green Seal, una organización sin ánimo de lucro que establece estándares de sostenibilidad basados en el ciclo de vida para productos, servicios y empresas.



16.30 Se pueden evitar incluso los materiales de baja toxicidad mediante el uso de juntas y fijaciones mecánicas en lugar de adhesivos o cualquier tipo de soldadura.



16.31 Especies de madera resistentes a la pudrición.

Además de evitar los materiales peligrosos, los profesionales de la arquitectura ecológica intentan ir más allá y especifican los materiales de baja toxicidad. Esta denominación normalmente se aplica a materiales que contienen cantidades reducidas de compuestos orgánicos volátiles, como adhesivos, aditivos del hormigón, sellantes, alfombras, pinturas, barnices, plásticos de soldadura y colorantes. Estos materiales también se denominan de bajas emisiones. Para entrar dentro de esta clasificación, los materiales deben cumplir unos estándares rigurosos de contenido de compuestos orgánicos volátiles (como los que fija el California's South Coast Air Quality Management District: SCAQMD) para adhesivos, sellantes, imprimaciones, acabados de madera, revestimientos de suelos, colorantes y lacas; o los que fija Green Seal Standards para pinturas, revestimientos y pinturas anticorrosivas, o el programa Green Label del Rug Institute.

Más allá del uso de materiales de baja toxicidad, hay enfoques que no utilizan ningún tipo de químico. Por ejemplo, pueden utilizarse fijaciones mecánicas en lugar de adhesivos, puede dejarse la madera expuesta sin ningún tipo de acabado o pueden emplearse juntas mecánicas en las tuberías en lugar de soldaduras de cualquier tipo.

Un campo en el que durante mucho tiempo se han utilizado compuestos químicos es la conservación de la madera, principalmente para su uso en exteriores. Como alternativa, las estructuras y cercados de exteriores pueden fabricarse con madera resistente a la pudrición en lugar de con madera tratada químicamente. El departamento de Agricultura de Estados Unidos tiene una lista de cuatro especies de maderas nacionales excepcionalmente resistentes a la pudrición: la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*), la mora roja (*Morus rubra*), el naranjo de Luisiana (*Maclura pomifera*) y el tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*). Algunas madera tropicales excepcionalmente resistentes a la pudrición son: angelique (*Dicorynia guianensis*), metel (*Lophira alata*), balatá (*Manilkara bidentata*), el gonçalo alves (*Astronium graveolens*), palo verde (*Chlorocardium rodiei*), ipé o lapacho (*Tabebuia chrysotricha*), jarrah (*Eucalyptus marginata*), guayacán o lignumvitae, corazón púrpura y teca (*Tectona grandis*) madura. No tan resistentes como las anteriores pero clasificadas como resistentes o muy resistentes son las especies norteamericanas ciprés de los pantanos (*Taxodium distichum*), catalpa, cedro o cedro rojo (*Thuja plicata*), cerezo negro americano (*Prunus serotina*), castaño, enebro, acacia de tres espinas (*Gleditsia triacanthos*), roble blanco americano (*Quercus alba*), secuoya madura, sassafras y nogal negro americano (*Juglans nigra*). Finalmente, otras especies nativas moderadamente resistentes a la pudrición son: ciprés de los pantanos (*Taxodium distichum*) secundario, abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), alerce oriental (*Larix laricina*), alerce occidental (*Larix occidentalis*), pino blanco americano (*Pinus strobus*) maduro, pino de hoja larga (*Pinus palustris*) maduro, pino ellioti (*Pinus elliottii*) maduro y secuoya madura. En muchos casos estas especies no se cultivan comercialmente y puede ser difícil encontrarlas. También resulta más seguro elegir maderas certificadas por la FSC para garantizar que la madera se ha extraído y procesado de una forma respetuosa con el medio ambiente.

Refrigerantes

Unos refrigerantes particularmente dañinos para el medio ambiente están tanto desaconsejados como prohibidos en edificios ecológicos. Estos refrigerantes tienen un alto potencial de destrucción de ozono o un alto potencial de influir en el calentamiento global, o ambos a la vez. Los refrigerantes clorofluorcarbonados (CFC), que son el R-11 y el R-12, fueron prohibidos en la década de 1990, y los equipos que aún contienen estos compuestos están siendo activamente localizados para su sustitución en los procesos de reforma y rehabilitación de los edificios donde están instalados. El cloro de estos compuestos reacciona con el oxígeno destruyendo las moléculas de ozono. Dos refrigerantes hidroclorofluorcarbonados (HCFC) bastante comunes, como el R-22 y el R-123, tienen poco potencial de destrucción de ozono, pero se están sustituyendo. Los refrigerantes que se están utilizando en la actualidad son tres compuestos hidrofluorcarbonados (HFC), el R-410a, el R-407c y el R-134a, que van a empezar a ser eliminados próximamente debido a su alto potencial en el calentamiento global.

Es bastante importante para la arquitectura ecológica la actual tendencia a utilizar bombas de calor tanto para calefacción como refrigeración. Estas incluyen bombas de calor geotérmicas, unidades externas de aire y bombas de calor de agua, y todas ellas utilizan refrigerantes.

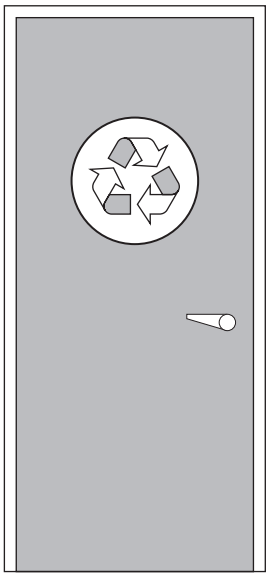
A corto plazo, la arquitectura ecológica debería limitar los refrigerantes y optar por otros sistemas con un potencial nulo de dañar la capa de ozono, de modo que la discusión debería dirigirse hacia el potencial de calentamiento global de los refrigerantes. Observamos que el impacto de estos productos químicos no se produce de una forma regular, sino solo cuando se derraman, de modo que una cuestión importante es el impacto relativo de los escapes sobre el calentamiento global comparado con el impacto continuo del uso de energía. Las pérdidas de energía tienen aún un mayor impacto sobre el calentamiento global que los escapes de refrigerantes. Por ejemplo, el impacto de un escape de refrigerante R-410a en el calentamiento global es inferior al 3 % del uso de energía utilizado por una bomba de calor con ese refrigerante.

16.32 Los refrigerantes y su potencial efecto sobre el medio ambiente.

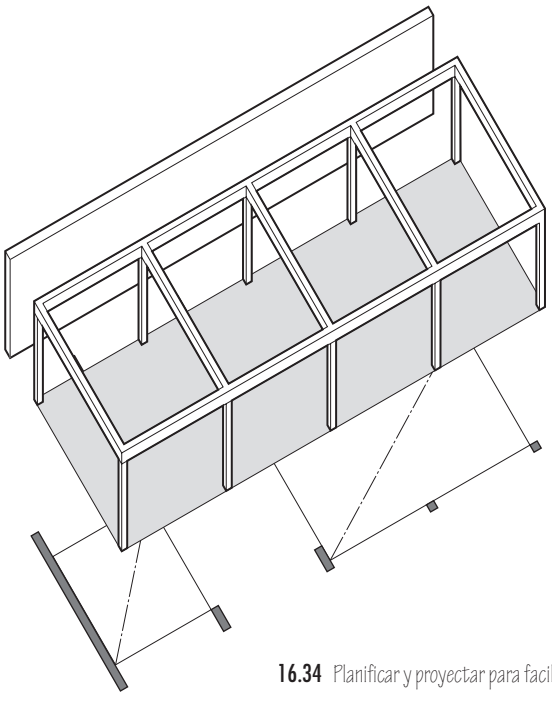
Refrigerante	Potencial de destrucción del ozono	Potencial de calentamiento global	Tipo	Notas
R-11 Triclorurofluormetano	1	4.000	CFC	Eliminado en la década de 1990.
R-12 Triclorurofluormetano	1	2.400	CFC	Eliminado en la década de 1990.
R-22 Clorurofluormetano	0,05	1.700	HCFC	Utilizado ampliamente durante muchos años, pero eliminado gradualmente debido a altos potenciales de destrucción de ozono e influencia en el calentamiento global. Dejaron de fabricarse equipos que lo contenían en 2010, y su producción cesará en 2020.
R-123 Diclorurofluoretano	0,02	0,02	HCFC	Sustituto habitual del R-11. Los equipos que contengan R-123 dejarán de fabricarse en 2020. La producción de R-123 cesará en 2030.
R-134a Tetrafluoroetano	0	1.300	HFC	Utilizado ampliamente en refrigeradores, frigoríficos y aire acondicionados de automóviles.
R-152a 1,1 Difluoroetano	0	124	HFC	Bajo estudio como sustituto del R-134a.
R-290 Propano	0	3	HC	Bajo estudio como sustituto del R-134a.
R-407c (23 % R-32, 25 % R-125, 52 % R-134a)	0	1.600	HFC	Sustituto habitual del R-22 en Estados Unidos. Se plantea su eliminación gradual debido a su potencial de influencia en el cambio climático.
R-410a	0	1.890	HFC	Sustituto habitual del R-22 en Estados Unidos. Se plantea su gradual eliminación debido a su potencial de influencia en el cambio climático.
R-717 Amonia (NH_3)	0	0	-	Tóxico. Utilizado en algunos equipos de refrigeración por absorción.
R-744 Dióxido de carbono (CO_2)	0	1	-	
R-1234yf	0	4	HFO	Puede utilizarse en sustitución al R-134a.

Para intentar limitar el impacto de los refrigerantes en el calentamiento global, en el caso de los edificios con bombas de calor conviene aplicar las siguientes buenas prácticas:

- Exigir una comprobación rigurosa de fugas antes de cargar el refrigerante; por ejemplo, con pruebas de presión positiva con nitrógeno y de generación intensa de vacío cada cierto tiempo para evitar fugas, dejando un informe por escrito de las mismas.
- Requerir la instalación de sistemas de detección de fugas en las salas de máquinas.
- Proporcionar un proyecto globalmente eficiente. Los edificios más eficientes reducen las cargas de climatización y, por tanto, el volumen de refrigerante necesario. Las condiciones para que el equipo de climatización sea lo más pequeño posible son: que el sistema esté correctamente dimensionado después del proyecto completo de la envolvente y el sistema de iluminación, y que los requisitos del proyecto fijen claramente los niveles de ocupación, horarios y otras necesidades del propietario.
- Evitar acondicionar espacios que no lo necesiten, lo que de nuevo reduce la necesidad de capacidad del sistema y de volumen de refrigerante.



16.33 Debería reservarse espacio para la recogida y almacenamiento de materiales reciclables, la recogida y la redistribución de productos y equipos que deber ser reutilizados, y para el compostaje.



16.34 Planificar y proyectar para facilitar el desmontaje y la reutilización.

Proyectar para reducir el impacto de los materiales después de la construcción

Durante el proyecto de un edificio nuevo, pueden hacerse ciertas provisiones para reducir el impacto de los materiales después de la construcción; por ejemplo, evitando que una vez que el edificio está en uso necesite más materiales.

En este sentido, pueden reservarse espacios que faciliten un sistema integrado de gestión de residuos sólidos, como, por ejemplo, áreas de recogida y almacenamiento de materiales reciclables, áreas de recogida y redistribución de productos y equipos a reutilizar, y áreas de compostaje. Tales medidas hacen más fácil que los usuarios del edificio reduzcan el volumen de residuos que van al vertedero, a través del reciclaje, la reutilización y el compostaje.

Además, pueden documentarse los materiales empleados en la construcción para minimizar su reemplazo. Por ejemplo, si el libro del edificio incluye información sobre las pinturas (fabricante, colores utilizados y distribuidores locales), es menos probable que haya que pintar toda una habitación si solo necesita un retoque, y, por tanto, podrán comprarse cantidades menores. Esto también puede aplicarse a los consumibles, los acabados de madera, marcos, molduras, embellecedores, persianas y otros elementos de puertas y ventanas.

Proyectar pensando en el desmontaje facilita la eventual reutilización de los materiales de construcción cuando el edificio alcance el final de su vida útil. Entre los principios del proyecto para el desmontaje se cuentan la construcción modular, la simplificación de las uniones, la selección de los elementos de unión y la reducción de su número para facilitar el desmontaje, la elección de materiales duraderos y reutilizables, y restringir la complejidad del edificio. Con esta filosofía de proyecto, el libro del edificio debería contener las instrucciones precisas para facilitar su desmontaje en el futuro.

Gestión de los residuos de construcción

Uno de los focos principales de la gestión de residuos de la construcción consiste en reducir los residuos y evitar tener que enviarlos a un vertedero.

Reducir los residuos a través de la eficiencia en el uso de los materiales

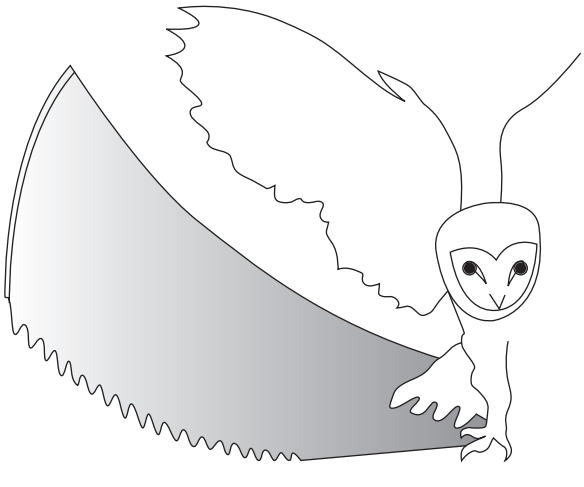
El proceso de gestión de los materiales de construcción ya comenzó con los esfuerzos realizados por conseguir la eficiencia en el uso de los materiales durante el proyecto y la compra de productos. Mediante una cuantificación más precisa de las necesidades de cada material se facilita que las compras sean ajustadas y que la cantidad de material desperdiciado sea menor.

Proteger los materiales de construcción antes de utilizarlos

También debe prestarse atención a la protección de los materiales en la obra, antes de su uso. Nuestro objetivo aquí no es solo evitar daños a los materiales que disminuyan su funcionalidad, sino también los daños por humedad, que podría acarrear problemas de calidad medioambiental debido a la aparición de hongos, así como que se rechace algún material, generando así residuos innecesarios. En el contexto más reciente y en el futuro, prestaremos mayor atención al transporte de los materiales para evitar daños durante el mismo. Quizás las prácticas de control de calidad se vuelvan más tolerantes con los pequeños desperfectos superficiales, de modo que se reduzcan los residuos materiales sin comprometer la integridad de un edificio.

Reducir los residuos que se deban llevar al vertedero

Un foco principal de la gestión de residuos en un edificio ecológico consiste en evitar el envío de residuos al vertedero. Una estrategia para lograr este objetivo consiste en incorporar una planificación inicial durante la fase de proyecto, definiendo, por ejemplo, los materiales que podrán destinarse a la reutilización o el reciclaje. También pueden establecerse objetivos cuantitativos, en peso o volumen, para la provisión de espacios para la recogida, separación y almacenamiento de los residuos reciclables, así como los procedimientos para hacer un seguimiento y una contabilidad de los residuos que se incorporen a este proceso. Con el tiempo, esperamos mayores esfuerzos para evitar que los residuos lleguen siquiera a la obra, lo que puede conseguirse, por ejemplo, evitando al máximo los embalajes.



16.36 El fabricante alemán Ziehl-Abegg ha comercializado recientemente una pala de ventilador modelado siguiendo el perfil de las alas de un búho, mejorando significativamente sus características aerodinámicas y reduciendo el ruido y el consumo de energía.

Otros temas relacionados con materiales

Transparencia

El etiquetado se está convirtiendo en un elemento importante de los materiales ecológicos ya que permite una evaluación equilibrada del contenido de los materiales: compuestos químicos, energía incorporada, materiales naturales y reciclados, origen y otras propiedades significativas.

16.35 La transparencia en el etiquetado de los materiales permite una evaluación equilibrada de los materiales.

Durabilidad

La durabilidad es una propiedad de carácter ecológico porque reduce la frecuencia con la que hay que reemplazar un material e incurrir en los gastos asociados de agotamiento de recursos y energía incorporada. También pueden escogerse productos que no requieran un mantenimiento regular, como suelos resilientes que no se deban encerar a menudo.

Biomímesis

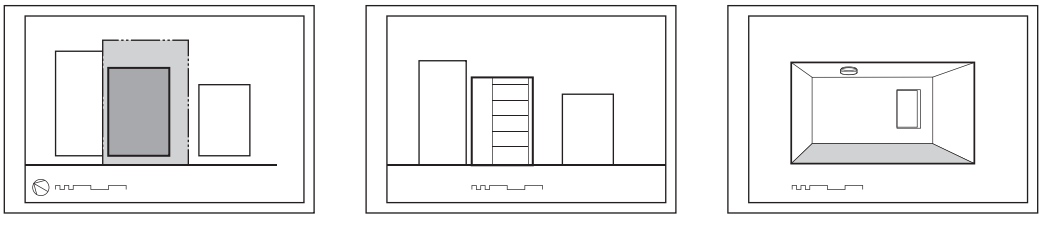
La biomímesis es un campo emergente que estudia como los sistemas manufacturados pueden beneficiarse del análisis de los sistemas naturales. En arquitectura, los materiales naturales pueden informar bien de la eficiencia energética y material que se busca con tanta urgencia en nuestras estructuras. Las formas naturales, como los cilindros y cuadrados, las proporciones equilibradas o los coeficientes de superficie eficientes son herramientas que pueden servir de soporte al proyecto de edificios ecológicos. La naturaleza proporciona muchos modelos interesantes para los procesos del entorno construido, como la purificación del agua, la calefacción, la refrigeración o la ventilación. La biomímesis debería aplicarse con sentido común, ya que aunque muchos materiales, formas y procesos de la naturaleza pueden ser eficientes en términos energéticos y materiales, otros pueden no serlo.

17

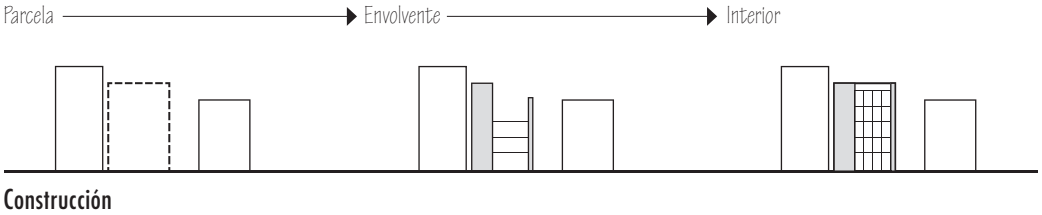
Ejecución y presupuesto

Calendarios y cronogramas

El proyecto de afuera adentro sigue la secuencia de trabajos de la construcción de un edificio.
La construcción comienza con la parcela, sigue con la envolvente y acaba con el interior.

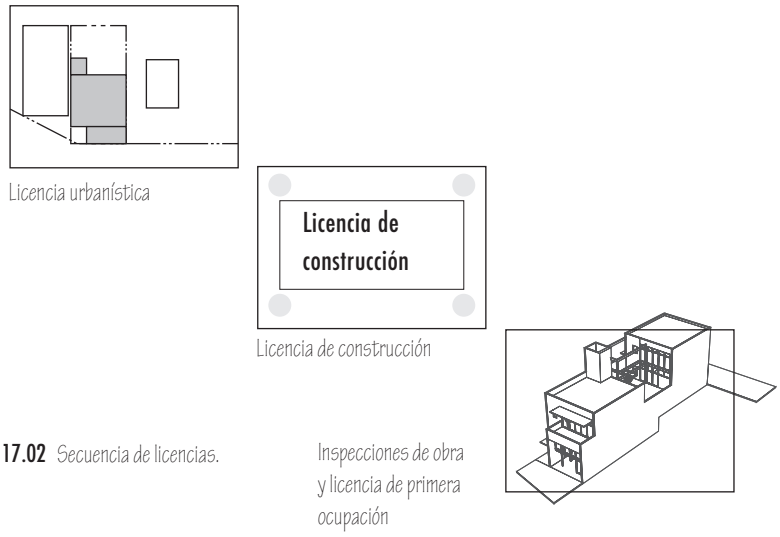


Proyecto

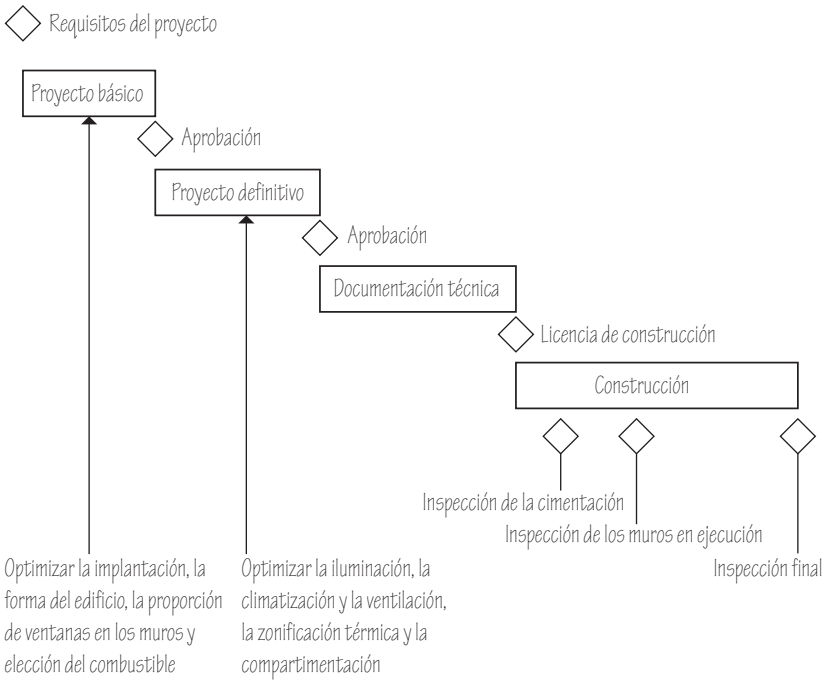


Construcción

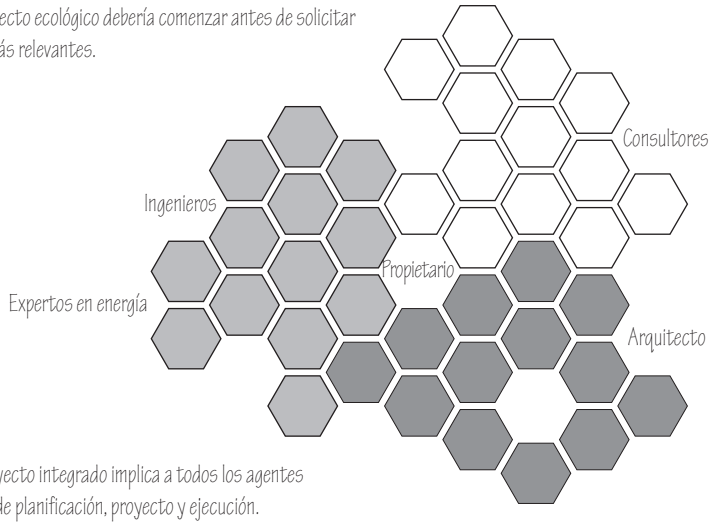
17.01 Proyectar de afuera adentro, de la parcela a la envolvente al interior, sigue la secuencia de la construcción.



17.02 Secuencia de licencias.



17.03 El proyecto ecológico debería comenzar antes de solicitar las licencias más relevantes.



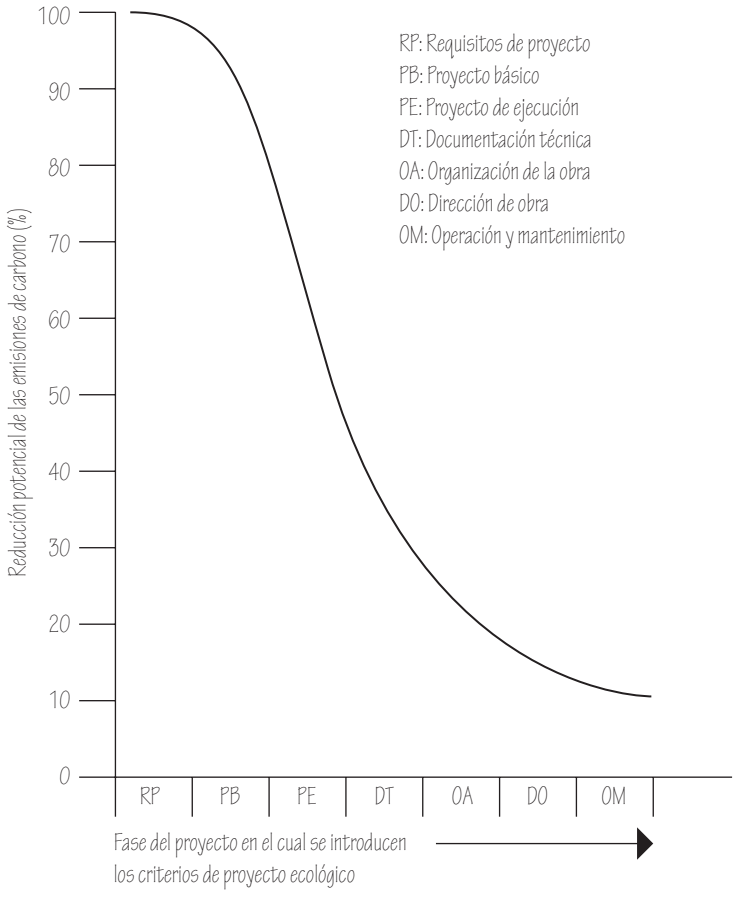
17.04 El proyecto integrado implica a todos los agentes en el proceso de planificación, proyecto y ejecución.

La serie de licencias necesarias para construir un edificio también sigue la secuencia de afuera adentro. La licencia urbanística se otorga antes que la licencia de obra, mientras que en el transcurso de la obra se suceden las inspecciones de la cimentación, los muros y las instalaciones eléctricas y mecánicas, que suelen llevarse a cabo antes que la inspección de los espacios interiores.

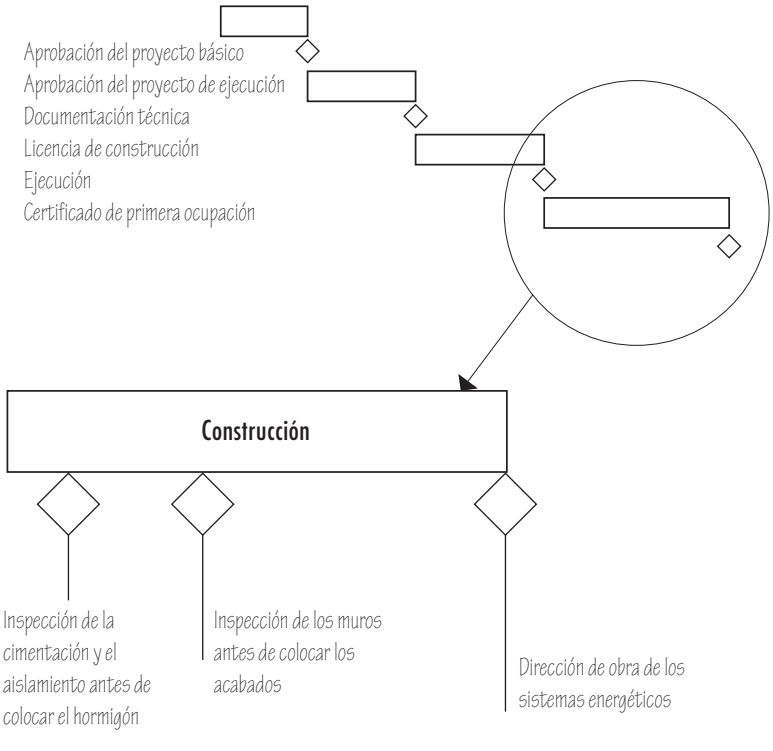
Esto no implica que el proyecto ecológico deba proceder en paralelo a la construcción, o incluso a las licencias. El proyecto ecológico es más eficaz si comienza antes de solicitar las licencias. De otra forma, la fachada del edificio puede obtener el visto bueno de las autoridades urbanísticas, de modo que ya no puedan introducirse modificaciones en la forma del edificio o en la distribución de las ventanas para optimizar el consumo energético. Al menos la optimización del sistema energético debe empezar antes de poner en marcha la solicitud de licencias.

En el proceso de aprobación no solo intervienen las autoridades locales, sino que también deben dar su visto bueno el propietario o el promotor. Si el propietario elige un proyecto antes de que se hayan analizado los sistemas energéticos y los impactos, y finalmente este resulta ineficiente, el arquitecto y el propietario se colocan en la difícil situación de defender un proyecto ineficiente o verse en la tesitura de esforzarse en alterar el proyecto aprobado con anterioridad.

Los defensores del proyecto integrado han abogado por la implicación de todo el equipo de proyecto desde el comienzo, incluyendo a los expertos en energía y al propietario. Este ha sido un paso muy positivo. Sin el proyecto integrado, las simulaciones energéticas deben aplicarse retroactivamente a edificios con un proyecto cerrado, de modo que el principal objetivo de la simulación, que es influir en el proyecto, ya no es posible. En este punto solo pueden incorporarse al proyecto mejoras que reduzcan el consumo energético en cantidades a veces tan pequeñas que apenas son perceptibles en la factura energética. En consecuencia, los propietarios o futuros inquilinos acaban perjudicados por una factura energética costosa durante toda la vida del edificio, o porque deben asumir costes de construcción innecesariamente altos. Un análisis temprano del proyecto energético puede evitar todos estos problemas.



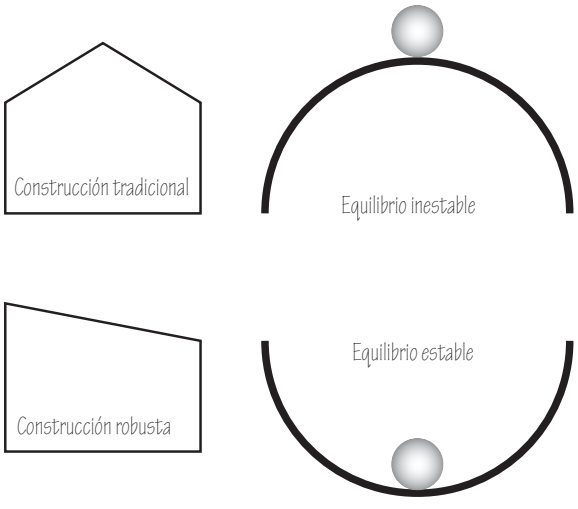
17.05 Reducir las emisiones de carbono prestando atención a los aspectos ecológicos desde el comienzo del proyecto.



17.06 Coyunturas críticas en las inspecciones de arquitectura ecológica.

Otro punto de vista para incorporar al proceso de proyecto y construcción es el potencial de reducción de las emisiones de CO_2. Si se presta atención a los aspectos ecológicos del proyecto desde el principio, las emisiones de CO_2 pueden reducirse hasta un 100 % en relación con un edificio tradicional. La posibilidad de influir en las emisiones de CO_2 se reduce rápidamente después de las fases iniciales del proyecto. Si no se analizan los aspectos medioambientales durante el proyecto básico, por ejemplo, y se fijan la forma global del edificio y la proporción de ventanas en los muros, con limitación de espacio en la cubierta o en la parcela para fuentes de energía renovable, el potencial para reducir en las emisiones de CO_2 queda dramáticamente limitado. Si, además, tampoco se analizan los aspectos medioambientales durante el proceso del proyecto de ejecución, también se limita el impacto potencial de las emisiones de CO_2 que pueden tener la distribución del edificio, los espacios sin acondicionar, la iluminación o el sistema de climatización. Si los aspectos medioambientales solo empiezan a discutirse en la fase de definición de la documentación técnica del proyecto, apenas se pueden lograr mejoras marginales en las emisiones de CO_2 a través de una serie de mejoras, como el coeficiente U de las ventanas o la eficiencia del sistema de climatización. Finalmente, si no se aplican criterios de proyecto ecológico, solo pueden obtenerse reducciones en las emisiones de CO_2 a través de las mejoras introducidas en el funcionamiento y el mantenimiento del edificio.

Durante la construcción, en ocasiones el contratista acelera ciertas decisiones para cumplir con los plazos previstos y reducir los costes. Esta aceleración puede ocasionar que se dedique menos atención a ciertos detalles críticos, como la continuidad de la envolvente térmica o la funcionalidad de los sistemas energéticos. Cuando esto ocurre, se realizan perforaciones que atraviesan la envolvente del edificio, como la entrada de la tubería de gas sin sellar, como tampoco queda sellado el alféizar de una ventana o el orificio por el que entra un cable eléctrico, el paso de una tubería vertical, el marco de una puerta o ventana. La mayor parte de estas perforaciones sin sellar quedan ocultas bajo los acabados, de modo que hace necesaria una labor de inspección durante la construcción. La aceleración del cronograma durante la instalación de los sistemas de iluminación o climatización también puede provocar un aumento del consumo energético. Hay momentos clave en que resulta imprescindible un control de calidad, y en que los inspectores y miembros del equipo de proyecto necesitan revisar todas esas deficiencias energéticas. Por ello, es fundamental poder inspeccionar las cimentaciones, los muros, las ventanas, la cubierta o los forjados antes de que los acabados terminen tapando todas las posibles deficiencias, y antes de instalar los sistemas energéticos.



17.07 Una metáfora para comparar la construcción tradicional con otras construcciones más robustas.

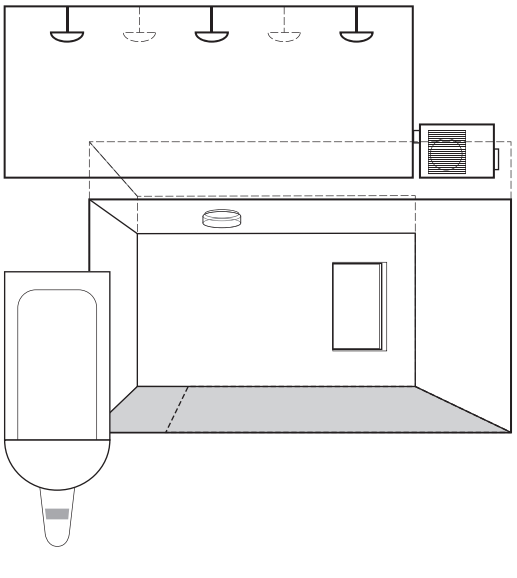
Un enfoque complementario se basa en proyectar edificios más robustos como, por ejemplo, edificios con menos juntas y perforaciones, y con los sistemas de climatización dentro de la envolvente térmica. Estos edificios tienen menos probabilidades de sufrir errores de ejecución y contarán con menos puntos con riesgo de sufrir fugas, puentes térmicos o pérdidas de distribución. Avanzar de afuera adentro: simplificar la forma del edificio para minimizar el número de esquinas y de juntas, después minimizar el número de huecos para puertas, ventanas, tomas de ventilación o entradas de combustible; utilizar capas monolíticas y consistentes como paneles estructurales aislados, encofrados aislados de hormigón u otros sistemas de muros y cubiertas que minimicen las perforaciones, juntas y riesgos de aparición de puentes térmicos. Con menos oportunidades para la aparición de deficiencias, el rendimiento energético del edificio no depende tanto de la detección de las deficiencias durante las inspecciones en obra. Para describir la situación podemos plantear la siguiente metáfora: imaginemos una canica en equilibrio sobre dos superficies. Sobre la cara convexa de una esfera está en un equilibrio inestable, pues cualquier perturbación la hace rodar hacia el borde exterior, a menos que se vigile permanentemente y se devuelva a su posición casi estable inicial. Por otra parte, la misma canica sobre la cara cóncava de la misma esfera está en un equilibrio estable, pues siempre retornará al punto inicial aunque haya una perturbación. Se trata de un proyecto robusto.

Costes

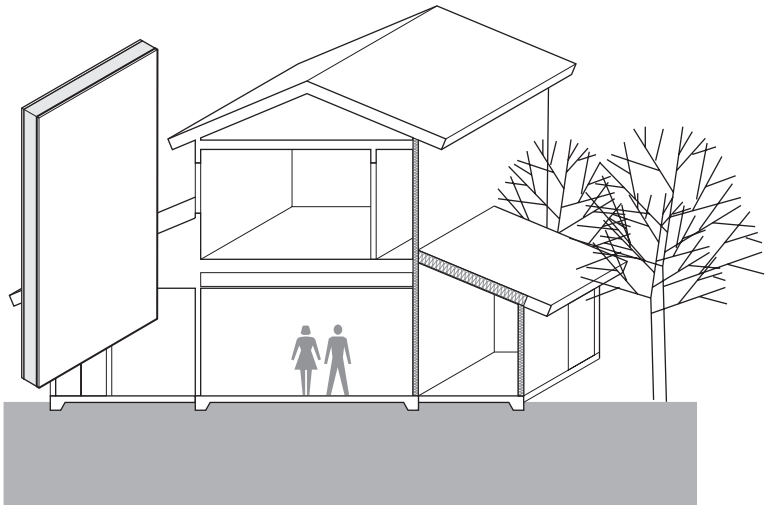
Las mejoras que sugiere el proyecto ecológico pueden reducir los costes de construcción, no incidir en ellos o incrementarlos. Los costes de cada mejora varían en función de la ubicación geográfica, las condiciones económicas locales o incluso el tiempo. Sin embargo, estas mejoras pueden agruparse según su impacto global sobre los costes de construcción.

Grupo I: mejoras que suelen reducir los costes:

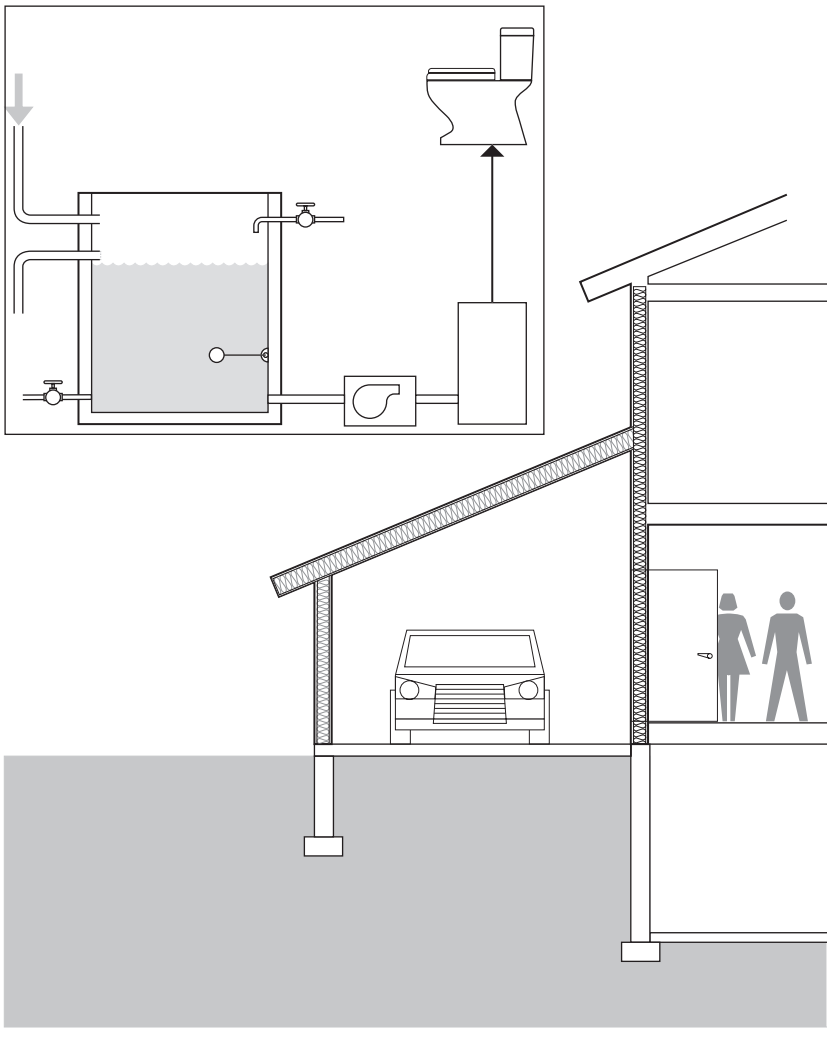
- Reducir la superficie en planta.
- Reducir la superficie total de la envolvente.
- Utilizar entramados mejorados.
- Descartar la climatización en espacios que no la necesitan.
- Reducir el tamaño de los equipos y de los sistemas de distribución de climatización gracias a las menores cargas.
- Utilizar menos puntos de luz debido a las menores cargas de iluminación, resultado de un proyecto optimizado, paredes y techos más reflectantes, y la supresión de apliques empotrados y techos altos.
- Reducir el tamaño de los equipos y los sistemas de distribución de refrigeración gracias a la reducción del sistema de iluminación.
- Eliminar tuberías y válvulas de agua fría de aparatos como los inodoros secos.
- Reducir los residuos de construcción.
- Utilizar materiales con imperfecciones.
- Combinar múltiples usos o propiedades en un único edificio, en lugar de varios edificios más pequeños.
- Utilizar la estructura vista como acabado y superficies sin acabados.
- Dejar las instalaciones vistas (tuberías y conductos).
- Descartar los desvanes y las cubiertas inclinadas.
- Reducir el tamaño y el número de ventanas.



17.08 Las mejoras del grupo I suponen una reducción de los costes.



17.09 Las mejoras del grupo II no tienen repercusiones en el presupuesto.



17.10 Las mejoras del grupo III implican un aumento de los costes.

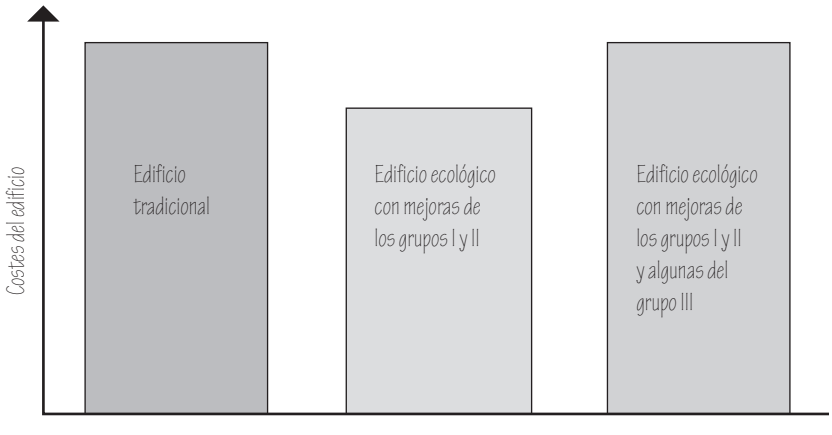
Grupo II: mejoras que prácticamente no afectan a los costes:

- Utilizar paneles prefabricados en los muros, con un mayor coste en materiales, aunque menor en mano de obra.
- Utilizar árboles y otras plantas para dar sombra.
- Evitar sótanos y cámaras sanitarias y reemplazarlos con áreas de almacenaje interiores o adosadas.
- Trasladar los espacios sin acondicionar al perímetro del edificio.

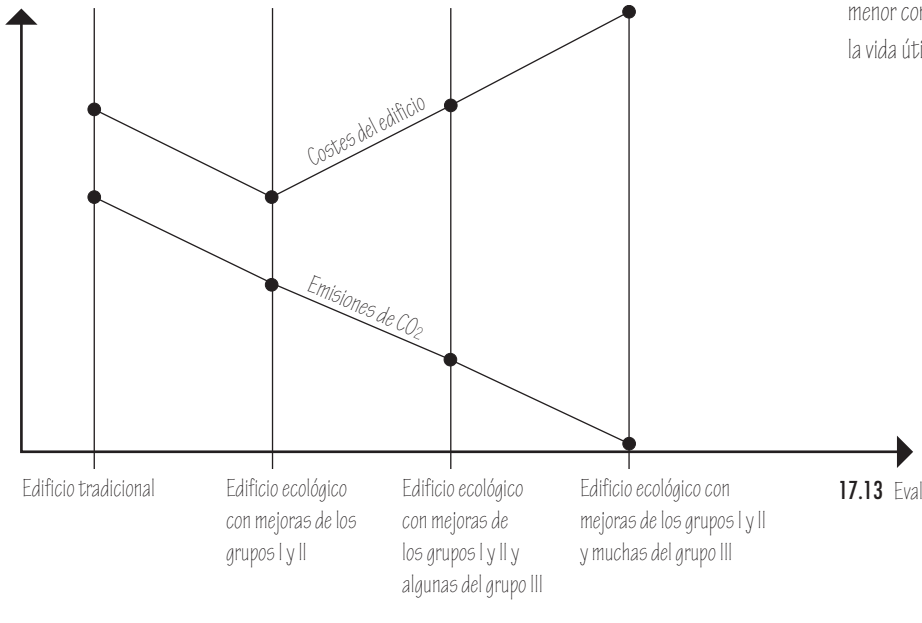
Grupo III: mejoras que incrementan los costes:

- Aislamiento adicional.
- Sellado adicional frente a filtraciones de aire.
- Sistemas de climatización de alta eficiencia.
- Rotura de puente térmico.
- Sistemas de producción de agua caliente de alta eficiencia.
- Utilizar toldos y parasoles.
- Sistemas de ventilación con recuperación de calor o de energía.
- Recogida de aguas pluviales.
- Acabados que promueven la eficiencia energética, como las persianas aisladas.
- Dispositivos de luz de alta eficiencia.
- Controles de iluminación de alta eficiencia.
- Aparatos de alta eficiencia.
- Utilizar materiales que refuercen la envolvente térmica, como puertas aisladas entre espacios acondicionados y sin acondicionar.
- Añadir una segunda envolvente térmica en espacios sin acondicionar, como garajes, aislando y sellando la envolvente exterior.
- Utilizar zonificación térmica.
- Compartimentar los espacios del edificio.
- Sistemas de energías renovables.
- Materiales de bajas emisiones.
- Utilizar tratamientos acústicos adecuados.
- Cubiertas vegetales.
- Controles de calidad que aseguren que se alcanzan los objetivos de eficiencia.
- Documentar el cumplimiento de las normas, estándares y guías de arquitectura ecológica.

17.11 Un edificio que incorpore la mejoras de los grupos I y II costará menos y utilizará menos energía y menos materiales que el mismo edificio sin dichas mejoras.



17.12 El ahorro conseguido con algunas de las mejoras del grupo I podría invertirse en introducir algunas de las mejoras del grupo III.



17.13 Evaluar un edificio a través de reducción de emisiones de CO_2.

A la hora de estimar los costes económicos de las mejoras ecológicas debemos ser honestos con nosotros mismos y con nuestros clientes. Muchas de las mejoras de los edificios ecológicos supondrán un aumento de costes, aunque, por otro lado, pueden descubrirse algunos ahorros potenciales en el proceso de proyecto.

Dos aclaraciones pueden ayudar a realizar una primera caracterización en términos de costes de los edificios ecológicos:

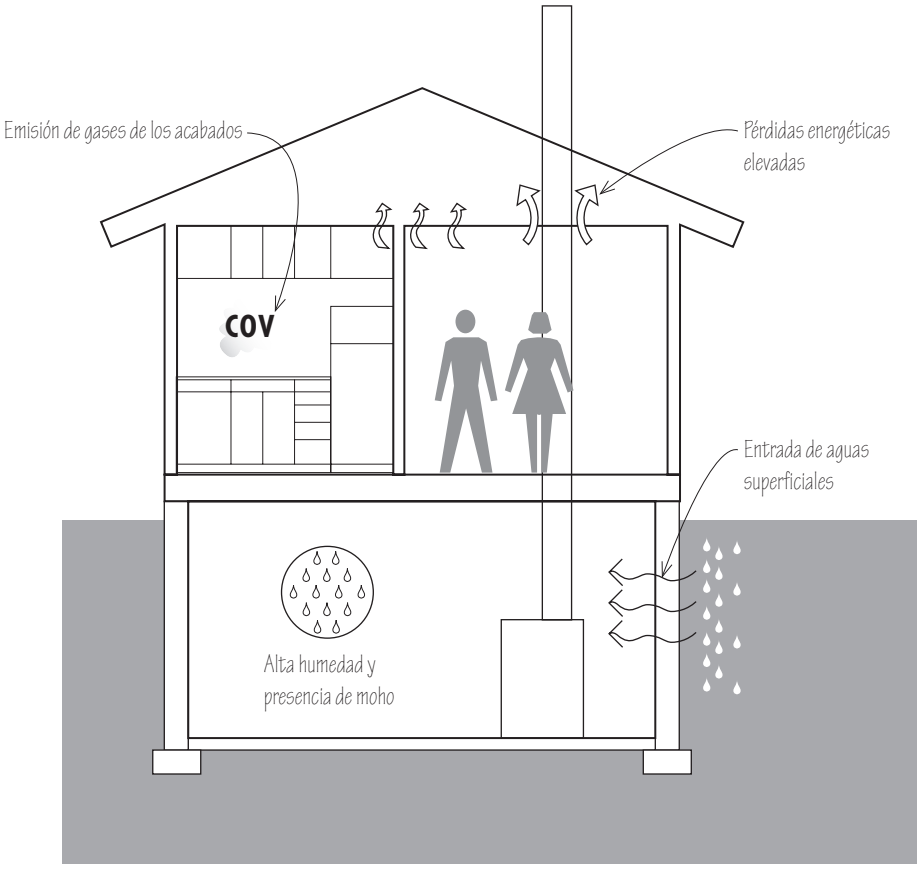
- Si un edificio se proyecta recurriendo solo a las mejoras del grupo I (que reduce los costes de construcción) y solo algunos aspectos del grupo II (neutrales en costes), el edificio costará menos y utilizará menos energía y menos materiales que el mismo edificio proyectado sin esas mejoras.
- Los ahorros de las mejoras del grupo I pueden servir para compensar los costes adicionales de algunas de las mejoras del grupo III (que incrementan los costes de construcción). Podemos concebir un edificio que cueste lo mismo que uno tradicional pero con un consumo de energía y materiales sustancialmente menor.

Por otra parte, aunque un edificio ecológico acaba costando más que uno tradicional, es posible justificar parte o todos los sobrecostes por los ahorros operativos en el futuro, principalmente por el ahorro de energía. Este análisis se tratará específicamente en el capítulo 18: Control de calidad.

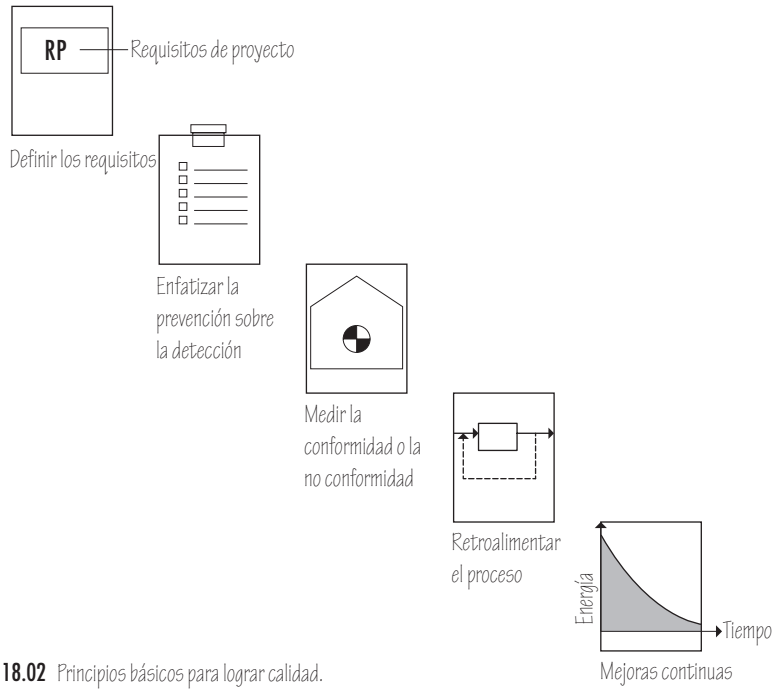
Desde el punto de vista de la reducción de las emisiones de CO_2, un edificio con mejoras de los grupos I y II tendrá menos emisiones y costará menos que uno tradicional. El mismo edificio con algunas mejoras del grupo III tendrá emisiones de CO_2 aún menores, pero costará lo mismo que uno tradicional. Finalmente, un edificio con un número mayor de mejoras del grupo III podría llegar a tener emisiones cero o cercanas a cero, y con los ahorros operativos asociados al menor consumo energético, suponer un menor coste a lo largo de toda la vida útil que un edificio tradicional.

18
Control de calidad

Todos los edificios son vulnerables a una mala calidad del proyecto o la construcción. Sin embargo, los edificios ecológicos presentan vulnerabilidades específicas que tienen que ver con su búsqueda de características ecológicas. Indicadores de mala calidad son el alto consumo de energía, el uso de acabados con alto contenido en químicos y las consiguientes emisiones, y la penetración de agua que da como resultado altos niveles de humedad en el interior y la aparición de moho.



18.01 Indicadores de mala calidad de la construcción.



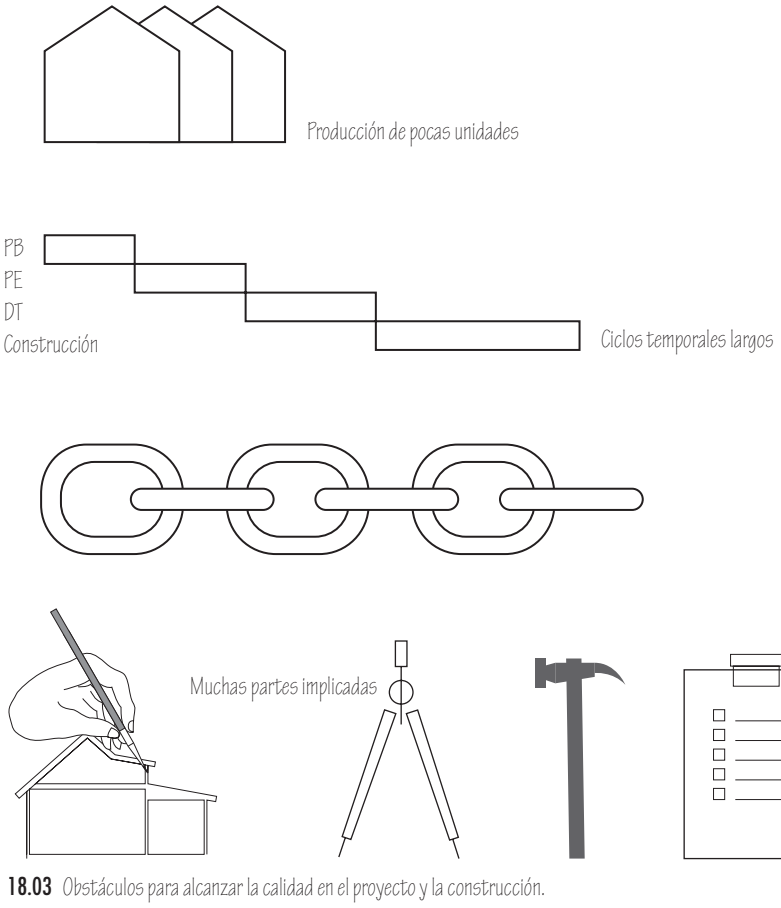
18.02 Principios básicos para lograr calidad.

Los edificios ecológicos pueden ser incluso más vulnerables a ciertos tipos de fallos que los convencionales. Por ejemplo, si por error se filtra aire con un caudal de 0,1 renovaciones/h en un edificio proyectado para contar con una tasa global de filtración de 0,1 renovaciones/h, las filtraciones habrán aumentado un 100 %. Esto puede implicar que el sistema de calefacción sea incapaz de responder a esta nueva situación y el edificio termine estando demasiado frío. El impacto de la misma filtración en un edificio proyectado para tener unas filtraciones de 0,5 renovaciones/h sufrirá tan solo un 20 % de aumento en la filtración y probablemente no sea perceptible. De igual modo, si en un edificio ecológico se instala una fuente interior de contaminación, como una alfombra con alto contenido de compuestos orgánicos volátiles, la concentración de contaminantes en el interior probablemente sea mayor que en un edificio convencional con exceso de ventilación o con un mayor volumen de filtraciones.

Por ello es tan importante el control de calidad en los edificios ecológicos.

El campo del control de la calidad ha avanzado significativamente en las últimas décadas. Los principios básicos de calidad son:

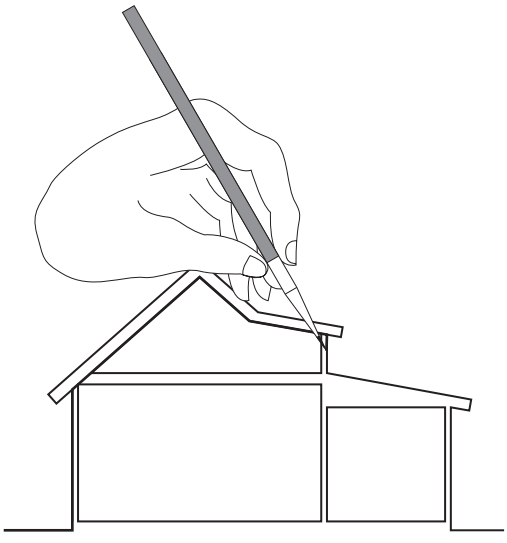
- Definir los requisitos.
- Evitar los defectos en lugar de confiar en detectarlos.
- Medir el cumplimiento y el incumplimiento según los requisitos.
- Retroalimentar el proceso.
- Mejorar de forma permanente.



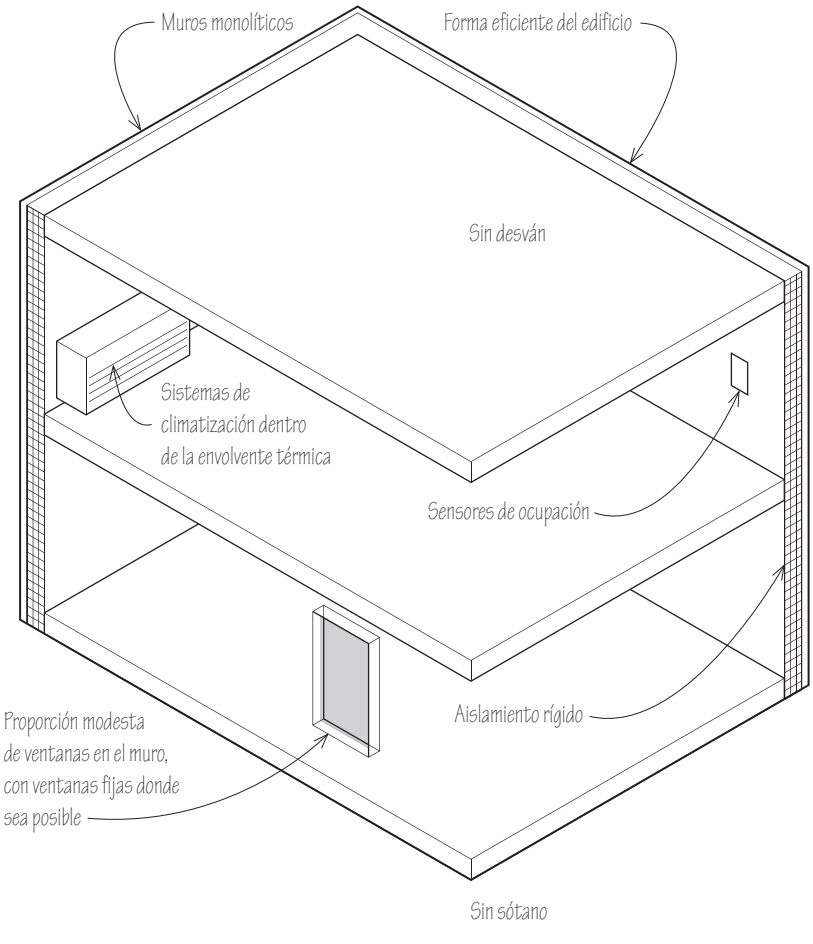
18.03 Obstáculos para alcanzar la calidad en el proyecto y la construcción.

En el área del proyecto y la construcción son muchos los obstáculos a la hora de alcanzar la calidad. A diferencia de otro tipo de empresas, como la producción en serie, la construcción de edificios normalmente se hace uno a uno, con muestras pequeñas entre las que realizar comparaciones y ciclos largos de producción para cada edificio. Estos factores dificultan tanto la medición como la retroalimentación necesaria para introducir mejoras. También existen numerosas partes implicadas en el proyecto y la construcción de un edificio, y cualquiera de ellas puede ser el eslabón débil que socave los esfuerzos en busca de la calidad.

Los enfoques para superar estos obstáculos requieren la calidad integrada del proyecto a través del uso de elementos de construcción robustos y adoptar diversos controles de calidad durante el proceso de proyecto y construcción, controles que incluyen la definición de los requisitos, la inspección, la supervisión, la medición y la verificación, y la monitorización.



18.04 Proyectar la calidad como parte de un edificio.



18.05 Ejemplos de calidad integrada en el proyecto.

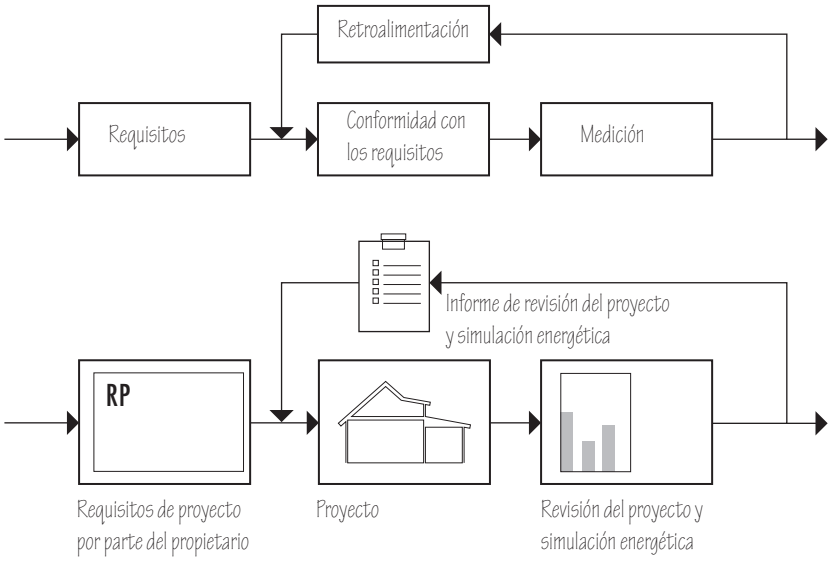
Calidad integrada en el proyecto

Para minimizar el riesgo de fallos, especialmente en aspectos como el bajo consumo de energía, un enfoque útil consiste en proyectar la calidad dentro del edificio, que en el enfoque clásico de la calidad se conoce como prevención del defecto, en contraste con la detección del defecto, que se dirige a localizar los defectos durante las inspecciones. La calidad integrada en el proyecto no confía tanto en los esfuerzos de inspección como en su capacidad para reducir el riesgo de errores.

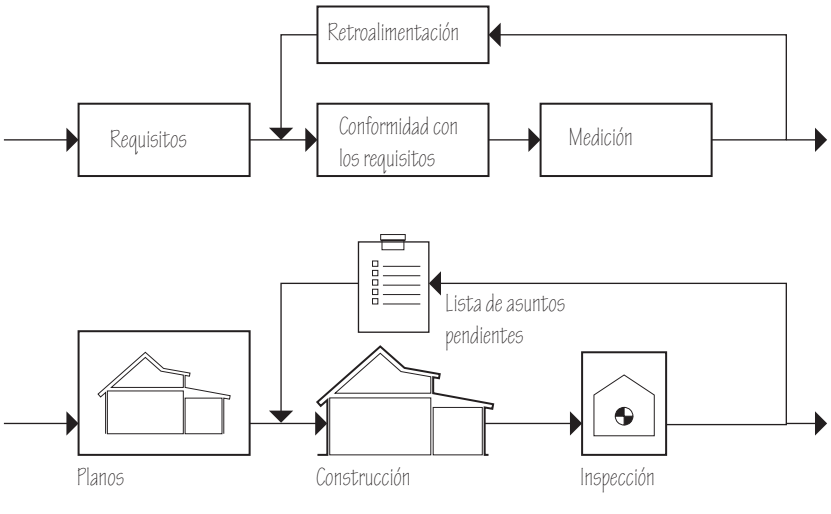
Hay muchas oportunidades para incorporar la calidad en el proyecto de edificios ecológicos. Por ejemplo, los muros ecológicos (como los construidos con encofrados aislantes, paneles aislantes prefabricados o materiales similares) tienen menos perforaciones, son más robustos y sufren menos riesgos a fallos que los muros de entramado fabricados in situ. Los paneles rígidos de aislamiento, la celulosa densificada o la espuma proyectada presentan menos riesgos de combamiento o desplazamiento que los aislantes en rollos u otros tipos de empaquetado poco cuidadoso. Si una ventana no tiene una función de ventilación, una ventana fija tiene menos riesgos de fugas que una practicable. Al ubicar el sistema de climatización íntegramente dentro de la envolvente térmica, las consecuencias de las posibles fugas o pérdidas son menores, y la eficiencia del sistema no depende tanto de la detección y corrección de estos fallos en el sellado del aislamiento. Por ejemplo, un estudio reciente sobre el cumplimiento de los requisitos normativos en el sellado de los conductos de edificios no residenciales en California, descubrió que los incumplimientos eran del 100 %. Más que intentar mejorar el grado de cumplimiento de la norma, garantizamos su cumplimiento simplemente no ubicando los sistemas de distribución en espacios sin acondicionar.

Algunas de las mejoras de la calidad integrada en el proyecto son bastante sutiles. Por ejemplo, los sensores de ocupación con encendido manual reducen el consumo de energía de una forma más fiable que otros sensores de ocupación más convencionales, que a menudo encienden las luces innecesariamente durante estancias transitorias.

Los proyecto de edificios que confían menos en la eficiencia de los equipos y más en la intrínseca —como la forma del edificio, la resistencia térmica o una proporción modesta de superficie de ventana en los muros— tienen mayores probabilidades de seguir siendo eficientes con el paso del tiempo.



18.06 Lenguaje del control de calidad aplicado al proyecto.



18.07 Lenguaje del control de calidad aplicado a la construcción.

Enfoques hacia la calidad del proyecto y la construcción

Además de la calidad del proyecto, que pretende prevenir los defectos en la construcción y funcionamiento del edificio, la arquitectura ecológica puede incorporar una variada gama de herramientas de control de calidad para detectar y eliminar los defectos. El enfoque requiere un compromiso con la calidad por parte de todo el equipo y la adopción de un lenguaje de calidad: definición de requisitos, cumplimiento de los mismos, medición, retroalimentación y mejora permanente.

Los documentos técnicos sirven como vehículo para la definición de los requisitos. Sin embargo, los documentos técnicos del proyecto, con todo su detalle, normalmente no recogen el propósito que subyace en todo el trabajo y, en los últimos años, los contratos de trabajo han empezado a desempeñar esta función. Es importante documentar los propósitos y objetivos del propietario, al igual que los requisitos de rendimiento o medioambientales, como el cumplimiento de un determinado programa de certificación ecológica, un objetivo de consumo energético, una tasa máxima de filtración o un rango definido de confort térmico.

Calidad del proyecto

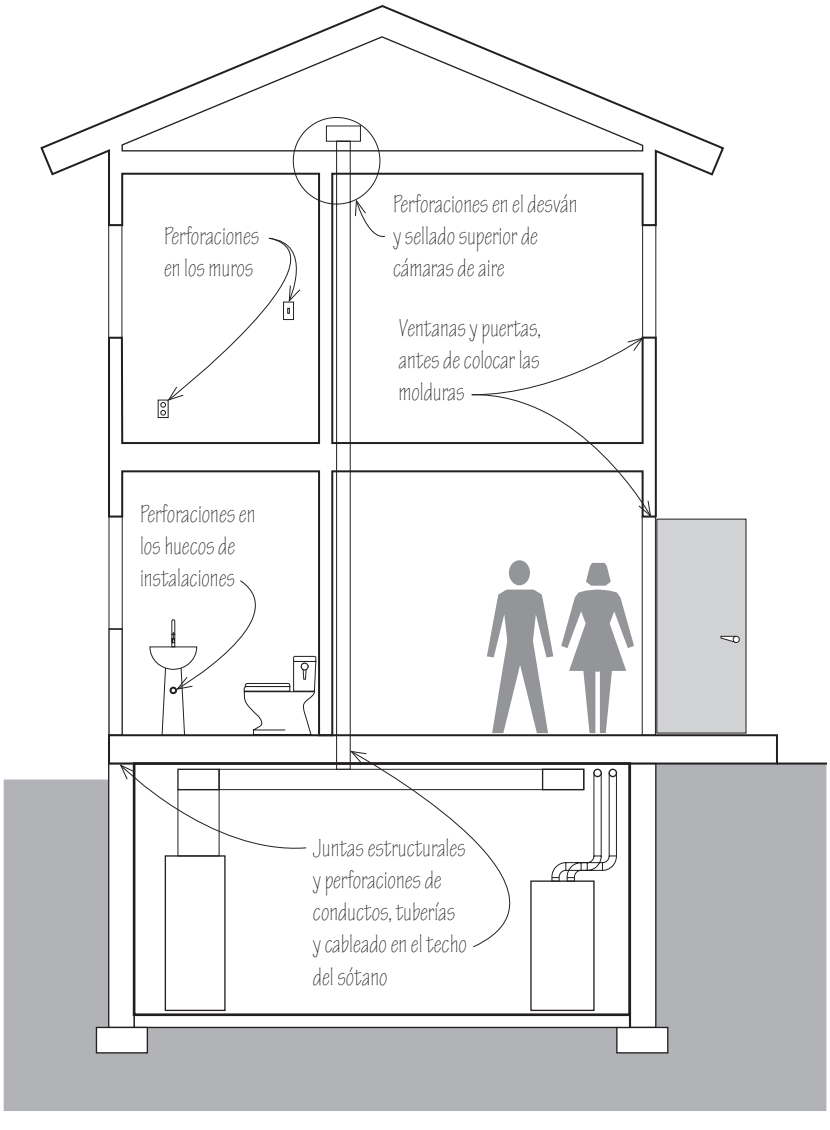
Uno de los beneficios de las certificaciones de arquitectura ecológica, como LEED, es que los requisitos de documentación sirven de control de calidad. Para documentar que el sistema de calefacción no está sobredimensionado, se necesita una comprobación al respecto. Para documentar que el edificio cumple un estándar, es preciso comprobar la ventilación. Esto es beneficioso para el control de calidad y va más allá de obtener la correspondiente certificación.

Calidad en la construcción

La revisión de informes se puede considerar con una buena práctica de valor incalculable para garantizar la calidad de la construcción. Es una forma de documentar el cumplimiento con los requisitos, y a menudo sirve para identificar la sustitución de un equipo por otro de menores prestaciones o, en el caso de edificios ecológicos, productos ineficientes o contaminantes. La práctica de revisar los informes es habitual en los proyectos de construcción de grandes edificios comerciales o institucionales, pero también resultaría beneficiosa en proyectos donde no es tan habitual, como los de viviendas o pequeños comercios, así como en muchos otros del sector privado.

La calidad de la construcción continúa a través de diversas prácticas, como la celebración de reuniones previas de trabajo donde se identifican y resuelven problemas.

Aunque parezca simple, una práctica importante en la inspección es



18.08 Lugares que deben inspeccionarse en la ejecución del sellado frente a filtraciones.

rechazar el trabajo mal hecho. El trabajo mal hecho se detecta con una inspección bien hecha. Las buenas prácticas para inspección de obra son:

- Reservar tiempo suficiente para la inspección.
- Acudir preparado con un juego de la documentación técnica.
- Realizar la inspección en el momento adecuado, cuando los componentes ecológicos más significativos, como el aislamiento o el sellado, están a la vista, antes de quedar ocultos o inaccesibles.
- Tomar notas y fotografías, emitiendo informes y observaciones de forma regular.

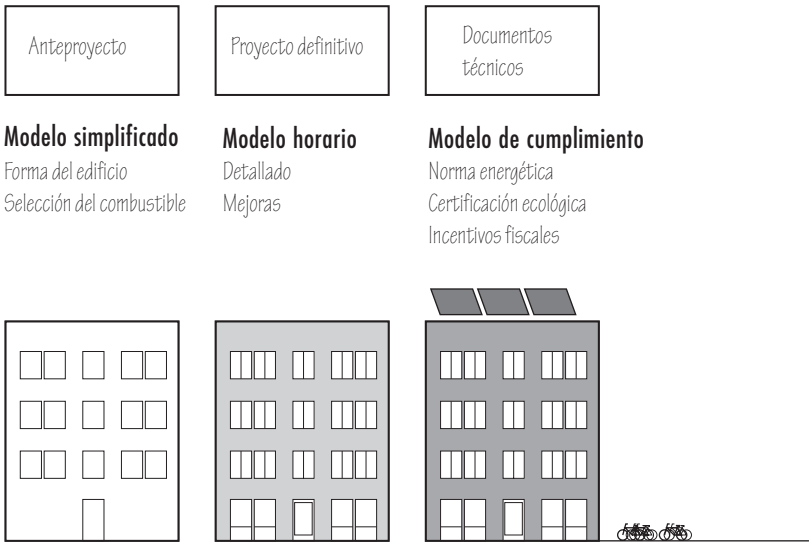
El momento en que se inspeccionen los detalles relacionados con el sellado frente a las filtraciones de aire es de suma importancia. Requiere inspeccionar las puertas y las ventanas antes de que se instalen las molduras; las cámaras de aire de los muros antes del sellado, y todas las perforaciones del edificio.

Simulación energética

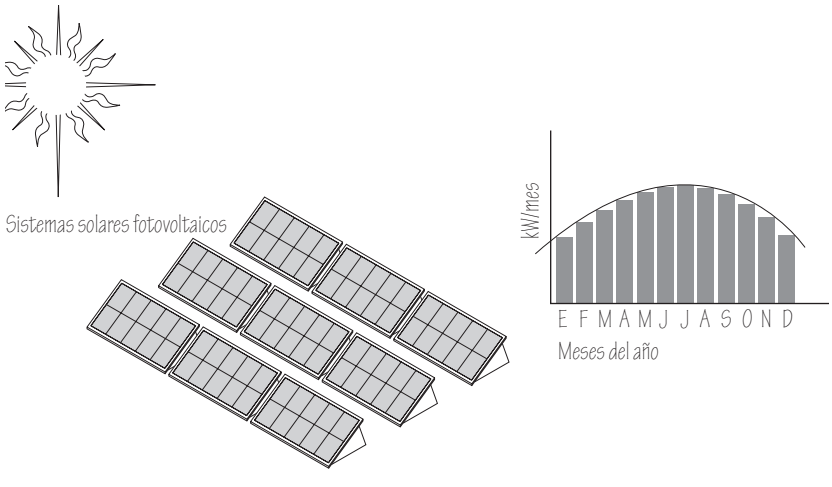
Una base fundamental para la calidad del proyecto de edificio ecológico son las simulaciones energéticas. Estas ayudan al propietario y a los proyectistas a tomar decisiones informadas sobre cuestiones energéticas.

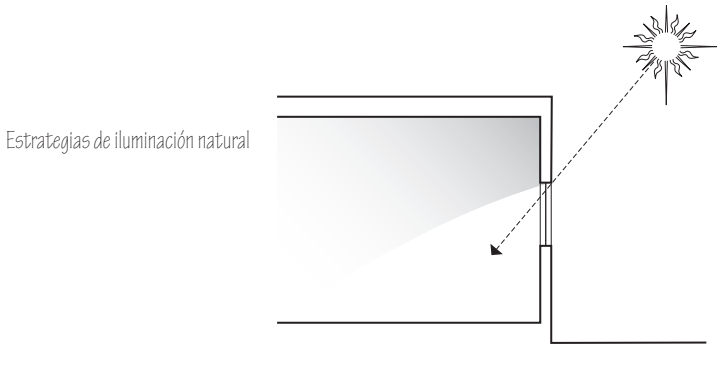
Las simulaciones energéticas de edificios se utilizan con diversos objetivos: evaluación de mejoras, cumplimiento de normas, estándares voluntarios o certificaciones; predicciones de facturas y costes operativos, documentación para la solicitud de incentivos fiscales o cumplimiento con programas de incentivos públicos o privados. Algunas simulaciones también constituyen la base del proyecto del sistema de climatización. Entre los usos avanzados de estas simulaciones se incluyen el refinado y la optimización de las secuencias de control para sistemas de climatización e iluminación.

La clave para una buena simulación energética de un edificio consiste en hacerla antes de tomar las decisiones. Si se realizar la simulación después de haber decidido la forma del edificio, la simulación no podrá influir sobre ella. Si se hace después de que se hayan completado las fachadas o las imágenes exteriores del edificio, tampoco servirá para replantearse la proporción de ventanas en las fachadas. De igual modo, si la simulación se realiza una vez elegido el tipo de sistema de climatización, tampoco podrá influir en la eficiencia del mismo.



18.09 Tipos de modelos energéticos.





18.10 Modelos energéticos específicos.

Por muy atractivo que sea pensar que un único modelo pueda servir a todos los propósitos, los diferentes objetivos de una simulación energética pueden requerir construir diferentes modelos. El cumplimiento de la norma energética requiere una simulación energética del edificio y los sistemas energéticos en su forma definitiva, lo que es, por definición, lo contrario de lo que se requiere para evaluar y seleccionar mejoras, donde es mejor que nada esté totalmente definido y que todas las opciones estén abiertas.

Una secuencia eficaz de simulación energética podría ser:

- Modelo simplificado para analizar la forma del edificio, la altura de los techos, la proporción de ventanas en los muros y el proyecto preliminar del sistema de climatización, o al menos la selección del combustible. El tiempo necesario para crear este modelo suele ser de 2 a 4 horas.
- Modelo horario que simule el consumo energético del edificio a lo largo del año analizando su comportamiento frente a los cambios de temperaturas exteriores y a los ángulos de incidencia del sol para cada hora del año. Los modelos horarios se emplean para evaluar una diversidad de mejoras: zonificación térmica, proyecto del aislamiento (que incluye la reducción de los puentes térmicos), uso de los espacios sin acondicionar, diseño eficiente de iluminación, evaluación de sistemas de climatización y distribución, diseño del sistema de producción de agua caliente, especificación de los controles y diseño del sistema de ventilación. El tiempo necesario para crear este modelo se sitúa entre las 40 y las 80 horas de trabajo, aunque puede ser menor en el caso de edificios más pequeños, como viviendas, o mayor en el caso de edificios inusualmente complejos.
- Modelo de cumplimiento, donde el modelo horario se modifica para recoger las decisiones definitivas en cuanto a las mejoras incorporadas y la configuración del edificio, con el objeto de demostrar el cumplimiento de los requisitos de una norma o estándar, estimación de facturas y documentación para solicitar subvenciones públicas o de empresas de servicios si se dan las circunstancias. El esfuerzo para crear este modelo varía dependiendo del tipo de edificio y de las demandas de cada programa particular. Puede tratarse de una modificación menor del modelo horario, o una modificación más profunda que requiera volver a ajustar todo el modelo.

También hay disponibles modelos energéticos y hojas de cálculo específicas para ciertos sistemas y soluciones avanzadas, como sistemas solares fotovoltaicos, iluminación natural o cogeneración de calor y electricidad.

Es interesante señalar que la mayor parte de los modelos energéticos limitan que se puedan añadir componentes al edificio. La mayoría de los modelos permiten un análisis paramétrico; es decir, analizar los efectos que se producen al modificar un parámetro, como aumentar el valor R de un muro o mejorar el coeficiente U de una ventana. Sin embargo, los modelos no suelen permitir una evaluación sencilla o informar de parámetros que simplifican el edificio, variables como reducir la superficie en planta o la altura de los techos, simplificar la forma del edificio, evitar la calefacción de ciertos espacios o reducir el tamaño o el número de ventanas. Aunque estas modificaciones que simplifican el edificio normalmente pueden hacerse indirectamente, estos cambios no pueden hacerse con la facilidad con que se añaden otro tipo de mejoras simplemente al edificio existente. Por ello, incluso en las simulaciones energéticas, seguiremos centrándonos en el método de evaluación de las mejoras energéticas del edificio al añadir más que sustraer. Este punto posiblemente relacione la simulación energética con la metáfora del escultor, algunos de cuyos mejores trabajos se hacen quitando material de la escultura, no solo añadiendo.

El control de calidad de las simulaciones energéticas resulta esencial para evitar errores que lleven a la elección de sistemas no óptimos e incluso derrochadores de energía. En este caso, el control de calidad requiere una revisión por parte del desarrollador del modelo, otra por parte del supervisor y otra por una tercero. La revisión debería incluir las diversas opciones evaluadas, así como una comparación de los resultados con valores de referencia de edificios similares.

Objetivos medioambientales

[ ] Architecture 2030
[ ] LEED
[ ] Certificado [ ] Plata [ ] Oro [ ] Platino
[ ] ENERGY STAR
[ ] HERS _____ objetivo
[ ] Passivhaus
[ ] Otro: _____

Objetivos energéticos

[ ] Normativa energética
[ ] Por debajo de lo exigido: ____ %
[ ] Energía neta cero
Base [ ] In situ
[ ] En origen
[ ] Emisiones de carbono
[ ] Combustibles fósiles

18.11 Objetivos medioambientales y energéticos para un edificio ecológico.

Dirección de obra

Originalmente la dirección de obra se definía como una forma de inspección de la construcción que asegurara que los sistemas mecánicos y de iluminación funcionaban según lo esperado. En una definición emergente más amplia, la dirección de obra sirve como vehículo para el control de calidad de todo un proyecto de arquitectura ecológica, incluyendo la definición y la documentación de los requisitos de proyecto, la inspección de la envolvente y otros sistemas no mecánicos, y la adopción de medidas de retroalimentación sobre las que se puede mejorar el proceso de funcionamiento del edificio de forma permanente.

La dirección de obra suele realizarla un profesional independiente contratado directamente por el propietario, independiente de los contratistas y del equipo de proyecto.

Requisitos de proyecto por parte del propietario

La dirección de obra comienza con un documento que recoge los requisitos del proyecto, en el que se tienen en cuenta los del propietario y el objetivo principal del edificio, la historia relevante, las necesidades futuras, el presupuesto del proyecto y el presupuesto operativo esperado, el cronograma de la construcción, la vida útil del edificio, la distribución prevista de usos, la calidad de los materiales, los requisitos acústicos, el método de entrega del proyecto, los requisitos de formación para los objetivos ecológicos, incluyendo las certificaciones voluntarias, la eficiencia energética respecto a un índice de referencia, las emisiones de CO_2, el confort térmico, la iluminación específica y las prioridades del propietario en cuanto a los objetivos de proyecto ecológico, como minimizar las emisiones o los costes a lo largo del ciclo de vida. Las decisiones críticas que debe tomar el propietario se refieren a la posible prohibición de fumar en el edificio o sus alrededores y cómo se va a hacer cumplir (por ejemplo, mediante la correspondiente señalización o mediante cláusulas en el contrato de arrendamiento). En este sentido, los edificios ecológicos pueden ser ejemplares si prohíben fumar en todo el edificio y su parcela.

18.12 Ejemplo de requisitos de ocupación.

Espacio: 105	Descripción: sala de conferencias		
Hora	Ocupación a diario	Ocupación en días festivos	Notas
12–1 am	0	0	
1–2 am	0	0	
2–3 am	0	0	
3–4 am	0	0	
4–5 am	0	0	
5–6 am	0	0	
6–7 am	0	0	
7–8 am	0	0	
8–9 am	0	0	
9–10 am	14	0	Reunión del personal,
10–11 am	2	0	habitual
11–mediodía	2	0	
12–1 pm	10	0	Utilizada como
1–2 pm	2	0	comedor
2–3 pm	2	0	
3–4 pm	2	0	
4–5 pm	2	0	
5–6 pm	0	0	
6–7 pm	0	0	
7–8 pm	0	0	
8–9 pm	0	0	
9–10 pm	0	0	
10–11 pm	0	0	
11–medianoche	0	0	

El proyectista puede ayudar al propietario a definir los objetivos del proyecto, pues hay implicaciones significativas para los costes y para la eficiencia energética del edificio, como, por ejemplo, en el detalle con que se definen los usos y los grados de ocupación del edificio. El propietario debería definir preferentemente el grado de ocupación y el tipo de actividad de cada estancia del edificio en cada hora de un día laboral y en los fines de semana. Esta información se utilizará para dimensionar el sistema de ventilación y el de climatización, y para la simulación energética. De nuevo, cuando más detallado, mejor. Si la información sobre la ocupación es aproximada y demasiado conservadora (más gente de la que realmente habrá), el sistema de ventilación quedará sobredimensionado, al igual que los sistemas de climatización y de distribución, de modo que todos ellos resultarán más costosos, utilizarán más material del necesario y consumirán más energía de la necesaria una vez que el edificio entre en funcionamiento. Una información precisa sobre los grados de ocupación también facilita el control de calidad a través de las consiguientes comprobaciones.

Los niveles de iluminación también deberían ser un tema a discutir con el propietario y que es necesario documentar. Los controles de iluminación también deberían establecerse para cada espacio. Un ejemplo podría ser: "encendido manual, apagado según ocupación, retardo 3 min" o "control manual, interruptor multinivel para permitir un tercio y dos tercios del nivel máximo de iluminación, diseñado para el umbral inferior de las recomendaciones".

No debería presuponerse que estos detalles van más allá de la capacidad del propietario y, de nuevo, mejor cuanto más detallado, ya que estas decisiones tienen un impacto significativo en el consumo energético del edificio.

18.13 Ejemplo de requisitos de iluminación interior.

Espacio	Descripción	Nivel de iluminación (lux)	Controles				Notas
			Manual	Ocupación	Fotosensor	Temporizador	
101	Pasillo	100		●			Retardo 1 min
102	Oficina	300	●				Nivel 3
103	Cocina	300		●			Sensor ocupación, retardo 1 min

18.14 Ejemplo de requisitos de iluminación exterior.

Área	Acceso	Seguridad	Recreación	Decoración	Notas (1)
Aparcamiento	Ocaso–10 pm				Temporizador
Sendero	●				Control movimiento Retardo: 1 min
Pista de tenis			●		
Señal acceso				●	Encendido: fotosensor Apagado: 11 pm

(1) Todas las luces exteriores con fotosensor para evitar el encendido diurno.
Encendido: 5 lux
Apagado: 10 lux

Las necesidades de iluminación exterior también deberían especificarse en charlas sobre qué luces son necesarias por temas de seguridad, para el acceso, para uso recreativo nocturno y por motivos decorativos. Las necesidades de seguridad deberían explorarse con mayor detenimiento. ¿Pueden los sensores de movimiento proporcionar más seguridad y menor consumo de energía? Si no se utilizan sensores de movimiento, ¿es necesario que todas las luces de seguridad estén encendidas toda la noche, o pueden apagarse algunas a partir de cierta hora?

Los objetivos de temperatura y humedad del ambiente interior deberían también definirse para cada espacio del edificio, tanto para verano como para invierno, y tanto cuando los espacios estén ocupados como vacíos. Como parte de este proceso, el propietario debería identificar claramente qué espacios necesitan calefacción, cuáles refrigeración y cuáles no necesitan ni calefacción ni refrigeración. Además, debería identificarse la capacidad de control de temperatura y humedad en cada espacio del edificio. En otras palabras, ¿en qué espacios hay capacidad de control? El proyectista debería explicar claramente las ventajas y desventajas del control de temperatura para que el propietario pudiera tomar una decisión informada, pues su impacto en el ahorro energético y en el confort de los usuarios es importante, como también lo es la decisión de implantar un sistema de zonificación térmica. Para cada termostato o punto de control debería determinarse las horas del día y las temperaturas a las que deben ajustarse, tanto para las situaciones en las que los espacios estén ocupados como para cuando estén vacíos. Documentar estos detalles facilita la claridad en el diseño, el dimensionado de los equipos, la simulación energética y también sirve como base para las comprobaciones del control de calidad.

18.15 Ejemplo de requisitos de control de temperaturas.

Espacio	Descripción	Calefacción	Refrigeración	Espacio en uso				Espacio sin uso			
				Calor	Frío	M–F	S/S	Calor	Frío	M–F	S/S
101	Oficina	●	●	70	74	7–5	–	55	90	5–7	24-h
102	Vestíbulo	●	○	70	na	7–5	–	55	na	5–7	24-h

Leyenda: ● Control automático
◐ Control manual
○ Sin control

18.16 Priorización de objetivos.

Evitar la degradación medioambiental	■	■	■	■
Mejorar la salud humana	■	□	□	□
Mejorar el confort de las personas	■	□	□	□
Mejorar la economía	□	□	□	□
Objetivos políticos (p. ej., reducir la dependencia del petróleo)	□	□	□	□
Mejorar la calidad de vida	□	□	□	□
Objetivos sociales (p. ej., prácticas laborales justas)	■	■	□	□
El espíritu humano (p. ej., amor a la naturaleza, autoconfianza)	■	■	■	□

18.17 Ejemplo de objetivos de reflectancia.

Espacio	Descripción	Techo	Paredes	Mobiliario	Suelo
101	Oficina	90 %	80 %	60 %	60 %
102	Pasillo	90 %	90 %	–	80 %

Nota: las reflectancias altas reducen la necesidad de iluminación artificial, el consumo energético y el coste de los apliques de luz.

Ejemplos: 90 % 60 % 30 %

Blanco brillante:	90 %
Blanco mate:	70-80 %
Alfombra común:	5-9 %
Alfombra, alto mantenimiento:	9-13 %
Madera:	20-54 %
Azul pálido:	80 %
Amarillo:	47-65 %
Hormigón común:	20-30 %
Hormigón pulido reflectante:	70-90 %

18.18 Ejemplo de necesidades de ventana.

Espacio	Descripción	Vistas	Luz natural	Proporción ventana/muro*	Notas
101	Oficina	◐	√	15 %	
102	Pasillo	○	–	–	
103	Vestíbulo	●	√	30 %	

* Nota: una menor proporción de ventanas reduce significativamente el consumo energético, excepto donde la simulación energética muestra ganancias por energía solar pasiva o luz natural.

0-10 %	baja
10-20 %	moderada
20-30 %	alta
>30 %	muy alta

Leyenda:
- ○ No se requieren vistas
- ◐ Se requieren vistas modestas
- ● Se requieren vistas panorámicas
- – No aplica

El documento de requisitos del proyecto también permite que el propietario priorice entre las diversas características ecológicas en caso de que el presupuesto del proyecto no permita incorporarlas todas. Por ejemplo, podría elegir entre los objetivos medioambientales listados en el capítulo 1 y después jerarquizarlos; es más, puede querer jerarquizar mejoras individuales, como los créditos opcionales del sistema LEED u otras normas o estándares, de mayor a menor prioridad.

El propietario debería identificar los objetivos de reflectancia en las superficies de techos, paredes, suelos y mobiliario, preferiblemente seleccionando en una carta de color de reflectancia. Históricamente, el diseño se ha basado en unos valores de reflectancia de 80 % en techos, 50 % en paredes y 20 % en suelos. El potencial de reducción de la cantidad de dispositivos de luz, que disminuye el consumo energético y la superficie de ventana necesaria para la iluminación natural, es tan grande que la participación del propietario en estas decisiones puede reducir significativamente los costes de construcción y el consumo de energía.

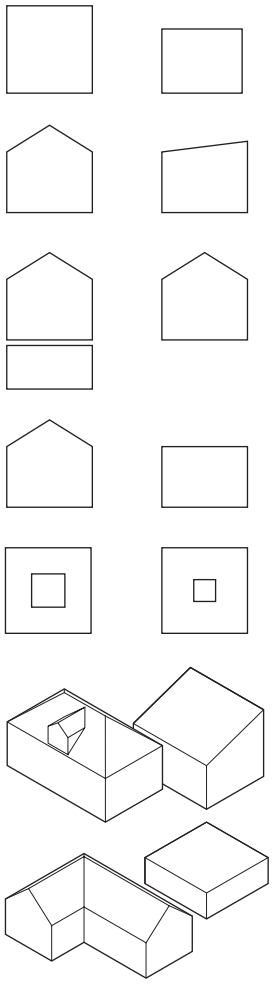
Debido a los costes energéticos y financieros de las ventanas, y sus problemas asociados de confort, los requisitos del proyecto deberían incluir una evaluación de las ventanas en cada espacio del edificio. El propietario debería responder a una serie de preguntas sobre las ventanas: ¿pueden suprimirse de los espacios de servicios como escaleras, descansillos, pasillos, salas de máquinas, lavaderos, cuartos de servicio y almacenes?, ¿puede reducirse su tamaño y su número en los espacios habitados? En otras palabras: ¿qué ventanas son necesarias para proporcionar vistas?, ¿cuál es el tamaño mínimo aceptable para que una ventana ofrezca vistas?, ¿qué ventanas deberían ser practicables, dando a los usuarios control sobre el confort térmico, y cuáles fijas? ¿Cuál debería ser la proporción de superficie de ventana respecto de los muros?, ¿qué ventanas pequeñas podrían combinarse en un menor número de ventanas más grandes?

El documento de requisitos del proyecto debería tratar sobre las implicaciones de la forma y el tamaño del edificio. ¿Puede bajarse la altura de los techos altos para reducir el consumo energético y los costes de construcción? ¿Pueden suprimirse desvanes, sótanos y cámaras sanitarias? ¿Es aceptable una cubierta plana para reducir las pérdidas energéticas asociadas a las cubiertas inclinadas? ¿Qué mejoras del coeficiente de superficies, como la altura del edificio, las simplificaciones de forma o la mayor profundidad de crujías, son aceptables?

También se pueden incorporar en el documento cuestiones medioambientales futuras. Por ejemplo, si no se va a montar una instalación de energía solar en el proyecto inicial, ¿se plantea la opción de la energía solar en el futuro?, ¿habría que proyectar la cubierta de modo que puedan instalarse en el futuro paneles solares?

18.19 Consideraciones sobre la forma del edificio.

El proyecto sensato de la forma del edificio es una manera de reducir el consumo de energía y materiales y los costes de construcción



– Los techos altos pueden rebajarse

– No es necesario el desván

– No es necesario el sótano

– La cubierta puede ser plana

– Puede aumentarse la profundidad de la crujía

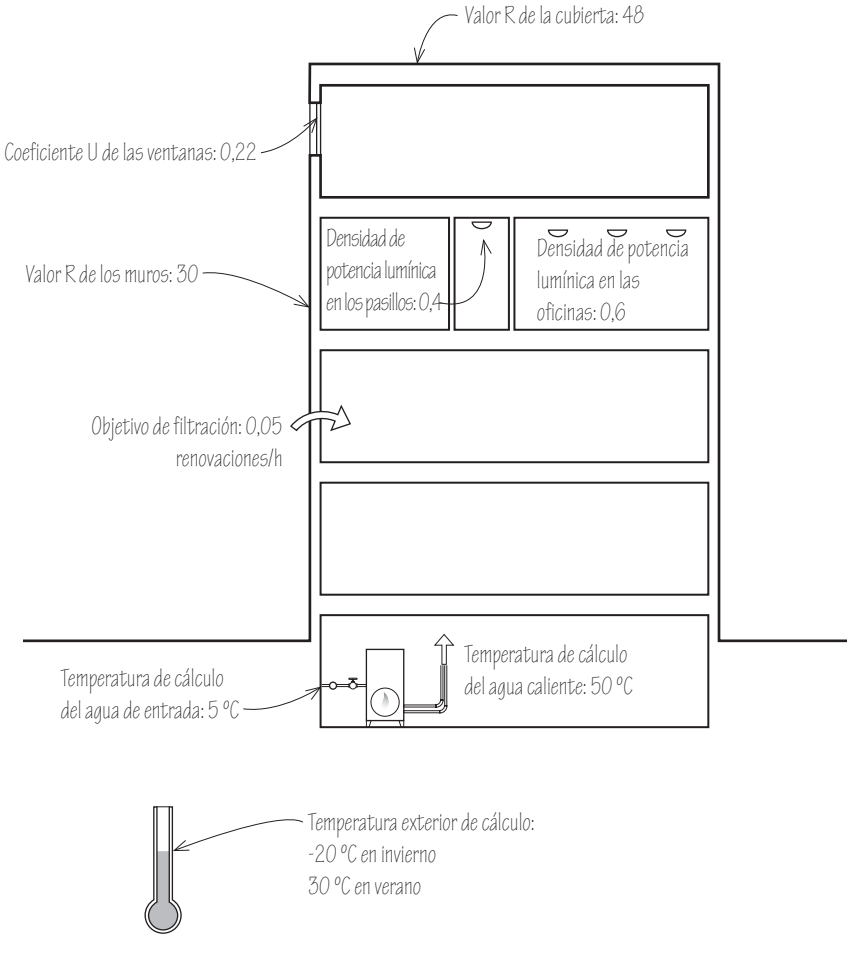
– La cubierta debería optimizarse para alojar paneles solares, de forma inmediata o en el futuro

– Pueden considerarse simplificaciones en la forma del edificio

Otras buenas prácticas que es necesario aplicar en el desarrollo de los requisitos del proyecto son:

- Organizar talleres en los que puedan participar agentes clave en la discusión de los requisitos del proyecto y donde se pueda revisar su importancia. Los talleres con dos sesiones funcionan bien si se distribuye un borrador del documento al final de la primera sesión y el documento final al terminar la segunda sesión.
- Evitar las generalidades en la definición de los requisitos. Por ejemplo, "operar con un alto grado de eficiencia para minimizar el consumo de servicios públicos" no proporciona al equipo de proyecto objetivos consistentes. Por el contrario, frases concretas como "proyecto para alcanzar una puntuación 95 en el sistema ENERGY STAR" o para alcanzar un índice de utilización energética determinada, proporcionan objetivos claros.
- Centrarse en las necesidades del propietario y no en temas que deben resolver los proyectistas. Cada capítulo del documento debería ser entendido sin problemas por el propietario, lo cual fomenta su implicación en el desarrollo de las necesidades y reduce el riesgo de que el proyectista o el encargado de la dirección de obra simplemente lo rellenen.
- Permitir las iteraciones para que el propietario pueda evaluar las implicaciones y tome decisiones informadas. Por ejemplo, el documento de requisitos podría cambiar después de que la simulación energética proporcione las previsiones de rendimiento para alternativas clave de proyecto. Todos estos cambios deberían documentarse y datarse.
- Jerarquizar las alternativas desde las soluciones más ecológicas hasta las menos, con las implicaciones de cada una de ellas claramente indicadas (costes de construcción, consumo energético y cuestiones de seguridad y salud), de modo que el propietario pueda escoger de manera informada entre ellas. Por ejemplo, se podrían presentar las alternativas de control de la iluminación exterior, en primer lugar solo con sensores de movimiento (y fotosensores para evitar el encendido diurno), después con encendido con fotosensores y apagado mediante temporizadores (especificando en qué momento de la noche se apagarán las luces) y finalmente un sistema con encendido y apagado regulado con fotosensores (funcionamiento durante toda la noche). En lo que se refiere al tipo de iluminación, otro ejemplo podría ser diferenciar entre las opciones de mayor eficiencia (tubos fluorescentes) y las de menor eficiencia (focos empotrados de luz directa).

Cuanto más detallado esté el documento de requisitos del proyecto, mejor. El documento es una oportunidad única para que el propietario aprenda, entienda y escoja entre una serie de importantes decisiones de proyecto. Comunicar estas alternativas al propietario es una herramienta de incalculable valor para el proyectista. Este documento constituye la base fundamental para un proyecto y una construcción lo más ecológicos posibles, así como el soporte del control de calidad durante todo el proceso de proyecto y construcción.



18.20 Ejemplos de componentes de las bases de proyecto.

Bases de proyecto

Otro documento fundamental para seguir todo el proceso son las bases de proyecto, donde se incorporan todos los enfoques y los presupuestos asumidos por el equipo de proyecto. Las bases de proyecto suelen describir los sistemas que deben supervisarse y completa todas las asunciones de proyecto que pueden no estar incluidas en el documento de requisitos ni en la documentación técnica del proyecto. Ejemplos de ello serían el diseño del sistema de climatización, las condiciones climáticas de diseño o los factores de seguridad, los criterios de diseño acústico para cada espacio, los niveles definidos de iluminación en cada espacio, las ganancias por ocupación (latentes y sensibles por persona) en cada espacio, asumir los objetivos de las filtraciones, de temperatura de entrada del agua fría para el dimensionado del sistema de producción de agua caliente o de temperaturas del agua almacenada y del agua suministrada; la contabilidad de aparatos sanitarios, los valores de resistencia térmica de distintos elementos constructivos de muros y cubiertas, los factores U de las ventanas y las ganancias internas, como las debidas al uso de los distintos aparatos eléctricos.

El propósito general de las bases de proyecto es confirmar que los requisitos del proyecto se han trasladado de manera efectiva al proyecto técnico. Este documento también permite realizar otro paso en el control de calidad, ya que la dirección de obra puede contrastar los requisitos del proyecto con las decisiones tomadas por el equipo de proyecto para cumplirlos y, finalmente, contrastarlos con los resultados finales.

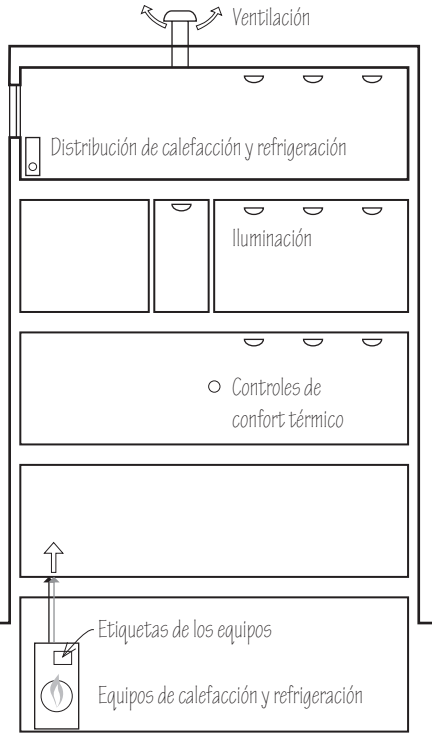
Algunas buenas prácticas para la elaboración de las bases de proyecto:

- Como en el documento de requisitos, deben evitarse las generalidades. Por ejemplo, en lugar de asumir una densidad de potencia lumínica global, debería precisarse una densidad determinada para cada espacio, de modo que sirva para confirmar su utilización en el dimensionado del sistema de refrigeración.
- Incluir informes de todas las entradas y salidas de información para el dimensionado de todos los sistemas críticos, incluyendo climatización, ventilación, iluminación artificial y natural, y sistemas específicos, como la energía solar fotovoltaica.
- Incluir las normas y estándares de referencia a los que responde el proyecto. Más allá de especificar estas normas y estándares, debería explicarse la vía elegida para cumplir dichos requisitos, pues la mayor parte de las normas y los estándares más relevantes abren varias vías para el cumplimiento de sus regulaciones.
- Incluir informes sobre las entradas y los resultados de la simulación energética.
- Evitar repetir cuestiones ya definidas en el documento de requisitos o en el proyecto técnico.

18.21 Responsabilidades de la dirección de obra.

	P	A	I	C	CM	CE	CF	D
Requisitos de proyecto	◉	☐	☐					
Base de proyecto		◉	☐					
Revisión del proyecto								◉
Inspección de la cimentación		☐						◉
Inspección de muros en construcción		☐						◉
Inspección final de la envolvente		☐						◉
Comprobación y balance					◉	☐	☐	☐
Comprobación funcional					☐	☐	☐	◉
Libro del edificio		☐	☐	◉	☐	☐	☐	☐
Comprobaciones de seguimiento								◉
Formación del usuario					☐	☐	☐	◉

Leyenda: ◉ Responsabilidad principal
☐ Labor de apoyo
P Propietario
A Arquitecto
I Ingeniero
C Constructor
CM Contratista instalaciones mecánicas
CE Contratista electricidad
CF Contratista fontanería
D Dirección de obra



18.22 Comprobaciones.

Otras cuestiones de la dirección de obra

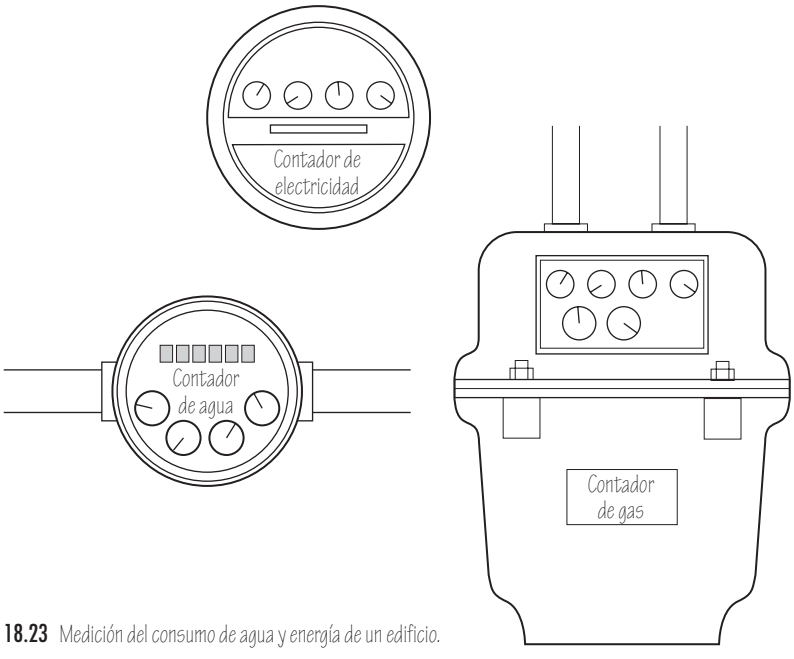
Las funciones y las responsabilidades de la dirección de obra también deben estar definidas en los documentos de proyecto. Los contratistas necesitan saber qué les va a exigir la dirección de obra. Estos requisitos deberían definir las responsabilidades de cada contratista y subcontratista, así como las del equipo de proyecto y de la propia dirección de obra.

Puesto que en estos momentos las tareas de dirección de obra se están redefiniendo, ya que están surgiendo figuras como el *project management*, debemos fomentar que todos los agentes participantes en el proyecto vayan acomodándose a esta nueva situación con sus nuevos procedimientos, terminología, papeles y expectativas en el ámbito de los proyectos de arquitectura sostenible.

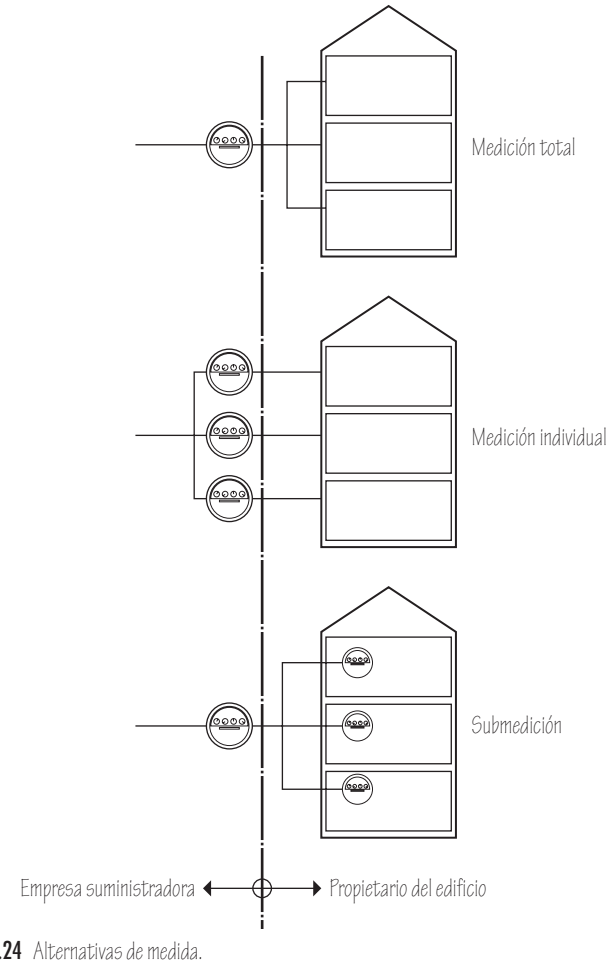
Comprobaciones por parte de la dirección de obra

Durante la obra y después de su finalización, la dirección de obra coordina y supervisa una serie de comprobaciones para asegurar que se ha instalado el sistema energético del edificio y funciona correctamente. Estas comprobaciones incluyen pruebas de rendimiento del sistema, como comprobar que un espacio que esté calefactado aumenta su temperatura, que cuando se activa un ventilador este realmente funciona, que los flujos de agua y aire operan tal como fueron proyectados, que la eficiencia de la combustión es la que sostiene el fabricante, y que las temperaturas del aire y el agua están dentro de los rangos previstos. A menudo, la dirección de obra va más allá de estas comprobaciones de rendimiento y se asegura de que la documentación esté completa e incluya el etiquetado de los equipos y las tuberías. Los resultados de estas comprobaciones se detallan en los correspondientes informes de seguimiento, que también dan recomendaciones frente a las deficiencias encontradas.

Los tipos de problemas que identifica la dirección de obra puede ilustrarse a través del siguiente ejemplo. Los dispositivos de control de temperatura (como las compuertas zonales) y los sensores de temperatura de dos espacios contiguos están misteriosamente cruzados. Cuando los usuarios manipulan su termostato para elevar la temperatura de un espacio, lo que hacen es calentar el espacio contiguo sin querer. Al sentir el calor, los usuarios del espacio contiguo bajan la temperatura de su termostato, lo que baja la temperatura de la primera estancia, cuyos usuarios vuelven a subir el termostato. Se malgasta energía, al tiempo que los usuarios de ambos espacios sienten malestar. El control sistemático de cada dispositivo de control por parte de la dirección de obra puede evitar este tipo de problemas. Sin embargo, si no se realiza esta tarea, estos problemas pueden persistir durante años sin llegar a solucionarse.



18.23 Medición del consumo de agua y energía de un edificio.



18.24 Alternativas de medida.

Formación y documentación

La dirección de obra es la encargada de formar al propietario para que utilice de forma correcta y eficiente los sistemas energéticos del edificio. También es la responsable de trasladarle toda la documentación, incluyendo los manuales y las garantías de los equipos, los planos de las instalaciones y las secuencias de control, y de asegurarse de que entiende el funcionamiento de todos los sistemas del edificio.

Seguimiento y monitorización

La dirección de obra puede incluir un seguimiento durante unos meses después de la entrada en servicio del edificio para asegurarse de que todos los sistemas siguen funcionando según lo previsto. También pueden incluirse tareas de monitorización de las condiciones de temperatura y humedad, termografías de infrarrojo para asegurarse de la continuidad de la envolvente térmica, test de *blower door* para evaluar la estanquidad y encuestas a los usuarios sobre el confort térmico.

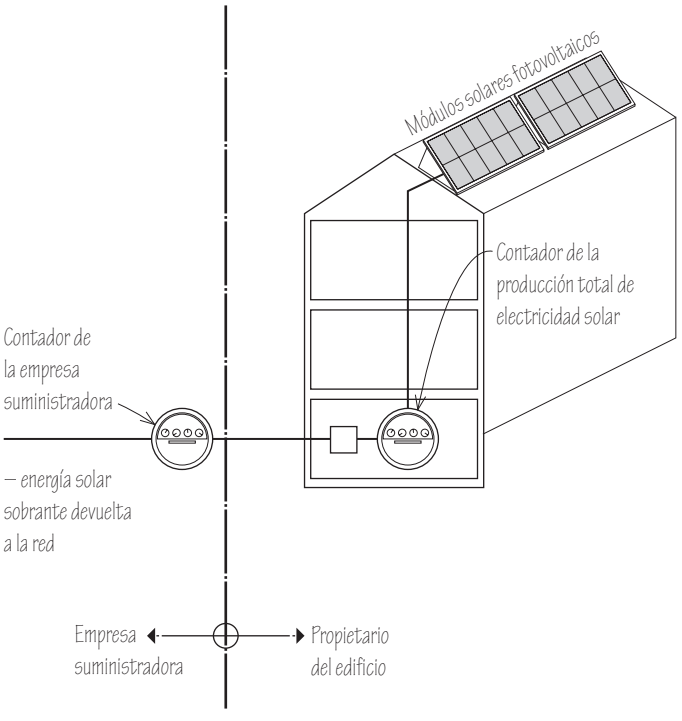
Mediciones y métrica

Mediciones

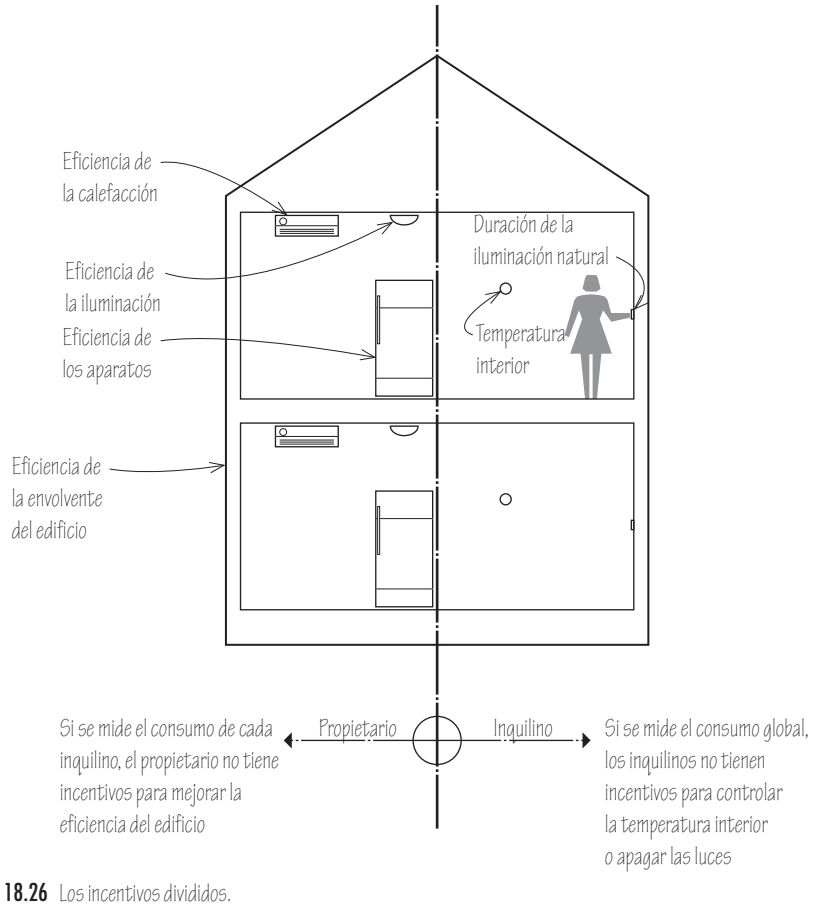
La medición del consumo energético de un edificio puede utilizarse para obtener información que garantice el funcionamiento eficiente de un edificio ecológico. Las opciones de medición también pueden tener un efecto en el consumo de energía del edificio a lo largo de su vida útil. En cualquier discusión sobre mediciones, es importante recordar lo que no se mide, como la energía incorporada, y el impacto que las decisiones de proyecto tienen sobre esas cantidades no medidas.

Las mediciones pueden utilizarse como una forma de hacer un seguimiento del funcionamiento del edificio para ofrecer retroalimentación al propietario, al gestor o a los proyectistas. Programas como el Portfolio Manager de la EPA permiten hacer un seguimiento del funcionamiento de un edificio y compararlo con otros a través de un proceso conocido como *benchmarking*.

Existen muchas opciones disponibles para realizar estas mediciones. La forma más común es la que realiza la empresa suministradora, que coloca un contador general para contabilizar el consumo total del edificio; de este modo pueden obtenerse datos sobre el consumo de electricidad y gas natural, o agua cuando esta proviene de la red municipal y no de un pozo particular. Estos sistemas de medición global se denominan contadores generales, y suelen instalarlos las propias empresas de suministro. En otros casos, instalan contadores individuales para cada uno de los usuarios del edificio. Por último, se da el caso de que la empresa instale un contador general y el propietario del edificio los contadores individuales para cada uno de los inquilinos, sistema que se denomina submedición.



18.25 Medición de los sistemas fotovoltaicos.



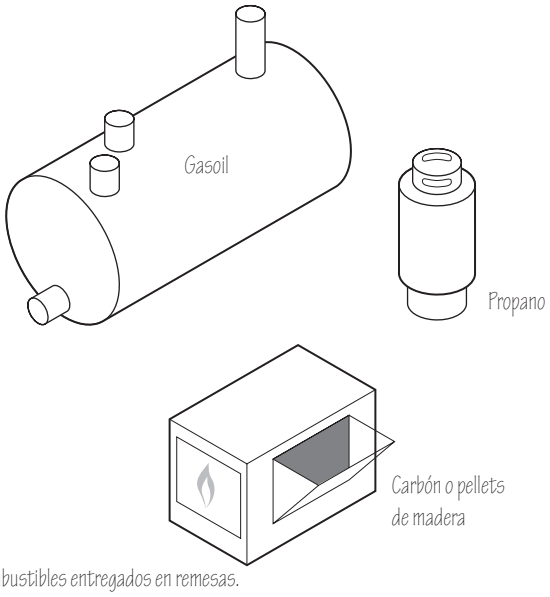
18.26 Los incentivos divididos.

En el caso de edificios ecológicos, los mayores niveles de medición ofrecen una información útil para estimar el rendimiento del edificio y alertar tempranamente de cualquier posible problema. Por ejemplo, pueden utilizarse los contadores de agua para detectar consumos en sistemas que no deberían consumir la, como los sistemas cerrados de calderas, donde en realidad la medición indicaría las fugas en el sistema. La medición de la electricidad en los sistemas de energías renovables, como los sistemas solares fotovoltaicos o los eólicos, permite saber si estos sistemas están funcionando correctamente y evita la persistencia de cualquier problema que, de otro modo, no podría detectarse, pues el edificio sigue recibiendo electricidad de la red.

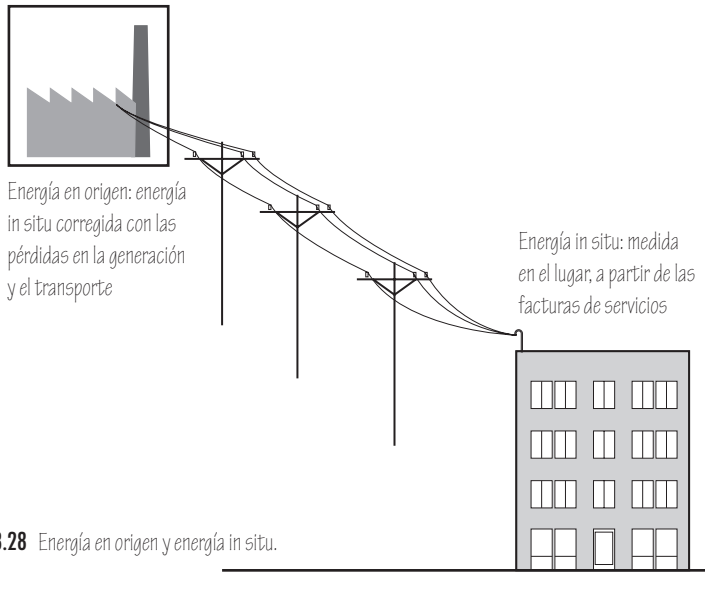
La introducción de contadores individuales para los inquilinos por parte del propietario es otra opción de medición pormenorizada que no solo puede aplicarse a la electricidad, sino también a otros tipos de energía, como el gas natural, el agua o el vapor.

El tipo de medición también puede condicionar el comportamiento de los usuarios en lo que se refiere al ahorro energético. La visión clásica es que si, por ejemplo, los inquilinos pagan las facturas de los servicios, tenderán a gastar menos energía. Desgraciadamente, un simple cambio de la medición desde los propietarios hacia los inquilinos puede conllevar que el propietario pierda interés en mantener y mejorar la infraestructura del edificio, lo que se denomina incentivos divididos.

Por ejemplo, en un bloque de viviendas, los inquilinos controlan cuánto tiempo tienen las luces encendidas, pero el propietario decide qué tipo de lámparas se instalan en el edificio. Si el edificio cuenta con un contador general, el propietario tiene el incentivo de mantener y mejorar los dispositivos de iluminación con soluciones más eficientes, pero los inquilinos no tienen ningún incentivo para apagar las luces cuando no son necesarias. Si el edificio dispone de contadores individuales, el propietario no tiene ningún incentivo para colocar aparatos de iluminación más eficientes, pero lo más probable es que los inquilinos apaguen las luces que no sean necesarias. Los contadores individuales también conllevan un incremento de los costes no energéticos de la factura, pues cada cliente debe pagar unos gastos fijos. En cualquier caso, no hay respuesta sencilla al dilema de los incentivos divididos. Entre tanto, no deberíamos asumir que los contadores individuales son necesariamente más ecológicos que los generales.



18.27 Combustibles entregados en remesas.



18.28 Energía en origen y energía in situ.

18.29 Factores medios de corrección para calcular la energía en origen a partir de la energía in situ (en Estados Unidos).

Fuente de energía	Relación energía en origen/in situ
Electricidad	3,34
Gas natural	1,047
Propano	1,01
Gasoil #2	1

Una forma distinta de medición es la que se realiza mediante cargas de combustibles, como en el caso del gasoil, el propano, el queroseno o los biocombustibles como la leña, los pellets o las virutas de madera. Esta medición presenta importantes diferencias respecto a la medición de la electricidad, el agua o el gas natural. La más destacada es que estos combustibles se miden antes de que sean consumidos, mientras que la electricidad, el agua o el gas natural se miden cuando se están consumiendo. Las entregas de combustible pueden ser menos frecuentes, lo que dificulta utilizarlas para hacer un seguimiento del consumo energético. También las entregas por parte de múltiples distribuidores puede generar confusión y hacer que el seguimiento sea más complicado. Si un depósito no está completamente lleno, por ejemplo, no puede saberse el consumo real que se hará en el período subsiguiente hasta la siguiente entrega. Además, también resulta más difícil saber el consumo de calefacción en invierno o el de agua caliente en verano. En resumen, el seguimiento del consumo de las entregas de combustible presenta desafíos adicionales cuando se pretende utilizar para hacer un seguimiento y generar una información sobre el funcionamiento energético del edificio.

Mediciones

Pueden aplicarse diversas mediciones a los edificios ecológicos.

La energía in situ, denominada a veces energía secundaria o suministrada, es aquella que se utiliza en un edificio, y normalmente se mide con contadores o mediante las entregas de combustibles, como el gasoil o el propano. En otras palabras, el consumo de energía in situ es el que reflejan las facturas energéticas del edificio.

La energía en origen, a veces llamada primaria, es aquella que se utiliza en un edificio, con un factor de corrección para reflejar la energía empleada en generar o extraer el combustible y transportarlo hasta el edificio. Para calcular la energía en origen utilizamos un factor de corrección mayor para la electricidad de la red y menor para otros combustibles. La energía en origen es el reflejo más aproximado del impacto medioambiental global del consumo de energía. Los factores de corrección varían dependiendo de la ubicación geográfica y del tiempo, en la medida en que representan la combinación local y actual de combustibles empleados para generar electricidad y para extraer y transportar otros combustibles.

Las diferentes normas, estándares y guías utilizan la energía in situ, la energía en origen, o ambas a la vez.

18.30 Un resumen de los factores de conversión utilizados para los combustibles más comunes.

	Unidades	Factor para obtener kBTU in situ	Factor para obtener libras de emisiones de CO_2
Electricidad	kWh	3,4	3,2
Gas natural	therms*	100	12,2
Propano	galones	92,5	13
Gasoil #2	galones	135	21,7

* 1 therm = 29,3 kW/h

Por ejemplo, un edificio de 150 m^2 de alto rendimiento utiliza 540 therms de gas natural al año y 5.390 kWh al año en electricidad. Su índice de utilización de energía (EUI) se calcula así:

500 therms/año × 100 kBTU/therm = 54.000 kBTU/año
5.390 kWh/año × 3,4 kBTU/kWH = 18.326 kBTU/año
(54.000 + 18.326)/150 = 360 kBTU/m^2/año

Esto se compara de forma muy favorable con la media de 2010 en Estados Unidos, que era de 1.166,7 kBTU/m^2/año para edificios comerciales. Este edificio de alto rendimiento está utilizando casi un 60 % menos de energía que la media nacional.

En su base de datos *on-line*, Portfolio Manager, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, utiliza factores de corrección para cada energía en origen, con valores medios en el ámbito nacional para cada combustible y la electricidad, para calcular la energía en origen a partir de la energía in situ. Todas las unidades de consumo de los combustibles fósiles —los therms de gas natural, los galones de gasoil o propano, o los kWh de la electricidad— se convierten en kBTU y después se suman y dividen por la superficie del edificio para obtener kBTU/pie cuadrado/año.

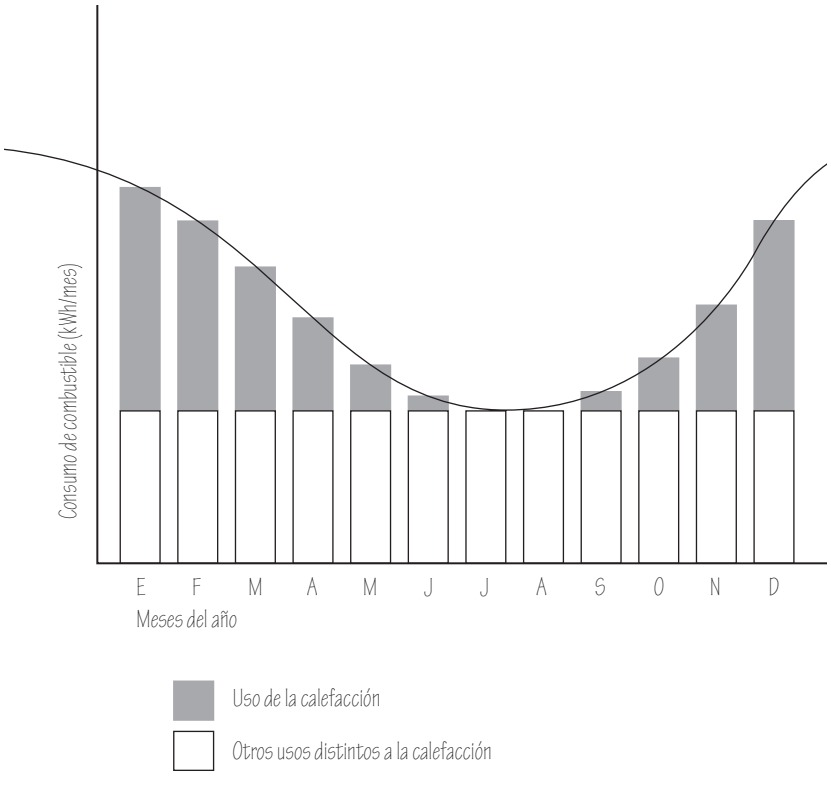
En sus bases de datos para edificios, el Departamento de Energía de Estados Unidos utiliza un índice de utilización de energía (EUI) que también se expresa en kBTU/pie cuadrado/año, cuyas estadísticas ofrecen los valores tanto en energía in situ como en energía en origen.

El índice de utilización de energía también recibe la denominación de intensidad de uso de energía o, a veces, intensidad de consumo de energía.

El requisito del estándar Passivhaus es de un máximo de 120 kW/m^2/año medido en energía en origen. Por otra parte, el requisito de demanda de cálculo de climatización es de un máximo de 15 kWh/m^2/año, medido en energía in situ.

Todas estas medidas entran en juego en cualquier discusión sobre los edificios de energía neta cero. Específicamente, necesitamos clarificar a qué nos referimos cuando hablamos de energía neta cero, si a energía in situ o en origen. La medición es también la base para discutir la eficiencia energética relativa de los edificios.

Las emisiones de carbono ofrecen otra medición frente a la que se pueden comparar los distintos edificios, tanto en términos de funcionamiento (emisiones anuales) como en términos de emisiones puntuales, como resultado de la energía incorporada en los materiales de construcción. Las unidades de las emisiones de carbono son normalmente toneladas por año. Otras unidades utilizadas son libras/año o kilogramos/año. Las medidas se refieren casi siempre a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), pero a veces se utilizan como equivalentes a emisiones de carbono puro (C).



18.31 Calcular el consumo de calefacción.

Los costes energéticos (€/m^2/año) son una cuantificación útil y que puede entender cualquiera, ya que se expresan en una unidad más familiar para la gente que kBTU, kWh o emisiones de carbono.

El agua también tiene su propia métrica, como litros/m^2/año o litros/persona/año.

Las medidas de la producción eléctrica de las energías renovables, como la eólica o la solar fotovoltaica, suelen proporcionarse en kWh/año. Esta producción se resta del consumo eléctrico total del edificio para evaluar el consumo energético neto, su índice de utilización de energía o sus emisiones carbono.

La utilización de energía o las emisiones de carbono de un edificio también pueden ampliarse para incorporar el transporte utilizado para trasladarse desde y hasta el edificio.

Como medida de la eficiencia energética de la envolvente de un edificio, el consumo de energía dedicado a calefacción puede extraerse de las facturas y calcularse analizando el consumo estacional. A menudo se realiza una corrección del consumo en calefacción teniendo en cuenta las condiciones climáticas específicas para corregir tanto los inviernos fríos como los moderados.

De forma similar, pueden extraerse otras métricas del análisis de las facturas de servicios, como el consumo del aire acondicionado o el consumo base (sin climatización) para distintos combustibles.

Valores y compromisos

Proyectar edificios ecológicos requiere tomar muchas decisiones que están inextricablemente entretejidas con otros cientos de ellas que se necesitan para proyectar y construir cualquier edificio.

La mayoría de las decisiones de arquitectura ecológica implican priorizar las mejoras que hacen que un edificio sea más ecológico: utilizar menos energía, reducir otros impactos medioambientales o mejorar el entorno construido en miles de formas beneficiosas para la salud humana. Los muros con un aislamiento más grueso son una mejora; menos ventanas y más pequeñas son otra; los carriles bici son otra más, así como los sistemas de energía solar, la madera extraída de forma sostenible, las pinturas con bajas emisiones o las paredes reflectantes. El número de mejoras potenciales es enorme. ¿Cómo podemos priorizar tantas mejoras?

Las mejoras energéticas pueden ser fáciles de priorizar porque podemos proyectar los ahorros energéticos y económicos. Por ello, contamos con diversas formas de medir el rendimiento, y estas sirven para comparar las distintas mejoras entre sí.

Una medición antigua pero aún muy usada para cuantificar las mejoras energéticas es el período de amortización, que consiste en dividir los sobrecostes estimados entre los ahorros anuales estimados para una determinada mejora. Por ejemplo, si un aislamiento adicional a un muro cuesta 2.000 € y con él se espera ahorrar 200 € anuales, entonces tendremos un período de amortización de 2.000/200 = 10 años. Cuanto más corto sea el período de amortización, mejor. Sin embargo, el plazo de amortización no puede reflejar la vida útil de la mejora. Un aislamiento de muro puede tener una expectativa de vida de 50 años, pero una mejora similar, como una lámpara eficiente, con el mismo período de amortización arbitrario de diez años, puede tener una vida útil de tan solo cinco años. La sencilla medición del período de amortización no es capaz de decirnos si el aislamiento adicional tiene más sentido porque dura más. Por ello, el período de amortización se considera cada vez más como una medición excesivamente simplista.

Otro grupo de mediciones cae bajo el término genérico de "costes durante el ciclo de vida", que puede tener en cuenta factores tales como la vida útil de la mejora y cualquier factor de inflación en el coste del combustible. Los futuros ahorros energéticos se suman y se transforman en un valor equivalente en el presente utilizando principios económicos generalmente aceptados, y se comparan con la inversión realizada. Este enfoque resulta en cualquiera de las numerosas mediciones, como el coste neto del ciclo de vida, la relación entre ahorro e inversión, o el retorno de la inversión.

Cada vez más se utilizan las emisiones de carbono como medición, y esta también puede dar cuenta del efecto de la energía incorporada en las distintas alternativas de proyecto.

En este libro hemos planteado diversos enfoques que reducen los costes de construcción, como disminuir la superficie en planta o utilizar formas más simples, técnicas mejoradas de construcción de entramados, acabados interiores de superficies reflectantes que permiten tener menos aparatos de iluminación y menos ventanas para la entrada de luz natural, menos ventanas y más pequeñas o apliques lineales de luz. Estas mejoras tienen sentido financiero inmediato, su período de amortización es cero, y el retorno de la inversión es infinito. Por ello, estas mejoras pueden merecer una evaluación temprana y una mayor prioridad.

Como ya se ha mencionado, si priorizamos las mejoras energéticas, por lo general, las mejoras en la eficiencia del edificio deberían evaluarse antes que las energías renovables, debido al elevado coste de las tecnologías renovables, la energía incorporada y el consumo de materiales que conllevan los propios equipos de energías renovables. Aun así, no hay problema en evaluar las energías renovables junto a la mejoras de eficiencia del edificio, siempre y cuando no dejemos de lado las mejoras en eficiencia.

Cuando vamos más allá de las mejoras energéticas y empezamos a evaluar las mejoras no energéticas se plantean toda una serie de cuestiones. ¿Qué es más importante, invertir 100 € en eficiencia energética, o invertir ese dinero en pintura de bajas emisiones? Podría defenderse que mientras exista la amenaza del calentamiento global, deberíamos priorizar la reducción de las emisiones de carbono, aunque otros opinarían que lo primordial es la salud humana. Implícitamente, el sistema LEED aboga por un equilibrio en las mejoras de los edificios ecológicos. Otras normas, estándares y guías priorizan las reducciones del consumo de energía y las emisiones de carbono.

Quizás valga la pena restar importancia a algunos factores a la hora de elegir las mejoras de la arquitectura ecológica:

- La visibilidad. A veces parece que las mejoras de arquitectura ecológica se incorporan por su visibilidad, pero creemos que esta no debería ser prioritaria.
- El prestigio. Al igual que la visibilidad, parece darse importancia a algunas mejoras de la arquitectura ecológica, visibles o no, por la categoría que le dan al edificio.
- Mejoras impulsadas por las ventas. Muchos vendedores de equipos o materiales de construcción se acercan a los propietarios con ofertas comerciales. Aunque los vendedores deberían participar en la discusión general y su voz debería escucharse, sus puntos de vista no tendrían que dominar a la hora de escoger determinadas mejoras.

18.32 Priorizar mejoras.

	Consumo energético	Uso de materiales/ energía incorporada	Costes de construcción	Calidad medioambiental
Edificios más pequeños	○	○	○	○
Formas más simples	○	○	○	○
Menor proporción de ventanas en los muros	○	◐	○	○
Superficies reflectantes	○	○	◐	○
Más aislamiento	○	●	●	○
Climatización de alta eficiencia	○	●	●	○
Energía solar	○	●	●	○
Recolección de aguas pluviales	○	●	●	○

○ Soporte completo
◐ Soporte parcial
● Sin soporte

Debería señalarse que los incentivos gubernamentales, como los créditos o las deducciones fiscales para la eficiencia energética o las energías renovables, forman parte intrínseca del proceso de priorización. Un gobierno puede apoyar tecnologías emergentes y emplear incentivos que reflejen y promuevan los beneficios sociales de los edificios ecológicos. Es interesante señalar que, de forma similar a los estándares ecológicos, los incentivos del gobierno suelen favorecer mejoras que se añaden a un edificio (por ejemplo, añadir aislamiento o energía solar), en lugar de dar apoyo a la economía y la sencillez, mejoras que reducen las cargas más que añadir eficiencia. En todo caso, los incentivos gubernamentales pueden desempeñar un papel crucial en la reducción de la contaminación procedente de los edificios.

Al priorizar las mejoras de la arquitectura ecológica, insistimos en volver a la definición de lo que es un edificio ecológico, aquel que tiene un impacto significativamente menor sobre el entorno natural y que proporciona un ambiente interior favorable a la salud humana. La exploración de los valores que surgen cuando priorizamos ciertas mejoras de la arquitectura ecológica nos llevan a nuevas preguntas: ¿son deseables los edificios ecológicos para todos?, ¿deberían ser opcionales los estándares de arquitectura ecológica?, ¿deberían situarse los estándares de arquitectura ecológica por encima de las normativas, o deberíamos definir nuestra propia normativa energética para reflejar un consenso compartido sobre aquello que es ecológico e importante en los edificios? Si la salud humana es uno de los aspectos de los edificios ecológicos, ¿por qué no son obligatorios estos estándares o, en otras palabras, por qué no están incorporados en las normativas de construcción? Muchas de estas preguntas serán muy importantes en la discusión sobre los edificios ecológicos de los próximos años.

Una cosa es cierta: debemos ir más allá de los edificios ecológicos como manifestaciones, trofeos o símbolos de nuestro interés por el medio ambiente. La urgencia en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es demasiado importante como para que los edificios ecológicos sigan limitándose a una pequeña fracción de nuestro parque construido. Debemos aunar nuestra experiencia colectiva y utilizarla para que el proyecto ecológico forme parte de cualquier proyecto. La calidad en el proyecto y la construcción es un medio importante para alcanzar este fin.

19
Conclusiones

Los edificios ecológicos y la belleza

La belleza tiene una importancia crucial en el proyecto arquitectónico, algo que también sirve para la arquitectura ecológica y, de alguna manera, puede ser incluso más importante. Como proyectistas de arquitectura ecológica, debemos alcanzar un alto estándar para demostrar que no sacrificaremos la belleza en nuestra lucha por edificios más ecológicos.

19.01 Belleza: la cualidad o la combinación de cualidades que procura placer al sentido estético, otorga satisfacción profunda a la mente o eleva el espíritu.

19.02 La belleza de los edificios debería ir más allá de la piel. Giuseppe Terragni, Casa del Fascio, Como, Italia, 1931-1933.

¿Por qué deben ser bellos los edificios? La belleza aporta calma, orgullo y sentido de orden. La belleza puede facilitar nuestra conexión con la naturaleza y trata de las grandes posibilidades de encontrar armonía entre nosotros y el mundo. Dejamos cualquier otra defensa de la belleza a los poetas. Asumiremos que la belleza es importante.

A menudo la belleza está en el ojo del observador. Para reflejar visiones antiguas y nuevas de la belleza, podríamos añadir un nuevo criterio: la belleza del rendimiento de un edificio. Quizás un edificio que utilice poca energía sea bello; un edificio sin carámbanos que cuelgan del tejado en invierno es bello; un edificio silencioso es bello. Todas estas son características de los edificios ecológicos de alto rendimiento. La belleza de los edificios debería ir más allá de la piel.

El proyecto ecológico conlleva nuevos componentes, como los paneles solares, que necesitan estar integrados estéticamente en los edificios. Para muchos de nosotros, estos componentes son algo bello, pero quizás no todo el mundo opine lo mismo. Como proyectistas necesitamos asegurarnos de que estos componentes se integran de una forma equilibrada estéticamente.

El proyecto ecológico probablemente cambie el aspecto de los edificios. Hemos sugerido una variedad de simplificaciones en la forma de los edificios que reducen el consumo de energía y materiales, simplificaciones que algunos pueden sentir como una restricción. Sin embargo, también pueden dirigir nuestra creatividad hacia una nueva estética ecológica, nuevas formas y nuevas geometrías. Buscamos añadir forma a la función, más que función a la forma. Más que ver esto como una restricción, sugerimos que puede ser una buena oportunidad para la creatividad, a medida que nos comprometemos con el proyecto de edificios basados en el alto rendimiento y que utilizan numerosos mecanismos para crear belleza: colores, motivos, texturas, equilibrio, proporción y forma.

19.03 Añadir forma a la función, más que función a la forma.

Los edificios ecológicos y la naturaleza

Al considerar el proyecto de edificios, resulta instructivo volver a nuestra discusión inicial sobre las fuerzas de la naturaleza, para las que los edificios proporcionan protección: el sol, el aire (viento, filtraciones, corrientes), el agua (lluvia, aguas superficiales y subterráneas, y humedades), vida animal (insectos, roedores, aves, etc.), temperaturas extremas y contaminantes (suciedad, polvo, barro, contaminantes aéreos). Resulta de una importancia vital reconocer estas fuerzas y respetarlas. La parcela y el proyecto del edificio pueden trabajar no solo para mejorar las capas de protección, mejorando así la protección frente a estos elementos, sino también para ofrecer diversas vías para que los usuarios de los edificios puedan elegir entrar en contacto con el mundo natural.

Más que promover un contacto artificial con la naturaleza a través de grandes ventanas por las que la gente solo mira al exterior, el proyectista puede buscar formas más profundas de fomentar el contacto con el lugar mediante diversas herramientas del paisajismo: vegetación, agua, vistas, caminos, cercas, mobiliario, estructuras como kioscos y pérgolas, e incluso elementos tan singulares como laberintos y casas sobre un árbol. Quizás el lugar pueda enfatizar el sol a través de un reloj de sol, o el agua a través de un estanque. Incluso los edificios urbanos ofrecen posibilidades infinitas para pequeñas conexiones con la naturaleza cargadas de significado.

19.04 *Conectar con el mundo natural.*

Algunos aspectos del proyecto arquitectónico han intentado responder a las necesidades de las personas de conectar el interior con la naturaleza. Los espacios abovedados pueden darnos la sensación de que nos encontramos en el exterior, bajo el cielo, sin las constricciones de un techo. De forma similar, una sala grande tiene una espaciosidad que simula un espacio exterior. Las ventanas y las puertas acristaladas nos traen las vistas y la luz natural del exterior. Sin embargo, cuando se llevan al extremo, estas características, pueden dar como resultado conexiones artificiales con la naturaleza, que en última instancia dañan el mundo natural con el que intentamos conectarnos, contaminándolo y agotando sus recursos a través de la sobreexplotación de la energía y los materiales.

La naturaleza presenta su grandeza como una paradoja para las personas; necesitan protección frente a las fuerzas de la naturaleza, pero con la misma intensidad necesitan conectarse con ella, incluso los urbanitas más recalcitrantes. Los edificios pueden dar respuesta a ambas necesidades —proteger y conectar—, aunque históricamente nuestros edificios llenos de agujeros, húmedos, sobredimensionados, sobreiluminados, hiperacristalados y devoradores de energía, no han proporcionado ni una protección adecuada frente a la naturaleza, ni una conexión adecuada con ella. Estamos empezando a hacerlo mejor. Los edificios más ecológicos ofrecen la posibilidad de una mayor protección frente a las temperaturas extremas y otras fuerzas de la naturaleza, con una menor contaminación, un mayor confort y una mayor conexión con la belleza de la naturaleza.

19.04 Elegir el contacto con el mundo natural.

Epílogo

El fantasma de los impactos del cambio climático y otras amenazas medioambientales clama por una nueva arquitectura, una arquitectura ecológica. El consumo energético asociado a los edificios ha sido señalado como una de las causas principales de las emisiones de gases de efecto invernadero y una de las mayores oportunidades para reducirlas. En el campo del proyecto y la construcción nos enfrentamos a una elección, declinar la responsabilidad por los impactos de los edificios en el cambio climático, o liderar el cambio necesario para mitigar el impacto de los edificios en el cambio climático.

La necesidad de edificios ecológicos está dejando de ser una moda pasajera o una opción, y en los próximos años probablemente se convierta en algo tan esencial como la seguridad antiincendios u otras medidas de seguridad de los edificios. Por todo ello, es urgente que los edificios ecológicos sean algo más que una simple demostración, más allá de la *boutique* y de servir como símbolo de prestigio, para impulsar la disciplina de la arquitectura ecológica e integrarla como una componente fundamental de la propia arquitectura, la construcción o la propiedad inmobiliaria.

LEED® 2009 Programa de certificación de arquitectura ecológica

Para nueva construcción y grandes remodelaciones

Parcelas sostenibles (26 puntos posibles)

Prerrequisito 1 prevención de la contaminación por actividades de construcción (requerido)
Crédito 1 selección de la parcela 1
Crédito 2 densidad del desarrollo y la conectividad de la comunidad 5
Crédito 3 reurbanización de suelos industriales contaminados 1
Crédito 4.1 transporte alternativo, acceso al transporte público 6
Crédito 4.2 transporte alternativo, aparcamiento de bicicletas y vestuarios 1
Crédito 4.3 transporte alternativo, vehículos eficientes de bajas emisiones 3
Crédito 4.4 transporte alternativo, plazas de aparcamiento 2
Crédito 5.1 urbanización de la parcela, proteger o restaurar el hábitat 1
Crédito 5.2 urbanización de la parcela, maximizar el espacio abierto 1
Crédito 6.1 escorrentía, control de la cantidad 1
Crédito 6.2 escorrentía, control de la calidad 1
Crédito 7.1 efecto isla de calor, sin cubierta 1
Crédito 7.2 efecto isla de calor, con cubierta 1
Crédito 8 reducción de la contaminación lumínica 1

Eficiencia en agua (10 puntos posibles)

Prerrequisito 1 reducción del consumo de agua (requerido)
Crédito 1 ajardinamiento eficiente en agua 4
Crédito 2 tecnologías innovadoras en aguas residuales 2
Crédito 3 reducción del consumo de agua 4

Energía y atmósfera (35 puntos posibles)

Prerrequisito 1 recepción fundamental de los sistemas energéticos (requerido)
Prerrequisito 2 mínima eficiencia energética (requerido)
Prerrequisito 3 gestión fundamental de los refrigerantes (requerido)
Crédito 1 optimización de la eficiencia energética 19
Crédito 2 energía renovable in situ 7
Crédito 3 recepción mejorada 2
Crédito 4 gestión de refrigerantes mejorada 2
Crédito 5 medición y verificación 3
Crédito 6 energía ecológica 2

Materiales y recursos (14 puntos posibles)

Prerrequisito 1 almacenamiento y recogida de materiales reciclables (requerido)
Crédito 1.1 reutilización edificio, conservar muros, forjados y cubierta 3
Crédito 1.2 reutilización edificio, conservar elementos no estructurales interiores 1
Crédito 2 gestión de residuos de construcción 2
Crédito 3 reutilización de materiales 2
Crédito 4 materiales reciclados 2
Crédito 5 materiales locales 2
Crédito 6 materiales rápidamente renovables 1
Crédito 7 madera certificada 1

Calidad ambiental interior (15 puntos posibles)

Prerrequisito 1 mínima eficiencia en calidad ambiental interior (requerido)
Prerrequisito 2 control del humo del tabaco (requerido)
Crédito 1 monitorización de la entrada de aire exterior 1
Crédito 2 aumento de la ventilación 1
Crédito 3.1 plan de gestión de la calidad del aire interior durante la obra 1
Crédito 3.2 plan de gestión de la calidad del aire interior antes de la ocupación 1
Crédito 4.1 materiales de baja emisividad, adhesivos y sellantes 1
Crédito 4.2 materiales de baja emisividad, pinturas y recubrimientos 1
Crédito 4.3 materiales de baja emisividad, pavimentos 1
Crédito 4.4 materiales de baja emisividad, compuestos de madera/agrofibras 1
Crédito 5 control de fuentes de contaminantes y productos químicos interiores 1
Crédito 6.1 capacidad de control de los sistemas, iluminación 1
Crédito 6.2 capacidad de control de los sistemas, confort térmico 1
Crédito 7.1 confort térmico, proyecto 1
Crédito 7.2 confort térmico, verificación 1
Crédito 8.1 luz natural y vistas, luz natural 1
Crédito 8.2 luz natural y vistas, vistas 1

Innovación y proceso de proyecto (6 puntos posibles)

Crédito 1 innovación en el proyecto 5
Crédito 2 profesional acreditado LEED 1

Prioridad local (4 puntos posibles)

Crédito 1 prioridad local 4

Para recibir la certificación LEED, el proyecto de un edificio debe cumplir ciertos prerrequisitos y sacar ciertos puntos de cada categoría (plata, oro o platino) dependiendo del número de créditos que obtengan.

- Certificado 40-49 puntos
- Plata 50-59 puntos
- Oro 60-79 puntos
- Platino 80 puntos y más

LEED® 4 Programa de certificación de arquitectura ecológica

Para nueva construcción y grandes remodelaciones

Proceso integrado de proyecto y construcción

Crédito 1 proceso integrador 1

Localización y transporte (16 puntos posibles)

Crédito 1 LEED para localización en desarrollo urbano 16, o
Crédito 2 protección de suelo sensible 1
Crédito 3 parcela de alta prioridad 2
Crédito 4 densidad del entorno y usos diversos 5
Crédito 5 acceso a transporte público de calidad 5
Crédito 6 instalaciones para bicicletas 1
Crédito 7 huella de aparcamiento reducida 1
Crédito 8 vehículos sostenibles 1

Parcelas sostenibles (10 puntos posibles)

Prerrequisito 1 prevención de contaminación en actividades de construcción (requerido)
Crédito 1 evaluación de la parcela 1
Crédito 2 urbanización de la parcela, proteger o restaurar el hábitat 2
Crédito 3 espacio abierto 1
Crédito 4 gestión del agua de lluvia 3
Crédito 5 reducción de las islas de calor 2
Crédito 6 reducción de la contaminación lumínica 1

Eficiencia en agua (11 puntos posibles)

Prerrequisito 1 reducción del consumo de agua en el exterior (requerido)
Prerrequisito 2 reducción del consumo de agua en el interior (requerido)
Prerrequisito 3 contador de agua para todo el edificio (requerido)
Crédito 1 reducción del consumo de agua en el exterior 2
Crédito 2 reducción del consumo de agua en el interior 6
Crédito 3 consumo de agua de torres de refrigeración 2
Crédito 4 contadores de agua 1

Energía y atmósfera (33 puntos posibles)

Prerrequisito 1 recepción y verificación básicas (requerido)
Prerrequisito 2 mínima eficiencia energética (requerido)
Prerrequisito 3 contador de energía para todo el edificio (requerido)
Prerrequisito 4 gestión básica de refrigerantes (requerido)
Crédito 1 recepción mejorada 6
Crédito 2 optimización de la eficiencia energética 18
Crédito 3 contador de energía avanzado 1
Crédito 4 respuesta a la demanda 2
Crédito 5 producción de energía renovable 3
Crédito 6 gestión mejorada de refrigerantes 1
Crédito 7 energía verde y compensaciones de carbono 2

Materiales y recursos (13 puntos posibles)

Prerrequisito 1 almacenamiento y recogida de reciclables (requerido)
Prerrequisito 2 planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición (requerido)
Crédito 1 reducción del impacto en el ciclo de vida del edificio 5
Crédito 2 divulgación y optimización de los productos del edificio, declaraciones medioambientales de los productos 2
Crédito 3 divulgación y optimización de los productos del edificio, fuentes de materias primas 2
Crédito 4 divulgación y optimización de los productos del edificio, componentes de los materiales 2
Crédito 5 gestión de residuos de construcción y demolición 2

Calidad ambiental interior (16 puntos posibles)

Prerrequisito 1 mínima eficiencia de la calidad del aire interior (requerido)
Prerrequisito 2 control ambiental del humo de tabaco (requerido)
Crédito 1 estrategias mejoradas de calidad del aire interior 2
Crédito 2 materiales de baja emisividad 3
Crédito 3 plan de gestión de la calidad del aire interior durante la obra 1
Crédito 4 evaluación de la calidad del aire interior 2
Crédito 5 confort térmico 1
Crédito 6 iluminación interior 2
Crédito 7 luz natural 3
Crédito 8 vistas de calidad 1
Crédito 9 eficiencia acústica 1

Innovación (6 puntos posibles)

Crédito 1 innovación 5
Crédito 2 profesional acreditado LEED 1

Prioridad local (4 puntos posibles)

Crédito 1 prioridad local: crédito específico 1
Crédito 2 prioridad local: crédito específico 1
Crédito 3 prioridad local: crédito específico 1
Crédito 4 prioridad local: crédito específico 1

Para recibir la certificación LEED, el proyecto de un edificio debe cumplir ciertos prerrequisitos y obtener ciertos puntos de cada categoría (plata, oro o platino) dependiendo del número de créditos que obtengan.

- Certificado 40-49 puntos
- Plata 50-59 puntos
- Oro 60-79 puntos
- Platino 80 puntos o más

Glosario

Aerogenerador Dispositivo que convierte la energía eólica en mecánica. Si se utiliza con un generador, el sistema produce electricidad.

Aguas grises Aguas usadas procedente de lavabos, duchas y lavadoras que puede recogerse para ser tratada y reutilizada, como en la descarga de los inodoros o en el riego de jardines, o de la que puede extraerse calor para su uso en el edificio.

Aire acondicionado Proceso por el cual se alteran las condiciones del aire, fundamentalmente temperatura y humedad, para obtener condiciones más favorables.

Aire exterior Aire introducido desde el exterior para usarse en la ventilación.

Aislamiento inyectado Aislamiento inyectado a presión en una cámara de aire o cualquier otro espacio del edificio para evitar los vacíos y proporcionar resistencia tanto a la transmisión de calor como al movimiento de aire.

Albedo Proporción de energía solar (de longitudes de onda entre 0,3 y 2,5 micrómetros) reflejada por una superficie. También conocido como reflectancia solar.

Área de perturbación Área de la parcela perturbada durante la construcción.

Barrera contra filtraciones Membrana, lámina o cualquier otro componente destinado a reducir las filtraciones; pueden ser permeables o no al vapor.

Barrera de vapor Membrana, lámina u otro componente que evita el flujo de humedad a través de la envolvente del edificio.

Bases de proyecto Documento preparado por los proyectistas que describe el proyecto del edificio; utilizado en el control de calidad para garantizar la consistencia entre los requerimientos del cliente y el proyecto técnico definido.

Benchmarking Estudio comparativo del consumo de agua o de energía de un edificio con el de otros similares, utilizando métricas como el índice de uso de energía.

Bomba de calor con caudal variable Bomba de calor con compresor de velocidad variable.

Bomba de calor geotérmica Bomba de calor que extrae calor del terreno para calentar un edificio, o que lo evacua a través del terreno para refrigerarlo. Véase: bomba de calor por aire.

Bomba de calor por aire Bomba de calor que recoge o devuelve calor desde o hacia el aire exterior; véase bomba de calor geotérmica.

Brownfield Zona que requiere de un proceso de descontaminación para su ocupación por nuevos usos.

Caldera Dispositivo que calienta aire impulsado mediante ventilación forzada.

Calentador Dispositivo para calentar agua o producir vapor de agua.

Calidad ambiental interior Calidad agregada del ambiente interior, que comprende la calidad del aire y del agua, el confort térmico y las condiciones acústicas.

Calidad del aire interior Medición de la ausencia de contaminantes aéreos, como partículas, humo de tabaco, dióxido de carbono, compuestos químicos peligrosos, humedad y contaminantes biológicos del aire interior de un edificio.

Cambio climático Cambio a largo plazo de las temperaturas del aire atmosférico y otros impactos asociados, como el deshielo de los casquetes polares. Este cambio se atribuye a actividades humanas como la combustión a gran escala de combustibles fósiles, liberando hidrocarburos, y a la interacción de dichos productos de la combustión con la atmósfera.

Capa de protección Cualquier componente de un edificio que protege contra las cargas que debe soportar.

Carga Cualquier elemento externo, como la temperatura, que genera un estrés en un edificio.

Coeficiente de superficies En un edificio, la relación entre la superficie total y la superficie en planta.

Cogeneración Generación simultánea de electricidad y calor en un proceso que puede ser más eficiente que la simple generación de electricidad.

Combustible fósil Combustible, como el gas natural, el petróleo o el carbón, originado a partir de la descomposición de organismos vivos durante millones de años.

Compartimentación Separación física de las distintas áreas de un edificio para reducir el flujo de aire no deseado entre ellas.

Compuesto orgánico volátil (COV) Compuesto orgánico que participa en reacciones atmosféricas fotoquímicas. Los compuestos volátiles se evaporan en las condiciones normales del aire interior, y se convierten en contaminantes indeseables del aire interior.

Confort térmico Condición psicológica que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Se caracteriza principalmente por la ausencia de malestar asociado a la temperatura alta o baja del aire, la humedad o las corrientes, aunque también puede estar influido por otros factores, como las temperaturas superficiales, el grado de actividad o el recogimiento.

Contaminación lumínica Introducción de luz artificial indeseable en el exterior.

Continuidad Propiedad de la envolvente térmica que evita las filtraciones y los puentes térmicos.

Controlador de velocidad variable Dispositivo que modifica la velocidad de rotación de un motor eléctrico de corriente alterna mediante el control de la frecuencia del suministro eléctrico. Normalmente se emplea con grandes motores trifásicos. El término engloba los controladores de frecuencia variable y ajustable y de velocidad ajustable.

Cubierta vegetal Cubierta total o parcialmente cubierta de vegetación instalada sobre una membrana impermeabilizante. También denominada cubierta ajardinada.

Diagrama de zonificación térmica Plano que delinea las diferentes zonas térmicas de una planta.

Proyecto integrado Enfoque colaborativo en el que un amplio grupo de agentes (arquitectos, ingenieros, propietarios, inquilinos, etc.) se implican en un proyecto de una manera global desde las primeras fases del proceso de proyecto.

Dispersión lumínica Dispersión indeseada de luz artificial del interior al exterior.

Edificio ecológico Edificio con un bajo impacto medioambiental que proporciona condiciones interiores que fomentan la salud de las personas.

Efecto chimenea Flujo ascendente de aire a través de un edificio.

Efecto de isla de calor Absorción y retención de la radiación solar incidente que tiene como resultado un aumento local de la temperatura.

Eficacia de ventilación Porción del flujo de ventilación que, de hecho, alcanza a los usuarios del edificio. Un 0 % implica que nada del aire introducido en el edificio llega a los usuarios, mientras que el 100 % implica que lo hace en su totalidad.

Encofrados aislados de hormigón Sistema de encofrados para hormigón armado que consiste en bloques modulares e interconectables de aislamiento rígido.

Energía solar pasiva Aprovechamiento del calor solar sin necesidad de utilizar sistemas mecánicos o eléctricos, como bombas o ventiladores.

Energías renovables Energía que procede de fuentes renovables, como el sol o el viento.

Entramado mejorado Conjunto de técnicas que reducen el uso de material y los puentes térmicos respecto del entramado tradicional.

Envolvente exterior Capa exterior de un edificio que incluye elementos como muros, ventanas, puertas, cubierta o cimentación, y que están en contacto con el terreno o el aire exterior.

Envolvente interior Capa interior de un edificio que incluye elementos como el forjado de los desvanes y del sótano, y los muros interiores de los espacios sin acondicionar. Estos elementos están en contacto con el espacio interior acondicionado.

Envolvente térmica Superficies a lo largo de las cuales se instala el aislamiento térmico de un edificio.

Espacio sin acondicionar Espacio sin calefacción ni refrigeración.

Espacio vulnerable Espacio que debería protegerse de la urbanización por ser tierras agrícolas de máxima calidad, parques, áreas inundables, hábitats de especies amenazadas o en peligro de extinción, dunas primarias, bosques maduros, humedales u otros volúmenes de agua o zonas de conservación.

Exageradamente ecológico Proyecto de edificios nominalmente ecológicos, e incluso certificados como tales, pero ineficientes por su exceso de tamaño o de superficie de las ventanas, o porque usan demasiada luz artificial decorativa, o porque solo presentan unas componentes ecológicas de muy destacadas.

Filtración de aire Intercambio de aire entre el exterior y el interior de un edificio.

Iluminación artificial Iluminación, generalmente eléctrica, suministrada por aparatos y dispositivos de luz.

Iluminación cenital Luz natural que proviene del techo de un espacio o de tragaluces o lucernarios.

Iluminación lateral Iluminación natural procedente de ventanas situadas en los muros del edificio.

Índice de uso de energía (EUI) Energía total anual consumida por un edificio, dividida por el área en planta del mismo. Este índice se utiliza para realizar estudios comparativos y para evaluar los progresos hacia consumos energéticos menores o nulos.

Inodoro de descarga dual Inodoro que utiliza menos cantidad de agua para arrastrar los residuos líquidos que los residuos sólidos.

Invasión lumínica Dispersión indeseada de luz artificial que incide en una propiedad vecina.

Lavado de cara ecológico Proclamación ecológica sin fundamento.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Programa de certificación ecológica de edificios.

Luminaria directa tipo *full cutoff* Dispositivo de luz que no emite ninguna luz por encima del plano horizontal y limita la intensidad de luz dentro de los 10º por debajo de dicho plano a 100 candelas por 1.000 lumen. Normalmente estás lámparas no son visibles cuando se observan en el plano horizontal.

Luminaria directa tipo *fully shielded* Aplique de luz que no emite ninguna luz por encima del plano horizontal, pero no tan restrictiva como el tipo *full cutoff*, en tanto que no está limitada la intensidad de la luz en los 10º bajo la horizontal.

Madera certificada Madera procedente de explotaciones que han demostrado llevar a cabo la extracción y el procesado de la madera de forma respetuosa con el medio ambiente, cumpliendo con prácticas forestales sostenibles, protegiendo los árboles, los hábitats silvestres, las fuentes de agua y los suelos. La certificación más extendida es FSC (Forest Stewardship Council).

Materiales reciclados antes del consumo Residuos que se recuperan durante la manufactura.

Materiales reciclados después del consumo Materiales que se obtienen de los residuos generados por los usuarios finales, que se reciclan para obtener nuevas materias primas.

Modelo energético Simulación informática que predice el consumo energético de un edificio.

Neto cero Capacidad de un edificio de requerir una cantidad nula de energía externa o de no generar emisiones de carbono. Esta expresión puede referirse a una diversidad de mediciones de consumo de energía o de emisiones de carbono.

Panel estructural aislante Elemento prefabricado que consta de un núcleo central de aislamiento rígido entre dos capas de panel estructural, que combina las funciones de estructura, aislamiento y barrera contra la filtración. Se utilizan fundamentalmente en muros, pero también en forjados y cubiertas.

Pérdidas de distribución Pérdidas improductivas de energía a través de los conductos o tuberías de los sistemas de climatización y agua caliente, normalmente cuando los sistemas de distribución circulan a través de espacios sin acondicionar o el exterior. Se incluyen aquí las pérdidas por conducción y las fugas de aire, agua o vapor.

Planificación del desmontaje Posible reutilización de los materiales de construcción cuando el edificio proyectado termine su vida útil.

Potencial de cambio climático Medida de la contribución de un material o un sistema al cambio climático; se aplica más habitualmente a los refrigerantes u otros compuestos químicos.

Proporción de superficie de ventana Fracción de la superficie de una fachada ocupada por el vidrio y los marcos de las ventanas.

Puente térmico Pérdida de calor del interior del edificio mediante conducción a través de componentes sólidos de la construcción que atraviesan la capa de aislamiento.

Receptividad de la cubierta Capacidad de una cubierta para soportar la instalación de sistemas de energía solar, con características como la ausencia de obstrucciones, área contigua, área sin sombra, orientación hacia el ecuador y soporte estructural adecuado.

Recogida de aguas pluviales Recogida y uso del agua de lluvia. Normalmente consiste en una zona de recogida, un sistema de conducción para dirigirla hacia un depósito, posibles mecanismos de tratamiento y filtrado, un sistema de respaldo para época de baja pluviosidad, un rebosadero y un sistema de distribución para llevarla hasta las tomas del edificio.

Recuperación de calor Proceso de extracción de calor de un fluido, como la salida de humos de un edificio, para calentar otro, como la toma de ventilación de aire exterior en invierno.

Refrigerador Dispositivo mecánico que produce agua refrigerada que puede utilizarse para acondicionar el aire a través de una unidad de tratamiento de aire o de un ventiloconvector; véase sistema de expansión directa.

Regeneración rápida Término para referirse a materiales naturales que pueden cosecharse en ciclos de pocos años (LEED establece diez años).

Rendimiento del edificio Indicador global de la capacidad de un edificio para cumplir objetivos de eficiencia energética, consumo de agua, confort ambiental y durabilidad.

Renovaciones por hora (RPH) Medida de la tasa de filtración de un edificio. Puede medirse mediante el test de *blower door*, que ofrece un valor para la filtración a una presión dada, a partir del cual puede calcularse el valor para las filtraciones naturales medias.

Requisitos del proyecto Documento que fija los objetivos del propietario o del cliente y detalla el futuro uso del edificio. Los detalles definidos en el mismo pueden impactar significativamente el proyecto de un edificio ecológico.

Retardo del sensor de movimiento Período entre la última detección de movimiento y el apagado automático de la luz. El retardo debería ser lo más corto posible.

Riego por goteo Sistema de riego que suministra una cantidad específica de agua directamente a cada planta a través de una red de tubos o tuberías.

Sensor de movimiento con activación manual Sensor de movimiento que apaga automáticamente la luz, pero que requiere que esta se encienda manualmente.

Sensor de movimiento Dispositivo que controla la luz automáticamente en función del movimiento detectado. También se denomina sensor de ocupación.

Sistema combinado de calentador, torre y bomba de calor Sistema de climatización que utiliza un circuito principal de agua, donde las bombas de calor se conectan a este para suministrar calor o frío a los espacios del edificio. El calentador suministra calor al circuito si hay una deficiencia de calefacción, y la torre de refrigeración evacua calor del circuito y el edificio en caso de poca refrigeración.

Sistema de expansión directa Sistema que suministra aire acondicionado a partir de un sistema de compresión mecánica del vapor en lugar de utilizar agua refrigerada. Véase: refrigerador. Este sistema se utiliza en muchos equipos comunes de aire acondicionado, como los equipos portátiles, los sistemas separados y la mayor parte de las bombas de calor y unidades compactas sobre cubierta.

Sistema hidrónico Sistema de agua caliente utilizado para calefacción.

Sistema solar fotovoltaico Sistema que genera energía eléctrica a partir de la radiación solar utilizando semiconductores que presentan el efecto fotovoltaico.

Sistema solar térmico Sistema que convierte la luz solar en calor, en forma de agua o aire caliente.

Sostenibilidad Característica de las cosas que perduran.

Superficies permeables Superficies de la parcela que permiten la filtración del agua al subsuelo: pavimentos impermeables, asfalto poroso, hormigón permeable y zonas ajardinadas.

Supervisión de instalaciones/dirección de obra Proceso por el cual se verifica el funcionamiento correcto de los elementos de un edificio que consumen energía y que afectan al consumo de energía o la calidad ambiental interior. Es un proceso holístico que sirve como vehículo principal para el control de calidad del proyecto y la construcción de un edificio, desde la definición inicial de los requisitos del proyecto hasta la verificación del rendimiento del edificio construido.

Torre de refrigeración Dispositivo que evacua calor de un edificio hacia el exterior. Las torres de refrigeración normalmente forman parte de un sistema de enfriamiento o de bomba de calor. Tienen la misma función que el pozo de un sistema geotérmico o las unidades externas de un sistema separado de aire acondicionado, pero no puede servir como fuente de calor.

Unidad de tratamiento de aire Dispositivo que incorpora un ventilador y uno o más intercambiadores de calor, y que suministra calefacción o refrigeración al edificio a través de un sistema de distribución.

Urinario sin agua Urinario que no requiere agua y que emplea un sellado líquido de base oleosa en el desagüe para evitar el retorno de los olores.

Ventilación a demanda Forma de control que limita el flujo de ventilación y, por tanto, reduce el consumo energético cuando no se requiere el caudal máximo de ventilación. A menudo se utiliza el indicador de la concentración de dióxido de carbono como mejor aproximación a la intensidad de ocupación de un espacio, aunque también pueden utilizarse otros indicadores, como la humedad. También puede aplicarse simplemente abriendo o cerrando ventanas practicables.

Ventilación forzada Sistema que consta de una unidad de tratamiento de aire y un sistema de distribución que suministra aire caliente o refrigerado, o ventilación a los espacios de un edificio.

Ventilación Provisión de aire fresco al edificio. El término se utiliza de forma poco rigurosa para denominar los sistemas de extracción de aire o humos, o el uso de aire del exterior para climatizar.

Ventiloconvector Pequeña unidad de tratamiento de aire, normalmente sin sistema de distribución por conductos.

Zona de respiración Espacio en torno a una persona del que esta toma aire para respirar; es importante que obtenga aire fresco y de ventilación.

Zona verde Área sin urbanizar, ya sea de usos agrarios o forestales.

Zonas duras Áreas de terreno pavimentadas, como las vías y los senderos.

Zonificación térmica Enfoque de proyecto de climatización por el que distintas áreas de un edificio cuentan con controles independientes de temperatura.

Bibliografía

En el campo de la arquitectura sostenible, los recursos disponibles son numerosos y están creciendo rápidamente. La siguiente es una selección necesariamente limitada de libros, informes, artículos, estándares y sitios web, la mayor parte de los cuales son fuentes primarias útiles para la elaboración de este libro, y se recomiendan como recursos potencialmente útiles para los profesionales de este campo.

7group & Bill Reed, *The Integrative Design Guide to Green Buildings*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.

American Society of Landscape Architects, Lady Bird Johnson Wildflower Center/University of Texas en Austin y United States Botanic Garden, *The Sustainable Sites Initiative: Guidelines and Performance Benchmarks*, The Sustainable Sites Initiative, Austin, 2009.

Anis, Wagdy, *Air Barrier Systems in Buildings*, Whole Building Design Guide, National Institute of Building Sciences (NIBS), Washington, 2010. www.wbdg.org/resources/airbarriers.php (acceso: 12 de octubre de 2013).

ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2013: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2007: Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.

ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2013.

ANSI/ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2011: Standard for the Design of High-Performance, Green Buildings (Except Low-Rise Residential Buildings), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2011.

Athena Sustainable Materials Institute: www.athenasmi.org

BREEAM New Construction: Non-Domestic Buildings, Technical Manual, SD5073-2.0:2011, BRE Global, Garston, 2011.

Brown, E. J., *Cost Comparisons for Common Commercial Wall Systems*, Capital Building Consultants, Winston-Salem, 2008.

Building Green, Inc. www.buildinggreen.com (acceso: 13 de octubre de 2013).

Building Science Corporation. www.buildingscience.com/index_html (acceso: 13 de octubre de 2013).

California Stormwater BMP Handbook: Concrete Waste Management, California Stormwater Quality Association, Menlo Park, 2003.

Cavity Walls: Design Guide for Taller Cavity Walls, Masonry Advisory Council, Park Ridge, 2002.

Center for Neighborhood Technology. www.travelmatters.org/calculator/individual/methodology#pmt (acceso: 13 de octubre de 2013).

Center for Rainwater Harvesting, 2006. www.thecenterforrainwaterharvesting.org/index.htm.

Ching, Francis D. K. y Winkel, Steven, *Building Codes Illustrated: A Guide to Understanding the 2009 International Building Code*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009, 3ª ed.

Ching, Francis D. K., *Arquitectura: forma, espacio y orden*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2015, 4ª ed.

D&R International, *Buildings Energy Data Book*, US Department of Energy, Washington, 2011.

D'Aloisio, James A., *Steel Framing and Building Envelopes*, Modern Steel Construction, Chicago, 2010.

DeKay, Mark y Brown, G. Z., *Sun, Wind, & Light: Architectural Design Strategies*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2013, 3ª ed.

Durkin, Thomas H., "Boiler System Efficiency", *ASHRAE Journal*, vol. 48, julio de 2006, pág. 51.

Efficient Windows Collaborative. www.efficientwindows.org

ENERGY STAR Performance Ratings: Methodology for Incorporating Source Energy Use, US Environmental Protection Agency, Washington, 2011.

Exterior Lighting Guide for Federal Agencies, Federal Energy Management Program, Washington, 2010.

Fox & Fowle Architects *et al.*, *Battery Park City: Residential Environmental Guidelines*, Hugh L. Carey Battery Park City Authority, Nueva York, 2005.

Green Globes for New Construction: Technical Reference Manual (versión 1.1), Green Building Initiative, Portland, 2013.

Gruzen Hampton LLP y Hayden McKay Lighting Design Inc., *Manual for Quality, Energy Efficient Lighting*. NY City Department of Design and Construction, Nueva York, 2006.

Guide to Commissioning Lighting Controls, National Electrical Contractors Association, Bethesda, 2006.

Hagenlocher, Esther, *Colorfulness and Reflectivity in Daylit Spaces*, PLEA2009, 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec, 2009.

Hernández, Daniel *et al.*, *Location Efficiency and Housing Type. US EPA's Smart Growth Program* (contrato #GS-10F-0410R), Jonathan Rose Companies, Nueva York, 2011.

Heschong, Lisa, *Thermal Delight in Architecture*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1979.

Higgins, Cathy *et al.*, *Plug Load Savings Assessment: Part of the Evidence-based Design and Operations PIER Program. Prepared for the California Energy Commission*, New Buildings Institute, Vancouver, 2013.

Hodges, Tina, *Public Transportation's Role in Responding to Climate Change*, US Department of Transportation, Washington, 2009.

International Building Code, ICC, Washington, 2012.

International Dark-Sky Association. www.darksky.org (acceso: 12 de octubre de 2013).

International Energy Conservation Code, ICC, Washington, 2012.

International Green Construction Code, ICC, Washington, 2012.

International Mechanical Code, ICC, Washington, 2012.

IPCC, "Summary for Policymakers", en Field, C. B. *et al.* (*eds.*), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, Cambridge/Nueva York, 2012, págs. 1-19.

Keeler, Marian y Burke, Bill, *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.

LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System, United States Green Building Council, Washington, 2012.

Lemieux, Daniel J. y Totten, Paul E., *Building Envelope Design Guide: Wall Systems*. www.wbdg.org/design/env_wall.php (acceso: 8 de octubre de 2013).

Light Reflectance, Carpet Institute of Australia Limited, Melbourne, 2011.

Living Building Challenge 2.1, International Living Future Institute, Seattle, 2012.

Lstiburek, Joseph, *Vapor Barriers and Wall Design*, Building Science Corporation, Somerville, 2004.

Mortgage Industry National Home Energy Rating Systems Standards, Residential Energy Services Network, Oceanside, 2006.

Munch-Andersen, *Improving Thermal Insulation of Concrete Sandwich Panel Buildings*, LCUBE Conference, Viena, 2007.

NAHB Research Center, *Advanced Wall Framing*, US Department of Energy, Washington, 2000.

NAHB Research Center, *Frost-Protected Shallow Foundations, Phase II–Final Report.*, US Department of Housing and Urban Development, Washington, 1994.

National Renewable Energy Lab, *Energy Design Guidelines for High Performance Schools: Temperate and Humid Climates*, US Department of Energy's Office of Building Technology, State and Community Programs, Washington, 2002.

Newman, Jim *et al.*, *The Cost of LEED: A Report on Cost Expectations to Meet LEED 2009 for New Construction and Major Renovations (NC v2009)*, BuildingGreen, Brattleboro, 2010.

Newsham, Guy *et al.*, *Task Lighting Effects on Office Worker Satisfaction and Performance, and Energy Efficiency*, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa, 2005.

O'Connor, Jennifer *et al.*, *Tips for Daylighting with Windows*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 1997.

Pless, Shanti y Torcellini, Paul, *Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, 2010.

Rainwater Harvesting Group, Dallas, Texas A&M AgriLife Extension Service. rainwaterharvesting.tamu.edu (acceso: 13 de octubre de 2013).

Sachs, Harvey M., *Opportunities for Elevator Energy Efficiency Improvements*, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, 2005.

Selkowitz, S. *et al.*, *The Impact of Fenestration on Energy Use and Peak Loads in Daylighted Commercial Buildings*, National Passive Solar Conference, Glorieta, 1983.

Slone, Herbert, *Wall Systems for Steel Stud/Masonry Veneer*, Owens Corning Foam Insulation LLC, Toledo (Ohío), 2011.

Smith, David Lee, *Environmental Issues for Architecture*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2011.

Straube, John, *Air Flow Control in Buildings: Building Science Digest 014*, Building Science Press, Boston, 2008.

Tyler, Hoyt *et al.*, *CBE Thermal Comfort Tool*, Center for the Built Environment, University of California, Berkeley, 2013. cbe.berkeley.edu/comforttool (acceso: 12 de octubre de 2013).

Ueno, Kohta, *Building Energy Performance Metrics*. www.buildingscience.com/documents/digests/bsd152-buildingenergy-performance-metrics (acceso: 13 de octubre de 2013).

Urban, Bryan y Roth, Kurt, *Guidelines for Selecting Cool Roofs*, preparado por el Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems para el US Department of Energy Building Technologies Program y Oak Ridge National Laboratory (contrato DE-AC05-000R22725), 2010.

Wang, Fan *et al.*, *Reducing Space Heating in Office Buildings Through Shelter Trees*, CIBSE/ASHRAE Conference, Building Sustainability, Value & Profit, 2003. www.cibse.org/pdfs/8cwang.pdf.

Whole Building Design Guide. www.wbdg.org (acceso: 13 de octubre de 2013).

Wilson, Alex, *Naturally Rot-Resistant Woods*, National Gardening Association. www.garden.org/articles/articles.php?q=show&id=977&page=1 (acceso: 13 de octubre de 2013).

Wray, Paul *et al.*, *Farmstead Windbreaks: Planning*, Iowa State University, Ames, 1997.

Zuluaga, Marc *et al.*, *There Are Holes in Our Walls*, Urban Green Council, Nueva York, 2010.

Índice

A

acabados, 52, 133, 174
  cubiertas, 77
  reflectantes, 101
acero
  estructural, 91
  inoxidable, 91
  reciclado, 218
actividades de interpretación, 40
acuarios, 175
acústica, 26, 185
  aislamiento, 186
adhesivos, 223
adobe, 222
aerogeneradores, 209
agotamiento de acuíferos, 50
agua, 159
  calentadores de bomba de calor, 163
  calentadores sin depósito, 164
  calentadores, punto de uso, 162
  calidad en la parcela, 50
  calidad, 8, 52, 185
  cantidad, 52
  cargas, 160
  conservación en la parcela, 50
  duración del flujo, 161
  medición de, 247
  potable, 50, 53, 185
  subterránea, 175
  superficial, 54, 171
  transportada, 53
  volúmenes de, 40
agua caliente, 156, 162, 188, 199
  doméstica, 156, 162, 199
  sanitaria, 162
  calentadores, 162
aire acondicionado, 49, 165
  carcasa, 88
  equipos compactos, 87, 197
aire
  comprobaciones de calidad, 180
  exterior, 172, 178
  interior, calidad, 119, 131, 167
  impulsado, 183, 188, 192
  flujos, 186
  flujos por termosifón, 129
  fugas, 89, 115
  recirculación, 49
  sellado, 130
  temperatura, 180
  tomas de ventilación, 172
  velocidades, 184
aireadores de grifos, 160
aislamiento, 92
  de algodón, 220
  de celulosa, 235
  de conductos, 115
  de espuma inyectada, 126, 235
  de muros, 92
  de sellados, 92
  de soja, 220
  de suelos, 111
  de tuberías, 115
  en planchas, 235
  rígido, 126, 235
alcachofas de ducha, 160, 175
alféizar, 87
alfombras, 133, 174, 223
  reflectancia, 136
almacenes, 113
amor por la tierra y la naturaleza, 9
amortiguación térmica, 119
amortización, 253
análisis de sombras, 56
antepechos, 95
aparatos eléctricos, 156
  de gran consumo eléctrico, 156, 157
aparcamientos, 45, 51, 170
apartamentos, 65, 162
aplique de luz empotrado, 86, 109, 127, 128, 131
árboles caducifolios, 48
Architecture 2030, 34, 239
argón, relleno en ventanas de doble hoja, 98
áridos reciclados, 218
armarios, 105, 123, 192
ascensores, 157
  hidráulicos, 158
asfalto poroso, 51
ASHRAE, 34, 116, 151, 182, 197, 236, 239
  estándar 55, 182
  estándar 62, 236
  estándar 90, 151, 239
  estándar 189, 29, 109, 197
áticos, 82

B

baja emisividad
  materiales, 223
  ventanas, 98
bajantes, 81, 165
balcones, 73, 80, 88, 91
bambú, 220
banda neutra de fotosensores, 154
bandeja de condensación, 175
baños, 169
  extractores, 168, 175
  grifos, 161
barnices, 223
barrera de vapor, 112, 118, 173
barrera radiante, 133
barrios, 28, 39
bases de proyecto, 245
belleza, 5, 26, 255
biocombustibles, 200
biomasa, 188, 199, 200
  sistemas de combustión, 196
biomímesis, 226
bloques de hormigón, 91
  de alto rendimiento, 91
  ligeros, 91
blower door, test de, 85
bomba de calor, 49, 188, 190, 200, 224
  calentador de agua, 163
  calentador/torre de refrigeración, 196, 200
  con circuito de agua, 196
  con recuperación de calor, 192
  de agua, 196
  de unidades separadas, 193
  de velocidad variable, 192
  geotérmica, 56, 188, 192, 198, 203, 206, 224
  sin conductos, 189, 192, 203
  sistema separado, 193
  terminal compacta, 197
bomba, 157
  energía, 53
  motores, 72
bosques maduros, 40, 220
brownfields, 41
Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), 29, 103, 157, 179
burletes, 86, 107
  inferiores de puertas, 108

C

calefacción por suelo radiante, 112
calefactores
  calefactores de armario, 188, 194
  de agua caliente, 162
  de habitación, 188, 193
  eficiencia, 198
  eléctricos, 188
  infrarrojo, 188
  radiantes, 188
  sin depósito, 164
calentadores, 115, 188, 190, 192, 196
calentamiento global, 7
  potencial, 224
calidad, 39, 233
  control de, 229, 236, 245
  ambiental interior, 54, 167
  de la construcción, 236
  del agua, 185
  del aire interior, 54, 119, 131, 167
  del aire interior durante la obra, 180
  integrada en el proyecto, 235
  principios, 234
calor de resistencia eléctrica, 188, 194, 200
cámaras, 131
  en techos, 120, 195
  sanitarias, 113, 118, 191
  sin sellar, 109, 129
cámaras de aire
  en muros, 109, 131
  sin sellado, 86, 129
cambio climático, 2, 5, 9, 258
campanas extractoras, 168
  de cocina, 168
  de laboratorios, 177
canalones, 109, 165, 172
capa de protección, 10, 16, 19, 54
  débil, 126
  fuerte, 126
  muy débil, 126
  poco robusta, 20
  robusta, 20
captura de contaminantes, 168
captura en la fuente, 174
carámbanos, 109
carbón, 8, 188
carbono, 42
cargas, 16
  en las tomas eléctricas, 156
carta psicrométrica, 182
caucho, 220
celulosa
  proyectada, 126
  aislamiento de, 235
cenizas volantes, 218
centros de cuidados, 121
césped, 56
CFC, 224
chimenea, 87, 89, 109, 127, 172, 190
  CHP, 163, 199, 201
ciclo hidrológico, 50
cimentaciones, 175
  superficiales protegidas frente a heladicidad, 213
cinta adhesiva, 92
cisternas, 165
claraboyas, 75, 77
climas fríos, 92
climatización, 187
  de barrio, 201
  eficiencia, 197
clorofluorocarbono, 224
cob, 222
cobertizos, 123, 174
cocinas, 169, 186, 199
Código Internacional de Conservación de Energía, 27
Código Internacional de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, 27
Código Internacional de la Construcción (IBC), 27, 41, 197
Código Internacional de la Construcción Ecológica, 27
coeficiente de rendimiento, 198
coeficiente R, 88, 104
coeficiente U, 98
cogeneración, 163, 199, 201
colectores
  de tubos de vacío, 208
  planos, 208
coloración de ventanas, 133
combustibles
  de calefacción, 188, 199
  elección de, 199
  fósiles, 188, 190, 193, 201, 205
  no renovables, 8
  tipos de, 188
combustión, 190
  sellada, 193
  ventilación, 87, 172
comedores, 186
comercio al por menor, 154

compensaciones de energía, 81
compuertas, 170, 173
volumétrica, 67
antirretorno, 87
compuestos orgánicos volátiles (COV), 223
condiciones térmicas ambientales para el confort humano, 182
conducción térmica, 89, 111
conducciones, 114, 176, 195
en desvanes, 117
eliminación de, 204
conductos
de extracción de humos, 89
de ventilación, 19, 75, 77, 86
aislamiento de, 115
fugas de, 115, 195
conservación del patrimonio, 9
construcción
disciplina, 10
forma, 57, 171, 244
simplicidad, 63
consultores en energía, 97
consumo base, 250
contadores
generales, 247
individuales, 247
contaminación
lumínica, 7, 8, 46, 150
nuclear, 7
contaminantes aéreos, 167, 174
contenido reciclado, 218
continuidad, 19, 88
de la envolvente térmica, 10
térmica, 111
contrapuertas, 89, 98, 108
control
de calidad, 229
de iluminación, 150
de temperatura, 139, 183
escalonado de luz natural, 102
gradual de la luz natural, 102
controladores
de velocidad ajustable, 157, 193
de velocidad variable, 157
de voltaje y frecuencia variables (VVVF), 158
controles avanzados de ascensores y escaleras mecánicas, 158
convección térmica, 89
corcho, 220
cortes de luz, 8
costes, 15, 23, 110, 131, 144, 166, 179, 203, 227, 230
de construcción, 58, 60, 66, 104, 106, 110, 131, 134, 140, 144, 155, 166, 179, 203, 230
en todo el ciclo de vida, 23, 253
netos a lo largo de la vida útil, 253
crecimiento inteligente, 39
cronogramas, 227
cuantificación de usuarios, 252
cuartos de servicio, 121
cubiertas, 75
a dos aguas, 76
a cuatro aguas, 76
acabados, 77
de cobertizos, 76
de pabellón, 76
en mansarda, 76
inclinadas, 76, 84, 109
lombardas, 76
planas, 77, 109, 122
receptividad, 76
trampillas, 122
ventilación, 109
vegetales, 110
uso, 82
curva de calefacción, 252

D

de afuera adentro, 10, 18, 54, 81
defectos, detección y prevención, 234
definición de edificio ecológico, 13
definición de requisitos, 236
demanda, ventilación, 170
departamento de planificación, 37
deshumidificación, 175
deshumidificadores, 175
deslumbramientos, 46, 100, 104
desmontaje, 216, 225
desvanes, 109, 113, 117, 127, 191
escaleras, 131
forjados, 19, 84, 86, 109, 127
trampillas, 19, 86, 89, 109, 127, 131
diagrama de zonificación térmica, 140
dilución, 168
dimensionado adecuado, 199
dinteles, 88, 213
dióxido de carbono (CO2), 3, 167
discapacitados, 9
discontinuidades, 19, 88
proyecto integrado, 22, 81, 97, 228
dispersión de la iluminación, 47
diversidad biológica, 7
documentación, 247
dormitorios, 105
drenaje, 81
de pluviales, 50, 51, 53
duchas, 175
dunas primarias, 40
dúplex, 62
durabilidad, 226
duración del flujo de agua, 161

E

ecología relativa, 15
economizadores, 199
edificios
bajos, 104
de comercio al por menor, 62
dominados por el núcleo, 72
ecológicos, 6, 7, 13
en altura, 104
efecto chimenea, 65, 85, 108, 116, 127, 141, 178
eficacia de la ventilación, 177, 179
eficacia luminosa, 149
electrónica, 156
elementos externos al edificio, 73
elementos naturales, 42
embellecedores de ventanas, 106
emisiones de carbono, 3, 9, 44, 229, 232, 239, 250
compensaciones, 219
emplazamiento, 38
enchufes, 156
encofrados aislantes de hormigón, 93
energía
en origen, 249
eólica, 209
geotérmica de fuentes termales, 206
incorporada, 94, 132, 212, 219
nuclear, 205
parasitaria, 72, 192
renovable, 56, 205
solar, 65, 166, 206, 244
solar fotovoltaica, 206
solar pasiva, 132, 209
solar térmica, 75, 166, 206, 207
ventilación, 169
ENERGY STAR, 71, 176, 197, 239
enlucido, 96

entrada, 105, 107, 121
entramados mejorados, 94, 213
envolvente, 35, 83
  exterior, 84
  interior, 84, 125, 174
  térmica, 84, 116, 170
equilibrio de la temperatura del aire, 114, 122
equipos compactos de aire acondicionado en muros, 87
erosión, 42
escaleras, 127
  cajas de, 105, 121
  de ático, 122, 131
  desembarcos, 105
  exteriores, 121
  mecánicas, 157
  peldaños y contrapeldaños, 127
escombros, 44
escorias, 218
escorrentía, 42, 50
escuelas, 151
espacio
  de secado, 157
  función, 105
  de almacenaje, 123
  de servicio, 105
  ocasionalmente ocupado, 122
  para la práctica musical, 185
  perimetral, 72
  regularmente ocupado, 103
  sin acondicionar, 107, 113, 174, 191
  sin acondicionar no reconocido, 120
especies en peligro de extinción, 7, 40
especies nocturnas, 7
espuma aislante, 235
estaciones de recarga eléctrica, 45
estándares, 1, 25
estratificación de la temperatura, 181
estructuras vistas, 214
estudios comparativos, 247
evitar generar residuos, 214
excesivamente ecológico, 71
expansión directa, 189
extractores de humos, 75, 109, 168
  de cocinas, 171, 175

F

fábricas, 162, 188
fachadas, 81
facturas de servicios, 11
falsos techos, 120
felpudos, 172
fertilizantes, 52
filtración, 85, 106, 168, 175
  lugares de, 87
filtros, 115
  filtros de alta eficiencia, 175
  filtros químicos, 175
fiscalidad
  facilidades, 254
  subsidios, 254
flujo variable de refrigerante, 192, 203
Forest Stewardship Council (FSC), 220, 223
forjados de desvanes, 126
fotosensores, 150
fractura hidráulica, 7, 200
frenos regenerativos, 158
fuentes, 53
fugas, 161, 175
  de aire, 89
funcionamiento y mantenimiento del edificio, 174
fungicidas, 52

G

ganancias
  internas, 174
  solares, 183
garajes, 105, 119, 128, 152, 174
  adosados, 113
gas natural, 8, 188, 199
gasoil, 199
generadores de emergencia, 186
generar menos residuos, 214
gestión
  de residuos sólidos, 225
  integrada de plagas, 52
  integrada de residuos sólidos, 225
grandes cargas eléctricas, 157
grava, 54
Green Globes, 29
Green Label, 223
Green Seal Standards, 223
grifos de baño, 161
guías, 25

H

hábitat, 50
  inventarios, 40
HCFC, 224
herbicidas, 52
HERS, 31, 71, 239
HFC, 224
hidroclorofluorocarbono, 224
hidrofluorocarbono, 224
hielo polar, 9
hogares, 200
hormigón permeable, 51
hornos, 115, 188
  de leña, 196, 200
hospitales, 162
hoteles, 65, 107, 162, 170
huella, 57, 60
humedad, 54, 131, 167, 171, 175, 180, 242
  interior, 175
  relativa, 175
humedales, 40
humo de tabaco, 167, 171, 172

I

ICF, 93
Iluminación
  ambiental, 154
  artificial, 46, 100, 145
  banda neutra de control, 154
  cenital, 99
  control, 150
  control en exteriores, 152
  de acceso, 153
  de seguridad, 150, 153
  de senderos, 46
  de trabajo, 148
  decorativa, 154
  densidad de potencia, 148
  directa tipo *full cutoff*, 46
  proyecto fotométrico, 147
  empotrada, 127
  exterior, 150, 152, 242
  fluorescente, 149
  halógena, 149
  impacto en la refrigeración, 155
  incandescente, 149
  invasiva, 46
  lateral, 99
  LED, 149
  natural, 99, 101, 102, 104, 145
  optimizada, 147
  prestación de potencia, 148
  reflectancia, 134, 243

iluminancia, 100
imágenes de proyecto, 81, 155
impermeabilizante, 54
impermeables, superficies, 50, 51
impresoras, 186
incentivos
  divididos, 248
  incentivos gubernamentales, 254
índice de uso de energía, 250
infiltración, barrera, 87
infraestructura, 212
ingeniería estructural, 97
inodoro
  de descarga dual, 160
  seco, 160
inspección, 237
interruptor multinivel, 150
interruptores conmutados, 150
intrusión, 54
inundaciones, 7, 50
  costeras, 2
irrigación, 50, 51, 56
  por goteo, 53
isla de calor, 43
  con cubierta, 43
  sin cubierta, 43

J
jardinería orgánica, 52

K
kriptón, ventanas de doble hoja con relleno de gas, 98

L
lavaderos, 105, 121, 152, 156
lavado de cara ecológico, 71
lavadoras, 156, 160
lavanderías centrales, 156
lavavajillas, 156, 160
Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), 10, 28, 41, 45, 58, 70, 103, 219, 220, 236, 237, 239, 243, 253
  para viviendas, 58, 71
legionela, 185
leña, 188
libro del edificio, 247
licencias, 228
limahoyas, 77, 109
límites de la propiedad, 35
limpieza, 174
linóleo, 220
lista de cortes, 214
Living Building Challenge, 32, 41
llanura de inundación, 40
losas, 173
  aislamiento, 112
lucernarios, 99
lugares vulnerables, 40, 42, 44
luminaria directa, 46

M
madera, 200, 220
  acabados, 174
  montantes, 88
  muros entramados, 94
  pellets, 188, 200
  preservantes, 223
  resistencia a la pudrición, 52, 223
  virutas, 188, 200
malas cosechas, 2
malestar, 104, 169
malnutrición, 2
manchas, 223
mantenimiento, 23
marcos de puertas, 107, 108
masa térmica, 92, 132
materiales
  ahorro, 215
  cantidades, 214
  de baja toxicidad, 222
  de bajas emisiones, 223
  de regeneración rápida, 220
  proyecto eficiente, 213
  eficiencia de uso, 226
  impactos después de la construcción, 225
  imperfectos, 215
  locales, 219
  no tóxicos, 222
  peligrosos, 211
  reciclados después del consumidor, 218
  reciclados durante la manufactura, 218
  recuperados, 215, 216
  reutilizados, 216
  sin uso previo, 219
  tóxicos, 211
  transparencia, 226
mediciones, 236, 247
  cargas de combustible, 249
  contadores generales, 247
  contadores individuales, 247
  de agua, 247
  de cargas de combustible, 249
  de los consumos de servicios, 247
  de luminosidad, 134
  de servicios, 247
  del confort, 181
mejora permanente, 234, 236
mejoras del grupo I: reducción de costes, 230
mejoras del grupo II: sin costes añadidos, 231
mejoras del grupo III: con costes añadidos, 231
membranas, 223
métricas, 247, 249
minería, 211
modelos energéticos, 72, 132, 237
modulación de corriente continua por ancho de pulsos, 158
moho, 54, 175, 180
montantes, 213
  de madera, 88
  metálicos, 88, 92
  separación, 213
motores, 157, 169, 176
  de bombas, 72
  de eficiencia premium, 157, 176
  de velocidad variable, 193
  de ventiladores, 72
muelles de carga, 170, 172
muerte de peces, 43
muros, 91
  aislamiento, 92
  bajos, 126
  cámaras de aire, 109, 131
  cámaras de aire sin sellado, 129
  cortina, 95
  de entramado de madera, 94
  de entramado metálico, 95
  de fábrica, 91
  de hormigón in situ, 93
  medianeros, 62, 109, 129
  reflectancia de, 101

N
naturaleza, 257
neto cero, 65
nivel de actividad, 180
normativas, 25
  energéticas, 199, 254

núcleos, 64, 72
número de ventanas, 105
número óptimo de plantas, 64

O

oficinas, 105, 151
olores, 167
orientación, 68
ozono, 43
  potencial de agotamiento, 224

P

pacas de paja, 220, 221
paisajismo, 48, 52
Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), 2
paneles
  aislantes, 94, 214
  sándwich de hormigón, 93
  solares, 56, 78
  solares fotovoltaicos, 75, 206
  solares montados sobre el terreno, 56
  unitarios, 95
pantallas, 74
  aisladas, 133
papel de construcción, 173
parapetos, 88, 91
parcela, 35
  ahorro de agua, 50
  calidad del agua, 50
  elección, 36
  energía, 249
  gestión de residuos, 44
  gestión del agua, 50, 171
  inventario, 40
  previamente urbanizada, 41
partículas, 167
pasillos, 105, 121, 151, 152
  exteriores, 66
  interiores, 66
Passivhaus, 30, 71, 239, 250
pavimentos permeables, 51
pellets de madera, 188, 200
pensar como comunidad, 37
percolación, 51, 53
pérdidas
  a través del terreno, 111
  de distribución, 162, 192
  en ventanas, 104
  hacia el terreno, 111
  por distribución, 162, 192
  por radiación, 89, 104
perfiles de soporte, 88, 91
persianas, 73, 74, 133
perturbación, 42
petróleo, 8, 188
piedra, 222
pinturas, 174, 223
piscina, 175
plaguicidas, 52
planificación del desmontaje, 225
plano de drenaje, 173
plano neutro de presión, 142
plantas, 64
pluviales, 50, 51, 52, 172, 175
polvo, 172
porches, 88
Portfolio Manager, 247, 250
potencia de bombeo, 195
prácticas laborales justas, 9
prerrequisitos, 26
preservación, 41, 217
previsión de usos, 181
principios, 15
productividad, 8, 23
profundidad de crujía, 66
propano, 188, 199
proporción de ventanas en el muro, 81, 103
proporción óptima de ventanas en el muro, 100
protección frente al viento, 48
proteger los materiales antes de su uso, 226
puentes térmicos, 88, 190
puertas, 80, 107
  aisladas, 107
  burletes inferiores, 107
  correderas, 108
  de acceso, 108
  de balcones, 80
  de sótanos, 130
  de vestíbulos, 108
  dobles, 108
  interiores, 107
  marcos, 107, 108
  umbrales, 108

R

radiadores, 193, 198
radón, 173
reajuste con condiciones exteriores, 199
receptáculos, 156
receptividad de cubiertas, 76
reciclables, 225
reciclaje, 164, 212, 225
  de agua, 164
recogida aguas pluviales, 51, 81, 165
recuperación de calor de aguas grises, 164
recuperación de residuos, 226
redes de suministro eléctrico, 8
reducción de contaminantes en la fuente, 168
reducción en la fuente, 174
reducir las pérdidas en las ventanas, 105
reflectancia, 101, 134
  de alfombras, 136
  de iluminación, 134
  de muebles, 101
  de paredes, 101
  de suelos, 101, 135, 136
  de techos, 101, 136
  interior, 101
  solar, 43
refrigeración, 156
  desecante y deshumidificación, 202
  evaporativa, 202, 208
  gratuita, 199
  pasiva, 182
  por aire, 189
  por líquido 189
refrigeradores, 156, 189, 192, 198
refrigerantes, 188, 189, 224
  comprobación de fugas, 225
rehabilitación integral, 37
reintroducción de vida vegetal, 42
rejillas, 172
relación de superficies, 59
relación entre ahorro e inversión, 253
relación entre superficie y volumen, 67
relleno, 37
rendimiento del edificio, 11
renovaciones por hora, 171, 234
requisitos de proyecto, 39, 150, 153, 183, 225, 239
residencias de la tercera edad, 121
residuos
  de construcción, 211
  espacios para la gestión de, 44
  reducción de, 226
resistencia, 59, 88
resistencia térmica, 88
RESNET, 31, 239

respiraderos
conductos, 19, 77
de combustión, 87, 172
de cumbrera, 109
de extracción, 87
de secadoras, 87
en cubierta, 109
restauración, 41
de suelos, 42
retardo, sensores de movimiento, 151
retención, 51
retorno de la inversión, 253
retroalimentación, 236
reuniones de proyecto, 236
reutilización, 225
in situ, 217
revestimientos, 16, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 173
revoco, 96
riego por goteo, 53
robustez, 230, 234
ruido, 8, 185
transmisión, 185

S

salas de espera, 152
salas de máquinas, 113, 116, 121, 195
salidas de humos, 87
salud y confort, 8
secadoras, 175, 199
ventilación, 87
secuencias, 227
sedimentos, 53
trampas, 53
seguimiento y supervisión, 247
seguridad, 46
sellado, 86, 127, 131
de conductos, 176
sellado de, 176, 235
sellantes, 223
sensores de movimiento, 46, 150
con retardo, 151
de activación automática, 152
de activación manual, 152
de ocupación, 152
sensores, 160
de movimiento, 46
de movimiento con encendido manual, 152
pasivos de infrarrojo, 151
sensores de ocupación, 152, 235
ultrasónicos, 151
señalización, 154
separador reforzado con fibra de vidrio, 91
significación histórica y cultural, 26
simulación energética, 24, 132, 237, 239, 245
simulación informática, 72, 104
sistemas
avanzados de climatización, 201
basados en refrigerantes, 190
combinados de calentador, torre y bomba de calor, 196, 200
compacto de aire acondicionado, 197
compacto, 189
de distribución, 114
de refrigeración por expansión directa, 189
de refrigeración sin conductos, 188
de vapor, 190
dedicados de aire exterior, 178, 202
en muros, 197
pruebas de rendimiento, 246
radiantes, 184
separados, 189
sobre cubierta, 75, 189, 194
soleras, 111
solicitudes de licencias, 236
sostenibilidad, 1
sótanos, 54, 105, 113, 115, 171, 191
puertas, 130
submedición, 247
subsidios públicos, 254
suciedad arrastrada por los pies, 55
suelo, 42, 56, 11
agrícola, 7, 40
aislamiento, 111
de cubierta, 7, 42, 51
erosión de, 50
protección de, 42
radiante, 193, 198
reflectancia, 101, 135, 136
sobre solera, 111
suministro eléctrico, 156
superficies
en planta, 57
impermeables, 50
interiores reflectantes, 134
permeables, 51

T

tableros
de paja, 220
de yeso, 91
de yeso con contenido reciclado, 219
reforzados con fibras naturales, 220
talleres, 174
tamaño óptimo de ventanas, 100
tapajuntas, 173
tapial, 221
tejas, 78
temperatura del aire, 180
control de, 139, 183
en espacios sin acondicionar, 124
equilibrio de, 114
estratificación de, 181
interior, 242
radiante, 181
temporizadores, 150
termosifónico, flujo de aire, 129
terrazas, 82
testeros, 213
tierra agrícola de máxima calidad, 40
toldos, 73, 77
de cubierta, 77
de ventanas, 105
toma de aire, 172
toma de riego, 49
tomas exteriores, 107
topología, 90
torres de refrigeración, 48, 185, 191, 192, 196, 198
tragaluces, 82, 99
trampillas de acceso, 127
a la cubierta, 122
al desván, 86, 109, 131
transferencia de calor, 59, 80
transformadores, 48, 157
transparencia, 226
transporte, 44, 51
tuberías, 114
aislamiento, 115
tubos fluorescentes, 101

U

umbrales de puertas, 108
urbanización centrada en la gente, 39
urinarios sin agua, 160
uso de la cubierta, 82
utilizar menos material, 212, 215

V

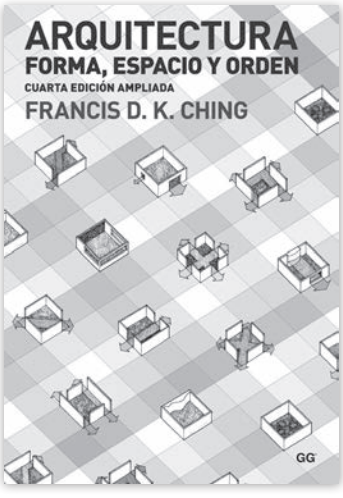
valores, 253
valores del propietario, 39
válvulas de mezcla, 185

vapor, 188
vectores de enfermedades, 2
vegetación, 55
  autóctona, 53, 56
vehículos, 45
  compartidos, 45
  de bajas emisiones, 45
  eléctricos, 45
  pequeños, 45
velocidad variable
  bombas de calor, 192
  controladores, 157, 193
  motores, 193
ventanas, 98, 243
  aire acondicionado, 87
  batientes, 105
  contraventanas, 89, 98
  correderas, 105
  de alto rendimiento, 98
  de baja emisividad, 98
  de doble hoja, 98
  de guillotina, 105
  de triple hoja, 98
  fijas, 105
  malestar térmico, 104
  marcos, 106
  número de, 105
  pérdidas por radiación, 104
  pérdidas térmicas, 100, 103
  perímetro, 106
  persianas, aislamiento, 133
  practicables, 105, 178, 184
  proporción, 81, 103, 235, 243
  proporción óptima, 100
  reducción de pérdidas, 105
  tamaño, 105
  tamaño óptimo, 100
  tintadas, 133
ventilación, 140, 168, 176
  a demanda, 170
  con recuperación de calor, 176
  con recuperación de energía, 82, 176, 181
  cruzada, 179
  de cumbrera, 109
  eficacia, 177, 179
  energía, 169
  natural, 178
  nocturna, 132
  supervisión, 177
  tomas de aire, 87
  zonificación, 140
ventiladores, 157
  de extractores, 109
  de turbina, 178
  de ventana, 178
  motores, 72, 176
  potencia, 195
ventiloconvectores, 183
  basados en agua, 195
vertederos, 7, 44, 211, 225
vestíbulos, 105, 113, 121, 122, 151
  estancos, 108, 114, 172
vida silvestre, 46
vida vegetal, 42
vidrio, 101, 103, 108
  transparente, 101, 103, 108
viento
  aerogeneradores, 56, 209
  captadores, 178
  erosión, 42
  protección, 48
virutas de madera, 200
vistas, 103, 104
viviendas
  adosadas, 107
  en hilera, 62
  móviles, 118
  plurifamiliares, 170
  unifamiliares, 170
voladizos, 73, 172
volumen variable de aire, 183

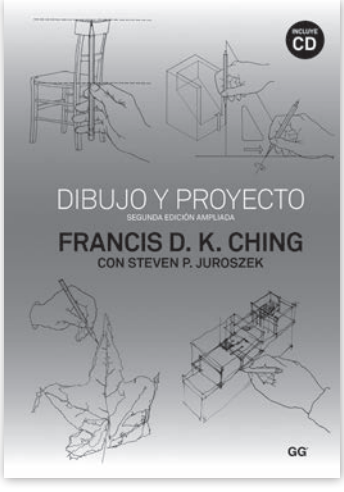
Z

zaguanes, 113, 121
zona de amortiguación, 40
zona de confort, 182
zona de respiración, 170, 177, 179
zonas ajardinadas, 51
zonas con riesgo de inundación, 40
zonas de descanso, 186
zonas duras, 43, 51
zonas verdes, 9, 40
zonificación, 81, 137, 242
  de la ventilación, 140
  térmica, 137, 242

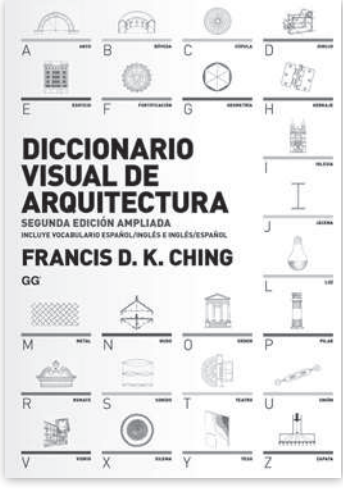
Otros títulos de Francis D. K. Ching



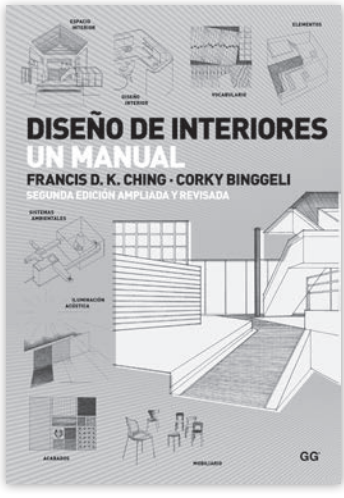
Arquitectura. Forma, espacio y orden
21 x 30 cm
446 páginas
ISBN: 9788425228698



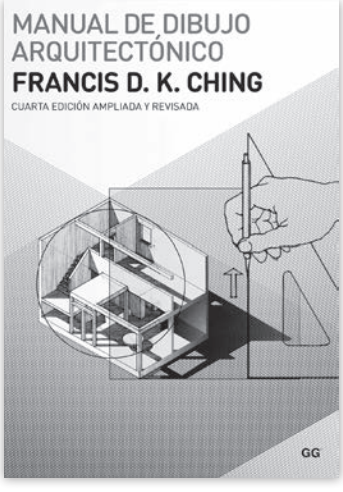
Dibujo y proyecto
Con Steven P. Juroszek
21 x 30 cm
408 páginas
ISBN: 9788425225079



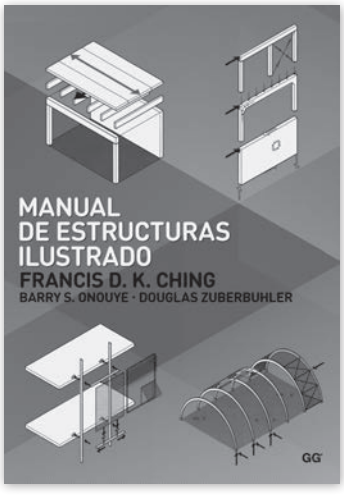
Diccionario visual de arquitectura
21 x 30 cm
360 páginas
ISBN: 9788425227868



Diseño de interiores. Un manual
Con Corky Binggeli
21 x 30 cm
366 páginas
ISBN: 9788425227905



Manual de dibujo arquitectónico
21 x 30 cm
250 páginas
ISBN: 9788425225659



Manual de estructuras ilustrado
Con Barry S. Onouye y
Douglas Zuberbuhler
21 x 30 cm
311 páginas
ISBN: 9788425225420

Una historia universal de la arquitectura. Un análisis cronológico comparado a través de las culturas. Vol 1. De las culturas primitivas al siglo XIV
Con Mark M. Jarzombek
y Vikramaditya Prakash
21 x 28 cm, 456 páginas
ISBN: 9788425223792

Una historia universal de la arquitectura. Un análisis cronológico comparado a través de las culturas. Vol 2. Del siglo XV a nuestros días
Con Vikramaditya Prakash
y Mark M. Jarzombek
21 x 28 cm, 370 páginas
ISBN: 9788425223891