



Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)



Madrid Ahorra con Energía



La Suma de Todos



Comunidad de Madrid

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

# Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

SOLUCIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES EN LA EDIFICACIÓN



# Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



Fundación de la Energía de  
la Comunidad de Madrid



[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

**Comunidad de Madrid**

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)



La Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas u opiniones que en ellos se exponen y, por lo tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

Coordinación y revisión: Yolanda Izquierdo Mena  
Dirección General de Industria, Energía y  
Minas

Dibujo de portada: *"Si decides ahorrar, por nuestra casa empezar"*  
Elena Muñoz Martín – Colegio Fray Pedro de Aguado de Valdemoro.  
Primer premio de 4º de Primaria del III Concurso Escolar de Dibujo  
*"Energía mejor consumida 2008/2009"*

Maquetación e impresión: Gráficas Arias Montano, S. A.  
28935 MÓSTOLES (Madrid)

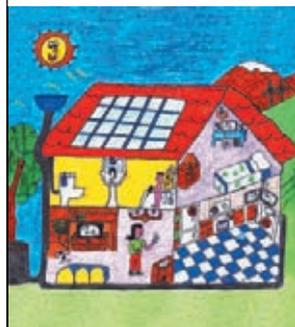
Depósito legal: M. 7.101-2010

Documento disponible en Internet:  
<http://www.fenercom.com/pages/publicaciones/libros-y-guias-tecnicas.php>

Impreso en papel ecológico 100%

# Índice

P	PRÓLOGO	5
1.	ENERGÍA CERO PARA LOS EDIFICIOS <i>D. Guinea, M. C. García-Alegre</i>	7
2.	ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA <i>Dña. Edurne Zubiri Azqueta</i>	25
3.	AISLAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS <i>Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes</i>	49
4.	PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA CERTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS - Ce2 <i>Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes (Andimat)</i>	71
5.	PROCEDIMIENTO ABREVIADO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN (CERMA) <i>Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración</i>	85
6.	ILUMINACIÓN NATURAL <i>Dña. Rocío Cruz Chaves</i>	95
7.	SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTE <i>D. Santiago Julián Alcolea</i>	105
8.	DOMÓTICA <i>Asociación Española de Domótica (Cedom)</i>	129
9.	ELECTRODOMÉSTICOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES <i>Dña. Noelia Vela Pardos</i>	145
10.	TECNOLOGÍAS DE CALEFACCIÓN DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA <i>D. José María Durán</i>	175





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- |     |   |     |
|-----|---|-----|
| 11. | CLIMATIZACIÓN INVISIBLE<br><i>D. Michele Dambra</i>   | 189 |
| 12. | BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS<br><i>D. Miguel Zamora García</i>   | 219 |
| 13. | LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN<br><i>D. Ramiro Caballero Díaz</i>   | 237 |
| 14. | SOLUCIONES A MEDIDA PARA LA INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA<br><i>D. Luis Carlos Blanco Machón</i>   | 257 |
| 15. | ASCENSORES DE ÚLTIMA GENERACIÓN<br><i>D. Rafael Macía Aparicio</i>  | 279 |
| 16. | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS APARCAMIENTOS MECÁNICOS, APARCAMIENTOS ROBOTIZADOS Y SEMIAUTOMÁTICOS<br><i>D. Luis de Pereda Fernández</i> | 309 |

# P RÓLOGO

Para la mayoría de los ciudadanos, la compra de una vivienda supone la mayor inversión a lo largo de su vida, con un tiempo de permanencia en la misma que oscila entre los 20 y los 40 años.

Dentro de las prioridades de compra se encuentran lógicamente una gran diversidad de factores: accesibilidad, habitabilidad, confortabilidad, disponibilidad de servicios, etc., habiéndose olvidado en muchos casos el factor vinculado al consumo energético.

Tradicionalmente, el sector de la construcción ha buscado la rentabilidad a corto plazo, obviando factores como el citado anteriormente. Es como si hubieran primado los factores cortoplacistas frente a los de largo plazo o, dicho de otro modo, ha primado el vender a toda costa sacrificando parte de la calidad y de la rentabilidad a largo plazo.

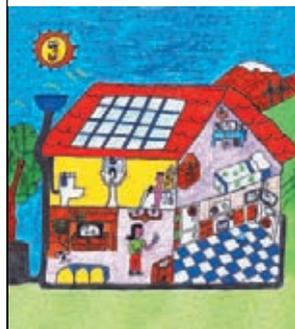
Todo ello ha estado unido a una carencia de información hacia el público en cuanto a las características energéticas de las viviendas.

El sector residencial consume, aproximadamente, la cuarta parte de toda la energía demandada, estimándose que el potencial de ahorro está entre el 30% y el 40 %.

Un edificio de viviendas puede asimilarse a un ser humano. Dispone de una estructura que le da estabilidad, equivalente al esqueleto de una persona; una envolvente térmica a lo largo de las fachadas y cubiertas, asimilable a la epidermis; y una serie de instalaciones y sistemas internos: para calefacción y refrigeración, para iluminación, para suministro de agua, etc., equivalentes a los diferentes sistemas y órganos vitales de un ser vivo.

Desde un punto de vista energético, todos ellos configuran un sistema complejo, que debe estar armoniosamente equilibrado, a través de un adecuado diseño, que contemple el uso del edificio, las condiciones climatológicas del lugar, la estacionalidad, etc., intentando lograr un uso racional de la energía.

Recientemente, y como consecuencia de la adaptación de la normativa vigente a las diferentes Directivas europeas, han visto la luz di-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

versas disposiciones que constituyen un punto de inflexión en la forma de trabajar en el sector de la edificación. Tres son los pilares básicos de este cambio: el Código Técnico de la Edificación, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y la obligatoriedad de certificar energéticamente a éstos informando a los compradores de la clase que poseen.

Básicamente, tres son las vías de reducción del consumo de energía en las viviendas: el diseño ecoeficiente o bioclimático de las edificaciones; la incorporación de instalaciones de aprovechamiento de las energías renovables, y el fomento de la eficiencia a través de equipamientos modernos, materiales innovadores, etc.

La publicación *Soluciones energéticamente eficientes en la edificación* se ha elaborado, con la colaboración de diferentes especialistas, con una clara vocación de la Comunidad de Madrid por aportar soluciones innovadoras y, al mismo tiempo, con el fin de concienciar a todas las personas que hacemos uso de las viviendas, pues no sólo es suficiente con el conocimiento de la tecnología, sino la aplicación y uso adecuado de la misma.

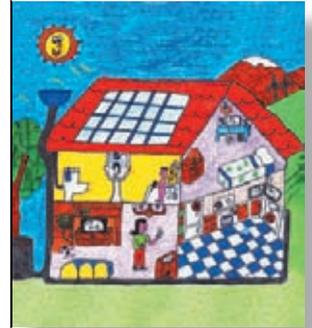
**D. Carlos López Jimeno**

Director General de Industria, Energía y Minas  
Consejería de Economía y Hacienda  
Comunidad de Madrid

# 1

## ENERGÍA CERO PARA LOS EDIFICIOS

D. GUINEA, M. C. GARCÍA-ALEGRE  
*Instituto de Automática Industrial CSIC*  
[www.iai.csic.es](http://www.iai.csic.es)



### 1. El uso de la energía por el hombre

Los avances científicos, el incremento del nivel de vida, el aumento de la población, el crecimiento económico son términos consustanciales al paso del tiempo tanto para el individuo como para el conjunto social. No siempre ha sido así. Durante miles de años para nuestra cultura, cientos de miles para la especie humana, el niño aspiraba a ser como su padre; objetivo que muchos infantes no lograban por la elevada mortalidad infantil. Alcanzar la vida adulta, procrear y conocer a los hijos en edad de valerse por sí mismos siempre ha sido la meta de cada ser humano, la garantía de supervivencia para la especie. Los cuidados de la madre, la capacidad de la caverna durante el invierno, el agua en el estío, la caza al alcance, la tierra disponible para la siembra han constituido límites a menudo insalvables para que el recién nacido llegue a la edad adulta y pueda contribuir al crecimiento de la tribu, del pueblo o de la nación.

Los recursos disponibles han determinado la forma de vida y el número de individuos que podía alimentar un territorio. El resto había de luchar por conquistar nuevos territorios contra el frío, la sed, las fieras u otros seres humanos o morir inexorablemente. Aunque el hombre sólo ha sido uno más en esta batalla por la vida de los individuos, de los grupos y de las especies, cualquier ser vivo se reproduce y desarrolla hasta el límite de los recursos disponibles.

Inusualmente, estas fronteras pueden abrir un hueco permitiendo una explosión de vida que no siempre perdura. Basta citar como ejemplo la estrategia de determinadas especies de poner enormes cantidades de semillas con la esperanza de que algunas de ellas logren sobrevivir en las extremas condiciones a que el entorno somete a sus individuos. Unas lluvias oportunas pueden hacer que los



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

huevo de los insectos eclosionen en un número muy superior al de costumbre y la vegetación pueda alimentarlos hasta la edad adulta. Sus necesidades crecen con el paso del tiempo y cuando acaban con los recursos a su alcance han de emprender un éxodo desesperado para la supervivencia. Así, arrasando cuanto encuentra a su paso, sólo el fin del alimento a su alcance pondrá fin a la plaga de langosta, nacida quizá en un lugar lejano al abrigo de un tiempo de bonanza.

## 2. La energía fósil

El hombre es la única especie que utiliza el fuego. Desde entonces los grandes bosques de las zonas más pobladas han ido desapareciendo lentamente, liberando terrenos para pasto del ganado y para el cultivo. Hace apenas dos siglos se hizo insuficiente la leña necesaria para alimentar las cocinas y estufas de las crecientes ciudades, los vapores que surcaban mares y ríos, las bombas de las nuevas minas y las máquinas de los telares. Fue preciso recurrir a la negra y maloliente herencia que la vida había acumulado lentamente bajo la tierra: primero el carbón, luego el petróleo, el gas natural, etc., y todo comenzó a cambiar muy deprisa.

La energía concentrada, abundante, liberaba esfuerzo y ofrecía enormes posibilidades, multiplicando los recursos para el transporte, la guerra, la construcción, la sanidad, la agricultura y la minería. En unas cuantas generaciones la población humana se multiplicó como nunca lo había hecho en cientos de miles de años de existencia hasta alcanzar en la actualidad más de 6.000 millones de individuos. Gracias a los combustibles los niños sobreviven a la infancia, la vejez se retrasa durante décadas, la producción se multiplica y una riqueza insólita fluye de minas y pozos hacia una humanidad en explosión.

Nunca tantos hombres poblaron la Tierra, nunca una sola especie influyó tanto y tan deprisa sobre el resto de los seres vivos, sobre ríos, mares, bosques e incluso sobre la atmósfera en su conjunto. El carbono lentamente acumulado por las plantas durante 3.000 millones de años, aprovechando una ínfima fracción de la radiación solar recibida, es devuelto a la atmósfera en unas décadas alterando en forma apreciable su composición.

## 2.1. Evolución de los recursos energéticos

En pocas generaciones la energía abundante se ha convertido en una necesidad perentoria para la población de los países desarrollados. Si durante el pasado siglo xx sólo una pequeña parte de los seres humanos tenían acceso al consumo masivo, hoy una porción importante de la población humana exige su participación en unos recursos necesariamente limitados por la naturaleza.

Desde la perspectiva actual es fácil olvidar que las fuentes de energía han variado drásticamente en su procedencia y cantidad a lo largo del tiempo, tal como se ve en la Fig. 1, en datos procedentes del libro de Miller, que incluye la profecía del hidrógeno como vector energético procedente de la radiación solar.

Hasta mediados del siglo xix el fuego de leña ha sido la fuente principal de energía para el ser humano y lo sigue siendo para el uso doméstico de una buena parte de la población. Sin embargo, su porcentaje respecto al total ha disminuido drásticamente en la actualidad debido al enorme incremento del consumo energético en otros sectores, incluida la vivienda de los países desarrollados.

También es interesante considerar la limitación a la disponibilidad de combustible nuclear para las centrales convencionales de fisión. En el gráfico de Miller, Fig.1, se constata que nunca será una porción muy importante de la generación global, aunque puede serlo para algunas regiones o países. Por otro lado, sus reservas no le auguran una supervivencia como recurso más allá que la del petróleo, por lo que difícilmente puede ser alternativa a éste en el futuro.

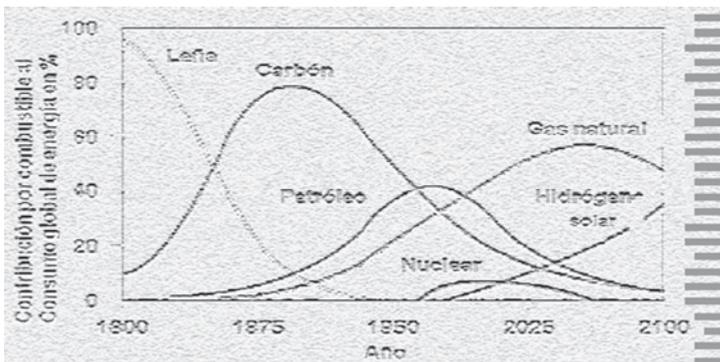
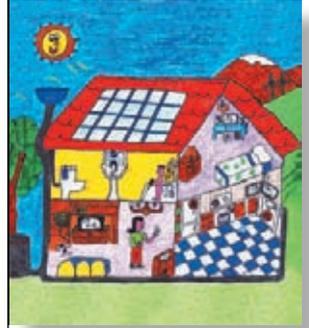
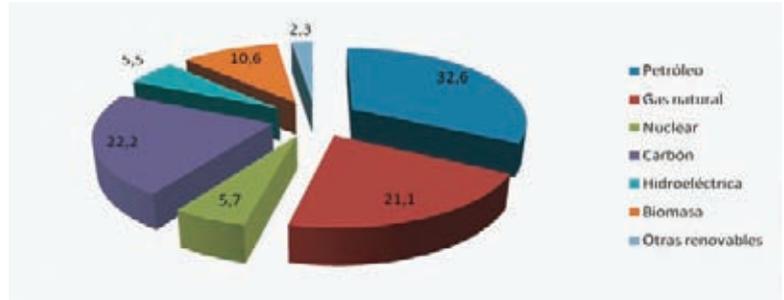


Figura 1. Evolución en el tiempo de la procedencia de la energía.



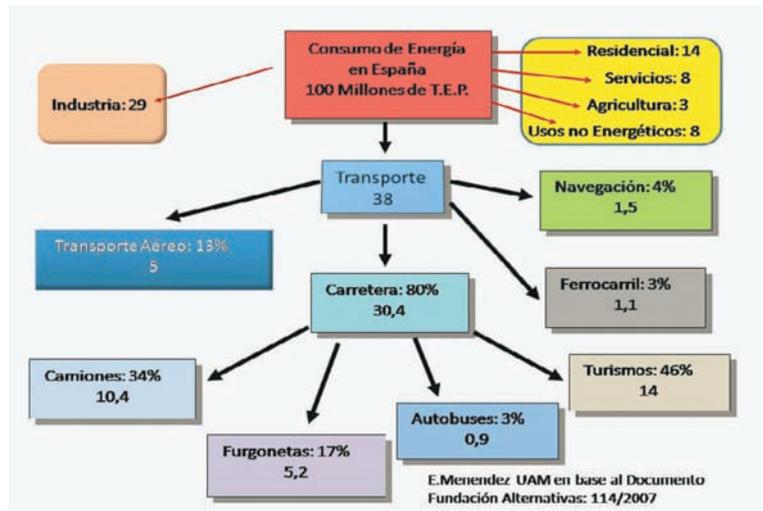
## 2.2. Necesidad de la energía

La Fig. 2 muestra el consumo actual en una perspectiva mundial del año 2004 realizada por Boyle, que confirma la estimación realizada tiempo atrás por Miller donde los combustibles fósiles, el petróleo, el gas natural y el carbón constituyen más de las tres cuartas partes de los recursos, mientras las renovables apenas llegan a la sexta parte del total.



**Figura 2.** Diagrama mundial de consumo de energía según su procedencia. (Boyle, *Renewable Energy*, Oxford University Press, 2004).

Esta enorme dependencia de los combustibles fósiles unida al incremento de la demanda en buena parte generada por el acceso de gran parte de la población a los usos de consumo occidentales. En nuestro país, según el esquema elaborado por el Dr. E. Menéndez a partir de datos de la Fundación Alternativas, Fig. 3, se pueden establecer tres grandes sumideros de energía: el transporte con casi un 40% del total, la industria con algo menos del 30% y el resto en el que el consumo de los edificios tiene un peso muy importante.



**Figura 3.** Diagrama español de consumo.

Excepto en los ferrocarriles con tracción eléctrica, el transporte se caracteriza por la necesidad de acumular energía sobre elementos móviles, sin posibilidad de aportación continua desde una red de transporte estática. La densidad de energía es una característica esencial en este sector, crítica para el transporte aéreo, que hasta el momento queda reservada casi en exclusividad a los hidrocarburos derivados del petróleo.

La naturaleza móvil de los vehículos y otros elementos móviles hace difícil y costosa la recuperación de flujos residuales, sean de productos químicos como el CO<sub>2</sub> liberado en la combustión, térmicos como el calor procedente de la refrigeración del motor o mecánicos en el proceso de frenado regenerativo del vehículo. Algo similar sucede en las aplicaciones estacionarias de baja potencia para vivienda o servicios, donde el uso de energía se encuentra muy distribuido a menudo procedente de conexión a redes terrestres de distribución eléctrica, gas natural, etc.

El uso de carácter industrial supone en muchos casos una elevada concentración en el uso de la energía: centrales de generación eléctrica, sector de metal en general con la siderurgia en particular, la cerámica, los cementos, las petroquímicas, etc. En este caso, tanto los esquemas de consumo como la recuperación de subproductos es más rentable aunque requieren recursos energéticos próximos, lo más adaptados posible a la naturaleza del consumo.

### 3. La eficiencia como recurso

#### 3.1. Rendimiento global del flujo de energía

En el citado texto de Miller se describe el porcentaje medio de uso en un país desarrollado tipo, de cada cien unidades de energía consumidas, Fig. 4.

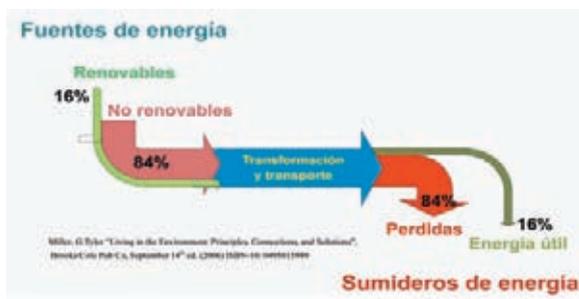
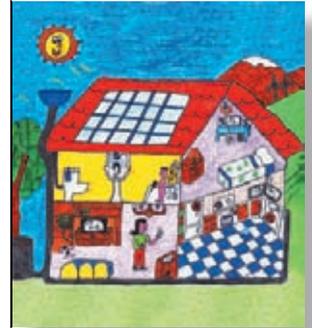


Figura 4. Eficiencia del sistema energético.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Sólo el equivalente a 9 unidades de las 100 consumidas alcanza la aplicación requerida por el usuario, 7 se concentran en materiales de alto contenido energético y el resto, hasta un total de 84, directamente se desperdicia en la extracción, transformación y transporte como producto o vector de energía. Cabe considerar que existe en la actualidad tecnología capaz de recuperar más de la mitad de esta energía actualmente desaprovechada.

### 3.1.1. La red eléctrica

Los esquemas actuales para distribución de energía se heredan de una época de combustible barato y supuestamente inagotable. La infraestructura de las redes de distribución es costosa y de lenta evolución, lo que supone que una gran parte de los elementos que la componen no incorporan tecnologías de última hora y fueron diseñados atendiendo más a limitar su coste de instalación que la eficiencia global del sistema. Por ejemplo, en la fase inicial de generación, las actuales centrales de ciclo combinado ofrecen un rendimiento notable, pero muchas de las convencionales de carbón, fuel o combustible nuclear son de baja eficiencia.

A la limitada eficiencia del ciclo térmico en la central se le ha de restar el consumo en la extracción, procesamiento y transporte del combustible, además del transporte, distribución y uso de la electricidad generada. Así, cada kWh que alcanza el radiador que calienta nuestra vivienda consume 6 kWh de recursos primarios en combustible, sin considerar lo que se puede desperdiciar de esta preciosa fracción con la ventana abierta de una habitación excesivamente caliente o con la ventilación forzada por la normativa arquitectónica de la cocina; hechos que multiplican el mal uso de las fuentes disponibles.

### 3.1.2. Del pozo a la rueda

La renovación de los elementos en el sector del transporte se realiza en plazos menores, pero tiene limitaciones de eficiencia similares en cuanto al empleo del ciclo de Carnot se refiere. Los materiales disponibles, su coste y duración determinan la temperatura máxima del foco caliente, mientras que la temperatura ambiente establece la del

foco frío. La diferencia entre ambos acota el rendimiento de la conversión del ciclo desde la energía térmica a la mecánica.

A pesar de los enormes avances en diseño, materiales y funcionamiento de los nuevos motores, la eficiencia de las dos etapas, desde el yacimiento de combustible al tanque del vehículo y desde éste a la potencia de tracción en la rueda, no supera en promedio las estimaciones de Miller para el sistema energético global.

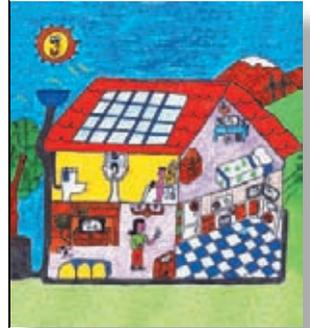
### **3.2. Ahorro frente a nueva generación**

Una visión pesimista de esta situación con una eficiencia global del sistema en torno al 16% concluye que para aportar al usuario cada nueva unidad de energía es preciso la aportación de recursos por valor de seis. Por el contrario, el ahorro de una parte recuperada dentro del esquema evita la generación de seis, así como los problemas de todo tipo a ello asociados en cuanto a su coste, la contaminación, la disminución de las reservas. Esto supone que el empleo de las tecnologías existentes y el desarrollo de otras nuevas para incrementar la eficiencia energética es, sin duda, el mejor yacimiento energético para el inmediato futuro.

## **4. Balance de energía en el planeta**

La posibilidad de mejorar los esquemas energéticos actuales es una necesidad inmediata, pero no la solución definitiva capaz de garantizar el suministro para las generaciones futuras. La demanda de combustibles difícilmente disminuirá, aunque puede limitar su crecimiento bajo la presión de unos precios cada vez más elevados en cuyo ascenso influyen la disminución de las reservas y el incremento de los costes de extracción.

En tanto la técnica nos garantice el acceso a nuevas fuentes de energía, tales como la fusión nuclear, es preciso determinar la naturaleza y aportación potencial de los recursos permanentes o renovables para establecer las adecuadas estrategias de desarrollo tecnológico y consumo racional. En una situación de equilibrio sobre la superficie terrestre la suma de aportaciones ha de ser igual a las pérdidas de





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

energía en un flujo de suma cero, Primer Principio de la Termodinámica. Este flujo de energía constante, que ha de considerarse necesariamente como nuestro único manantial seguro, tiene según M.K. Hubbert en 1972 tres orígenes, Fig. 5.

- **Interno: calor bajo la corteza**

El primero es el calor interno del propio planeta Tierra que lentamente se enfría aportando una radiación distribuida sobre la esfera superficial que se estima en unos 32 TW. Los pozos de gran profundidad permiten el acceso a temperaturas relativamente elevadas susceptibles de uso tecnológico, aunque en cantidades limitadas y a coste elevado. Sin embargo, en determinados lugares de la corteza terrestre el calor fluye espontáneamente a temperaturas elevadas en forma de lavas volcánicas o fuentes termales. Islandia, Lanzarote, Pirineos u otros puntos activos son ejemplos de ubicación potencial de aprovechamiento geotérmico de alta temperatura. Ahora bien, siendo una aportación localmente muy significativa su contribución global se limita a unos 0,3 TW.

- **Externo: la Luna y el Sol**

La interacción gravitatoria, principalmente de la Luna, sobre la masa líquida de los océanos en forma de mareas aporta una cantidad de energía cifrada en unos 3 TW. Su utilización sólo es posible en aquellos escasos lugares donde la potencia del movimiento marino, establecida por el caudal y el desnivel, pueda ser aprovechada por la configuración del terreno a un coste razonable de infraestructura.



Por último, se ha de considerar la energía que procedente de la radiación solar incide sobre la superficie de nuestro planeta en una cantidad estimada en 174.000 TW, cuatro órdenes de magnitud por encima de las anteriores. Esta energía es el común origen del calentamiento superficial (82.000 TW), del ciclo del agua (40.000 TW), del viento, olas y corrientes (370 TW) e incluso de la vida a partir de la síntesis orgánica en la función clorofílica (40 TW).

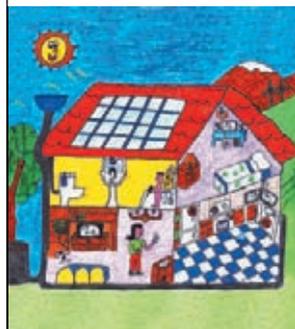
El Sol es, con enorme diferencia, la fuente de energía más importante y mejor distribuida, a partir de la cual la vida precedente acumuló los hidrocarburos que hoy constituyen los combustibles fósiles y liberaron a la atmósfera el oxígeno que hoy respiramos. Desde este punto de vista, el gas natural, el petróleo, el carbón, el viento, las olas o los saltos de agua no son sino subproductos, etapas de degradación o concentración de una energía que tuvo su origen en los rayos del Sol. Es importante también hacer constar el elevado porcentaje que la superficie terrestre captura de la radiación solar incidente: aproximadamente la mitad como promedio y hasta un 90% en el agua profunda de lagos, mares y océanos.

La generación de materia orgánica es, sin embargo, un proceso complejo de baja eficiencia con un balance energético próximo al uno por mil. Con este bajo rendimiento, difícilmente el uso de biomasa o los biocombustibles serán una fuente eficaz de energía útil para el futuro, aunque puedan constituir en determinadas condiciones un excelente negocio.

En resumen, el balance global de energía es tan favorable como desaprovechado. Según datos del IDAE, el consumo medio de una vivienda en España está próximo a los 100 kWh/m<sup>2</sup>año de los que el 70% es consumo térmico (calefacción, refrigeración y ACS) y el restante 30% es necesariamente eléctrico en iluminación, electrodomésticos, comunicaciones, etc. Frente a esta necesidad, el Sol proporciona sobre la cubierta por radiación directa unos 1600 kWh/m<sup>2</sup>año, muy superior a lo que se precisa en el interior de la vivienda. Parece claro que la solución no estriba en la consecución de nuevas fuentes de energía, sino en el mejor empleo de las disponibles.

## 5. A favor de la entropía

La Tierra es sólo un escalón de tránsito en el flujo de la energía que recibe del Sol y la que emite al espacio como radiación electromag-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

nética de mayor longitud de onda. La potencia recibida no es homogénea, sino que se concentra en gran medida en las bajas latitudes. Sin embargo, la emisión terrestre es casi uniforme, lo que implica un continuo bombeo de energía de las bajas a las altas latitudes. Ello se realiza en buena parte sobre los ciclos del agua originando la actividad atmosférica y oceánica.

Es fácil comprender que al mezclar medio vaso de agua caliente con la misma cantidad de agua fría conseguimos un vaso de agua templada. Lo mismo sucede con la temperatura del agua del pozo o la del fondo de la cueva, como promedio entre el calor del verano y el frío del invierno, cuya temperatura integra la gran inercia térmica del subsuelo. Pero el trabajo lo provoca la diferencia entre dos niveles térmicos y, por tanto, el flujo de energía entre diferentes temperaturas en el intento de la naturaleza de alcanzar la homogeneidad.

Volver a separar la mitad de agua caliente de la fría en el vaso de agua tibia es un desafío que ya se planteó Maxwell un par de siglos atrás con la propuesta de su famoso diablillo. Remar contra la corriente de la entropía es terriblemente costoso e ineficiente en procesos tan habituales como ignorados. La posibilidad de conseguir directamente una temperatura de confort en torno a los 24 °C a partir de la radiación solar no parece tarea difícil en nuestro clima, especialmente si logramos acumular y mantener el intenso calor del verano para su uso durante el invierno.

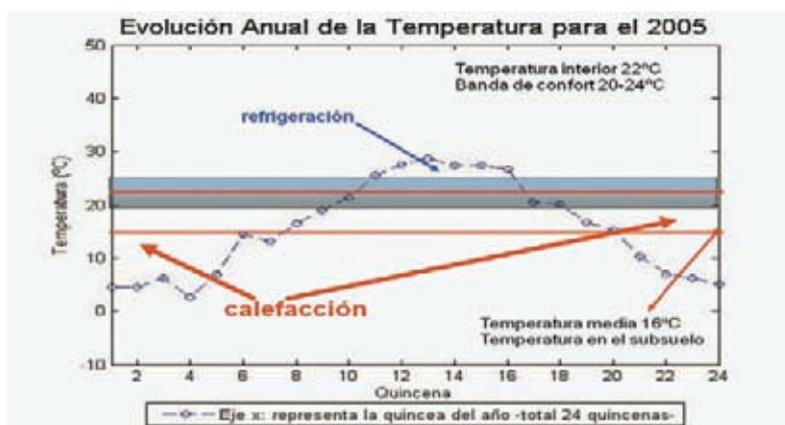
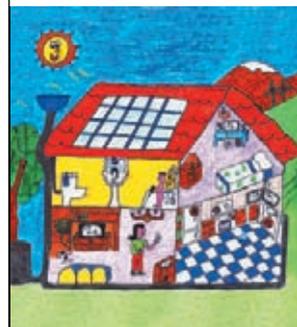
Ahora bien, no será tan sencillo y eficiente el proceso de concentrar la radiación en una central solar de alta temperatura para transportarla a varios cientos de grados utilizando como soporte aire, aceite o sales fundidas. Este flujo ha de ceder el calor para generar vapor de agua que accione una turbina que a su vez moverá un generador eléctrico cuya corriente será transformada en tensión varias veces para enviarla a gran distancia hasta el radiador eléctrico que calienta nuestro domicilio. Es evidente que en este caso se utiliza al final de la cadena una fracción ínfima de la energía incidente, en un esquema mucho más caro y complejo que el anterior, pero sobre todo con un rendimiento global mucho menor.

Por extraño que pueda parecer en una vivienda es mucho más frecuente el uso de calefacción eléctrica que solar directa. Puede ser una solución más cómoda y directa para el usuario, pero, sobre todo,

asegura un recibo perenne a la compañía suministradora y los impuestos correspondientes al Fisco, inexistentes ambos en el primer caso de autosuficiencia.

### a) Térmica: captura, acumulación y uso

Otro ejemplo tan próximo como significativo del esfuerzo habitual en contra de la entropía lo constituyen los sistemas de climatización basados en intercambiadores aire-aire. En aquellos reversibles para calefacción y refrigeración, el motor eléctrico que acciona el compresor para mantener el interior del edificio en la banda de confort de 20-24 °C ha de arrancar calor del aire exterior helado en una noche de invierno o forzar su expulsión al aire tórrido del mediodía de verano. La conductividad térmica relativamente baja del terreno y su gran masa lo convierte en un gigantesco acumulador que a poca distancia de la superficie mantiene la temperatura promedio de la zona, unos 15 °C en el entorno de nuestro laboratorio según la Fig. 6.



**Figura 6.** Evolución de la temperatura exterior en el terreno experimental del Laboratorio de Energías Renovables del IAI-CSIC en el campus de Arganda.

La eficiencia teórica o coeficiente de operación de una bomba de calor depende en gran medida del salto térmico entre el primario y el secundario, Fig. 7. Por ello, la sencilla utilización del subsuelo como fuente de nuestra bomba acerca drásticamente la temperatura de la fuente a la del interior de la vivienda en invierno y en verano la temperatura base de 16 °C puede emplearse directamente como base de refrigeración.

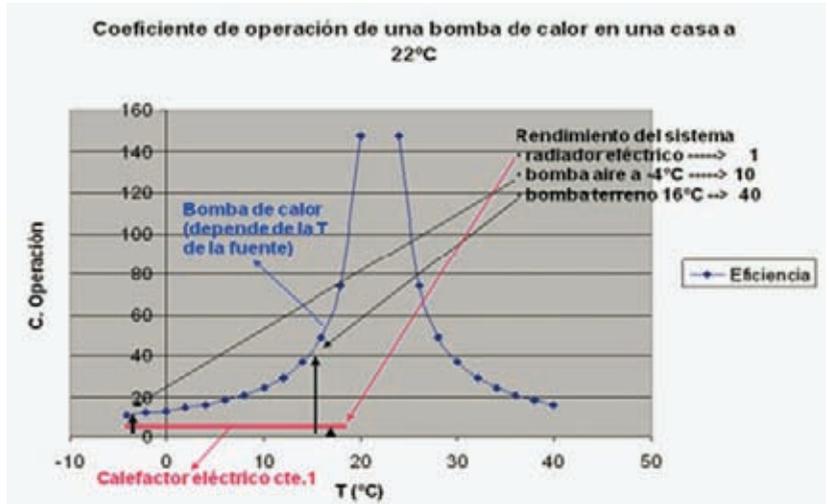


Figura 7. Eficiencia teórica de una bomba de calor en función del salto térmico.

Ahora bien, esta fuente de temperatura estable procedente del subsuelo puede utilizarse en forma tan eficaz sin aportación térmica, creando una isoterma o barrera térmica® (Krecke) entre dos capas aislantes, Fig. 8, en toda la envolvente del edificio. Alimentando el interior del muro con la temperatura del subsuelo, en torno a los 16 °C en nuestro laboratorio, no se aporta calefacción al interior del edificio, pero se modifica en buena medida el gradiente térmico a través del muro.

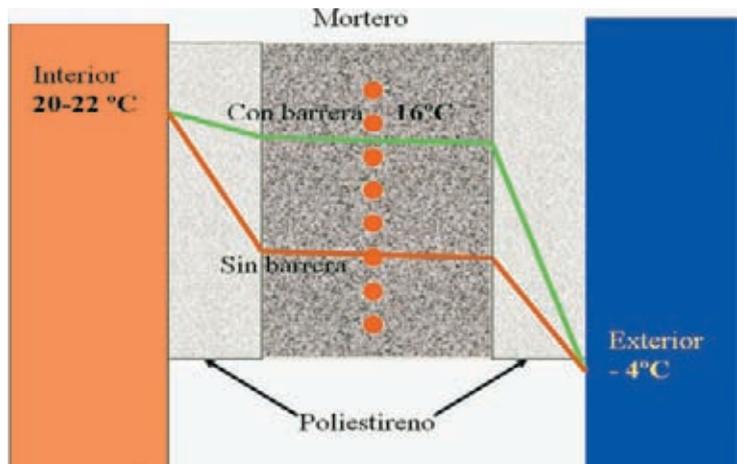
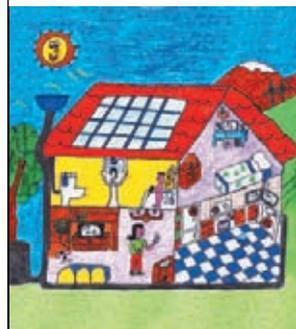


Figura 8. Muro con barrera térmica.

Las pérdidas de calor son proporcionales a la pendiente del gradiente de temperaturas, por lo que al elevar la del interior del muro el escape de energía de la vivienda se reduce notablemente. En estas circunstancias una parte considerable de la energía procede del calor acumulado en el terreno a un coste casi nulo, sólo el necesario para mover el fluido a través de los tubos que constituyen los cambiadores de calor bajo tierra y en la envolvente del edificio, Fig. 9.



**Figura 9.** Acumulación geotérmica selectiva en Campus del CSIC - Arganda.

Ahora bien, el flujo térmico procedente de los muros y de la cubierta puede ser dirigido a zonas diferentes del subsuelo en función de su temperatura. Este sencillo esquema posibilita un almacenamiento selectivo de calor o frío en función de los perfiles climáticos de la zona, evitando la deriva anual de la temperatura en los intercambiadores subterráneos. Por otro lado, permite el uso de estos geotanques en aplicaciones concretas tales como agua caliente sanitaria ( $T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), calefacción ( $25 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o refrigeración ( $T < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### **b) Electroquímica: el vector hidrógeno**

Si la acumulación en el subsuelo hace posible disponer del calor del verano para el invierno e incluso el frío del invierno para el verano en cantidad suficiente y con una eficiencia notable, es preciso también capturar la luz del día para iluminar la vivienda de noche o para accionar cualquier carga en el momento preciso.



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La energía recibida directamente del Sol es suficiente para satisfacer las necesidades del edificio, mediante su transformación y almacenamiento local, que se limitan a unos 30 kWh/m<sup>2</sup>año frente a los 1.600 kWh/m<sup>2</sup>año recibidos como radiación en nuestra latitud. Ello supone el desarrollo de un sistema capaz de aprovechar el 2% de la radiación recibida, aparentemente fácil dado el rendimiento de la tecnología fotovoltaica comercial de Si monocristalino cifrado en el 15% aproximadamente.



**Figura 10.** Generación eléctrica convencional frente a pila de combustible.

La limitada densidad de potencia de los acumuladores eléctricos convencionales sugiere el empleo del hidrógeno como base de almacenamiento y, en su caso, de transporte. Para ello es preciso convertir la energía eléctrica excedente durante las horas del día en hidrógeno a través del electrolizador pertinente. El almacenamiento de este gas en aplicaciones estacionarias no presenta los inconvenientes de densidad, compresión, volumen y peso propios de su empleo en los vehículos. El uso de tanques de hidruros metálicos o la simple compresión a unas decenas de atmósferas son soluciones aceptables para el hidrógeno en aplicaciones para la edificación hasta su uso posterior en una pila de combustible, Fig. 10, según el esquema utilizado en el prototipo de vivienda que muestra la figura, realizado por nuestro grupo de investigación para EXPOAGUA 2008 en Zaragoza, Fig. 11.

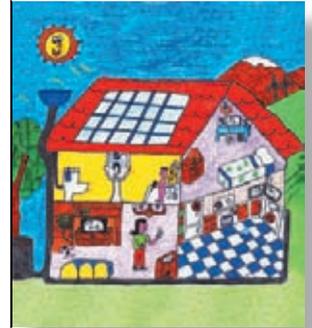
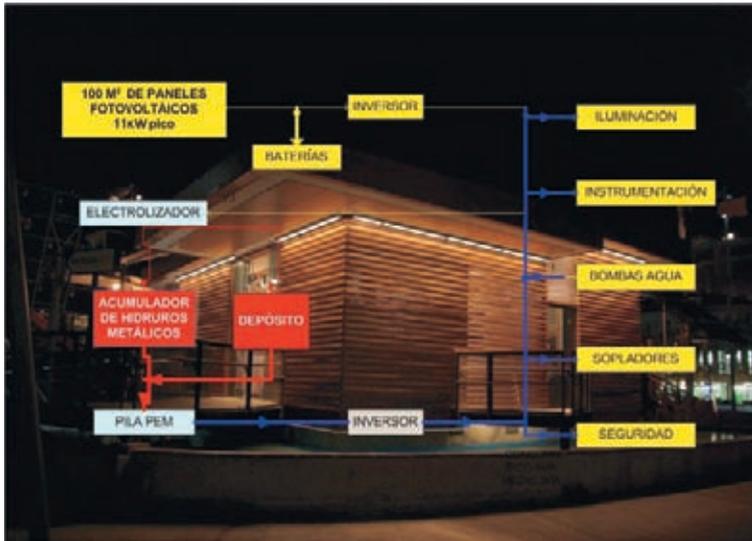


Figura 11. Hidrógeno en la "casa posible" de EXPOAGUA 2008 - Zaragoza.

Si bien la solución para proporcionar a los edificios la energía necesaria para su consumo térmico es técnica y económicamente competitiva en el momento presente, ya existe tecnología para la generación y uso del hidrógeno aunque su coste es aún excesivamente elevado. Por ello, el trabajo de nuestro grupo de investigación se centra en el desarrollo de nuevos sistemas de generación de hidrógeno y pilas de combustible más eficientes, ligeros y baratos.

## 6. Conclusiones

La energía es sólo una de las muchas exigencias de la presente civilización, al tiempo que el agua, los alimentos, el hierro, el cobre y un conjunto cada vez mayor de suministros, muchos de ellos no renovables en la naturaleza. Una población creciente de individuos con consumo en ascenso en un planeta con recursos limitados está inevitablemente abocada a la crisis. En épocas anteriores las guerras, epidemias o hambrunas han forzado el ajuste entre población y recursos, cabe la esperanza de que la civilización pueda ofrecernos una perspectiva más halagüeña para el futuro inmediato.

En las épocas de crisis graves, como los periodos de guerra o posguerra, es la población urbana más desarrollada la que sufre sus peores consecuen-



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

cias, en tanto que las zonas rurales más próximas a la economía de subsistencia se ven menos afectadas. La proximidad a la fuente del recurso es una garantía de acceso cuando comienza la escasez por problemas en los mecanismos sociales de producción, transporte o comercialización.

Las redes de energía con generación y acumulación distribuida surgen con fuerza y recuerdan una extensión de los esquemas de Internet al mundo de la potencia eléctrica y redes de combustible. La distribución inherente al recurso solar y el desarrollo de la transmisión de información sugieren para el futuro una población dispersa con alto grado de interconexión lógica con redundancia en la conexión local de energía, basada en la electricidad y el hidrógeno.

Las aplicaciones industriales de elevado consumo habrán de aproximarse y adaptarse a los lugares o fuentes de generación concentrada: centrales hidráulicas, parques eólicos, centrales de marea, etc. Los combustibles de elevada contaminación como el carbón se procesarán en centrales donde energía y productos orgánicos se acompañarán de la adecuada recuperación e inactivación de los flujos residuales.

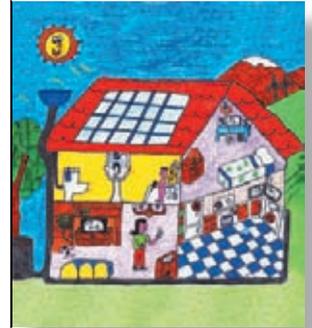
Economía y ecología, términos con la misma raíz de ascendencia griega (*oikos*), habrán de confluir en una sociedad de crecimiento adaptado a los recursos, condición indispensable para la supervivencia de la especie humana, junto a muchas otras hoy en trance de desaparición.

## 7. Agradecimientos

El MEC ha financiado el desarrollo de nuevos dispositivos de hidrógeno en el proyecto "Diseño y realización de una nueva Pila de Combustible polimérica de bajo coste y alta eficacia" MCYT-ENE2005-09124-C04-02/ALT, en ENE2008-06888-C02-02, y en ENE2009\_14750-C05-01. Los aspectos térmicos han sido posibles por confianza de EXPOAGUA para construcción e instrumentación de prototipos de vivienda autosuficientes a escala real. Las ideas, recibidas en largas conversaciones y numerosos documentos del Ing. E. Krecke, propietario de ISOMAX y creador de la Fundación TSW de construcción solar, han abonado una parte importante de este discurso. El PSE INVISO del MICINN ha financiado la proyección de estas técnicas a la Industrialización de la Vivienda Sostenible.

## 8. Bibliografía

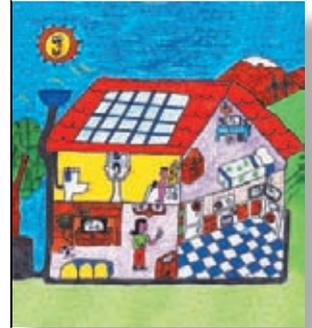
- BALLESTEROS, J. C. (2007): Energía solar térmica para generación eléctrica: estado actual y perspectiva inmediata, en *Energía Solar: Estado Actual y Perspectiva Inmediata*. Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI y Universidad Pontificia Comillas.
- BOYLE (2004): *Renewable Energy*. Oxford University Press.
- HUBBERT, M. K. (2007): Man's Conquest of Energy: Its Ecological and Human Consequences, en *The Environmental and Ecological Forum 1971-1972*. Atomic Energy Commission Publication TID-25858, 1972. Washington D.C., U.S.
- IDAE: *Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable*, 2ª edición.
- LÓPEZ, J. M.ª (2007): *El medioambiente y el automóvil*. Ed. Dossat.
- MENÉNDEZ, E. (2008): *El papel de las tecnologías en la gestión del Cambio Global*. Dept. de Ecología UAM. Madrid.
- MILLER, G. T. (2006): *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*. Brooks/Cole Pub Co., September 14th ed. ISBN-10: 0495015989.
- RIFKIN, J. (2002): *The hydrogen economy*. Tarcher. New York.





# 2 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

DÑA. EDURNE ZUBIRI AZQUETA  
MIYABI, *Espacios Urbanos Bioclimáticos*  
[www.miyabi.es](http://www.miyabi.es)



## 1. Situación actual

*"El sector de la vivienda y de los servicios absorbe más del 40% del consumo final de energía en la Comunidad Económica Europea y se encuentra en fase de expansión, tendencia que previsiblemente hará aumentar el consumo de energía..."*

Afirmaciones como ésta se encontraban ya en la Directiva 93/76/CEE, en el Libro Verde de la UE ("Hacia una estrategia para la seguridad del suministro energético en la UE") y en la Directiva 2002/93/CE. Estos datos reafirman la necesidad de reducir el consumo del sector de la edificación, tanto para reducir la dependencia energética como para cumplir los compromisos medioambientales tales como el Protocolo de Kioto.

Por todo esto, en los últimos años se están impulsando medidas para controlar y reducir su consumo energético en el sector de la edificación. En España, se están tomando medidas en el aspecto regulatorio con la implantación del Código Técnico de la Edificación (CTE), con su Documento Básico HE1 *Limitación de la Demanda Energética* y en el aspecto certificativo con el Real Decreto 47/2007, donde se establece la obligatoriedad de certificar energéticamente y de proporcionar a los compradores y usuarios de edificios la calificación energética mediante una escala que varía entre la clase A y la G.

El objetivo es lograr un uso racional de la energía para cubrir las demandas de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable. Para ello se incluyeron en el CTE algunas medidas como la mejora de la envolvente de los edificios y la eficiencia de sus instalaciones, etc.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

El fuerte impacto que tiene el sector de la construcción en España lleva a que el ahorro de energía en este sector sea uno de los principales retos a la hora de limitar las emisiones y la dependencia energética del exterior.

Las tres vías principales para lograr el ahorro de la energía son:

- Buscar diseños ecoeficientes en las edificaciones.
- Fomentar el uso de energías renovables.
- Fomentar el ahorro y la eficiencia en el uso de la energía a través del fomento de equipamientos eficientes, la innovación en materiales y la concienciación de los usuarios.

Además, hay que tener en cuenta que todo esto debe ir unido a conseguir el máximo confort en la vivienda.

## 2. La arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática tiene como objetivo principal hacer un uso eficiente de la energía y de los recursos garantizando unas condiciones de confort y la sostenibilidad del medio ambiente.

La arquitectura bioclimática es aquella que realiza el diseño de los edificios intentando minimizar su impacto ambiental y aprovechando los recursos disponibles y así reducir la demanda y el consumo de energía de un edificio. Además, siempre debe garantizar unas óptimas condiciones de confort y bienestar para sus ocupantes.

La arquitectura bioclimática debe estar íntimamente relacionada con algunos factores que determinan las demandas energéticas de un edificio como son la localización, el clima, la orientación, los materiales, etc. De esta forma se pueden aprovechar los recursos naturales para fomentar la sostenibilidad.

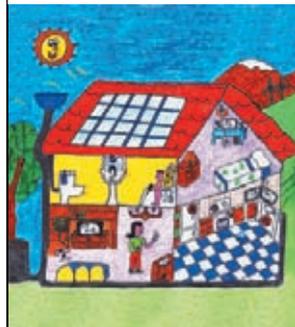
La construcción sostenible no es un concepto actual. Tradicionalmente se han utilizado medidas que reducen la demanda energética como la orientación a sur, las casas encaladas de Andalucía, las ubicaciones en los pueblos, etc.

Las principales razones para fomentar la arquitectura bioclimática son:

- Existe un problema energético muy importante.
  - La energía convencional es un bien limitado y escaso que se produce quemando combustibles (petróleo, carbón, gas natural), lo que conlleva la liberación de gases, como el dióxido de carbono, que genera el efecto invernadero y que está provocando el incremento de la temperatura del planeta, o los óxidos de nitrógeno que producen la lluvia ácida, que está acabando con los bosques.
  - La energía nuclear tiene el problema de los residuos radiactivos.
  - Las energías renovables, hoy en día, no garantizan una autonomía total respecto a las energías convencionales o nucleares.
- La arquitectura bioclimática reduce la demanda de energía y, por tanto, colabora de forma importante en la reducción de los problemas medioambientales que se derivan de ello.
- Permite reducir el consumo energético y así ahorrar dinero en la factura de la electricidad o del gas.
- Permite reducir el gasto en agua e iluminación.
- Logra unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire interior.
- La arquitectura bioclimática permite integrar al edificio con su entorno y favorece la sostenibilidad ambiental.

El sector de la construcción tradicionalmente ha buscado la rentabilidad a corto plazo, obviando otros factores como el mantenimiento energético del edificio, lo que ha eclipsado las ventajas de una arquitectura adaptada al medio en el que se encuentra. La crisis actual del sector, junto con las nuevas normativas y una concienciación cada vez mayor está permitiendo la promoción del ahorro energético.

Se podría hacer una clasificación entre los distintos tipos de edificación bioclimática.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- a) Aquellos edificios que buscan la alta eficiencia energética mediante el diseño del edificio y sus características técnicas y constructivas sin tener en cuenta otros parámetros del medio ambiente. En este caso sólo se consideran en el balance energético las ganancias y pérdidas que se producen en la vivienda y llevan al confort climático.
- b) Aquellos en los que se tiene en cuenta todo el proceso constructivo, desde la extracción y fabricación de los materiales a su puesta en obra, uso y reciclaje. En este caso el balance energético conlleva un análisis pormenorizado de los materiales utilizados en la construcción.
- c) Aquellos en los que se tiene en cuenta el medio en el que se encuentran y los recursos naturales limitados, de forma que el edificio se adecua al paisaje de alrededor. Dichas edificaciones limitan el impacto visual del edificio y fomentan la integración de especies autóctonas en la edificación y el ahorro de agua.

Una de las características más importantes de la arquitectura bioclimática es que debe ser flexible y variable de forma que se adecue al medio en el que se encuentre en cada caso y al usuario. Por lo tanto, se debe llegar a un equilibrio con las solicitudes del medio natural para alcanzar los objetivos marcados garantizando siempre bienestar. El medio natural debe ser considerado como un parámetro integrado dentro del diseño del edificio, nunca como un añadido.

Por todo esto, el conocimiento del medio natural en el que se va a situar el edificio es esencial dentro de la arquitectura bioclimática. Por ejemplo, son imprescindibles los datos referidos al microclima local, a las condiciones geográficas y del terreno, etc.

El estudio de las condiciones climáticas del lugar donde va a estar situado el edificio es determinante para poder buscar las soluciones más adecuadas relativas al diseño del edificio que garanticen unas demandas mínimas de energía y el confort y bienestar humano. Para esto se utilizan en la fase de diseño del edificio herramientas informáticas que mediante modelos matemáticos permiten analizar las relaciones entre el clima y la arquitectura. Todo esto permite al proyectista cuantificar las diversas soluciones para elegir la más adecuada.

Además, la planificación urbanística de la zona es determinante, ya que algunas condiciones de partida como la orientación, las cons-

trucciones colindantes, etc., pueden dificultar el diseño de este tipo de edificaciones. Por lo tanto, la arquitectura bioclimática debe englobar también a todos los ámbitos de la planificación urbana.

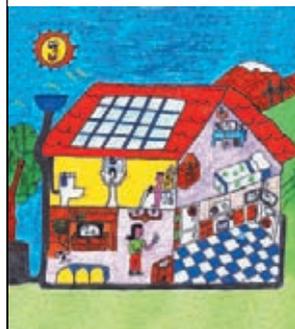
El problema es diferente si se trata de rehabilitación de viviendas. Las medidas a tomar deberán adecuarse a las condiciones del lugar resolviendo problemas que impidan un aprovechamiento óptimo de las condiciones del medio mediante soluciones constructivas y la optimización de las combinaciones de aislamientos e inercia térmica, por ejemplo.

La arquitectura bioclimática cuenta con dos tipos de sistemas, que habitualmente se utilizan combinados, para controlar el consumo energético del edificio.

- *Sistemas pasivos*: Las medidas pasivas son sencillas y de reducido mantenimiento y se basan en el control de las variables (temperatura, humedad, etc.) del interior de un edificio mediante el uso del diseño adecuado y de los materiales. La envolvente debe actuar como un filtro térmico, acústico y lumínico, capaz de integrar los recursos externos para reducir la demanda energética y optimizar el confort. Los sistemas pasivos inciden especialmente en:
  - La radiación solar: se debe controlar facilitando o limitando su incidencia.
  - El aislamiento.
  - La inercia térmica.
- *Sistemas activos*: Son aquellos sistemas que aplican las nuevas tecnologías de aprovechamiento de las energías renovables. Los más destacados son la energía solar (para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria o de calefacción), la energía eólica, la energía geotérmica o la biomasa.

En este apartado también se encuentran aquellos sistemas que contribuyen al ahorro energético, como la domótica, los sistemas variables de iluminación, persianas, centrales de cogeneración, etc.

Las necesidades de un edificio son diferentes según el uso que se le vaya a dar y, por lo tanto, las medidas a tomar son distintas si el





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

edificio es destinado a vivienda como si es destinado para oficinas y servicios.

En los proyectos destinados a vivienda el mayor peso sobre la demanda energética lo tiene especialmente la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración y ACS. Las medidas a tomar vendrán marcadas por el aislamiento, la ventilación, la orientación, etc.

En los proyectos destinados a oficinas y el sector terciario el mayor peso sobre el consumo de la energía lo tiene la ventilación, la refrigeración y la iluminación. Las medidas a tomar vendrán marcadas por el control solar, la iluminación natural, etc.

### 3. Parámetros que determinan el diseño de un edificio bioclimático

El objetivo de un edificio proyectado y construido con criterios bioclimáticos es el ahorro energético, pudiendo incluso llegar a ser autosuficiente energéticamente. En cualquier caso, un edificio cuyo diseño y construcción ha sido cuidado y regulado mediante técnicas bioclimáticas puede alcanzar un ahorro de energía convencional de hasta un 60% sin sobrecosto en el precio de la construcción y sin que suponga un condicionante estético que afecte a la imagen final del proyecto.

Entre los aspectos inherentes al diseño sostenible hay que tener en cuenta la distribución de espacios, atendiendo a consideraciones bioclimáticas, de ahorro energético y funcionales. Cabe destacar la importancia de una buena orientación con acristalamientos al sur, con paredes y suelos de alta inercia y estancias de poco uso al norte: garajes, despensas, etc.

También es necesario tener en cuenta el uso de materiales reciclados y reciclables. Los materiales deben ser de materia prima lo menos elaborada posible y encontrarse lo más cerca posible de la obra, deben hallarse exentos de elementos nocivos y deben facilitar los intercambios de humedad entre la vivienda y la atmósfera.

Se deben utilizar los recursos naturales del medio en donde se encuentra ubicado el edificio: aprovechamiento de la luz solar, climatización natural, ahorro de agua, aprovechamiento del agua de lluvia, implantación de sistemas para el ahorro energético.

A continuación se van a desarrollar los principales parámetros que afectan al ahorro energético en un edificio.

### 3.1. Ubicación

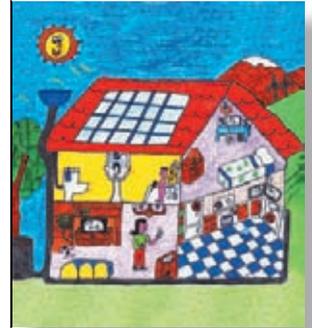
La ubicación es clave en el comportamiento de un edificio, ya que determina las características climáticas que influyen. El estudio de las condiciones ambientales permite plantear distintas estrategias arquitectónicas para optimizar el uso de los recursos, garantizar el confort y las sostenibilidad. Dichas condiciones climáticas se pueden dividir en macroclimáticas y microclimáticas.

Las condiciones macroclimáticas dependen de la zona del planeta donde se encuentre el edificio, es decir, dependen de la latitud, la longitud y la región determinada. Las más importantes son:

- Las temperaturas medias, máximas y mínimas a lo largo del día durante el invierno y el verano.
- La pluviometría y la humedad.
- La radiación solar incidente (directa y difusa).
- La dirección del viento dominante y su velocidad media.

Las condiciones microclimáticas son aquellas que vienen determinadas por la geografía del lugar, como por ejemplo los accidentes geográficos, y que alteran las condiciones macroclimáticas. Las más importantes son:

- Las pendientes del terreno, que pueden determinar la orientación de una vivienda.
- Las elevaciones cercanas que pueden influir como barrera frente al viento o frente a la radiación solar.
- La existencia de masas de agua cercanas, que reducen las variaciones bruscas de temperatura e incrementan la humedad ambiente.
- La existencia de masas boscosas cercanas y vegetación.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- La existencia de edificios cercanos que también puedan hacer de barrera frente al viento o a la radiación solar.

### 3.2. Forma y orientación

El diseño del edificio tiene un peso muy importante. Es determinante buscar soluciones que garanticen unas demandas energéticas mínimas cubiertas mediante climatización artificial y que se aproveche al máximo la radiación solar y la iluminación natural.

La forma de la casa influye determinantemente sobre:

- La superficie de contacto entre el edificio y el exterior, ya que determina la transmisión de calor a través de ella. Para reducir las pérdidas en invierno y las ganancias en verano es necesario que la superficie de contacto con el exterior sea lo más pequeña posible para un volumen envuelto concreto, es decir, una forma más compacta, evitando, por ejemplo, entrantes y salientes, patios, alas, etc.
- La resistencia frente al viento. Cuanto mayor es un edificio, mayor es la resistencia al viento, excepto que haya obstáculos que lo eviten. Una mayor resistencia al viento es bueno en verano, ya que incrementa la ventilación, pero malo en invierno porque favorece las infiltraciones. El proyectista debe jugar con la forma del edificio para conseguir una buena ventilación en verano y unas infiltraciones mínimas durante el invierno.
- La situación de los huecos en la fachada y su tamaño, ya que permitirán una mayor ganancia solar y reducir así la demanda de energía.

El proyectista debe buscar las soluciones más adecuadas en cada caso. Por ejemplo, son habituales las fachadas ventiladas, los espacios tapón, las cubiertas aljibe, etc.

Una fachada ventilada cuenta con una delgada cámara de aire abierta en los extremos y separada del exterior por aplacados fijados con cierta separación y que pueden ser piedras naturales, placas de metales o plásticos, etc. Cuando el sol calienta la capa exterior, ésta

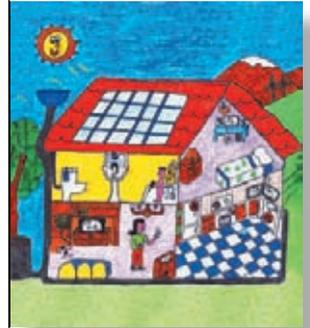
calienta a su vez el aire del interior de la cámara, provocando un movimiento convectivo durante el verano que permite la entrada de aire libre y evita el sobrecalentamiento. Durante el invierno el efecto convectivo es menor y la cámara de aire hace de colchón térmico entre la pared revestida y el aplacado exterior. Además se reducen las pérdidas por intercambio de radiación infrarroja con la bóveda celeste.

Los espacios tapón son aquellas zonas del edificio de baja utilización y que térmicamente actúan de aislantes entre el interior y el exterior. En estos espacios no se busca el confort térmico, por lo que en general no están climatizados. Ejemplos de esos espacios son los garajes, el desván, etc.

La orientación del edificio determina la captación solar a través de las ventanas. En general, en vivienda interesa captar cuanto más energía mejor, ya que ayuda a reducir los consumos de calefacción en invierno. Durante el verano es necesario limitar dicha radiación mediante elementos de sombreado u otras técnicas para que no se dispare la demanda de refrigeración. En edificios destinados a oficinas es necesario buscar la configuración que garantice una buena iluminación natural pero que no dispare la demanda de refrigeración. Las principales orientaciones son las siguientes:

- *Orientación norte:* No da el sol nunca y hay la misma luz a lo largo del día, aunque escasa. Corresponde a la zona más fría de la casa.
- *Orientación sur:* En invierno por la inclinación de la tierra da el sol muchas horas a lo largo del día, mientras que en verano no da directamente en la fachada, sino por encima, de este modo la fachada de la vivienda no se sobrecalienta.
- *Orientación este:* Recibe la radiación de forma tangencial y oblicua en las primeras horas de la mañana.
- *Orientación oeste:* Las fachadas con esta orientación también reciben radiación de forma tangencial y oblicua pero en las últimas horas de la tarde. Como en estas últimas horas la temperatura ambiente es muy superior a la de las primeras horas, el efecto térmico es de sobrecalentamiento, especialmente en los meses de verano.

Según lo anterior, es conveniente abrir la mayor cantidad de huecos al sur para que durante el invierno entre la mayor cantidad de energía





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

solar posible y se reduzca así la demanda de calefacción y durante el verano no entre radiación solar directa que pueda incrementar la demanda de refrigeración.

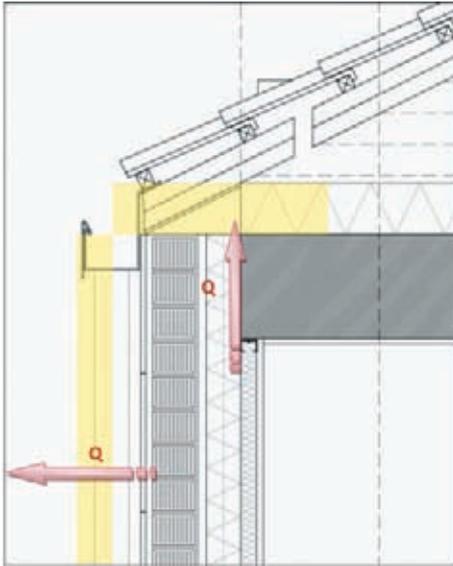
### **3.3. Aislamiento térmico de cerramientos**

El aislamiento térmico es determinante en el consumo energético del edificio. El aislamiento dificulta el paso del calor por conducción del interior al exterior durante el periodo de invierno y viceversa durante el verano.

Todos los materiales oponen resistencia en mayor o menor medida. La resistencia que un material ofrece al paso del calor depende del espesor del mismo y del tipo de material que sea. En la composición de los cerramientos de un edificio es obligado utilizar los denominados aislantes térmicos para cumplir con la normativa vigente, ya que tienen una alta resistencia al paso del calor. Habitualmente los aislamientos más utilizados son poliestireno expandido o extruido, lana de roca, poliuretano, etc.

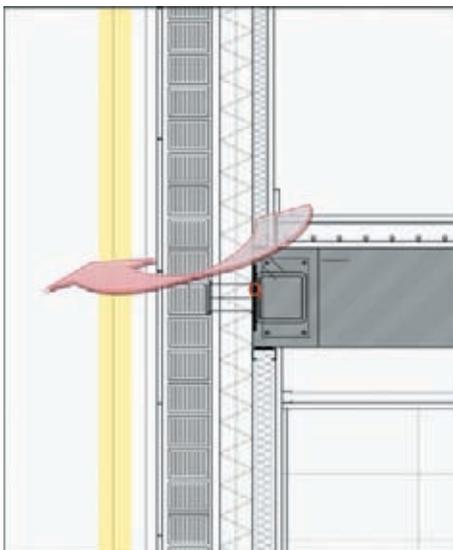
Hay que tener en cuenta que el nivel de aislamiento tiene unos valores óptimos. Es necesario realizar el cálculo del óptimo económico para comprobar cómo al aumentar el nivel de aislamiento disminuye la demanda de energía en función del coste económico que conlleva. Una vez superado este óptimo, aunque se incremente el espesor del aislamiento, apenas se conseguirán disminuir los consumos energéticos, pero se dispararán los costes económicos.

Tener un buen aislamiento térmico también es importante porque garantiza que no hay saltos de temperatura entre el interior y la parte interior del cerramiento que está en contacto con el exterior. Si el aislamiento es deficiente, la cara interior del cerramiento está fría y provoca una radiación térmica de los usuarios hacia ella, lo que limita considerablemente el confort del interior.

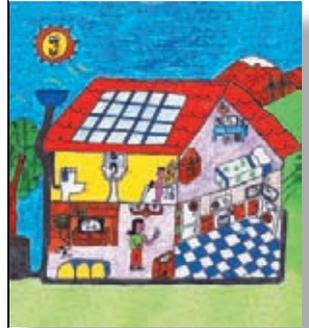


**Figura 1.** Aislamiento térmico en los cerramientos y flujo de calor.

Otro tema a tener muy en cuenta son los puentes térmicos. Son aquellas zonas de la envolvente del edificio donde disminuye el espesor del aislamiento o donde los materiales permiten mayor conducción del calor. Estas zonas en general son los encuentros de distintos tipos de cerramientos como la fachada con los forjados o la cubierta, los pilares, los contornos de las ventanas, las cajas de persianas, etc.



**Figura 2.** Puente térmico evitado en el frente de forjado.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Es muy importante cuidar los puentes térmicos ya que esto conlleva:

- Ahorro en los consumos de calefacción y refrigeración. Esto conlleva una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto una mejor calificación de eficiencia energética.
- Limitar las condensaciones. En climas fríos cuando la temperatura exterior es muy baja y en el interior hay una humedad relativa elevada se da el fenómeno de la condensación de los perfiles interiores. Ello es debido a que la temperatura del perfil interior está por debajo de la temperatura de rocío. Con la rotura del puente térmico se consigue elevar la temperatura superficial del perfil interior y en consecuencia se restringe la aparición del rocío.

### 3.4. Masa térmica

La inercia térmica es la propiedad de un cerramiento que indica la cantidad de "calor" que puede almacenar y la velocidad con que lo cede o absorbe del entorno. Esta propiedad depende del espesor del muro y de la densidad del material principalmente.

Cuanto mayor es la inercia térmica, mayor es la resistencia a que aumente su temperatura, ya que consigue repartir mejor el calor a lo largo de todo su volumen.

Esta propiedad es muy importante ya que ayuda a mantener más estable la temperatura en el interior de la vivienda durante todo el año. Durante el invierno la masa térmica almacena el calor del sol durante el día y lo libera durante la noche, evitando así que la vivienda siga las fluctuaciones del ambiente cuando desaparece el aporte de calefacción. Durante el verano la masa térmica almacena el calor de la casa, manteniéndola a menor temperatura y lo libera durante la noche, gracias a una buena ventilación.

En general, los materiales de construcción pesados como piedra, hormigón o ladrillo pueden funcionar como masa térmica. Si la casa está en contacto con el terreno, éste ayudará también a amortiguar las oscilaciones térmicas.

El terreno también funciona como un gran amortiguador de las oscilaciones térmicas del exterior ya que tiene una elevada inercia tér-

mica. A una determinada profundidad la temperatura permanece constante y es mayor que el ambiente exterior en invierno y menor en verano, por lo que va a contribuir a mantener la temperatura de la vivienda. Además, también puede funcionar como aislante térmico. La inercia del terreno y su temperatura constante también se puede utilizar mediante una instalación de geotermia para reducir las demandas energéticas de la vivienda o cubrirlas en su totalidad.

La arquitectura bioclimática busca diseños que aprovechen las ventajas que tiene el terreno pero debe solucionar problemas que pueden surgir como una merma en la iluminación y un exceso de humedad. Habitualmente estas soluciones utilizan fachadas semienterradas o enterradas totalmente para las zonas más frías y dejando las fachadas al sur para que entre la luz y la radiación solar.

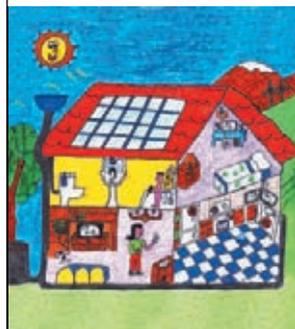
### **3.5. Acristalamientos y carpinterías**

Al igual que los cerramientos opacos, a través de los acristalamientos se produce una conducción de calor entre la zona fría y la zona caliente, lo que supone unas pérdidas energéticas importantes.

Las pérdidas a través de una ventana en invierno son notablemente superiores a las que se dan a través de una pared aislada. Por esto hay que intentar que los vidrios sean lo más aislantes posibles. En la actualidad se utilizan vidrios dobles con una cámara de aire intermedia que limita dichas pérdidas. Si además se quiere mejorar el aislamiento, se pueden utilizar vidrios tratados con capas de baja emisividad o sustituir el aire de los vidrios de doble acristalamiento por un gas pesado, normalmente argón.

Los vidrios bajo emisivos están recomendados para zonas frías, en donde es muy importante minimizar las pérdidas durante el invierno. Estos vidrios tienen un revestimiento en una de las capas internas que permite que pase la radiación de onda corta, es decir, la radiación solar, pero que bloquea la radiación del vidrio al exterior de forma que el calor acumulado en el local no puede salir por radiación. Para disminuir la radiación solar que entra en verano debe ser combinado con un vidrio exterior de control solar.

Hay que tener en cuenta también la radiación solar que son capaces de dejar pasar las ventanas. Cuando la radiación solar choca con-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

tra el vidrio, parte de ella es absorbida, parte es reflejada y parte es transmitida hacia el interior. El factor solar de un acristalamiento es la relación entre la energía total que entra en un edificio a través del acristalamiento y la energía que incide en el mismo. Durante el invierno, lo interesante es que el factor solar sea lo mayor posible ya que así deja pasar la mayor cantidad de energía posible y limita los consumos energéticos para la calefacción. Para mejorar el factor solar se utilizan vidrios coloreados o con tratamientos mediante capas metálicas o de sílice. En oficinas puede ser muy interesante jugar con las distintas propiedades del vidrio para limitar la demanda de refrigeración pero garantizando una buena iluminación natural.

Además, como ya se ha comentado en el apartado de orientación, es importante que el mayor porcentaje de huecos se sitúe al sur (o sureste o suroeste) donde se recibe la mayor cantidad de radiación solar directa en invierno debido a que el número de horas de sol incidente sobre la fachada sur es mayor y el sol está más bajo por lo que entra una gran cantidad de radiación directa a través de las ventanas.

Durante el verano, la fachada sur recibe menos radiación ya que el sol está alto y los rayos son perpendiculares. Durante el verano se puede limitar la radiación solar que entra a través de las ventanas con voladizos, salientes, contraventanas, persianas, paneles, cortinas. En el siguiente apartado se explican brevemente los sistemas de captación de la energía solar.

También es muy importante tener en cuenta las carpinterías. En general se forma un puente térmico ya que la resistencia a la conducción del calor es menor en esta zona que en el cerramiento opaco y en el vidrio adyacente por lo que si no se utilizan marcos con rotura de puente térmico se forman zonas con una temperatura menor a la del interior de la vivienda donde se pueden formar condensaciones en el invierno.

### **3.6. Sistemas de captación solar**

La radiación solar es la principal fuente de energía para cubrir la demanda de calefacción de una vivienda bioclimática.

El diseño del edificio debe garantizar su máximo aprovechamiento sin necesidad de utilizar otro tipo de sistemas. Las ventanas facilitan el efecto

invernadero, ya que a través de ellas la radiación solar entra en el interior calentando el ambiente y los elementos que encuentre como suelo, techo y paredes, mobiliario, etc. Además, el vidrio no deja escapar la radiación infrarroja que emiten todos estos elementos que han sido calentados por la radiación solar, por lo que queda en el interior del edificio.

Los elementos calentados por la energía solar liberarán posteriormente dicha energía para mantener la temperatura del espacio en función de su inercia térmica. Es importante que estas masas térmicas estén situadas de forma que puedan recibir la mayor cantidad de radiación solar posible.

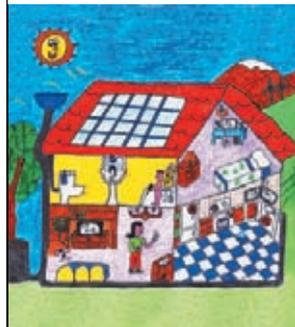
En el diseño de estos sistemas es importante considerar:

- La existencia de suficiente masa térmica para la acumulación del calor dispuesta en las zonas de incidencia de radiación.
- La existencia de cerramientos móviles para aislamiento.
- La orientación, obstáculos y sombreadamientos de los espacios de captación, de tal manera que se maximice la captación de energía en invierno y se minimice la de verano.

Para conseguir una mayor eficiencia de la energía solar captada es bueno disponer de sistemas como persianas, contraventanas, etc., que puedan servir para evitar que durante la noche se escape el calor para evitar pérdidas por conducción y convección a través del vidrio.

La eficiencia de estos sistemas de captación solar depende de la fracción de energía que llega al local en función de la radiación incidente y del tiempo que transcurre entre que la energía es almacenada por las masas del local y la liberan. Se puede distinguir entre los siguientes sistemas:

- *Sistemas directos*: La radiación solar entra a través del acristalamiento al interior del local. Es importante prever la existencia de masas térmicas de acumulación de calor en los lugares (suelo, paredes) donde incide la radiación. Son los sistemas de mayor rendimiento y de menor retardo.
- *Sistemas semidirectos*: La radiación solar pasa a través de un invernadero o adosado como espacio intermedio entre el interior y el ex-



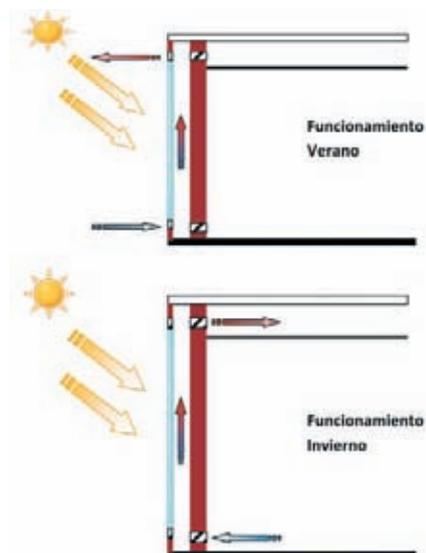


### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

terior. Entre el invernadero y el interior del local hay un cerramiento móvil que permite regular el paso de la energía acumulada.

- *Sistemas indirectos:* La captación de la radiación solar la realiza un elemento de almacenamiento, como por ejemplo bidones de agua o un lecho de piedras que tienen alta capacidad calorífica y que transmiten por conducción, convección o radiación el calor al interior del local.

Un ejemplo de sistema indirecto es el Muro Trombe. El Muro Trombe es un elemento pasivo de ganancia térmica que permite disminuir la demanda de calefacción en invierno. Popularizado por el ingeniero Félix Trombe en los años 60, está compuesto básicamente por una superficie captadora de la radiación solar (de alta inercia térmica y pintada de oscuro) y enfrente un vidrio a unos 10 cm dejando en el intermedio una cámara de aire y evitando así la conducción del calor. La radiación solar calienta el aire de la cámara que por convección permite que circule en su interior. Este aire caliente puede entrar al interior de las viviendas a través de unas rejillas, en función de las necesidades según si es invierno o verano. Además se calienta también la pared que separa el interior de la cámara de aire, lo que permitirá que se almacene calor durante el día en la pared y lo transmita hacia el interior durante la noche gracias a su inercia térmica. Además, con este sistema el salto térmico entre el interior del local y la cámara de aire es menor que si directamente estuviese el exterior, por lo que las pérdidas energéticas son menores.



**Figura 3.** Funcionamiento del Muro Trombe en invierno y verano.

### **3.7. Elementos de protección contra la radiación solar en verano**

La radiación solar hace que se incremente la demanda de refrigeración durante el verano sobre todo en las zonas climáticas más cálidas y especialmente en los edificios destinados a oficinas donde la refrigeración tiene un gran peso en la demanda energética del edificio.

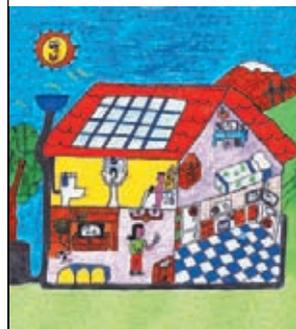
Algunos parámetros ya tratados en este documento como el aislamiento, la ventilación o los espacios tapón ayudan a disminuir eficazmente la demanda de refrigeración. Otras técnicas como los sistemas de captación solar pasiva disminuyen la demanda de calefacción pero disparan la de refrigeración, por lo tanto es necesario tomar medidas para limitar la radiación solar durante el periodo de verano.

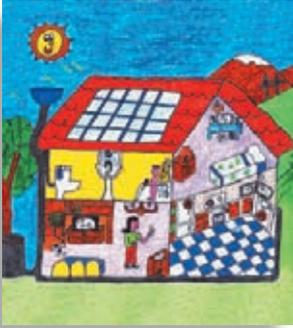
Durante el verano el sol va más alto, es decir, va perpendicular a las fachadas y ventanas con orientación sur, por lo que la utilización de aleros sobre las cristaleras logra que se limite la radiación directa que entra sin afectar a la de invierno, ya que el sol va más bajo. A pesar de esto, aunque se evite la radiación directa, la radiación difusa y reflejada no se puede evitar con estos métodos y tampoco ayuda que durante el verano hay más horas de radiación solar.

También son útiles otros dispositivos como los toldos o persianas exteriores cuya principal cualidad es que se pueden ajustar en función de las condiciones en cada momento. Es recomendable que las persianas cuenten con aislamiento térmico ya que de esta forma además de limitar la radiación solar también se limita la conducción de calor. Las contraventanas también son muy útiles.

La utilización de aleros con vegetación de hoja caduca y un enrejado que deje pasar la luz, permite que durante el verano se limite la cantidad de radiación que penetra, ya que la vegetación lo hace prácticamente opaco y durante el invierno se caen las hojas y dejan pasar la luz y la radiación solar.

Estas técnicas se pueden aplicar para limitar la radiación solar que llega a las ventanas pero también a los muros. Para proteger los muros son válidas técnicas como disponer de plantas trepadoras o utilizar colores poco absorbentes en las fachadas que durante el invierno no tienen una gran ganancia solar y que sí lo tienen en verano, como





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

por ejemplo, las orientaciones este y oeste. En estas zonas también se debe limitar el porcentaje de huecos.



**Figura 4.** Recreación de la fachada del Ayuntamiento de Noáin (Navarra).

### 3.8. Ventilación

La ventilación tiene una gran importancia en cualquier edificio, especialmente en los de este tipo ya que son más compactos y están mejor aislados, lo que los hace más estancos e impermeables al aire exterior.

Los objetivos de la ventilación son:

- Renovar el aire interior para mantener las condiciones higiénicas. Siempre se deben cumplir los mínimos establecidos en el CTE.
- Mejorar las condiciones de confort térmico y mantener el nivel de humedad.
- Contribuir a la climatización. Por ejemplo en verano es muy importante que durante la noche el aire del exterior absorba por convección todo el calor almacenado en la vivienda.

Uno de los principales problemas en los edificios son las infiltraciones, es decir, la ventilación no deseada que entra y que supone unas im-

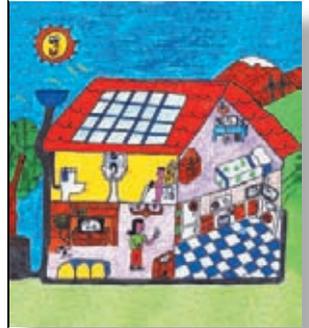
portantes pérdidas energéticas, especialmente en invierno. Por esto se debe tener mucho cuidado especialmente con las puertas y ventanas para que garanticen la estanqueidad.

Actualmente y según el CTE, se exige ventilación híbrida o ventilación mecánica. La ventilación híbrida combina la ventilación natural y la mecánica.

A continuación se van a explicar algunos de estos conceptos:

- *Ventilación natural:* Es la que tiene lugar de forma espontánea cuando el viento crea corrientes de aire en la casa. Para que la ventilación sea lo más eficaz posible, las aperturas de huecos deberían localizarse en fachadas transversales y opuestas a la dirección del viento dominante. En edificios, especialmente en el caso de las viviendas, es importante la ventilación cruzada, ya que gracias a la diferencia de temperatura y presión entre dos estancias con orientaciones opuestas se genera una corriente de aire que facilita dicha ventilación. También se produce ventilación natural por el efecto chimenera, cuando existe una diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior.
- *Ventilación convectiva o forzada:* Se basa en la diferencia de temperatura entre las masas de aire. Tiene lugar cuando el aire caliente asciende y es reemplazado por aire más frío. En las viviendas se pueden crear corrientes de aire mediante aperturas en los espacios superiores e inferiores.

En los edificios de oficinas la ventilación mecánica se realiza impulsando aire del exterior a través de los difusores. Este aire previamente ha sido tratado en la UTA (Unidad de Tratamiento de Aire) y sale al exterior a través de las rejillas de extracción. Es muy importante el uso de recuperadores de calor y otros sistemas de alta eficiencia energética para garantizar que las pérdidas que se producen por ventilación sean mínimas. Por ejemplo, los recuperadores de calor consiguen que el aire de expulsión del interior transfiera su calor al aire de impulsión en invierno y al contrario en verano, favoreciendo la disminución de la demanda tanto en el periodo de calefacción como de refrigeración. Es muy importante que el recuperador de calor esté bien dimensionado para evitar las pérdidas de carga y el incremento del consumo del ventilador que penalizarán los ahorros energéticos derivados de su utilización.



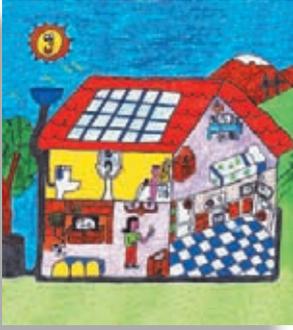


Figura 5. Recuperador de calor.

### 3.9. Sistemas de ahorro en la iluminación

En un edificio bioclimático, especialmente si su uso es para oficinas, es muy importante la iluminación ya que supone uno de los consumos energéticos principales.

Debido a esto, en el diseño del edificio se deben tener muy en cuenta algunos factores como la situación y el tamaño de las ventanas, la ubicación de posibles claraboyas u otros elementos que dejen pasar la luz natural y las características de los vidrios deben estar muy estudiadas para garantizar que entra la mayor cantidad de luz al interior y minimizar así el consumo generado por la luz artificial.

Los sistemas de control de la iluminación, que regulan la iluminación artificial en función de la luz natural que entra al interior suponen un ahorro energético importante y garantizan el máximo confort.

El control de la iluminación mediante un sistema domótico va a permitir:

- Programar de forma horaria dicha iluminación.
- El encendido de la iluminación sólo cuando se detecte presencia.
- Limitar la luz artificial en función de la luz natural.
- Programar distintos escenarios para un mismo lugar: luminosidad modo televisión, modo estudio, modo trabajo, etc.
- Regulación manual.

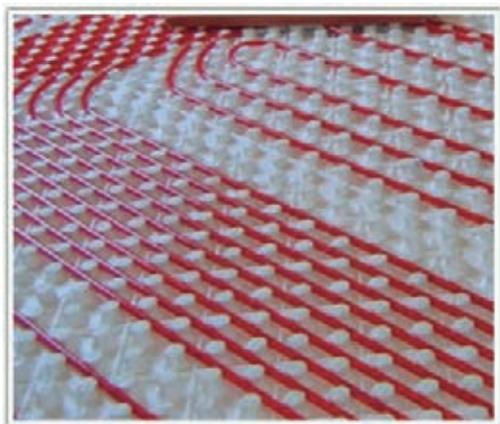
### 3.10. Sistemas para cubrir la demanda energética

Aunque el diseño del edificio se haya realizado mediante criterios bioclimáticos minimizando la demanda de energía, es necesario cubrirla de la forma más eficiente posible y con el menor impacto para el medio ambiente.

Para ello, es necesario buscar en cada caso la instalación más adecuada, que permita cubrir la demanda energética de la forma más limpia posible y teniendo en cuenta el medio en el que se sitúa el edificio.

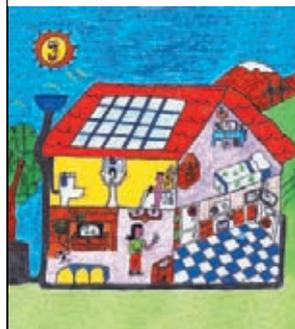
La importancia de la utilización de equipos y sistemas de alta eficiencia energética y, por lo tanto, con altos rendimientos radica en que la demanda se transforme en un consumo lo más bajo posible.

Por ejemplo el uso del suelo radiante para climatizar los espacios presenta numerosas ventajas respecto a otros sistemas como por ejemplo los radiadores. El suelo radiante opera con una temperatura del agua más moderada, lo que disminuye las pérdidas por distribución. Además garantiza un mayor confort ya que no se producen corrientes de aire y la temperatura de todo el espacio climatizado es homogénea.



**Figura 6.** Imagen suelo radiante.

Entre los sistemas eficientes se pueden destacar la máquina de absorción para la refrigeración o las calderas de baja temperatura y las calderas de condensación. Las calderas de baja temperatura pueden adaptar su temperatura de trabajo a las necesidades reales de la instalación en función de la demanda. Las calderas de condensación





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

aprovechan la energía latente del vapor de agua para convertirla en calor sensible y reducen las pérdidas de energía reduciendo la temperatura de los gases producto de la combustión.

La cogeneración es un procedimiento de mayor eficiencia energética, ya que se aprovecha la energía térmica que se desprende al generar electricidad a partir de un combustible. En la trigeneración, se obtiene además calor sustraído del proceso de refrigeración del edificio. Esta energía térmica se puede aplicar, por ejemplo, para el agua caliente sanitaria, lo que supone un importante ahorro económico.

Como ya se ha comentado en el apartado de ventilación, los recuperadores de calor también ayudan al ahorro energético.

Hay que tener en cuenta también que en la situación actual con un petróleo cada vez más caro y escaso y una mayor preocupación por el medio ambiente, y sumado al desarrollo tecnológico y normativo se sitúan como la alternativa más eficaz las energías renovables.

Hoy en día se está hablando de lo que supondría una auténtica revolución: la "generación distribuida". La generación distribuida consiste en que los consumidores produzcan, almacenen y administren su propia energía, siempre de forma ecológica, de forma que sean independientes de las compañías eléctricas. Estas tecnologías todavía no están lo suficientemente desarrolladas y necesitarán tiempo para su evolución y aplicación.

A continuación se van a explicar principalmente algunas de las energías y técnicas principales para obtener una energía limpia, pero serán desarrolladas ampliamente más adelante.

La energía solar es la obtenida directamente del Sol. Se puede aprovechar mediante los sistemas pasivos de captación solar (desarrollados anteriormente) o los sistemas activos, entre los que se encuentra la energía solar térmica y la fotovoltaica.

Es una de las energías más limpias y su peso puede llegar a ser importante en España gracias a su privilegiada situación.

Principalmente se usa para producir agua caliente sanitaria, pero también puede contribuir a cubrir la demanda de calefacción o

incluso la demanda de refrigeración, por ejemplo con una máquina de absorción.

En capítulos posteriores se definen todas las características de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica.

La energía eólica es la que se obtiene del viento en movimiento. Tiene un gran potencial y muchas aplicaciones. Es una energía complicada para aplicar a edificios y se limita a pequeños generadores. Puede ser útil en zonas aisladas con problemas de electrificación.

Para cubrir la demanda energética de un edificio se pueden utilizar calderas cuyo combustible tiene origen biológico como por ejemplo leña, astillas, residuos agroindustriales como huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, poda de vid, etc. Esto se realizará gracias a las calderas de biomasa.

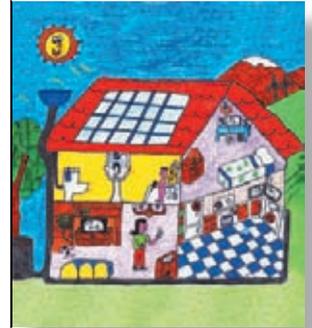
La bomba de calor geotérmica permite reducir el consumo energético de un edificio. Se basa en que la temperatura del suelo se mantiene constante (en torno a 14 °C) a lo largo de todo el año. Durante el invierno, se le roba este calor al terreno y en verano se le devuelve el calor que sobra en el edificio.

Cabe destacar que estas tecnologías no son incompatibles y se pueden utilizar en sistemas híbridos o mixtos. Por ejemplo, se puede utilizar la energía solar térmica con una bomba de calor, o la energía solar con la eólica.

La aplicación de la domótica a la climatización de un edificio permite el control centralizado y zonificado según las necesidades de calefacción o refrigeración. Si cada zona tiene definidas unas condiciones térmicas distintas en cada momento al del resto de zonas es posible gestionarlas de forma independiente garantizando un ahorro energético y el confort del local.

Habitualmente para realizar la zonificación se debe distinguir entre:

- La orientación de la zona, ya que la radiación energética que llega es distinta.
- La actividad de cada una de las zonas. No van a ser lo mismo la climatización para una zona de trabajo, una zona de almacenamiento, una zona de descanso, etc.





#### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- El horario de utilización. Por ejemplo, en una vivienda se puede distinguir entre la zona de dormitorios y la cocina y el salón, o en una oficina entre la zona de trabajo y la zona de descanso.

De esta forma se garantiza una temperatura adecuada en cada lugar y en cada momento. Además, si el usuario no se encuentra cómodo puede modificar puntualmente el perfil de temperatura programado para lograr el bienestar.

#### 4. Bibliografía

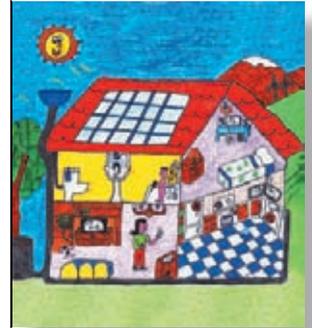
- ÇENGEL, Y. A. (2004): *Transferencia de Calor*. Editorial McGraw Hill. México.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.
- MAZRIA, E. (1979): *El libro de la energía solar pasiva*. Editorial Gustavo. México.
- REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

# 3

## AISLAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS

ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES  
DE MATERIALES AISLANTES (ANDIMAT)

[www.andimat.es](http://www.andimat.es)



### 1. Introducción

La influencia del aislamiento térmico es decisiva para obtener edificios energéticamente eficientes. Con unos niveles de aislamiento correctos podríamos ahorrar casi el 50% del consumo de los edificios. Pensemos en nuestra factura energética y veremos el ahorro real.

La eficiencia energética en los edificios no es sólo cuestión de la envolvente o los sistemas, es un conjunto de posibles actuaciones más amplio. Sin duda, un buen aislamiento y unos buenos sistemas permiten reducir el consumo energético, pero a la hora de diseñar un edificio con criterios energéticos debe empezarse desde el comienzo del proyecto.

A nivel europeo se habla de la "pirámide energética" o "tríada energética". La base de la pirámide son las *medidas estáticas*, las que permanecen durante toda la vida útil del edificio, no precisan mantenimiento y deben apurarse al máximo. Estas son el diseño, la orientación, ganancias solares, etc., y el aislamiento. Son medidas permanentes.

El siguiente nivel de la pirámide son los *equipos y sistemas*. Una vez que la base es sólida, debemos actuar sobre ellos. Equipos más eficientes, con mejores rendimientos y bien dimensionados.

El último nivel corresponde a ese *consumo* que no podemos reducir ni con medidas estáticas ni con los equipos y sobre el que podemos actuar con las energías renovables.

Debemos tener presente que el aislamiento térmico es la medida más sostenible en los edificios. Es comúnmente aceptado que las medidas sostenibles son aquellas que nos permiten seguir creciendo



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

sin hipotecar nuestro futuro. Es decir, aquellas que suponen avances en el desarrollo de la sociedad, de una forma eficiente, ganando en confort y sin atentar contra el medio ambiente. En la edificación, el aislamiento térmico es la única que cumple los tres requisitos: ahorra energía, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> y aporta más confort a los usuarios.

- **Qué debemos conocer de los materiales de aislamiento térmico**

Los materiales de aislamiento térmico son aquellos que presentan una elevada resistencia al paso de calor. La propiedad física que mide la capacidad aislante es la *conductividad térmica*,  $\lambda$ , cuanto más bajo sea su valor más capacidad aislante tiene el material. Se considera un material aislante térmico aquel cuyo valor de  $\lambda$  es menor a 0,06 W/m.K referidos a 10 °C. La conductividad térmica es una característica intrínseca de cada material.

Otra característica que se utiliza para evaluar el aislamiento es la *resistencia térmica*, que se define como el cociente entre el espesor y la conductividad térmica del producto. Esta propiedad es característica de cada producto (tipo de material y espesor). Cuanto mayor sea el valor de la resistencia térmica mayor es la capacidad aislante del producto.

Por último, para definir el aislamiento que presentan los cerramientos de un edificio hay que utilizar la *transmitancia térmica* (valor U). Los cerramientos del edificio en contacto con el aire exterior (muros de fachada, cubiertas, suelos) suelen poseer varias capas o productos y el valor U caracteriza el cerramiento, ya que es la inversa de la suma de resistencias térmicas de todas las capas que componen el cerramiento y las resistencias térmicas superficiales tanto exterior como interior. Cuanto menor es el valor de U, más difícil será atravesar el calor a través del mismo, por tanto, mayor aislamiento poseerá dicho cerramiento.

- **Qué se está haciendo para ahorrar energía en el sector de la edificación**

**En obra nueva:** A día de hoy la energética edificatoria que regula el aislamiento térmico se compone de dos normativas: el Código Técnico de la Edificación, CTE, en su apartado de Ahorro de Energía, DB-HE1, y la Certificación Energética de Edificios.

Hay que tener en cuenta que la anterior normativa térmica en España databa del año 1979. Es esos 27 años los países europeos habían revisado varias veces sus normativas nacionales, de manera que en el 2006 cuando aparece el CTE, ya se queda corto y somos el país europeo con unas exigencias térmicas más bajas, por detrás de países como Francia, Italia y Portugal (no hablemos de los países del centro y norte de Europa). Esta situación hace que nuestros edificios sean auténticos depredadores de energía.

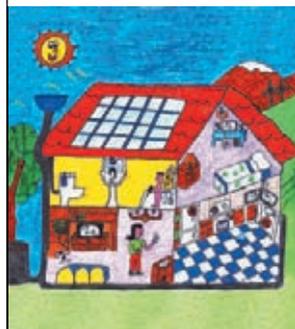
Sin embargo, la propia Administración es consciente de que el CTE es claramente insuficiente y el Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2008-2012, aprobado en julio de 2007, ya recoge como una medida a tomar en el sector edificación la revisión del CTE para el año 2010.

Dos son los escenarios que se manejan para la citada revisión: el de "espesores óptimos de aislamiento" (utilizado en gran parte de la UE) y el de "espesores de casas pasivas" (casas con emisiones cero de CO<sub>2</sub>). La aplicación a España del primer escenario supondría, como media, un ahorro del 37% de la demanda de energía de los edificios y en las emisiones de CO<sub>2</sub> con una inversión de 11 €/m<sup>2</sup>, lo que representa un 1,4% sobre el coste de construcción del edificio y un 0,46% sobre el coste de venta. Si se aplicara el escenario de las "casas pasivas", el ahorro en demanda de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub> sería del 49% con una inversión de 22,5 €/m<sup>2</sup>, lo que representa un 2,8% sobre el coste de construcción y un 0,46% sobre el coste de venta. Parece claro que estas inversiones son asumibles y los beneficios de las medidas muy atractivos.

*La certificación energética de edificios y, en concreto, la obligatoriedad de presentar un certificado energético en todos los edificios que se compren o alquilen, viene derivada de la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios, la cual, aunque con cierto retraso, se transpuso en el Real Decreto 47/2007 en lo referente a edificios de nueva construcción.*

El certificado indica una calificación desde la letra A (más eficiente) a la E (menos eficiente) en función de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio, aunque también puede expresarse en términos de consumo energético.

La mayor utilidad del mismo será para el usuario. Pueden y deben exigir que a la hora de comprar una vivienda se les presente el





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

certificado de eficiencia energética del mismo y así conocer, según la letra, el rango de consumo esperable. De esta manera, la eficiencia energética será un parámetro más a tener en cuenta en los criterios de compra. La energía es cada vez más cara y la pagamos todos los meses, luego un edificio con alta calificación será, a la larga, una fuente de ahorro continua frente a uno de peor calificación.

Otra ventaja será la concienciación a prescriptores, constructores y promotores de construir edificios eficientes energéticamente, de bajo consumo de energía, como posible diferenciación ante su competencia. Por tanto, esto siempre repercutirá favorablemente en el usuario y en el país al disminuir la factura energética global. Hay que recordar que España es un país muy dependiente del exterior en materia energética.

**En edificación existente:** Las medidas de actuación contempladas en el marco del Plan de Acción E4 tienen como objetivo ahorrar energía, mejorando la eficiencia energética de los edificios y sus instalaciones fijas, así como hacer un uso más eficiente de los mismos, dirigidas al parque de edificios existente. La primera medida de este Plan es la siguiente:

- **Rehabilitación de la envolvente térmica en los edificios existentes:** el objetivo de esta medida es reducir la demanda energética en calefacción y refrigeración en el sector de edificios existentes, mediante la aplicación de criterios de eficiencia energética en la rehabilitación de su envolvente térmica.

Es labor de todos los agentes que integran el sector tomar las medidas oportunas para reducir significativamente el consumo energético que se emplea en la edificación, y las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

- **La Influencia del aislamiento térmico para ahorrar energía y disminuir la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera:** ya se ha comentado que con unos niveles de aislamiento adecuados, podríamos ahorrar casi el 50% del consumo de los edificios. En la Fig. 1 se observa la diferencia de ahorros de unos cerramientos aislados o sin aislar, apreciándose que los ahorros se van incrementando a lo largo de los años, de ahí la necesidad de aislar bien lo antes posible.

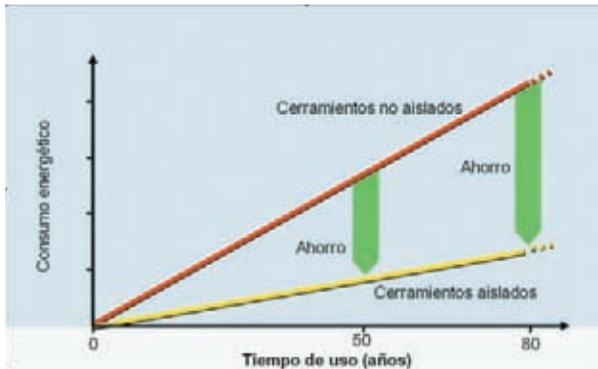
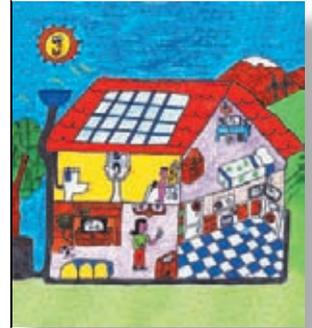


Figura 1. Ahorros alcanzados entre los cerramientos con aislamiento térmico y sin aislamiento.



Además de lo anterior, la protección térmica de la envolvente presenta dos beneficios importantes para los usuarios:

- Con una buena protección térmica aumentamos el nivel de confort de las personas que utilizan el edificio. Esto se debe a que la existencia de una protección térmica adecuada no permite diferencias prácticas en las temperaturas interiores del recinto. Por el contrario, la no existencia de protección térmica produce sensaciones de frío (o calor) en la cara interna del cerramiento, que puede presentar diferencias de varios grados centígrados (6 u 8 °C) respecto a la temperatura en el centro del local.
- La no existencia de una buena protección térmica produce frecuentemente humedades en la cara interna del recinto, e incluso en las capas internas de las fachadas o cubiertas. Estas humedades, no deseables desde el punto de vista estético, son una patología importante, ya que pueden llegar a deteriorar el cerramiento disminuyendo la vida útil del mismo.

## 2. Soluciones con aislamiento térmico en edificios existentes

Rehabilitar energéticamente los edificios existentes supone un ahorro neto de energía, lo que es muy necesario para el país. Debemos tener en cuenta que esta medida puede llegar a ahorrar el 50% del consumo energético de los edificios. Lo que sucede es que hay que estudiar cada



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

caso, cada edificio, para ver qué tipo de actuación puede acometerse: rehabilitación de la fachada (por el exterior, interior o inyección), de la cubierta, cambiar los cristales, etc. Puede haber limitaciones físicas, legislativas o de precio. Cada edificio debe tratarse como un caso singular. De ahí que hacer las cosas bien desde el principio sea prioritario. Las actuaciones a posteriori siempre serán más caras y complejas.

Para facilitar la rehabilitación energética, concienciar y dar información sobre la misma, ANDIMAT ha colaborado con el IDAE en la redacción de unas guías de rehabilitación y con la Comunidad de Madrid en la redacción de una Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas.

### **2.1. Soluciones de aislamiento térmico en cubiertas**

La cubierta del edificio es el elemento más sensible y expuesto a los agentes externos, tanto climatológicos como por el propio uso, por lo que la reparación de goteras, humedades y desperfectos suele ser una práctica habitual. Sin embargo, en estas intervenciones no es habitual aplicar, además, criterios térmicos o de ahorro de energía cuyos beneficios son notorios.

En este capítulo se recogen las soluciones técnicas más comunes para rehabilitación de cubierta. Ya que debe actuarse en la cubierta, puede aprovecharse la reforma para realizar también su rehabilitación térmica y del aislamiento a coste muy reducido.

Para ello se han clasificado en dos grandes apartados según la disposición del aislamiento térmico en el momento de acometer la reforma.

- Rehabilitación de cubiertas con el aislamiento térmico por el exterior.
- Rehabilitación de cubiertas con el aislamiento térmico por el interior.

#### **2.1.1. Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el exterior**

En general, las actuaciones de rehabilitación deben ser consecuencia de un estudio previo detallado del estado de la cubierta en cuestión.

Las cubiertas en pendiente tienen de particular que cuando es necesaria la rehabilitación suele ser por filtraciones o entradas de agua en el espacio subyacente; pero la cubierta puede estar deteriorada sin que se manifiesten tales entradas de agua, basta observar a simple vista el estado en que se encuentran determinados elementos de la misma, bien sea por la acción de la contaminación ambiental, bien sea por la acción prolongada de la radiación ultravioleta, o bien se trate sencillamente de su envejecimiento.

Incorporar aislamiento por encima de la cubierta presenta las siguientes particularidades:

- En todos los casos, la obra de rehabilitación se ejecuta con la mínima interferencia para los usuarios del edificio.
- No se reduce la altura libre de las estancias del último piso.
- Notemos que, al aislar por el exterior, el soporte estructural (forjado) que forma la azotea se encuentra relativamente caliente, pues está protegido por el aislamiento y, por tanto, cualquier área donde, por el motivo que fuera, se interrumpa el aislamiento térmico, no cambia la circunstancia de que el soporte seguirá básicamente caliente, sobre todo su superficie interior, que, por consiguiente, mostrará una temperatura superficial superior al punto de rocío del ambiente interior, en definitiva, suficiente para evitar fenómenos de condensación.
- Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción). Tengamos en cuenta, por ejemplo, que un forjado pesa unos  $300 \text{ kg/m}^2$ , lo que equivale a tener una bañera de unos 60 litros de agua por  $\text{m}^2$ .
- Es especialmente conveniente aislar por el exterior cuando la vivienda o edificio son de ocupación permanente. De este modo, se cuenta con la inercia térmica para estabilizar del modo más efectivo las temperaturas y conseguir una reducción adicional en el consumo de combustible para la climatización (calefacción + refrigeración) del edificio o vivienda.
- Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no sólo a una vivienda o local en particular. Por consiguiente, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

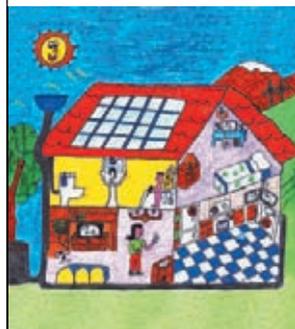




Figura 2. Esquema básico de una cubierta invertida y una cubierta inclinada.

La cubierta invertida tiene diferentes aplicaciones en función de su uso:

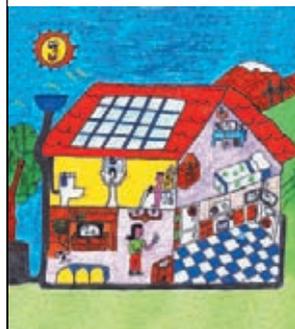
- *Cubierta no transitible o con acceso limitado al mantenimiento.* En este caso el acabado de la cubierta suele ser de grava (5 cm) dejando unas zonas transitables a modo de pasillos para el mantenimiento.
- *Cubierta transitible.* En este caso el acabado suele ser con elementos pétreos colocados sobre elevadores, de modo que la cubierta permanece ventilada. También existen en el mercado compuestos integrados por productos aislantes y acabado pétreo a base de mortero. Se debe evaluar la resistencia a la carga de viento.
- *Cubierta ajardinada.* En este caso el acabado es el usual en una cubierta ecológica o ajardinada, complementada con un sistema de drenaje.

### 2.1.2. Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el interior

Intervenir por el interior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

- Al aplicarse por el interior, se evita el levantamiento de la cubierta exterior (tejas o pavimento), impermeabilización, etc.

- Posibilita la rehabilitación desde el punto de vista estético del interior del edificio, conformando una superficie plana y lisa que permite un acabado de pintura (eliminando el riesgo de fisuras), la instalación de nuevos sistemas de iluminación y o climatización (en función de las disponibilidades de altura).
- En el caso de utilizar placas de yeso laminado el montaje es rápido y por vía seca, permitiendo la habitabilidad durante la ejecución de los trabajos.
- Especialmente adecuado cuando no es necesario efectuar trabajos de impermeabilización o modificación de la cubierta externa del edificio.
- Es especialmente conveniente aislar por el interior cuando la vivienda o edificio no son de ocupación permanente. Es el caso típico de una vivienda de fin de semana: al aislar por el interior se consigue calentar la vivienda con la mayor efectividad y rapidez, ya que el sistema de climatización acondicionará sólo el volumen de aire de la casa, los muebles y los acabados interiores. En definitiva una masa y una capacidad caloríficas bajas, con lo que será fácil de calentar. Con el aislamiento por el exterior, sin embargo, la casa tardaría bastante más en alcanzar la temperatura deseada, ya que la calefacción debería calentar una masa mucho mayor. Por el contrario, una vez alcanzada la temperatura, la casa aislada por el exterior también tardará más en enfriarse, en invierno, o, en verano —punto muy importante de cara al acondicionamiento estival—, calentarse.
- Al ejecutarse la intervención por el interior, puede limitarse a una parte del inmueble intervenido, por ejemplo a una sola vivienda o local en particular.
- En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción para ejecutar la obra de rehabilitación, ya que no se podrá hacer por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.





## **2.2. Soluciones de aislamiento térmico en fachadas**

### **2.2.1. Soluciones para la parte ciega de la fachada**

La rehabilitación de la fachada de un edificio suele asociarse a la necesidad de un “lavado de cara” de la misma por motivos estéticos.

En este capítulo describiremos intervenciones con criterios de eficiencia energética a través del aislamiento que pueden abordarse una vez decidida esta acción y que conllevarán beneficios importantes para los usuarios a un coste reducido.

Para ello, se han clasificado en tres apartados conforme a la disposición del aislamiento térmico en el momento de acometer la reforma.

1. Rehabilitación de fachadas con el aislamiento térmico por el exterior.
2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior.
3. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras.

#### **2.2.1.1. Rehabilitación de fachadas con el aislamiento térmico por el exterior**

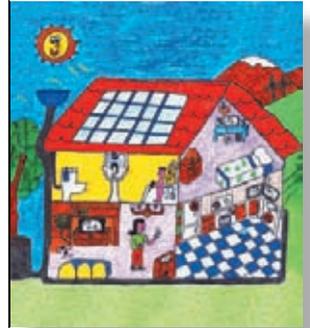
Intervenir por el exterior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

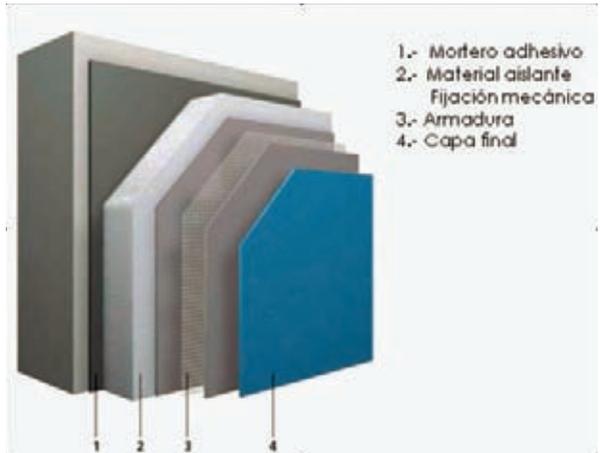
- En todos los casos, la obra de rehabilitación se ejecuta con la mínima interferencia para los usuarios del edificio.
- Instalado el aislamiento sobre las fachadas, no se reduce la superficie útil del edificio o vivienda.
- Se corrigen con toda facilidad todos los puentes térmicos, de modo que se evitan las paredes “frías”, la falta de confort asociada a ellas y, sobre todo, el riesgo de formación de condensacio-

nes superficiales e, incluso, moho. Esto es especialmente importante en el caso de fachadas, pues es donde se producen casi todos los puentes: encuentros con la estructura (pilares, vigas, frentes de forjado) y formación de huecos (alféizares, mochetas, dinteles, capialzados).

- Notemos que, al aislar por el exterior, el muro soporte que forma la fachada, se encuentra relativamente caliente, pues está protegido por el aislamiento y, por tanto, cualquier área donde, por el motivo que fuera, se interrumpa el aislamiento térmico, no cambia la circunstancia de que el soporte seguirá básicamente caliente, sobre todo su superficie interior, que, por consiguiente, mostrará una temperatura superficial superior al punto de rocío del ambiente interior, en definitiva, suficiente para evitar fenómenos de condensación.
- Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción). Tengamos en cuenta, por ejemplo, que un muro de medio pie (11,5 cm) de fábrica de ladrillo perforado pesa unos 180 kg/m<sup>2</sup>, lo que equivale a tener una bañera de unos 36 litros de agua por m<sup>2</sup> de fachada.
- Es especialmente conveniente aislar por el exterior cuando la vivienda o edificio son de ocupación permanente. De este modo, se cuenta con la inercia térmica para estabilizar del modo más efectivo las temperaturas y conseguir una reducción adicional en el consumo de combustible para la climatización (calefacción + refrigeración) del edificio o vivienda.
- Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no sólo a una vivienda o local en particular. Por consiguiente, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

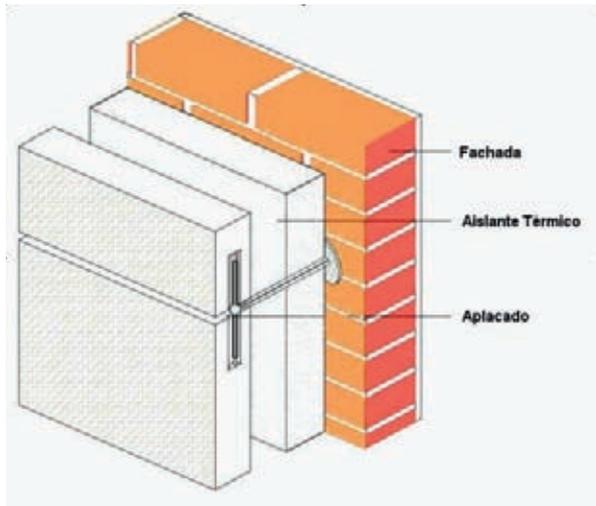
Para sistemas compuestos de aislamiento por el exterior se requiere el asesoramiento de empresas fabricantes e instaladoras especializadas, de modo que se garantice la compatibilidad de todos los productos integrantes del sistema. A tal fin, algunos Institutos de Construcción proporcionan para tales sistemas constructivos los llamados *Documentos de Idoneidad Técnica* (DIT). Últimamente, dado el marco legislativo armonizado europeo, se están empezando a emitir *Documentos de Idoneidad Técnica Europea* (DITE).





**Figura 3.** Esquema básico del sistema compuesto de aislamiento por el exterior (SATE).

Otro sistema de aislamiento por el exterior son las fachadas ventiladas.



**Figura 4.** Esquema básico de la rehabilitación con aislamiento por el exterior de un sistema de fachada ventilada.

### ***2.2.1.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior***

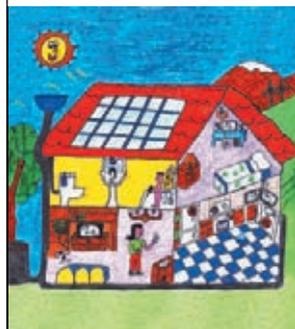
La rehabilitación térmica de la fachada por el interior se recomienda especialmente en los siguientes casos:

- Durante la realización de otros trabajos en el interior del edificio (suelos, particiones, ventanas, etc.).
- Cuando no se considere modificar el aspecto exterior del edificio con lo que no se realizará ningún gasto en elementos auxiliares como andamios.
- Siempre que compense la pérdida de espacio útil con los ahorros energéticos y beneficios medioambientales que supone la intervención.

Se debe prestar especial atención a los encuentros con cerramientos (ventanas y puertas), así como a la resolución de los puentes térmicos.

Intervenir por el interior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

- Se incrementa el aislamiento térmico del muro soporte.
- Pueden efectuarse intervenciones "parciales" a nivel de una vivienda o sólo algunos locales.
- Permite sanear los muros de fábrica cuando éstos presentan defectos corrigiendo los defectos de planimetría, desplome, etc., del muro soporte.
- No se precisan sistemas de andamiaje que invaden la vía pública.
- En el caso de vivienda, puede ser factible en soluciones más sencillas y de poca cuantía, que el propio usuario de la vivienda acometa como bricolaje la ejecución de la reforma.
- Instalado el aislamiento sobre las fachadas, puede que se reduzca la superficie útil del edificio o vivienda. Dependerá de que en la rehabilitación se aproveche para demoler el tabique interior del muro, que cubija la cámara de aire (espesor total del conjunto {tabique + cámara} = unos 8 – 10 cm), siendo sustituido por un aislamiento con incorporación directa del acabado interior (espesor total = unos 5 - 7 cm < 8 – 10 cm).
- Se vuelve muy delicada la corrección de los puentes térmicos, debido al elevado riesgo de formación de condensaciones superfi-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

ciales. Notemos que, al aislar por el interior, el muro de la fachada se encuentra relativamente frío y, por tanto, cualquier área donde se interrumpa el aislamiento térmico, estará fría, por debajo del punto de rocío del ambiente interior y, en definitiva, con muchas probabilidades de formación de condensaciones y moho. De todos modos, será relativamente sencillo aislar los llamados puentes térmicos “integrados” en la fachada, es decir, pilares, capialzados y formación de huecos. Sin embargo, será prácticamente imposible la resolución de los puentes térmicos lineales o de *contorno*, procedentes de la intersección de las fachadas con forjados y particiones interiores, como los frentes de forjado, por ejemplo.

- Es especialmente conveniente aislar por el interior cuando la vivienda o edificio no son de ocupación permanente. Como se ha comentado en el apartado de rehabilitación de la cubierta por el interior.
- Al ejecutarse la intervención por el interior, puede limitarse a una parte del inmueble intervenido, por ejemplo a una sola vivienda o local en particular. Por consiguiente, se trata de una obra menor y, en principio, *no* se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

Es aplicable a cualquier tipo de fachada, en el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción para ejecutar la obra de rehabilitación, ya que no se podrá hacer por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

### **2.2.1.3. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras**

Cuando se descarta cualquier intervención por el exterior y no se desea perder espacio en el interior se valorará la inyección de aislamiento en la cámara siempre que ésta sea accesible y cumpla con una serie de requisitos que hagan la intervención segura.

Este tipo de solución constructiva requiere una atención especial, tanto por la valoración de su idoneidad como por la ejecución. Se debe recurrir a este tipo de solución cuando queden descartadas otras po-

sibilidades de aislamiento. Si se opta por la misma, conviene asegurar el resultado pretendido, para ello las inyecciones se realizarán a través de taladros espaciados, como máximo 50 cm entre sí, sin que se sitúen sobre la misma línea. La inyección debe comenzar por los taladros situados en la parte inferior, llenando la cámara de abajo arriba lentamente utilizando el material específico para estos casos.



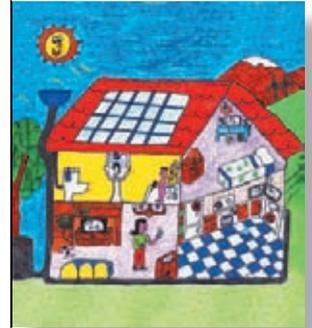
**Figura 5.** Fotografía de una rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras.

### 2.2.2. Soluciones para los cerramientos acristalados de la fachada

La renovación de los vidrios y marcos representa una de las acciones más eficaces para la mejora de la eficiencia energética del edificio y además consigue aumentar el confort térmico en el interior de las viviendas.

La mayoría de los edificios históricos no incorporan un aislamiento térmico adecuado, siendo la actuación más sencilla que se puede realizar en la fachada del edificio la reposición de las ventanas.

Todas aquellas viviendas que tengan ventanas con una única hoja de vidrio cuentan con prestaciones térmicas muy limitadas. En este caso, la reposición del vidrio simple (monolítico) por otro vidrio de doble acristalamiento (unidad de vidrio aislante) proporciona grandes ahorros de energía en la vivienda tanto en verano como en invierno.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Las principales ventajas de mejora de la eficiencia energética de la envolvente a través de la rehabilitación de cerramientos acristalados pueden ser, entre otras:

- Reducción de la factura energética de cada usuario y consecuentemente del conjunto. Lo que conlleva a la amortización de la intervención en los años posteriores a la misma.
- Mejora del confort térmico, a igualdad de consumo.
- Ayuda a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyendo a la reducción de efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente.
- Reducción de las entradas no deseadas de aire a través del cerramiento.
- A nivel de vivienda unifamiliar puede aplicarse a huecos y orientaciones más desfavorables (orientación norte).
- Reducción de las condensaciones superficiales, interiores a la vivienda, y de aquellas patologías ligadas a las mismas.
- Pueden alcanzarse mejoras en el comportamiento acústico cuando se eliminan marcos en mal estado.
- La actuación sobre el hueco puede realizarse gradualmente con intervención sucesiva sobre los distintos huecos de un edificio, por lo que el coste puede ser fraccionado.
- Esta intervención puede ser limpia y rápida en función de los elementos afectados.
- Esta rehabilitación de un edificio en bloque puede asumirse en términos individuales por el propietario de cada vivienda.
- Esta rehabilitación no supone una pérdida de la superficie útil de la vivienda.
- Puede ser aprovechada para recuperar la uniformidad de estética de las fachadas de un edificio.

### 2.2.2.1. Propiedades de los marcos

Los tipos de marco y los valores de transmitancia de los mismos definidos según la norma UNE-EN ISO 10077-1 se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 1.** Transmitancia térmica de diferentes tipos de marcos.

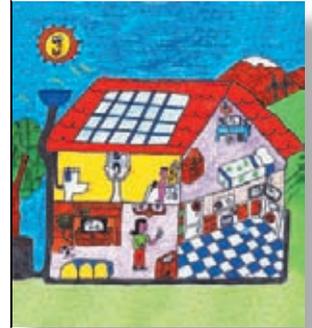
MATERIAL DEL PERFIL	TRANSMITANCIA TÉRMICA U (W/m <sup>2</sup> K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4 mm ≤ d < 12 mm)	4
Metálico RPT d ≥ 12 mm	3,2
Madera dura (ρ = 700 kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	2,2
Madera blanda (ρ = 500 kg/m <sup>3</sup> y 60 mm de espesor)	2
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

### 2.2.2.2. Propiedades de los vidrios

El vidrio es el elemento fundamental en el cerramiento si atendemos a la superficie ocupada. En la actualidad se comercializan como productos habituales vidrios para aislamiento térmico reforzado y protección solar que pueden ser combinados con otras prestaciones como son el aislamiento acústico, la seguridad, el bajo mantenimiento (auto-limpiables) o el diseño y la decoración.

Los vidrios pueden clasificarse en distintos grupos en función de su configuración y de la presencia de capas metálicas que mejoran sus prestaciones de aislamiento térmico y control solar. La principal clasificación de los vidrios es la siguiente:

- **Vidrio simple (monolítico):** bajo esta denominación agrupamos aquellas tipologías formadas por una única hoja de vidrio y aquellas formadas por dos o más hojas unidas entre sí por toda su superficie, vidrios laminares.
- **Doble acristalamiento o Unidad de Vidrio Aislante (UVA):** hace referencia al conjunto formado por dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Las unidades

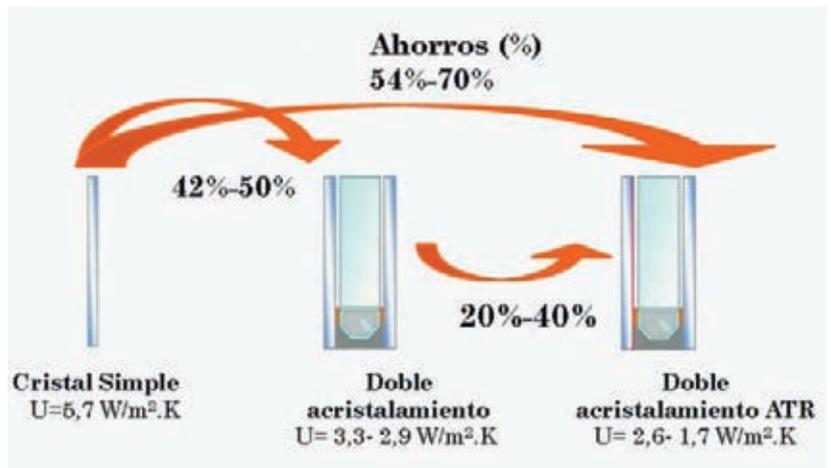




## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

de vidrio aislante, o doble acristalamiento, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, inmóvil y seco, aprovechando la baja conductividad térmica del aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción.

- **Doble acristalamiento de ATR o Aislamiento Térmico Reforzado:** es un doble acristalamiento con un tratamiento en la cara interna de uno de sus cristales que proporciona una gran capacidad de aislamiento térmico. Este innovador recubrimiento se denomina baja emisividad. Entre los dos cristales, hay una cámara cerrada de aire seco. Cuanto mayor es el espesor de esta cámara (entre 6 y 16 mm), mayor es la capacidad aislante y, por tanto, menor pérdida de energía. La utilización de estos cristales permite alcanzar niveles de aislamiento térmico imposibles de conseguir con un doble acristalamiento normal.



**Figura 6.** Ahorros de energía alcanzados a través del acristalamiento sustituyendo un vidrio simple por uno doble normal y por otro con aislamiento térmico reforzado (ATR). Entendiendo ahorro como reducción de pérdidas.

### 2.3. Soluciones de aislamiento térmico para las instalaciones de los edificios

La incorporación de aislamiento térmico en las instalaciones (tuberías, conductos, depósitos y accesorios) de conducción de agua fría o caliente y de conductos de aire acondicionado de los edificios evita:

- Pérdidas energéticas en el transporte o almacenamiento de agua caliente.
- Condensaciones en las de agua fría.
- Y retrasa el riesgo de congelaciones.

Su uso en conductos de aire acondicionado también aporta beneficios energéticos y acústicos a las instalaciones.



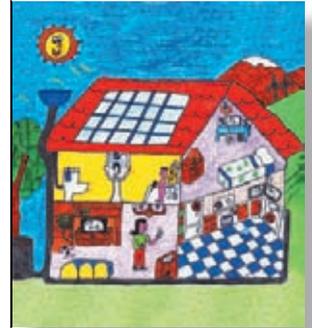
**Figura 7.** Esquema de una tubería con aislamiento térmico.

Un correcto aislamiento térmico mejora el rendimiento de la instalación, dado que los equipos trabajan con fluidos a temperaturas próximas a los valores de diseño, lo que conlleva un ahorro en el consumo de energía y en algunos casos disminuye el tamaño de los equipos.

La mayoría de los edificios históricos no incorporan un aislamiento térmico adecuado en sus instalaciones, pero si se realiza una rehabilitación con las espumas flexibles se consigue una actuación sencilla, rápida y eficaz.

En general, todas las viviendas que poseen conducciones de agua caliente incorrectamente aisladas, no sólo pierden energía a través de la conducción sino que también derrochan agua, ya que lo habitual es dejar correr el grifo hasta que la temperatura del agua sea la adecuada para su uso.

A veces es también necesario mantener una temperatura superficial por motivos de seguridad.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Otro aspecto interesante es el aislamiento acústico que se consigue, ya que al instalar materiales flexibles en las conducciones se alcanzan reducciones del ruido próximas a 25 dB (A).

En la Fig. 8 se puede visualizar un ejemplo de aplicación de aislamiento térmico en planchas en tuberías de gran diámetro y tanques.



**Figura 8.** Planchas de aislamiento en tuberías y tanques.

### 3. Soluciones con aislamiento térmico en edificios de nueva construcción

A día de hoy, todos los edificios se deben proyectar y construir, al menos, con un valor mínimo de aislamiento térmico regulado por el Código Técnico de la Edificación, CTE, en su apartado de Ahorro de Energía, DB-HE1.

Además, todos los edificios nuevos deberán presentar el Certificado Energético del Edificio. El certificado indica una calificación desde la letra A (más eficiente) a la E (menos eficiente). El edificio que cumple estrictamente los valores del CTE tendrá una calificación E. Por tanto, para poder obtener un edificio con altas calificaciones se deberá tener en cuenta el diseño del edificio, aislamiento de la envolvente del edificio y los sistemas de climatización.

La certificación se concreta en un distintivo común denominado etiqueta de eficiencia energética que tiene una vigencia de 10 años.

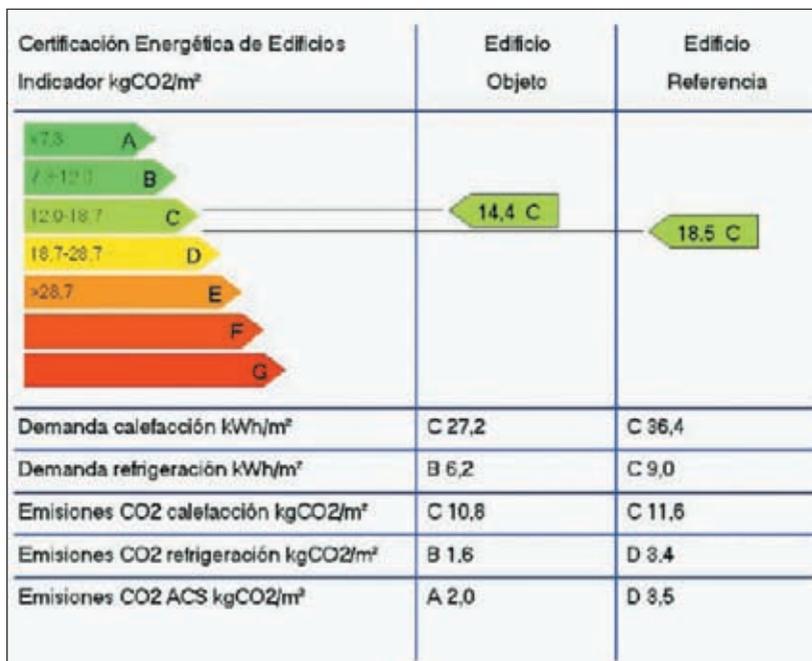
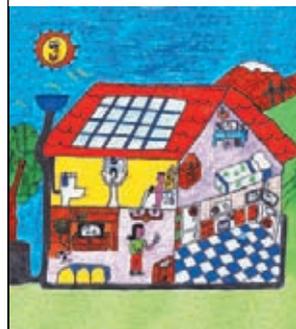


Figura 9. Ejemplo de una etiqueta de eficiencia energética.

### 3.1. Cómo puede obtenerse la Certificación Energética de un edificio

- En la fase de proyecto: el edificio se calificará energéticamente mediante:
  - Un análisis prescriptivo: cumpliendo la opción simplificada del CTE DB-HE para obtener las letras E o D (si se cumplen unas condiciones de los equipos).
  - Un análisis prestacional: cumpliendo la opción general del CTE DB-HE1 y utilizando el programa informático (CALENER\_VYP) para obtener las letras A a E.
  - Un análisis prescriptivo alternativo: utilizando el Procedimiento simplificado para Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas CE2\_ simplificado viviendas, para obtener las letras B a D.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- En la fase de construcción se realizarán las pruebas e inspecciones necesarias para asegurar el cumplimiento de las condiciones de calificación.
- Al finalizar las obras el director de obra certificará energéticamente el edificio, con control de la Administración.
- Las Comunidades Autónomas son las responsables de la implementación completa de la Certificación energética de edificios en su ámbito de aplicación.

## 4. Bibliografía

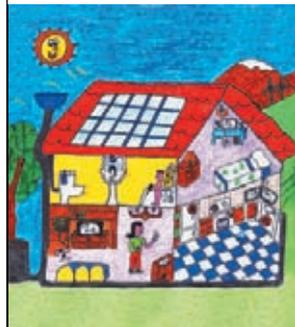
- COMUNIDAD DE MADRID (2008): *Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- IDAE (2008): *Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. El aislamiento, la mejor solución*. Editado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
  - Serie *Guías Técnicas para la Rehabilitación de la Envoltente Térmica de los Edificios*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

# 4

## PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO PARA CERTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS: Ce2

ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MATERIALES AISLANTES (ANDIMAT)

[www.andimat.es](http://www.andimat.es)



### 1. Antecedentes

Para verificar que se satisfacen los requisitos mínimos del CTE-HE1 (limitación de la demanda energética de calefacción y refrigeración) el proyectista puede optar por cumplir estrictamente unos determinados valores que marcan la calidad térmica de los elementos de la envolvente de su edificio (opción prescriptiva) o bien diseñar sin restricciones pero demostrando que su edificio cumple con las exigencias de limitación de la demanda (opción prestacional). LIDER es la herramienta informática oficial o de referencia que va a permitir demostrar el cumplimiento por la vía prestacional.

Igualmente, para el cumplimiento de la certificación energética de los edificios, la Administración ha puesto a disposición de los proyectistas dos vías distintas. La primera es CALENER, herramienta oficial para cumplimentar la certificación de edificios, que en principio se utilizará en todos los casos para los que se haya utilizado previamente LIDER.

Para los edificios que hayan optado por la opción prescriptiva existe la posibilidad teórica de obtener también el certificado energético por una vía prescriptiva: el documento reconocido denominado "Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas". Con esta opción se puede obtener la certificación energética de un edificio sin utilizar programas de simulación (CALENER). El documento presenta para cada zona climática una serie de soluciones técnicas, y en síntesis, su filosofía viene a decir que "los edificios de viviendas que se limitan a cumplir los requisitos del Código Técnico y no demuestran ningún otro aspecto relativo a sus prestaciones energéticas tienen por defecto la clase E con la excepción de aquellos que están incluidos en alguna de las soluciones técnicas a los que se les asigna que la clase D".



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Se puede fácilmente concluir que estas dos vías desarrolladas están muy alejadas entre sí, tanto por complejidad de aplicación como por la calidad que se le permite a los edificios que opten por ellas.

En este contexto, los proyectistas demandaban un procedimiento para el cumplimiento de la certificación energética de los edificios que, sin necesidad de pasar por CALENER, complicado y farragoso, les permitiera demostrar que sus edificios pueden alcanzar calificaciones superiores a una simple E o D. La respuesta a esta inquietud es el *Procedimiento simplificado para la certificación de eficiencia energética de edificios de viviendas*, en adelante Ce2.

El Ce2, es un nuevo Documento Reconocido de la Certificación Energética que se sitúa entre las dos vías mencionadas y se trata de un procedimiento más que de un conjunto de soluciones técnicas, es decir, no se le impone al diseñador qué es lo que tiene que hacer para obtener una determinada clase de eficiencia energética, sino que le indica la clase de eficiencia energética que obtiene con el edificio propuesto.

El Ce2 es aplicable a edificios de viviendas y permite la asignación de una clase de eficiencia energética a partir del cumplimiento por parte de los edificios afectados de unos requisitos relativos tanto a la envolvente del edificio como a los sistemas térmicos de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

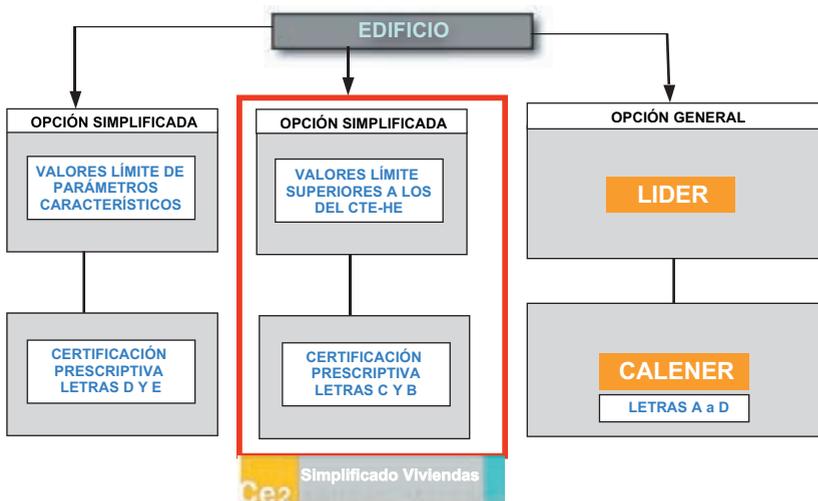
El uso del Ce2 exime de la utilización de los procedimientos de cálculo de la certificación.

## 2. Características del procedimiento

El Ce2 es directamente aplicable a partir de exactamente las variables y parámetros que se solicitan para justificar los requisitos de los diversos apartados del CTE-HE (requisitos mínimos de la certificación) y del CTE-HS.

No se limita al cumplimiento estricto de los requisitos del CTE-HE sino que permite mejoras sustanciales, fundamentalmente de las calidades constructivas de la envolvente y de las prestaciones de los equipos y sistemas de producción de calor y frío. Como con-

secuencia directa de lo anterior, no se limita a la obtención de clases de eficiencia D o E. Conceptualmente, no existen límites en cuanto a la clase de eficiencia energética que se puede obtener, aunque está especialmente diseñado para la obtención de clases D, C y B.



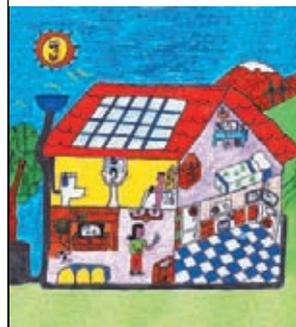
**Figura 1.** Opciones para la certificación energética de edificios y las letras que pueden alcanzarse para cada opción.

Permite el tratamiento de edificios en cuyo proyecto no se especifica el equipamiento de calefacción y/o refrigeración, sin que esto signifique la asignación por defecto de la clase de eficiencia E.

Permite el tratamiento de edificios que tengan más de un sistema de calefacción o refrigeración y de aquellos en los que la superficie acondicionada (calefacción y/o refrigeración) no se corresponde con la superficie útil.

Permite el tratamiento de edificios que están exentos del cumplimiento de la fracción de agua caliente sanitaria a cubrir mediante energía solar, de acuerdo con los supuestos contenidos en el CTE-DB-HE4.

Admite ampliaciones relativas al tipo y características de los sistemas de acondicionamiento y/o de producción de agua caliente sanitaria, al estar vinculado al documento reconocido denominado "Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas".





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Para mejorar la clase de eficiencia, el usuario tiene absoluta libertad para poner el énfasis en el diseño del edificio, en la calidad constructiva de los elementos de la envolvente, en el tipo de sistema térmico y en la calidad de los equipos que componen dicho sistema o en una combinación de los anteriores.

La formación necesaria para la correcta utilización del procedimiento es de menos de 1 día frente al curso extenso que requiere la correcta utilización de los programas de ordenador. Además facilita la gestión, el control y la inspección de la certificación ya que se trata simplemente de comprobar los parámetros de una lista de componentes (idéntica a la del CTE-HE) y sistemas.

### 3. Bases conceptuales del procedimiento: el álgebra de los indicadores de eficiencia energética

El procedimiento se basa en indicadores de comportamiento que expresan demandas energéticas, consumos energéticos y/o emisiones de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de superficie útil de un determinado edificio (el edificio objeto) en una determinada localidad bajo unas condiciones estándar, tanto climáticas como de operación.

Un indicador de comportamiento es, por ejemplo, la demanda energética de calefacción de una determinada vivienda unifamiliar situada en Madrid.

Por su parte, el Indicador de Eficiencia Energética (IEE) se define como el ratio entre un indicador de comportamiento energético correspondiente al edificio objeto y un valor de referencia consistente.

$$IEE = \frac{I_{\text{objeto}}}{I_{\text{referencia}}}$$

Cuanto más pequeño es un indicador más eficiente es la opción elegida. Un indicador menor que 1 indica además que la opción elegida para el edificio objeto es mejor que la de referencia.

Para cada uso o servicio energético de un edificio incluido en el proceso de certificación energética (calefacción, refrigeración y ACS en

el caso de viviendas) se definen tres indicadores, el correspondiente a la demanda, el correspondiente al sistema y el correspondiente al uso propiamente dicho.

Para expresar el indicador del uso en términos de energía primaria o de emisiones de CO<sub>2</sub> bastaría con afectar a los rendimientos de los sistemas del coeficiente de paso correspondiente en función del energético utilizado. En lo sucesivo, el indicador que se usará es el de emisiones de CO<sub>2</sub> por ser el que se contempla explícitamente como indicador global del proceso de calificación.

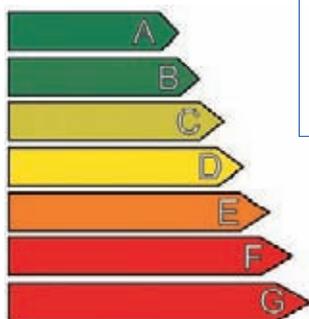
Para el conjunto de los usos de una vivienda se obtiene el indicador global de la misma a partir de los indicadores de cada uno de los usos ponderados por los coeficientes de reparto asociados a dichos usos.

La expresión final es la siguiente:

$$IEE_{global} = IEE_C \cdot \phi_{calefacción} + IEE_r \cdot \phi_{refrigeración} + IEE_{ACS} \cdot \phi_{ACS}$$

Los coeficientes de reparto indican cómo se reparten las emisiones globales de CO<sub>2</sub> de referencia entre los diferentes usos. Están expresados en tanto por uno, dependen fuertemente de la zona climática y su suma es la unidad.

En el caso de edificios de viviendas los valores de referencia son los valores medios de la población resultante de suponer que los edificios se construyen siguiendo estrictamente los requisitos y limitaciones que establece el Código Técnico en su sección CTE-HE.



Clase A	si	IEE < 0.37
Clase B	si	0.37 < IEE < 0.60
Clase C	si	0.60 < IEE < 0.93
Clase D	si	0.93 < IEE < 1.43
Clase E	si	1.43 < IEE

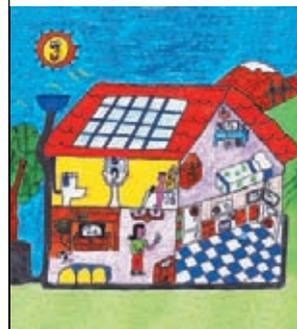


Figura 2. Coeficientes de asignación de las clases para una determinada zona climática y tipo de edificio.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Puede comprobarse de la tabla de asignación de clases cómo la referencia ( $IEEG = 1$ ) se encuentra en la clase de eficiencia D y cómo, por ejemplo, para obtener la clase de eficiencia A el edificio objeto debe tener unas emisiones de  $CO_2$  un 63% ( $100 - 37$ ) inferiores a las de referencia.

### 4. Desarrollo del procedimiento

En síntesis, se trata en primer lugar de valorar de manera progresiva las demandas de los diferentes usos (calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria) y los rendimientos de los equipos utilizados para satisfacer dichas demandas. Posteriormente, utilizando el álgebra de los Indicadores de Eficiencia Energética se valoran los diferentes usos y finalmente la combinación de los mismos.

La Clase de Eficiencia Energética obtenida por el edificio se expresa en función del Indicador de Eficiencia Energética Global IEEG. El procedimiento que se sigue para obtener el Indicador de Eficiencia Energética Global se representa mediante el siguiente esquema:

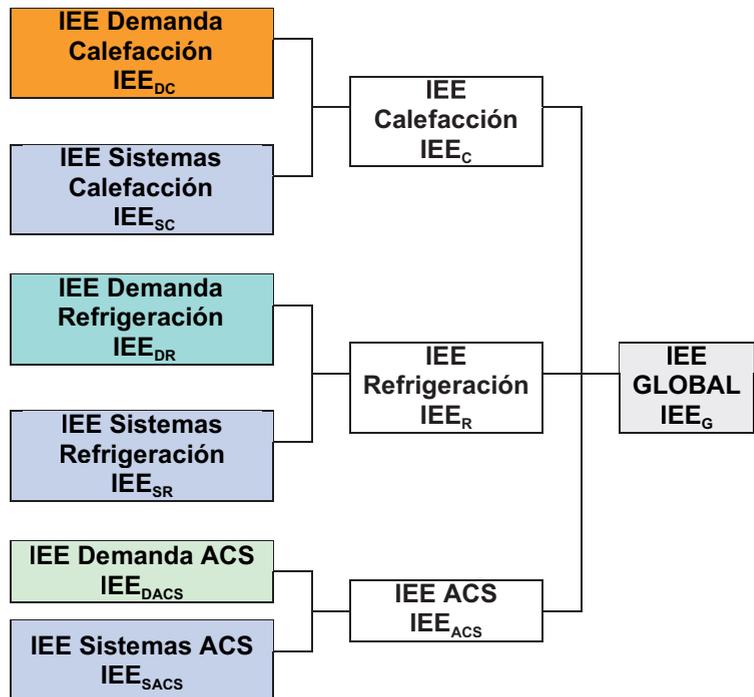


Figura 3. Procedimiento para la obtención del IEEG.

El proceso a seguir consiste en seleccionar y cumplimentar las fichas que se correspondan con el tipo de edificio que estemos tratando y el clima concreto en el que se ubica dicho edificio.

Para cada una de las zonas climáticas de invierno (A, B, C, D y E) existe una ficha que permite cumplimentar la expresión del IEEG y una serie de tablas para calcular cada uno de sus términos.

Los valores concretos de las tablas que permiten calcular los diferentes términos de la expresión de Eficiencia Energética de la Demanda de Calefacción se han obtenido de estimaciones de la demanda de calefacción a partir de estudios paramétricos realizados sobre la muestra de edificios.

#### 4.1. Obtención del indicador asociado a la demanda de calefacción ( $IEE_{DC}$ )

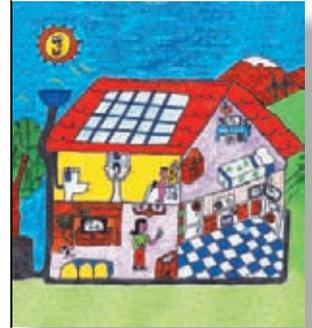
La demanda de calefacción se estima a partir de las pérdidas a través de la envolvente y de las ganancias solares a través de las ventanas bien orientadas y sin obstáculos que bloqueen la radiación solar (ventanas captoras). Se utilizan los siguientes parámetros característicos del edificio:

- Compacidad y nivel de aislamiento de los cerramientos opacos.
- Tratamiento de los puentes térmicos (valor por defecto).
- Superficie, orientación y transmitancia térmica de las ventanas.
- Nivel de ventilación.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{vent} + \Delta IEE_{huecos}$$

Donde:





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- **Indicador de Eficiencia Energética del Edificio Opaco ( $IEE_{opaco}$ ):** Es la contribución al indicador de eficiencia energética de demanda de calefacción, debida a las pérdidas a través de los cerramientos para un edificio de idéntica geometría y nivel de aislamiento que el que se quiere calcular, pero con las siguientes peculiaridades:
  - Las ventanas han sido sustituidas por parte opaca con una transmitancia igual a la de la fachada en la que aquéllas se encuentran.
  - No tiene puentes térmicos ni se introduce ningún caudal de ventilación o infiltraciones.
- **Factor corrector de puente térmico ( $f_{pt}$ ):** Es la corrección al indicador de eficiencia energética del edificio opaco debido a los puentes térmicos de encuentro de la edificación.
- **Indicador de Eficiencia Energética debido a la Ventilación ( $IEE_{vent}$ ):** Es la contribución al indicador de eficiencia energética asociado a la tasa de ventilación requerida por el CTE, DB-HS 3.
- **Modificador del Indicador Eficiencia Energética debido a la superficie acristalada ( $\Delta IEE_{huecos}$ ):** Modificación del indicador de eficiencia energética debida a la diferencia de comportamiento entre las superficies acristaladas existentes y la parte opaca supuesta inicialmente.

### 4.2. Obtención del indicador asociado a la demanda de refrigeración ( $IEE_{DR}$ )

La demanda de refrigeración del edificio se estima únicamente a partir de las ganancias solares, a partir de los siguientes parámetros del edificio:

- Superficie.
- Orientación.
- Factor solar modificado de las ventanas.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$$

Donde:

- **Indicador de Eficiencia Energética** ( $IEE_{SE/SO/E/O}$ ): Es la contribución al Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de Refrigeración debido a las ganancias a través de la superficie acristalada orientada al SE/SO/E/O.
- **Indicador de Eficiencia Energética** ( $IEE_S$ ): Es la contribución al Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de refrigeración debido a las ganancias a través de la superficie acristalada orientada al sur.

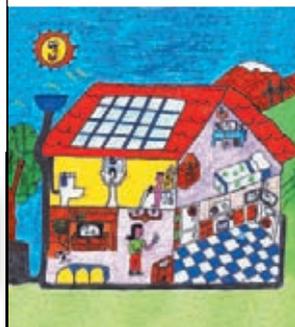
Para cada una de las zonas climáticas de verano (2, 3 y 4) existe una ficha que permite cumplimentar la expresión del  $IEE_{DR}$  y una serie de tablas para calcular cada uno de sus términos.

Los valores concretos de las tablas que permiten calcular los diferentes términos de la expresión de Eficiencia Energética de la Demanda de Refrigeración se han obtenido de manera conceptualmente análoga a la descrita para las de Demanda de Calefacción.

#### **4.3. Obtención del indicador asociado a los sistemas de producción de frío y calor ( $IEE_{SC}$ $IEE_{SR}$ $IEES_{ACS}$ )**

El indicador de eficiencia energética de los sistemas depende por un lado de las prestaciones medias estacionales del sistema (típicamente rendimientos cuando se trata de calderas, COP cuando se habla de bombas de calor funcionando en modo calefacción y EER para los equipos de producción de frío) y por otro del energético utilizado (electricidad, gas natural, GLP, gasóleo, etc.).

Conocidas las prestaciones medias estacionales, el IEE de cada sistema es simplemente el producto de dicho valor por el coeficiente





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

de paso del energético correspondiente a emisiones de CO<sub>2</sub>. Las prestaciones medias estacionales se determinan multiplicando las prestaciones nominales de un equipo o sistema por el denominado factor de ponderación. Las tablas que proporcionan los factores de ponderación se han obtenido de un trabajo que es complementario al presente de certificación prescriptiva y del que se ha solicitado su aceptación como documento reconocido. El trabajo lleva por título: "Prestaciones medias estacionales de equipos y sistemas de producción de frío y calor en edificios de viviendas".

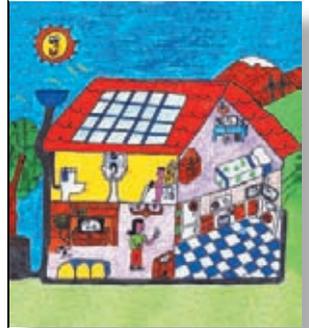
### 4.4. Obtención del indicador global

Tal como se ha indicado al principio de esta sección el indicador global se obtiene a partir de los demás indicadores:

$$IEE_{global} = IEE_C \cdot \phi_{calefacción} + IEE_r \cdot \phi_{refrigeración} + IEE_{ACS} \cdot \phi_{ACS}$$

Desde el punto de vista práctico, existe un conjunto de fichas (una para cada zona climática y para cada tipología edificatoria) que condensan la secuencia de operaciones necesaria para obtener el Indicador global a partir de los indicadores parciales.

Como se puede apreciar en la figura siguiente el procedimiento completo consiste en completar las 3 fichas que proporcionan respectivamente los IEE de demanda de calefacción, de demanda de refrigeración y de sistemas y trasladar posteriormente los resultados obtenidos a una cuarta ficha donde se realizan los cálculos finales.



**F<sub>DR-8b</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALORIFICACION (IEE<sub>DR</sub>)

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACION: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = IEE_{DR,1} + IEE_{DR,2} + IEE_{DR,3} + IEE_{DR,4}$

**1. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SOPORTE (IEE<sub>DR,1</sub>)**

$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$	$A_{15}$	$A_{16}$	$A_{17}$	$A_{18}$	$A_{19}$	$A_{20}$	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$	$A_{24}$	$A_{25}$	$A_{26}$	$A_{27}$	$A_{28}$	$A_{29}$	$A_{30}$	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$	$A_{34}$	$A_{35}$	$A_{36}$	$A_{37}$	$A_{38}$	$A_{39}$	$A_{40}$	$A_{41}$	$A_{42}$	$A_{43}$	$A_{44}$	$A_{45}$	$A_{46}$	$A_{47}$	$A_{48}$	$A_{49}$	$A_{50}$	$A_{51}$	$A_{52}$	$A_{53}$	$A_{54}$	$A_{55}$	$A_{56}$	$A_{57}$	$A_{58}$	$A_{59}$	$A_{60}$	$A_{61}$	$A_{62}$	$A_{63}$	$A_{64}$	$A_{65}$	$A_{66}$	$A_{67}$	$A_{68}$	$A_{69}$	$A_{70}$	$A_{71}$	$A_{72}$	$A_{73}$	$A_{74}$	$A_{75}$	$A_{76}$	$A_{77}$	$A_{78}$	$A_{79}$	$A_{80}$	$A_{81}$	$A_{82}$	$A_{83}$	$A_{84}$	$A_{85}$	$A_{86}$	$A_{87}$	$A_{88}$	$A_{89}$	$A_{90}$	$A_{91}$	$A_{92}$	$A_{93}$	$A_{94}$	$A_{95}$	$A_{96}$	$A_{97}$	$A_{98}$	$A_{99}$	$A_{100}$
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------

**2. FACTOR CORRECTOR DE PUEBLOS TERMICOS (IEE<sub>DR,2</sub>)**

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA VENTILACION (IEE<sub>DR,3</sub>)**

**4. INDICADOR DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA SUPERFICIE ACOSTADA (IEE<sub>DR,4</sub>)**

**5. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALORIFICACION**

$IEE_{DR} = IEE_{DR,1} + IEE_{DR,2} + IEE_{DR,3} + IEE_{DR,4}$

**6. CALIFICACION PARCIAL**

Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de Calorificación	Valor	Calificación parcial	A	B	C	D	E
$IEE_{DR}$			0,20	0,17	0,14	0,11	0,08

**F<sub>DR</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE SISTEMA (IEE<sub>SIST</sub>)

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACION: \_\_\_\_\_

**IEE SISTEMA DE CALORIFICACION**

Sistema de calefacción	Modulación a COP variable	Factor de ponderación	Modulación a COP variable	IEE	Importancia	IEE x Importancia
Por sistema de calefacción					1,0	
$\Sigma IEE \times Importancia =$						
$IEE_{SIST}$						

**IEE SISTEMA DE REFRIGERACION**

Sistema de refrigeración	IEE	Factor de ponderación	IEE x Factor de ponderación	IEE	Importancia	IEE x Importancia
Por sistema de refrigeración					1,0	
$\Sigma IEE \times Importancia =$						
$IEE_{SIST}$						

**IEE SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)**

Sistema de ACS	Modulación a COP variable	Factor de ponderación	Modulación a COP variable	IEE	Importancia	IEE x Importancia
Transitable						
$\Sigma IEE \times Importancia =$						
$IEE_{SIST}$						

**F<sub>DR-4b</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACION (IEE<sub>DR</sub>)

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACION: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 \times ZIEE_{DR,1} + IEE_{DR,2}$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/SURSESTE**

Orientación de la fachada	$A_1 / B_1$	$F_{ext}$	$IEE_{DR,1}$
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			
$ZIEE_{DR,1}$			

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	$A_1 / B_1$	$F_{ext}$	$IEE_{DR,1}$
Sur			
$IEE_{DR,1}$			

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACION**

$IEE_{DR} = 0,47 \times ZIEE_{DR,1} + IEE_{DR,2}$

**4. CALIFICACION PARCIAL**

Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de Refrigeración	Valor	Calificación parcial	A	B	C	D	E
$IEE_{DR}$			0,20	0,17	0,14	0,11	0,08

**F<sub>DR-B4b</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL (IEE<sub>GLOBAL</sub>)

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACION: \_\_\_\_\_

**SITUACION EN EL ESQUEMA GENERAL**

```

    graph LR
        subgraph "IEE Sistema Calefacción"
            IEE_Calefacción[IEE Sistema Calefacción]
        end
        subgraph "IEE Sistema Refrigeración"
            IEE_Refrigeración[IEE Sistema Refrigeración]
        end
        subgraph "IEE Sistema ACS"
            IEE_ACS[IEE Sistema ACS]
        end
        subgraph "IEE Global"
            IEE_Global[IEE GLOBAL]
        end
        IEE_Calefacción --> IEE_Global
        IEE_Refrigeración --> IEE_Global
        IEE_ACS --> IEE_Global
    
```

**CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL (IEE<sub>GLOBAL</sub>)**

IEE demanda	Importancia	IEE	Coefficiente de reparto	$IEE_{GLOBAL}$
Calefacción $IEE_{DR}$	$IEE_{SIST}$	$IEE_{DR}$	0,42	
Refrigeración $IEE_{DR}$	$IEE_{SIST}$	$IEE_{DR}$	0,42	
ACS $IEE_{SIST}$	$IEE_{SIST}$	$IEE_{SIST}$	0,16	
$IEE_{GLOBAL} \Sigma$				

**CALIFICACION ENERGÉTICA**

Indicador de Eficiencia Energética Global	Valor	CALIFICACION ENERGÉTICA	A	B	C	D	E
$IEE_{GLOBAL}$			0,20	0,17	0,14	0,11	0,08

Figura 4. Fichas para obtener el indicador global.

A continuación se muestra la ficha final para realizar los cálculos finales incluyendo los coeficientes de reparto para un edificio en bloque de la zona climática de Madrid (D3).



### CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL $IEE_G$

	IEE demanda (a)	IEE sistemas (b)	IEE (c) = (a) x (b)	Coefficientes de reparto (d)	(e) = (c) x (d)
Calefacción	$IEE_{DC} =$	$IEE_{SC} =$	$IEE_C =$	0,75	
Refrigeración	$IEE_{DR} =$	$IEE_{SR} =$	$IEE_R =$	0,14	
ACS	$IEE_{DACS} =$ (100-contribución solar) / 50 =	$IEE_{SACS} =$	$IEE_{ACS} =$	0,11	
<b>IEE Global <math>\Sigma</math> (f)</b>					

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

Indicador de Eficiencia Energética Global	Valor	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA
$IEE_G$		<b>A</b> $IEE_G < 0,37$
		<b>B</b> $0,37 \leq IEE_G < 0,60$
		<b>C</b> $0,60 \leq IEE_G < 0,93$
		<b>D</b> $0,93 \leq IEE_G < 1,43$
		<b>E</b> $1,43 \leq IEE_G$

Figura 5. Ficha final para edificio en bloque de Madrid.

## 5. Conclusiones

Se ha aprobado el pasado 14 de julio de 2009 el Ce2, un procedimiento simplificado para la certificación de eficiencia energética de edificios de viviendas que sigue las directrices del "Documento de condiciones de aceptación de opciones simplificadas alternativas".

Se trata de un procedimiento más que de un conjunto de soluciones técnicas, es decir, no se le impone al diseñador qué es lo que tiene que hacer para obtener una determinada clase de eficiencia energética, sino que se le dice la clase de eficiencia energética que obtiene con el edificio propuesto.

Está planteado de forma que se pueda aplicar directamente a partir de los parámetros necesarios para verificar el cumplimiento de los requisitos del Código Técnico.

Extiende significativamente el alcance del método simplificado existente en la actualidad tanto en lo referente a las clases de eficiencia que se pueden obtener como en lo que afecta a la posibilidad, entre otras, de aplicarlo a edificios sin sistemas de calefacción y/o refrigeración.

El tratamiento mediante el álgebra de los indicadores de eficiencia energética permite obtener un diagnóstico detallado de las causas

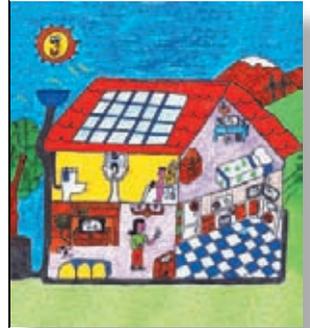
que provocan una eventual mala calificación y tomar las medidas correctoras necesarias.

Permite mejorar el diseño del edificio sin necesidad de complejos cálculos y es capaz de evaluar rápidamente la importancia que tiene el mismo edificio, la orientación, el porcentaje de huecos captadores, la compactidad, la calidad constructiva de los elementos de la envolvente (aislamiento térmico) y las mejoras en las instalaciones o en una combinación de los anteriores.

Desde ANDIMAT se ha desarrollado una hoja Excel que ayuda a rellenar las fichas justificativas al incorporar automáticamente los datos de las tablas. Dicha hoja está disponible en la web del IDAE y de ANDIMAT.

## 6. Bibliografía

- DOCUMENTO DE CONDICIONES DE ACEPTACIÓN DE OPCIONES SIMPLIFICADAS ALTERNATIVAS. <http://www.mityc.es>.
- ESCALA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN. [http://www.mityc.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/documentosreconocidos/otrosdocumentos/escala\\_%20calif\\_energetica.pdf](http://www.mityc.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/documentosreconocidos/otrosdocumentos/escala_%20calif_energetica.pdf).
- HOJA EXCEL DE APLICACIÓN DE LA OPCIÓN SIMPLIFICADA PARA LA CALIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS. <http://www.idae.es> y <http://www.andimat.es>.
- OPCIÓN SIMPLIFICADA PARA LA CALIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS. <http://www.idae.es> y <http://www.andimat.es>.

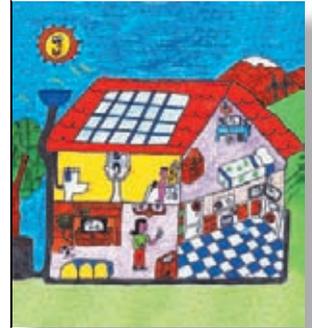




# 5

## PROCEDIMIENTO ABREVIADO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN (CERMA)

ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA  
DE CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN  
[www.atecyr.org](http://www.atecyr.org)



### 1. Introducción

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) y el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) han elaborado un "Procedimiento Abreviado para la Estimación de la Calificación Energética en Edificios de Viviendas de Nueva Construcción" (CERMA), con la colaboración técnica del grupo FRED SOL del departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia.

El desarrollo de esta herramienta ha contado con el apoyo técnico y financiero de la Generalitat Valenciana a través de la Dirección General de Vivienda y Proyectos.

El objetivo de CERMA es, mediante un sencillo proceso de introducción de datos, realizar una rápida estimación de la letra de Calificación de Eficiencia Energética que se obtendría con la aplicación del Real Decreto 47/2007 utilizando las herramientas ofrecidas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, y ofrecer al usuario soluciones de mejora que permitan reducir de forma eficiente el consumo energético del edificio.

Esta Aplicación, desarrollada para la calificación energética de edificios del sector residencial, ayuda al diseño energético y permite analizar mejoras de la calificación general y, además, ayuda al cumplimiento del RITE por cuanto estima consumos anuales y mensuales.

El programa es gratuito y está disponible para su descarga en las páginas web de ATECYR ([www.atecyr.es](http://www.atecyr.es)) y del IVE ([www.five.es](http://www.five.es)), y actualmente ha pasado un periodo de información pública para poder ser un documento de certificación simplificado reconocido por la administración para todo el territorio español.



## 2. Marco legislativo

España, como Estado miembro de la Unión Europea, debe adaptar su legislación a las directivas marcadas por el estado europeo.

Una de éstas es la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a esta Directiva a más tardar el 4 de enero de 2006 (aún hoy existen partes de la Directiva que no están traspuestas).

Debido a ello, todos los edificios deben poseer un certificado de eficiencia energética que evalúe las emisiones estimadas de dióxido de carbono emitido por el consumo de energía de las instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria e iluminación de los edificios. Por supuesto el objetivo final de la Directiva es reducir las emisiones de dióxido de carbono.

Para conseguir esto, en nuestro país se han publicado recientemente los siguientes Reales Decretos:

- *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.* En este Real Decreto existe un Documento Básico de Ahorro de Energía con cinco secciones:
  - DB HE-1, trata la Limitación de la Demanda Energética de la envolvente de los edificios.
  - DB HE-2, deriva al Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.
  - DB HE-3 trata la eficiencia energética de los sistemas de iluminación.
  - DB HE-4 trata la contribución mínima de energía para el servicio de agua caliente sanitaria que debe aportarse por paneles solares fototérmicos.
  - DB HE-5 trata de la cantidad de energía que se debe generar en los edificios (terciarios) por paneles solares fotovoltaicos.

- *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.*
- *Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.*

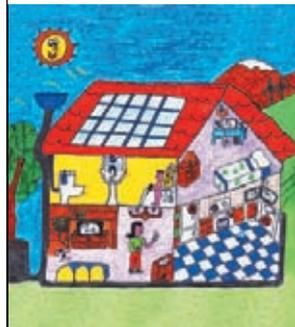
Está claro que el primer Real Decreto pretende reducir la demanda energética y aumentar la eficiencia energética de las instalaciones y de iluminación de los edificios y fomentar la utilización de energías renovables, el segundo pretende que las instalaciones de climatización y ACS sean seguras, den bienestar térmico y sean energéticamente eficientes y el tercero pretende identificar los edificios (envolvente + instalaciones) que emitan menos dióxido de carbono a la atmósfera.

Es evidente entonces la relación que tienen los dos primeros Reales Decretos con el tercero;

$$\frac{\text{Demanda}}{\eta_{\text{sistema}}} = \text{Consumo}$$

Por tanto, CERMA encaja dentro de la publicación del RD 47/2007, es un método simplificado para la calificación de edificios residenciales de nueva construcción válido en toda la geografía española como Procedimiento Simplificado Alternativo, pendiente de aprobación por parte de la Administración.

Este procedimiento puede ser aplicado igualmente para edificios existentes cuando la calificación obtenida es superior a la E. En este último caso la administración debe especificar el corte (emisiones  $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$  para edificios de viviendas unifamiliares y en bloque) entre las certificaciones E, F y G, y se podrá incorporar inmediatamente al programa simplificado.





### 3. Objetivos

Los objetivos propuestos con el programa CERMA son los siguientes:

- Predicción aproximada de la certificación energética que produce el programa Calener VyP para vivienda residencial con un conjunto muy limitado de datos de partida.
- Obtener un límite inferior de la certificación con el fin de asegurar que mediante el procedimiento oficial (uso de calener VyP) la certificación obtenida sea superior.
- Obtener el detalle de las certificaciones asignadas a calefacción, refrigeración y ACS, tanto a nivel de demanda como de sistemas, tal y como facilita los resultados el programa Calener VyP.
- Obtener el detalle de emisiones asociadas a cada uno de los elementos del edificio (cerramientos, huecos, etc.) medidos en ( $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\text{año}$ ), con el fin de analizar los puntos más débiles del mismo y poder así disminuir las anteriores emisiones a partir de dichos elementos.
- Obtener la demanda mensual y anual de energía de calefacción, refrigeración y ACS.
- Obtener el consumo de energía (energía final) mensual y anual de calefacción, refrigeración y ACS.
- Obtener las emisiones de  $\text{CO}_2$  mensual y anual de calefacción, refrigeración y ACS (para cumplir la exigencia del RITE).
- Analizar mejoras de la calificación basadas en la demanda y consumo de los sistemas, a través de su repercusión en la calificación final obtenida (letra alcanzable).

### 4. CERMA

#### 4.1. Descripción general

Una de las características del programa CERMA es su rapidez de cálculo, independientemente del tamaño del edificio a calificar,

no más de 30 segundos, debido a que éste realiza una presimulación (mediante funciones de transferencia) del calor transferido por los cerramientos opacos y por los cerramientos semitransparentes con la consideración de locales a temperatura constante de bienestar térmico.

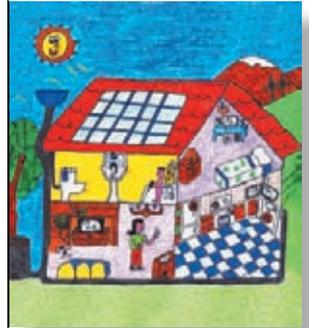
El programa CERMA, aunque es un método simplificado, realiza una simulación horaria de la demanda y consumo de energía del edificio como lo hacen los programas reconocidos, por tanto, si tiene en consideración la inercia térmica del edificio (mediante funciones de transferencia de cerramientos, muebles, etc.), aproximando tanto cantidad de muebles, puentes térmicos, etc., y finalmente considerando todo el edificio como una única zona térmica.

El programa realiza una estimación de la energía total a compensar por los equipos, en cada intervalo y mes, asignando cargas parciales y prestaciones a los equipos convirtiéndolos a emisiones de CO<sub>2</sub> en función del tipo y cantidad de energía consumida acorde a los factores de conversión oficiales marcados por la administración (los mismos que utilizan los programas reconocidos).

Un atractivo del programa es que realiza una asignación orientativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> a los diferentes elementos que contribuyen a la producción total de CO<sub>2</sub>. Además, realiza una previsión del comportamiento del edificio/sistema ante diferentes mejoras referidas al edificio (aislamientos, acristalamientos, etc.) y a los sistemas (cambio de sistema, mejores prestaciones de los mismos en base a su rendimiento medio estacional, etc.).

El programa emite dos tipos de calificaciones:

- Una asignación de la certificación esperable. Se define como el valor probable que se obtuviera si dicha asignación se realizara a través del programa oficial Calener VyP.
- Un límite inferior de incertidumbre para la calificación (cumpliéndose para los 504 casos estudiados en la validación). Este valor será la certificación oficial con este método y representa un valor SIEMPRE conservador.





#### 4.2. Datos de entrada

Se ha intentado que la entrada de datos al programa sea lo más amigable posible y que el usuario posea esos datos de manera directa sin tener que recabar ni dedicar mucho tiempo al edificio objeto de estudio. Los datos se irán introduciendo a través de seis pestañas, requiriendo datos globales, de la zona climática, transmitancia térmica de cerramientos y huecos (también de las proyecciones de sombra sobre estos huecos) y finalmente la introducción de los sistemas.

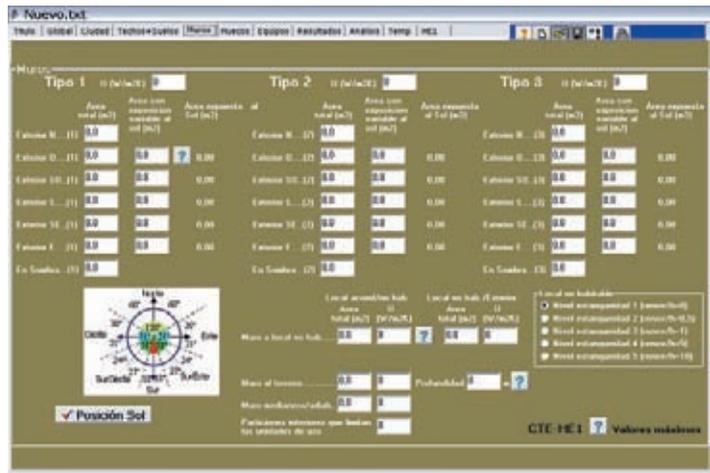


Figura 1. Pestaña de introducción de cerramientos opacos - Muros.

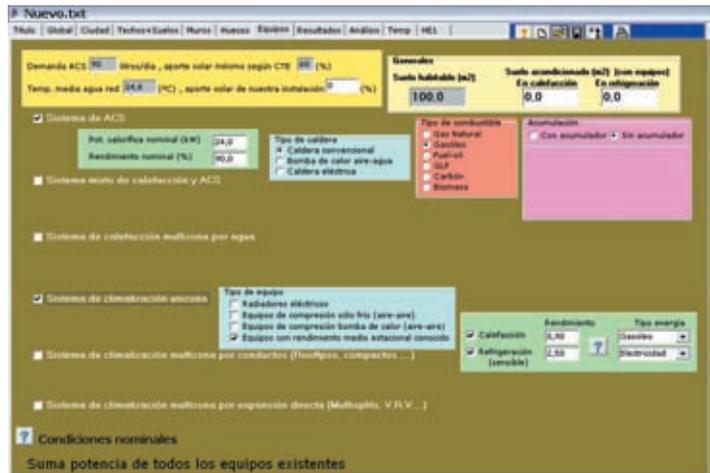
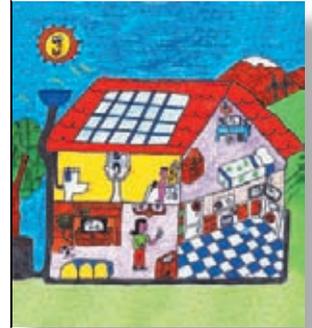


Figura 2. Pantalla de introducción de datos de los sistemas.

### 4.3. Datos de salida

Una vez definido el edificio a certificar a través de rellenar todas las anteriores pestañas el programa tiene tres pestañas más donde ofrece la calificación del edificio, las mejoras previsibles tanto de la envolvente térmica del edificio como de sus sistemas.



Así se facilita la letra independiente de cada contribución (calefacción, refrigeración y ACS) y la suma o certificación global. Este valor se define como certificación previsible (valor aproximado que ofrecería el edificio/ instalación en caso de haber utilizado el CalenerVyP, en la Fig. 3, C 24,3).

Igualmente se indica el límite máximo (o calificación propuesta mediante este procedimiento) en el que se puede asegurar que la letra real (mediante el programa CalenerVyP) no ha sido sobrepasada en los 504 casos estudiados (en la Fig. 3, D 26,3).

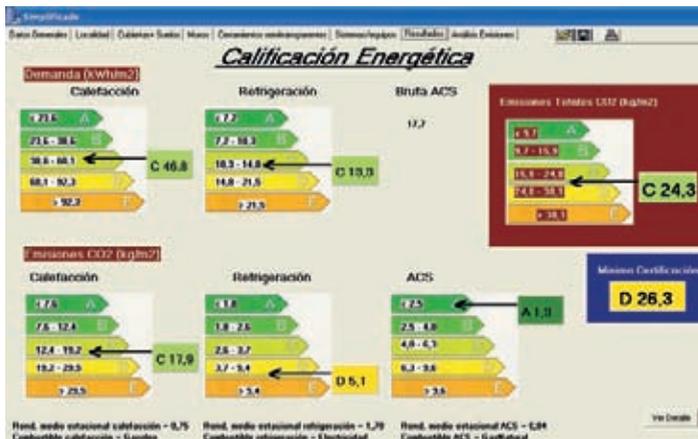


Figura 3. Pestaña de resultados.

En la Fig. 4 se muestra la salida de emisiones mensuales y anuales del edificio, pudiéndose obtener de forma inmediata también el consumo de energía final y primaria:



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

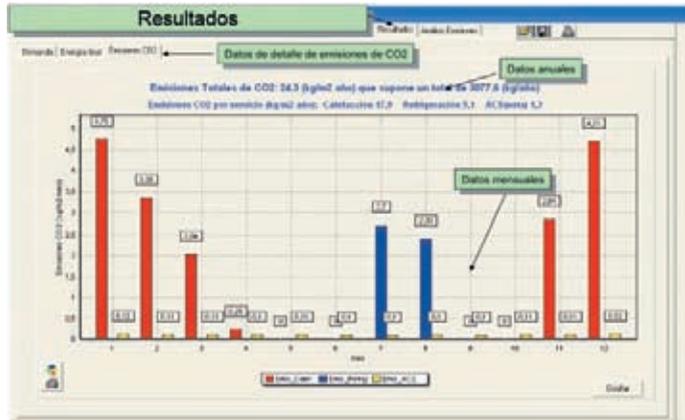


Figura 4. Análisis mensual de energía y demanda.

En cuanto al análisis de resultados podemos observar Fig. 5, las asignaciones a los diferentes hechos que dan lugar a la emisión total, pudiendo ayudar al técnico a mejorar exclusivamente aquel componente del edificio que mayor emisión de dióxido de carbono le corresponde.



Figura 5. Kg CO<sub>2</sub> asignados a cada parte de la envolvente.

Otro atractivo del programa y de gran utilidad de cara a mejorar un certificado de eficiencia energética es el estudio de mejoras en la envolvente en relación con la calidad alcanzada de mejora, tanto de la demanda como de las prestaciones de los sistemas, Fig. 6.

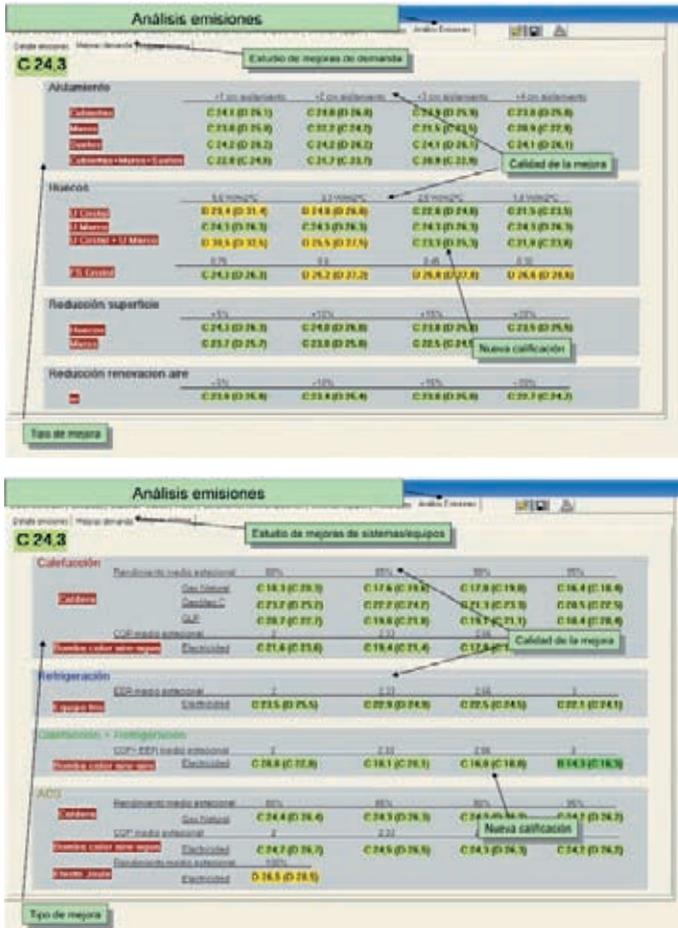
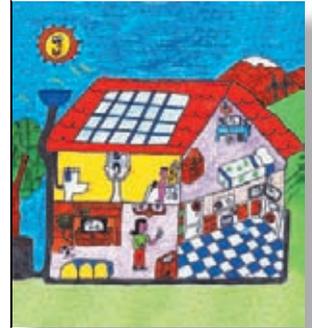


Figura 6. Acciones para mejorar la certificación energética original.

## 5. Futuro

Actualmente se está desarrollando una ampliación del CERMA, que tenga en consideración con más detalle las infiltraciones de los huecos y el análisis de los puentes térmicos. Además, se está intentando que el programa pueda servir para la rehabilitación de edificios existentes, pues va a tener la posibilidad de comparar dos edificios y poder utilizarlo para estrategias de subvenciones a edificios mejores energéticamente. Así mismo, tenemos la intención de elaborar un programa CERMA para pequeños edificios terciarios y que pueda cumplir la sección 1, Limitación de la Demanda Energética, del Documento Básico de Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación por la vía general.



## 6. Bibliografía

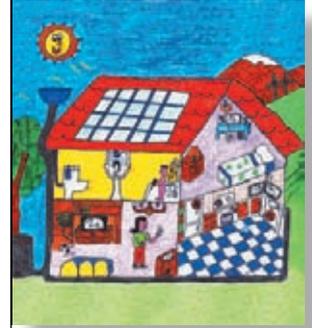
- GARCÍA, A.; GARCÍA, A.; SOTO, V., y PINAZO, J. M. (2008).: *DTIE 7.03 Entrada de datos a los programas Lider y CalenerVyp*. Ed. Atecyr. Madrid. ISBN 978-84-95010-26-1.
- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, y Documentos Reconocidos.
- REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, y Documentos Reconocidos.
- Páginas web visitadas: [www.atecyr.org](http://www.atecyr.org); [www.idae.es](http://www.idae.es); [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org); [www.mityc.es](http://www.mityc.es)

# 6 ILUMINACIÓN NATURAL

DÑA. ROCÍO CRUZ CHAVES

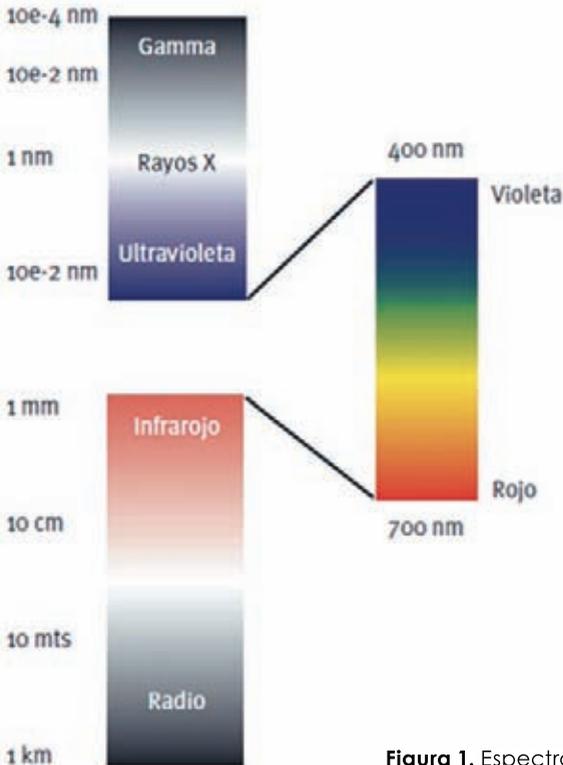
Lledó Energía. Grupo Lledó

[www.lledoenergia.es](http://www.lledoenergia.es), [www.lledosa.es](http://www.lledosa.es)



## 1. La luz natural

La luz natural o luz visible es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir, y que permite ver los objetos, Fig. 1. Esta fuente de luz proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias.



**Figura 1.** Espectro de la radiación visible y longitudes de onda asociadas al mismo.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La disponibilidad y características de la luz natural varían en función de la latitud, época del año, momento del día y meteorología del lugar.

La luz natural consta de tres componentes:

- Haz directo procedente del Sol.
- Luz natural difundida en la atmósfera (luz natural difusa).
- Luz natural procedente de reflexiones.

## 2. Efectos de la luz natural

Las personas se ven afectadas, tanto psicológicamente, como fisiológicamente por los diferentes tipos de luz. Uno de los aspectos psicológicos más importantes de la luz natural, es que proporciona una manera de contacto directa con el entorno exterior.

Tras varias investigaciones, se ha llegado a la conclusión de que la luz solar actúa como mediadora y controla numerosos procesos del ser humano. De este modo, se ha asociado la luz natural a:

- Control del reloj biológico.
- Efectos de la luz sobre el sueño, la cura de enfermedades, y la mejora del estado de ánimo.
- Influencia sobre la actividad de las personas.

## 3. Beneficios relacionados con el empleo de sistemas de iluminación natural

### 3.1. Beneficios económicos

El aporte de luz natural generado por la instalación de sistemas de aprovechamiento de la luz natural, puede generar beneficios económicos, tanto directos, como indirectos.

Los beneficios directos, se obtienen principalmente, de la reducción de consumo eléctrico del sistema de iluminación convencional, puesto que si se alcanzan niveles de iluminación con luz natural adecuados, es innecesario el funcionamiento, durante ese tiempo, de la luz artificial. Una reducción en las horas de funcionamiento del sistema de iluminación, implica la reducción directa de la energía consumida por el mismo, con la consiguiente reducción de gasto en electricidad.

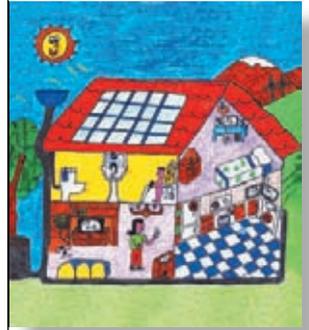
Debido a esta reducción en tiempos de encendido de la luz artificial, se consigue un alargamiento de la vida útil de las lámparas y luminarias, por lo que los costes de mantenimiento de los sistemas de iluminación se reducirían.

Como beneficio indirecto, se podría considerar la reducción de consumo del sistema de aire acondicionado. Todo sistema de iluminación artificial, emite, durante su funcionamiento, radiación en forma de calor. De tal manera que si se disminuyen las horas de uso de la iluminación, se reduce también la cantidad de calor aportada, por lo que se reduciría el uso de los sistemas de aire acondicionado, disminuyendo también el consumo energético.

En lo que se refiere a la actividad laboral, se puede tener en cuenta que el empleo de iluminación con luz natural produce un aumento de la productividad y reducción del absentismo laboral, puesto que la luz natural proporciona unas condiciones óptimas de trabajo:

- Fomenta la comunicación.
- Aumenta la atención y la concentración.
- Reduce el estrés y la monotonía.
- Favorece una eficacia mayor en el lugar de trabajo.

En espacios comerciales, se ha probado mediante estudios que el uso de luz natural mejora el ambiente, atrae a consumidores que permanecen más tiempo en estos entornos, por lo que se consigue una mejora de las ventas.





### 3.2. Beneficios medioambientales

El empleo de sistemas de iluminación natural puede ser considerado como una solución no contaminante. Esto es debido a que todo sistema que consiga una reducción de los consumos energéticos implica una mejora del medio ambiente.

Aunque cada vez más, el porcentaje de energía producida de origen renovable es mayor, se tiene que tener en cuenta que cualquier consumo energético, en este caso consumo de electricidad, tiene asociadas unas emisiones de gases de efecto invernadero y una generación de residuos radiactivos, tan perjudiciales para el medio ambiente.

En este sentido, se pueden tomar de referencia los datos que aparecen en la siguiente tabla, de gases emitidos y residuos generados por cada kWh consumido en España, Tabla 1:

**Tabla 1.** Emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos radiactivos producidos por el consumo eléctrico.

CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Residuos radiactivos de baja y media actividad	Residuos radiactivos de alta actividad
0,233 kg/kWh	0,383 g/kWh	0,313 g/kWh	0,00207 cm <sup>3</sup> /kWh	0,254 mg/kWh

### 3.3. Beneficios sociales

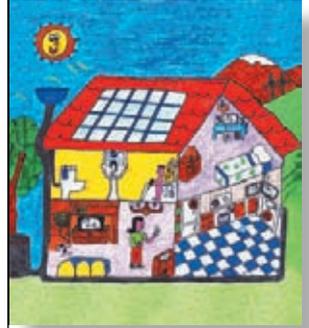
El empleo de sistemas que consigan una reducción del consumo energético, entre los que se encuentran los sistemas de iluminación natural, hace que se produzca una mejora de la imagen de las empresas.

Estos sistemas también colaboran en la mejora de la calificación energética que se realiza de los edificios.

## 4. Sistemas de iluminación natural

Actualmente, existen numerosos sistemas que aprovechan al máximo la entrada de luz natural en el interior, a la vez que producen una distribución uniforme de la misma.

Con estos sistemas, se consigue, además de la entrada de una cantidad mayor de luz en el interior, distribuida de manera que no es focalizada en un punto, que se eviten los “puntos calientes”, generados con los sistemas cenitales convencionales de captación de luz natural, Fig. 2.



## SISTEMA CONVENCIONAL

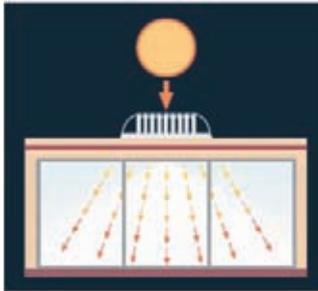
### CANTIDAD LIMITADA DE LUZ



### GENERACIÓN DE PUNTOS CALIENTES



## SISTEMA QUE MAXIMIZA LA ENTRADA DE LUZ EN EL INTERIOR



**Figura 2.** Comparativa de un sistema convencional y un sistema de aprovechamiento máximo de luz natural.

Con el aprovechamiento óptimo de la luz natural, se consigue tener el sistema de iluminación artificial apagado durante un gran número de horas al día, con lo que se alcanzan importantes ahorros en electricidad y se evita la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

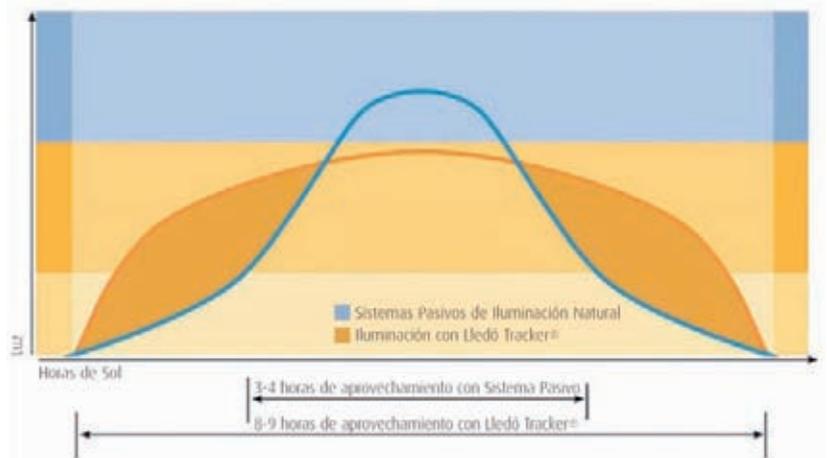
Estos sistemas pueden ser tanto activos (contienen partes móviles), como pasivos.



#### 4.1. Sistemas activos de iluminación natural

Los sistemas activos contienen un número de reflectores que se posicionan a lo largo del día siguiendo la trayectoria del sol. Su funcionamiento se basa en la reflexión de los rayos del sol en estos espejos, que reflejan la luz hacia un difusor que contiene una gran cantidad de lentes prismáticas. De ahí la luz pasa a través de un hueco reflector, recubierto de un material con una elevada reflexión para posteriormente atravesar otro difusor que maximiza la luz natural y la distribuye uniformemente en el interior.

Comparando este tipo de sistemas, con uno convencional, se puede observar que provocan un aprovechamiento máximo de la luz natural, cuando los ángulos del sol son bajos, es decir, a primera y última hora del día, Fig. 3.



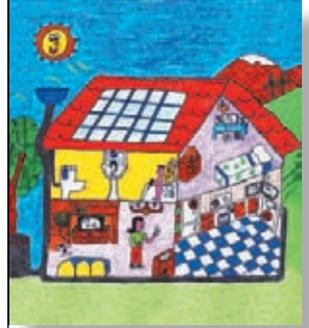
**Figura 3.** Comparativa de las horas de aprovechamiento y niveles de luz de un sistema de iluminación convencional frente a uno con sistema de seguidor solar.

En la Fig. 1 se pueden observar los niveles de iluminación en función de las horas del día, proporcionados por un sistema de iluminación natural convencional (línea azul) frente a un sistema de iluminación natural que realiza un seguimiento de la trayectoria del sol a lo largo del día.

Las ventajas que se obtienen por el empleo de uno de estos sistemas pueden ser:

- Aprovechamiento de la luz natural de 8 horas al día aproximadamente.

- Inexistencia de deslumbramiento.
- Distribución uniforme de la luz.
- Elevados niveles de luz a primera y última hora del día.



#### **4.2. Sistemas pasivos de iluminación natural**

Los sistemas pasivos de iluminación natural no contienen partes móviles, puesto que no realizan un seguimiento de la trayectoria del sol. En cambio, cuentan con una cúpula realizada con un material que contiene miles de prismas diminutos que refractan la luz solar directamente en miles de micro haces de luz, con una difusión muy superior que cualquier otro sistema, produciendo unos niveles de luz natural muy elevados a lo largo del día.

El empleo de estos sistemas pasivos, al igual que los activos, proporcionan una serie de ventajas frente a otros:

- Rango de iluminación un 20% superior a cualquier otro sistema convencional durante las primeras y las últimas horas del día, especialmente para unos ángulos del sol menores a 17°.
- Luz más intensa que no produce "puntos calientes".
- Distribución uniforme de la luz, sin deslumbramientos.

#### **5. Ejemplo de instalación de un sistema de iluminación natural**

Para la realización de un estudio de ahorro energético producido por la instalación de un sistema de iluminación natural, se deben tener en cuenta factores que puedan influir. Entre estos factores, se encuentran:

- Emplazamiento del lugar donde se vaya a realizar la instalación: En función del lugar geográfico, se cuenta con unas horas de sol determinadas al año.



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Superficie a iluminar.
- Altura del área a iluminar.
- Tipo de edificio: Se deben considerar los horarios de funcionamiento para poder hacer un cálculo de las horas de uso al año.
- Sistema de iluminación artificial: potencia instalada, nivel de iluminación requerido, si existe o no un sistema de regulación en función del aporte de luz natural.
- Porcentaje de cubierta mínimo, que debe estar ocupado con sistemas de captación de luz natural.
- Reflectancias: Tanto del suelo, como del techo y paredes. Con colores más claros, aumentan las reflectancias, por lo que los niveles de luz natural obtenidos son mayores.
- Precio de la electricidad: Se debe considerar para calcular los ahorros anuales en iluminación, partiendo de la reducción de consumo anual del sistema de iluminación convencional (kWh).

Partiendo de todos estos datos, podemos llegar a realizar un estudio en el que aparecen niveles de iluminación natural conseguidos, y ahorros obtenidos.

En este caso, se va a proceder a la realización de un estudio de ahorro energético en una nave de una superficie de  $430 \text{ m}^2$ , altura de 7 metros, una potencia instalada en iluminación de  $20 \text{ W/m}^2$ , horario de apertura de 7:00 a 20:00 horas y un precio de la electricidad de  $0,11 \text{ €/kWh}$ .

Con la instalación de seis sistemas de iluminación natural en la cubierta, de dimensiones 2,10 metros x 1,20 metros, se obtienen los siguientes resultados, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Tabla 2 y Tabla 3:

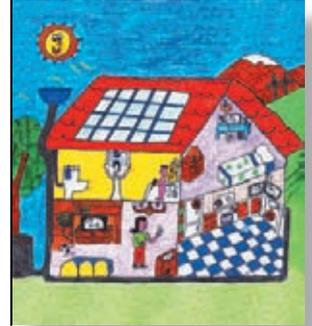


Figura 4. Niveles de iluminación medios obtenidos a lo largo del día durante cada mes del año.



Figura 5. Punto óptimo de diseño del sistema en función del porcentaje de cubierta ocupada con sistemas de iluminación natural y ahorros conseguidos (kWh).

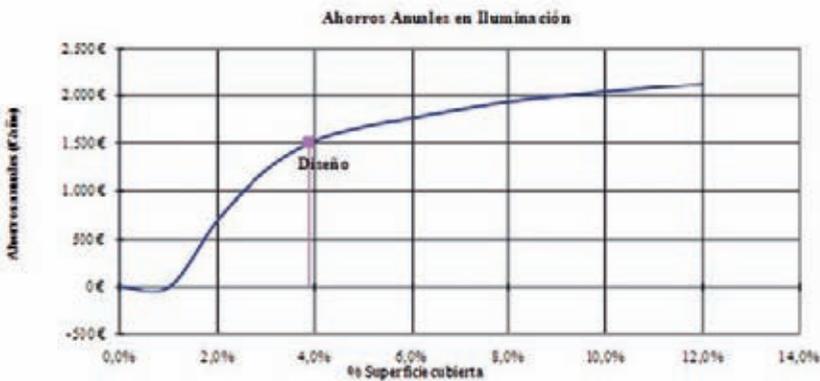
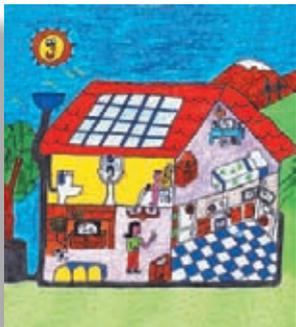


Figura 6. Punto óptimo de diseño del sistema en función del porcentaje de cubierta ocupada con sistemas de iluminación natural y ahorros conseguidos (€).



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

**Tabla 2.** Energía anual consumida en iluminación sin instalar sistemas de aprovechamiento de luz natural, e instalándolos.

USO DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL	kWh/año
Energía sin sistemas de aprovechamiento de luz natural	31.879 Ahorro en iluminación 43%
Energía con sistemas de aprovechamiento de luz natural	18.233 Ilum. Natural (h/año) 2.671

**Tabla 3.** Ahorros energéticos anuales conseguidos con el sistema de iluminación natural.

AHORROS CON SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL		
Ahorros	Ahorro de energía anual (kWh/año)	Ahorros anuales (€/año)
Iluminación	13.646	1.501 €

## 6. Bibliografía

- EDWARDS, L., y TORCELLINI, P. (2002): *A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. NREL (National Renewable Energy Laboratory). Colorado.
- IDAE (2005): *Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. IDAE. Madrid.
- WWF ADENA (2009).: *Informe anual del Observatorio de la Electricidad*. [www.wwf.es](http://www.wwf.es).
- Skycalc 2.0®: Skylighting Tool. Heschone Mahone Group, Inc.
- [www.lledoenergia.es](http://www.lledoenergia.es)
- [www.sunoptics.com](http://www.sunoptics.com)

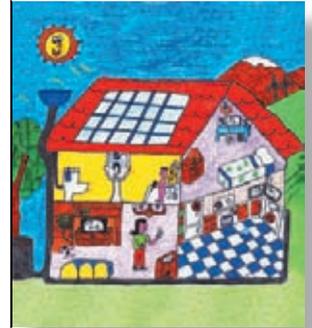
# 7

## SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTE

D. SANTIAGO JULIÁN ALCOLEA

*Philips Ibérica*

[www.philips.es](http://www.philips.es)



### 1. Introducción

El agotamiento de las fuentes de energía no renovables, el ahorro monetario o el cuidado del medio ambiente son algunas de las razones por las que comenzamos a familiarizarnos con el término eficiencia energética, pero, ¿de qué se habla exactamente cuando se utiliza esta expresión? De algo tan sencillo como de la adecuada administración de la energía y, en consecuencia, de su ahorro.

La energía es algo que utilizamos a diario y constantemente desde que nos levantamos hasta que nos acostamos, pero raramente pensamos en cómo administrarla no sólo para ahorrar dinero, sino también para ayudar al medio ambiente. Y es que debemos tener claro que es la propia naturaleza la que más caro pagará todos nuestros derroches energéticos, sobre todo si se considera que un pequeño porcentaje de la energía utilizada en España proviene de fuentes renovables.

Resulta prioritario, pues, reducir esta dependencia económica del petróleo y de combustibles fósiles, y para ello hay dos soluciones: potenciar el uso de fuentes alternativas y renovables, y aún más importante, aprender a usar eficientemente la energía, cuestión en la que todos tenemos igual responsabilidad. El ahorro de energía se puede conseguir en cualquiera de las actividades diarias y, además hoy, día a día hay muchos adelantos tecnológicos orientados a este fin, que han obtenido buenos resultados. Se calcula que desde 1970 se ha consumido un 20% menos de energía para generar los mismos bienes.

Debido al cambio climático, el aumento del precio de la energía, la escasez de recursos naturales y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (entre las que se encuentran las de



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

CO<sub>2</sub>), todos ellos problemas clave de nuestros días, se consideró necesario marcar unos objetivos por países, dentro del Protocolo de Kioto. Actualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> en España se encuentran a unos niveles muy alejados de los necesarios para poder alcanzar el objetivo prefijado en Kioto para el año 2012.

La industria del alumbrado posee la tecnología necesaria para conseguir ahorros energéticos y reducciones muy significativas de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Cambiando a sistemas de alumbrado energéticamente más eficientes, se pueden obtener además importantes ahorros en los costes de mantenimiento de las instalaciones. Las ventajas por tanto son muchas, tanto desde el punto de vista medioambiental como financiero.

## 2. Normativa sobre eficiencia energética

Dados los efectos cada vez más alarmantes producidos por el cambio climático y la preocupación actual por el medio ambiente y su futuro, los gobiernos de la mayor parte de los países y en concreto la Unión Europea, han redactado una serie de Directivas, Códigos, Leyes, Reglamentos y Normas para acomodar el consumo excesivo de los escasos recursos a las verdaderas necesidades, evaluando, limitando y primando el empleo de fuentes de energía alternativas y sobre todo renovables. Por otro lado, los fabricantes de aparatos que consumen energía investigan y desarrollan cómo reducir los consumos manteniendo las prestaciones de sus productos.

No debe nunca olvidarse que en paralelo con este deseo de ahorrar energía coexiste una obligación, que es la de conseguir satisfacer los criterios de calidad precisos para que las instalaciones de iluminación proporcionen no sólo los niveles suficientes, sino también la satisfacción de todos aquellos parámetros que contribuyen a crear un ambiente confortable y seguro en los distintos lugares a iluminar.

A continuación se citan una serie de normativas de obligado cumplimiento que afectan directamente al alumbrado en general y, especialmente, a la iluminación interior en edificios:

- Código Técnico de la Edificación (CTE).

- Norma UNE 12464-1: Norma Europea sobre la iluminación para interiores.
- Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- RoHS. Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 838/2002. Requisitos de eficiencia energética de los balastos para lámparas fluorescentes.

### 3. Cómo se puede ahorrar energía en instalaciones de alumbrado

La luz es una necesidad humana elemental y una buena luz, por lo tanto, es esencial para el bienestar y la salud.

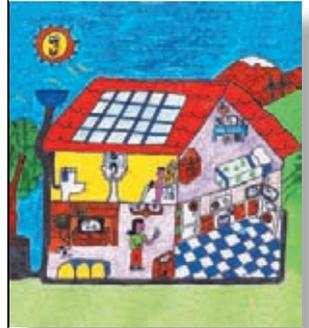
La iluminación en un edificio debe servir a tres objetivos fundamentales:

- Cumplir con las recomendaciones de calidad y confort visual.
- Crear ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones.
- Racionalizar el uso de la energía con instalaciones de la mayor eficiencia energética posible.

La iluminación tiene unas características complejas de diseño, de prestaciones técnicas y de cumplimiento de regulaciones y normativas.



Figura 1. Interior edificio de oficinas.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que componen los edificios, deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente, según las tareas y actividades que se desarrollan. Aplicando criterios de calidad adecuados al diseño, instalación y mantenimiento de todos aquellos elementos que intervienen en la obtención de una buena iluminación, obtendremos los resultados de confort visual requeridos, todo esto garantizando la máxima eficiencia energética y, por tanto, los mínimos costes de explotación.

En los edificios, podemos encontrar problemáticas específicas, tales como:

- Luminarias que producen deslumbramientos directos o indirectos.
- Lámparas de temperatura de color y potencia inadecuada a la instalación, tanto por defecto como por exceso.

Por otro lado, es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta eficacia luminosa (lumen/vatio), unidas al uso de sistemas de control y regulación cuando sea posible adecuados a las necesidades del espacio a iluminar, lo que permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

Conociendo los requisitos generales del usuario, es posible determinar los criterios de alumbrado para cada uno de los diferentes espacios: pasillos, áreas de mesas de trabajo, salas de reunión, zonas de descanso, etc.

La calidad de la luz (nivel de iluminación, reproducción del color, temperatura del color y grado de deslumbramiento) ha de ser siempre suficiente para garantizar un rendimiento visual adecuado de la tarea en cuestión. El rendimiento visual de una persona depende de la calidad de la luz y de sus propias "capacidades visuales". En este sentido, la edad es un factor importante, ya que con ella aumentan las necesidades de iluminación.

Los efectos estimulantes de la luz son reconocidos por casi todo el mundo. No sólo los distintos efectos de la luz solar, sino también los efectos de la luz en los entornos cerrados. Existen estudios que sugieren que la luz repercute positivamente en la salud de las personas.

Una iluminación de baja calidad puede requerir un mayor esfuerzo y/o un mayor número de errores o accidentes, con la consiguiente disminución de las capacidades de actuación. Las causas son, con frecuencia, el escaso nivel de iluminación, el deslumbramiento y las relaciones de luminancia mal equilibradas en el lugar, o el consabido parpadeo de los tubos fluorescentes que funcionan con equipo convencional.

Está demostrado que muchos tipos de errores y accidentes se podrían evitar si se mejorara la visibilidad aumentando el nivel de iluminación, mejorando la uniformidad, evitando deslumbramientos, instalando balastos electrónicos para evitar el efecto estroboscópico o parpadeo.

A continuación se analizan cuáles son las fases de una instalación de alumbrado en las que se puede ahorrar energía, y en cantidades muy considerables, analizando detenidamente dónde, cómo y cuándo adoptar las medidas más eficaces para llevar a la práctica la consecución del ahorro deseado.

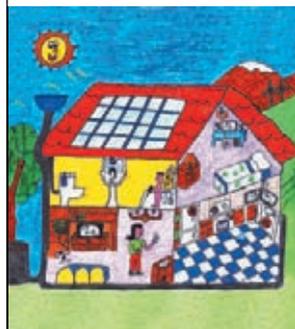
### **3.1. Fases del proyecto**

En esta fase se debe prestar una especial atención a elegir y cuantificar aquellos criterios que realmente son fundamentales para conseguir una instalación de iluminación eficiente y de alta calidad. De entre todos los parámetros cuantitativos y cualitativos, hay que prestar una especial atención a:

- La predeterminación de los niveles de iluminación.
- La elección de los componentes de la instalación.
- La elección de sistemas de control y regulación.

#### **3.1.1. La predeterminación de los niveles de iluminación**

Deben tenerse muy en cuenta las necesidades visuales del observador tipo, convenientemente recogidas en las recomendaciones y nor-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

mas relativas a tareas visuales a realizar por el ser humano. En resumen todo se reduce a la apreciación de un objeto contra un fondo, ya sean objetos físicos, letras u otros elementos.

### **a) Niveles de iluminación mantenidos**

Cuando se realiza el proyecto de iluminación normalmente se establece un nivel de iluminación inicial superior, según los ciclos de mantenimiento, que dependerá de la fuente de luz elegida, de las luminarias, así como de la posibilidad de ensuciamiento del mismo. Con el tiempo el nivel de iluminación inicial va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como de la suciedad acumulada en luminarias, paredes, techos y suelos.

Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener un nivel de iluminación adecuado a las actividades que se realizan y se tendrán que sustituir las lámparas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo aseguraremos que la tarea se pueda realizar según las necesidades visuales.

Por supuesto se satisfarán otros criterios cualitativos simultáneamente, tales como la reproducción de colores, el color aparente de la luz, el ambiente en que se encuentren las personas en su interior, el control del deslumbramiento, la simultaneidad con la luz natural, etc.

### **b) Tiempo de ocupación del recinto**

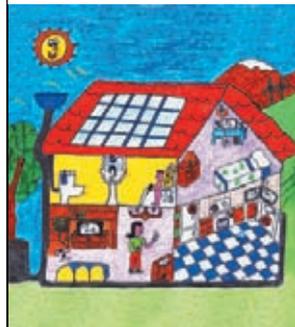
En una tarea visual que se desarrolla dentro de un recinto cerrado, el tiempo de ocupación tiene mucho que ver con el consumo de energía eléctrica. Así, la permanencia de la instalación encendida cuando no hay personas dentro de dicho recinto es uno de los mayores despilfarros energéticos.

### **c) Aportación de luz natural**

A la hora de afrontar la rehabilitación de un edificio, también deberá estudiarse la superficie abierta, la orientación respecto al sol, la proximidad de otros edificios, en resumen, todo aquello que suponga una aportación de luz natural, que no sólo es vital desde el punto de vista psicológico, sino sobre todo desde el punto de vista de ahorro de energía.

#### **d) Flexibilidad de la actividad que se realice**

El análisis de los supuestos de partida no debe despreciar nunca la realización de actividades variadas en una misma sala, para lo que será preciso flexibilizar la instalación y no duplicarla o triplicarla.



#### **3.1.2. Elección de los componentes de la instalación**

Otro de los elementos básicos en la fase de proyecto es el proceso de estudio y elección de los elementos componentes, tales como las **fuentes de luz; los equipos eléctricos** precisos para el funcionamiento de las fuentes de luz o **las luminarias**, que alojan a unas y otros.

Sea como sea, cuando se comparan sistemas que son equivalentes en términos luminotécnicos, el análisis de costes hace la elección más sencilla. Al realizar tal análisis se debe calcular no sólo el coste inicial, sino también los costes de explotación previstos (energía y mantenimiento de la instalación), entre otras razones, porque los costes de la energía son uno de los factores más importantes del coste global de la instalación.

Para realizar un análisis de costes, se necesitan los siguientes datos:

- Número y tipo de luminarias/proyectores necesarios.
- Precio de la luminaria/proyector.
- Número y tipo de lámparas necesarias.
- Precio de la lámpara y equipo auxiliar.
- Consumo por luminaria/proyector, incluyendo las pérdidas de los equipos.
- Tarifas de electricidad.
- Vida útil de la lámpara.
- Horas de funcionamiento anual de la instalación.
- Financiación y amortización.



### a) Lámparas

Además de por sus características cromáticas, tanto de reproducción de colores, como de apariencia de su luz, las lámparas se diferencian sobre todo en términos de eficiencia energética por un parámetro que la define: la **eficacia luminosa**, o cantidad de luz medida en lúmenes dividida por la potencia eléctrica consumida medida en vatios. Nada mejor que una gráfica como la de la Fig. 2 para representar de una forma simple y rápida la diferencia entre las distintas fuentes de luz artificial.



Figura 2. Cuadro comparativo de eficacia de las lámparas.

Es importante para las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar, que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos de forma natural, correctamente y de tal modo que haga que las personas parezcan atractivas y saludables.

Para proporcionar una indicación objetiva de las propiedades de rendimiento en color de una fuente luminosa se ha definido el **Índice de Rendimiento en Color** (Ra o I.R.C.). El Ra se obtiene como una nota de examen; esta nota es el resultado sobre la comparación de 8 o 14 colores muestra. Un 100 significa que todos los colores se reproducen perfectamente, y conforme nos vamos alejando de 100, podemos esperar una menor definición sobre todos los colores.

**Tabla 1.** Índice de reproducción cromática.

ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA	
$Ra < 60$	Pobre
$60 < Ra < 80$	Bueno
$80 < Ra < 90$	Muy Bueno
$Ra > 90$	Excelente

Las lámparas con un índice de rendimiento en color menor de 80 no deberían ser usadas en interiores en los que las personas trabajen o permanezcan durante largos períodos.

La "apariencia de color" o **temperatura de color** de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. La luz blanca puede variar desde tonalidades cálidas a frías en función de las sensaciones psicológicas que nos producen.

Para las aplicaciones generales, la Comisión Internacional de Iluminación divide las fuentes de luz en tres clases, según su temperatura de color:

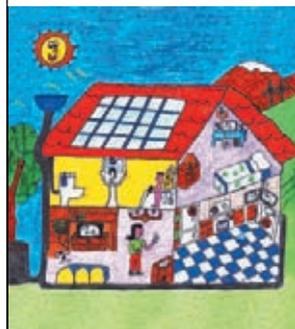
**Tabla 2.** Temperatura de color.

TEMPERATURA DE COLOR	
Blanco cálido	$T_c < 3300 \text{ °K}$
Blanco neutro	$3300 \text{ °K} < T_c < 5300 \text{ °K}$
Blanco frío	$T_c > 5300 \text{ °K}$

La elección de apariencia de color es una cuestión psicológica, estética y de lo que se considera como natural. La elección dependerá del nivel de iluminancia, colores del espacio y objetos del mismo, clima circundante y la aplicación.

## b) Balastos

Las lámparas incandescentes y las halógenas directas a red son las únicas que no necesitan de un equipo auxiliar (transformador o reactancia o balasto electrónico) para funcionar. Las lámparas de descarga se utilizan en combinación con diferentes tipos de balastos. Éstos pueden ser *electrónicos* (también llamados *electrónicos* de alta frecuencia) o *electromagnéticos*. Bajo la categoría de balastos electromagnéticos se encuentran los de cobre-hierro tradicionales para lámparas fluorescentes. Estos balastos deben combinarse con cebadores y habitualmente con condensadores de corrección del factor de potencia.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Los **balastos electrónicos** ofrecen numerosas e importantes ventajas en comparación con los balastos electromagnéticos tradicionales:

- **Pérdidas de potencia:** las pérdidas de potencia en los balastos tradicionales (electromagnéticos) oscilan entre un 6%-7% hasta un 20%, mientras en los balastos electrónicos puros son de 0 vatios.
- **Ahorros de coste:** reducción del consumo de energía en aproximadamente un 25%, duración de la lámpara considerablemente mayor y reducción notable de los costes de mantenimiento.
- **Comportamiento:** al confort general de la iluminación, añaden lo siguiente: no produce parpadeos; un interruptor de seguridad automático desconecta el circuito al acabar la vida de la lámpara evitando los intentos de encendido indefinidos. El encendido de la lámpara rápido y fluido está garantizado y se evita el potencialmente peligroso efecto estroboscópico.
- **Seguridad:** mayor seguridad mediante la detección de sobrecargas de voltaje, una temperatura de funcionamiento significativamente inferior y en la mayoría de los tipos, un control de protección de la tensión de red de entrada.
- **Más flexibilidad:** con los balastos de regulación, las instalaciones con lámparas fluorescentes pueden regularse, lo que permite el ajuste de los niveles de iluminación de acuerdo a las preferencias personales, además de proporcionar un ahorro adicional de energía.
- **Instalación:** las unidades de balastos electrónicos son más ligeras y relativamente sencillas de instalar comparadas con los balastos electromagnéticos y requieren menos cableado y componentes de circuito (no hay cebadores).
- **Eficacia:** El funcionamiento de los balastos electrónicos a alta frecuencia, por encima de 16 kHz, que hace aumentar la eficacia del tubo en un 10%.

Además, los balastos electrónicos de **precaldeo** calientan los electrodos antes de aplicar la tensión de arranque. El precalentamiento del electrodo de la lámpara es posible en todas las lámparas fluorescentes. El precalentamiento tiene dos ventajas:

- Los electrodos de la lámpara sufren muy poco con cada arranque.
- La tensión de arranque necesaria es inferior que en un circuito de arranque frío.

Por lo tanto, con el precaldeo se pueden realizar tantas conmutaciones como sea necesario.



Figura 3. Algunos tipos comunes de balastos electrónicos.

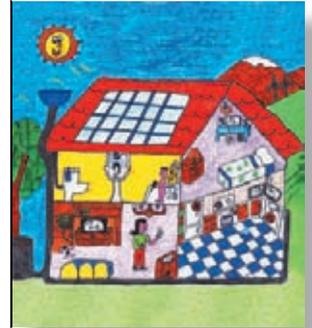
### c) Luminarias

La eficiencia energética de las luminarias está basada en el máximo aprovechamiento del flujo luminoso emitido por la lámpara, con un tope del 100%, pero que en casos muy especiales se aproxima al 90% como máximo. A esta eficiencia contribuyen de modo muy importante el tamaño físico de la lámpara (cuanto más se aproxima a un foco luminoso puntual mayor será su eficiencia dentro de un sistema óptico).

No obstante, no hay que olvidar que además de estas prestaciones iniciales las luminarias tienen como exigencia la conservación de éstas el mayor tiempo posible, ya sea evitando el ensuciamiento interno del sistema óptico, o evitando la degradación de las superficies reflectoras o de las superficies transmisoras o refractoras.

Los deslumbramientos pueden provocar cansancio y dolores oculares pudiendo llegar a producir irritación de ojos y dolores de cabeza. Se debe tener especial atención al deslumbramiento en aquellos lugares donde la estancia es prolongada o donde la tarea es de mayor precisión.

El **Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR)** es el nuevo sistema que la Comisión Internacional de Iluminación recomienda para de-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

terminar el tipo de luminaria que debe usarse en cada una de las aplicaciones atendiendo a la posibilidad de deslumbramiento que ésta puede provocar debido a la construcción de la óptica y la posición de las lámparas. El sistema utiliza una serie de fórmulas para determinar, en función de la luminaria la posición de instalación de la misma, las condiciones del local, y nivel de iluminación, el posible deslumbramiento producido en los ojos de una persona que esté presente en el local. El resultado final es un número comprendido entre 10 y 31, siendo mayor el deslumbramiento cuanto más alto sea el valor obtenido.

### 3.1.3. Elección de sistemas de control y regulación

Además del conjunto formado por lámpara, balasto y luminaria que debe ser lo más eficiente posible, hay una serie de dispositivos, denominados genéricamente sistemas de regulación y control, que tratan de simplificar y automatizar la gestión de las instalaciones de alumbrado. Entre los diferentes sistemas, se pueden destacar:

- Sistemas automáticos de encendido y apagado.
- Sistemas de regulación y control bajo demanda del usuario por interruptor, pulsador, mando a distancia, etc.
- Sistemas de regulación de la iluminación artificial de acuerdo con la aportación de luz natural a través de acristalamientos de diversa índole.
- Sistemas de detección de presencia o ausencia para encender o apagar la luz, o incluso regular su flujo luminoso.
- Sistemas de gestión centralizada, automatizada o no.

### 3.2. Ejecución y explotación

Esta fase de la instalación posee una importancia decisiva a la hora de respetar todos aquellos principios que han justificado la decisión

de una solución en la fase de proyecto. Para ello, se requiere prestar una atención especial a una serie de circunstancias y datos que se enumeran a continuación:

### 3.2.1. Suministro de energía eléctrica

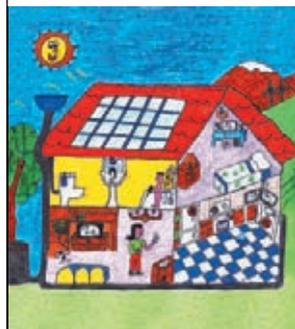
La comprobación y revisión de la existencia de subtensiones o sobretensiones justifica la toma de medidas eléctricas de la red de suministro, tanto durante la fase de ejecución inicial, como durante la explotación de la instalación, pues aunque el Reglamento de Verificación admite tolerancias de un más, menos 7% en las tensiones nominales de alimentación, una sobretensión de un 10% puede provocar un exceso de consumo energético de hasta un 20%, además del acortamiento muy significativo de la vida de la lámpara y del balasto.

### 3.2.2. Cumplimiento de los niveles proyectados

No deberán tolerarse las deficiencias de los niveles de iluminación proyectados, ni los excesos. Las primeras pueden dar origen a la realización defectuosa de la tarea visual. Los segundos pueden representar consumos excesivos innecesarios, directamente proporcionales a la eficacia luminosa de las lámparas empleadas en la instalación.

### 3.2.3. Respeto de las soluciones y sistemas proyectados

Hay que respetar al máximo las soluciones de Proyecto, pues aunque la tendencia a equiparar componentes y soluciones esté muy extendida en función de las diferencias de precios de adquisición, que a veces son muy importantes, las consecuencias de una falta de respeto del Proyecto puede dar lugar a pérdidas energéticas como consecuencia de los incumplimientos de los parámetros de calidad, que a veces pueden involucrar incluso la renovación de la instalación en un plazo de tiempo inferior al de su amortización.





### 3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados

Barajando las posibilidades que se han mencionado en la fase de Proyecto, se trata de comprobar que dichos supuestos se cumplen en la realidad, es decir, que las zonas iluminadas que fueron así proyectadas soportan una actividad similar a aquella para la que se diseñaron. De acuerdo con ello, utilizando alguno o varios de los sistemas enunciados, se pueden llegar a ahorros energéticos de consumo del orden de hasta un 50%.

### 3.2.5. Regulación de los niveles de luz artificial

La regulación del flujo luminoso para compensar la aportación de la luz natural que penetra por las zonas abiertas de una oficina, Fig. 4, puede conducir a ahorros enormes de consumo de energía eléctrica, evaluables según la orientación y superficie abierta. Ningún edificio con aportación de luz natural debería proyectarse sin regulación del flujo luminoso o apagado de las fuentes más próximas a los espacios abiertos. Esto se recoge perfectamente en los últimos comentarios dentro del Código de la Edificación.

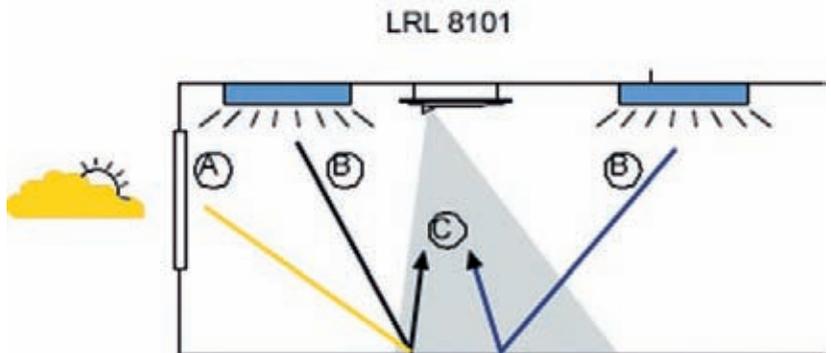
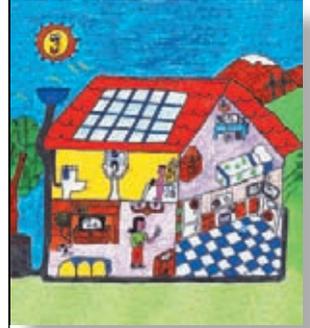


Figura 4. Combinación de luz natural y luz artificial mediante control por célula.

## 3.3. Mantenimiento

No por ser la última fase es la menos importante. El capítulo de mantenimiento es el conjunto de todos aquellos trabajos, programados u ocasio-

nales que sirven para conservar el funcionamiento de la instalación y las prestaciones de la misma dentro de los límites que se consideraron como convenientes en la fase de Proyecto, y que se han tratado de respetar en la fase de Ejecución y Explotación. Así pues, habrá que prestar una atención especial a los siguientes métodos operativos.



### 3.3.1. Previsión de operaciones programadas

Las tareas de mantenimiento, tales como reposición de lámparas, limpieza de luminarias, revisión de los equipos eléctricos, y resto de componentes de la instalación requiere una organización que, dependiendo de las condiciones de suciedad o limpieza de la zona a iluminar, de la duración de vida de las lámparas y de las solicitudes a que estén sometidas éstas y los equipos, suponga la adopción de una frecuencia de mantenimiento. Cuando estas tareas se realizan de forma general o por zonas, con un *planning* establecido, se denominan operaciones programadas.

Con estas operaciones programadas se pueden llegar a ahorros equivalentes a lo que supondría el coste del 50% de las operaciones casuales u ocasionales, es decir, cuando se tiene que acudir de prisa y corriendo para reemplazar una lámpara o componente que ha fallado.

El mantenimiento comprende el reemplazo regular de lámparas y otros componentes con duración limitada, así como el reemplazo temporal de elementos deteriorados o estropeados. Contribuye además a un consumo eficaz de la energía y evita costes innecesarios. Las lámparas pueden reemplazarse individualmente o todas al mismo tiempo (reemplazo en grupo).

Aparte de las lámparas que fallen prematuramente, es mucho mejor cambiar la totalidad al mismo tiempo; con ello se evitan grandes diferencias de flujo luminoso entre lámparas nuevas y antiguas.

El reemplazo individual se hace necesario si la contribución del punto de luz en cuestión es indispensable. Se emplea en instalaciones al exterior con pequeña cantidad de lámparas o para alumbrados de emergencia y seguridad.

El mantenimiento de la instalación de alumbrado debe tenerse en cuenta, ya en la etapa de diseño de la misma, debiéndose prevenir con cer-



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

teza que las luminarias sean fácil y económicamente accesibles para el mantenimiento y cambio de lámparas.

Cuando se cambian las lámparas, hay que tener especial cuidado en que las luminarias vayan equipadas con el tipo correcto. La instalación eléctrica deberá comprobarse y cualquier elemento desaparecido o estropeado será repuesto de nuevo.

### **3.3.2. Respeto a la frecuencia de reemplazo de los componentes**

Una de las normas más estrictas en el mantenimiento de una instalación es que se respeten las frecuencias marcadas para las operaciones programadas, pues en caso de no cumplirse, pueden llegar a cometerse errores tales como el de que las lámparas se vayan apagando y haya que recurrir a las operaciones de recambio casuales, o que el consumo se mantenga en un máximo para conseguir resultados inferiores a los necesarios.

### **3.3.3. Reemplazo llevado a cabo con componentes correctos**

Uno de los problemas más frecuentes que se observa en el mantenimiento de algunas instalaciones es que al realizarse las tareas de reposición, ya sea casual o programada, se sustituyen elementos de un tipo por otros similares pero de diferentes prestaciones. Esto que es tan evidente en el color de luz de las lámparas, y que se aprecia a simple vista, no es tan visible en los componentes del equipo eléctrico, pudiendo reemplazarse elementos por otros que no sean los correctos y den origen a fallos en la instalación. Está claro que el cuidado que se exige en todas estas acciones tiene un rendimiento muy favorable, pues la instalación se comporta adecuadamente a lo largo de toda su vida, consiguiéndose los ahorros para los que fue proyectada.

### **3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos**

A pesar de que se ha publicado recientemente la Directiva Europea RAEE para la recogida y reciclaje de sustancias o componentes

tóxicos empleados en material eléctrico, y aunque parece que no guarda relación con la eficiencia energética propiamente dicha, las tareas encaminadas a cumplir con esta Directiva permitirán conseguir resultados muy convenientes para la conservación del medio ambiente, al tiempo que obligará a los fabricantes a sustituir componentes considerados como peligrosos por otros alternativos.

En este apartado se ha pretendido recoger de una forma breve, pero completa, el abanico de posibilidades que pueden barajarse en las instalaciones de iluminación de recintos interiores para conseguir la mayor eficiencia energética y ahorro de consumo posibles, que evidentemente se traducirá en una menor producción de dióxido de carbono y de otros contaminantes a la atmósfera como consecuencia de la reducción de la producción de energía que se habrá ahorrado.

Por último, resaltar el enorme interés de todos los expertos en iluminación en este país y en el mundo por desarrollar instalaciones cada vez más eficientes energéticamente.

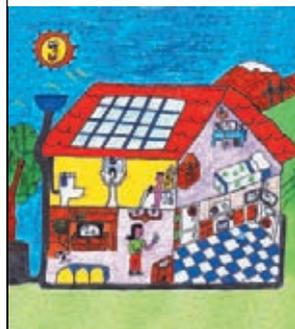
### **3.4. Consejos a la hora de elegir las lámparas. Coste Total de Propiedad (CTP)**

A la hora de invertir en una instalación de alumbrado no sólo se deben tener en cuenta la inversión inicial, coste de lámparas + luminarias + equipos y el coste de la instalación. Se deben tener en cuenta también los siguientes costes:

- Costes de reemplazo de las lámparas (mano de obra y precio lámpara).
- Costes energéticos, precio del kWh. Consumo energético del sistema.
- Costes de mantenimiento: que serán la suma de los costes laborales, costes operacionales y los costes por alteración o interrupción producida.

Los CTP se pueden reducir:

- Reduciendo el coste de la instalación.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Utilizando lámparas de mayor vida útil (lámparas de larga duración).
- Utilizando equipos energéticamente más eficientes (balastos electrónicos).
- Utilizando sistemas de control que permitan un uso racionalizado de la luz.

Los criterios luminotécnicos a tener en cuenta para realizar un proyecto de alumbrado son:

- **Illuminancia:** la iluminancia evalúa la cantidad de luz que incide sobre una determinada superficie, ya sea horizontal o vertical, y se define como el flujo luminoso incidente (medido en lúmenes) sobre un plano dividido por su superficie (expresada en  $m^2$ ). La unidad de medida es el lux (lúmen/ $m^2$ ). Existen varios tipos de iluminancia según la superficie en la que se mida, iluminancia horizontal (Ehor) o vertical (Evert).
- **Illuminancia media:** valores medios de la iluminancia en una superficie determinada ( $E_m$ ).
- **Uniformidad:** relación entre las iluminancias mínima y máxima sobre una superficie ( $E_{mín}/E_{máx}$ ). Lo que nos indica este parámetro es la homogeneidad en los niveles de iluminación de una superficie, evitando la sensación de "manchas" y que toda la superficie tenga unos niveles de iluminación homogéneos.

Además de estos criterios luminotécnicos se tendrán en cuenta los definidos anteriormente:

- Índice de Rendimiento en Color (I.R.C. o Ra).
- Temperatura de color.
- Índice de deslumbramiento Unificado (U.G.R.).

La elección de las luminarias estará en función del trabajo que se realiza en el espacio a iluminar y de la altura a la que debemos colocar las luminarias.

### 3.5. Consejos generales para la rehabilitación del sistema de alumbrado en edificios

Tal y como hemos hecho referencia a lo largo del capítulo, son múltiples los procedimientos y sistemas de los que disponemos para alcanzar la eficiencia energética en nuestros edificios en lo referente a las instalaciones de alumbrado. No sólo contribuirán a cumplir con la normativa vigente, sino que además ayudarán a conseguir grandes ahorros en la explotación y mantenimiento a lo largo de toda la vida de la instalación. Algunos de ellos serán de obligado cumplimiento en base al Código Técnico de la Edificación.

Como norma general, se recomienda el uso de lámparas fluorescentes en combinación con sistemas de detección de presencia o con pulsadores con temporización. Los tubos fluorescentes se colocarán en zonas de aparcamiento y trasteros, mientras que para zonas donde la estética sea más importante como portales o escaleras, podemos colocar fluorescencia compacta no integrada con balasto electrónico.

Existe una relación entre el tipo de balasto usado y las horas de vida de la lámpara. En la siguiente tabla se muestran las horas de vida de un tubo fluorescente en función del número de encendidos diarios y el tipo de balasto usado. Se aprecia como los balastos electrónicos de precaldeo (HF-P) o los balastos electrónicos regulables (HF-R o HF Dali) son los que nos darán un mayor rendimiento de la lámpara (en todos los casos, pero especialmente cuando aumenta el número de ciclos de encendido y apagado a lo largo del día).

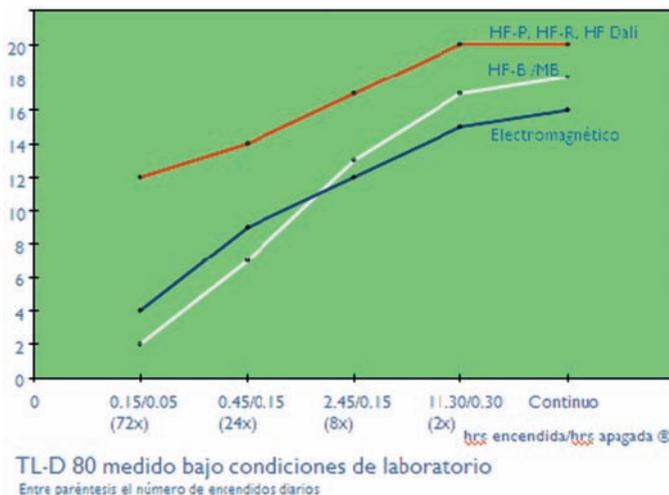
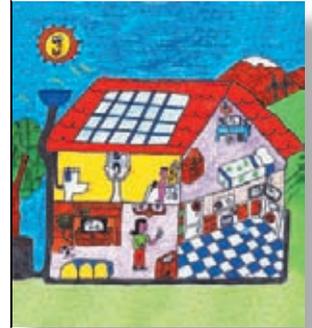


Figura 5. Vidas de las lámparas fluorescentes en función del balasto.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

En este sentido, en zonas de paso frecuente como portales muy transitados, en muchos casos es recomendable regular las lámparas (con balastos electrónicos regulables) pasando de un flujo mínimo continuo al flujo máximo durante el paso de personas, en lugar de conmutar entre apagado y encendido.

En referencia a la reposición de los tubos fluorescentes, es posible ya la misma sin necesidad de cambiar también la luminaria, consiguiendo además ahorros de energía de más de un 10% gracias a la tecnología aplicada en ellos.

Para lugares donde se quieran sustituir lámparas halógenas sin variar la luminaria, existen en el mercado soluciones para reemplazar sólo la lámpara.

Siguiendo con los consejos sobre las fuentes de luz a utilizar, cobran cada vez más fuerza las soluciones con tecnología LED (diodos emisores de luz) que son fuentes de luz en estado sólido y que aportan grandes mejoras tanto en lo referente a eficiencia energética como al número de horas de vida útil de los productos.

El tipo de luminarias que utilizemos es importante también en términos de eficiencia. Usar luminarias de alto rendimiento nos garantizará que la relación entre la cantidad de luz que entrega la lámpara, con la cantidad de luz que llega al plano de trabajo es lo más alta posible. Por tanto, es importante por ejemplo usar luminarias con buenas ópticas o con alto cociente de estanqueidad contra el polvo y las humedades (en zonas de aparcamientos subterráneos o trasteros).

### a) Sistemas de control básicos

- *Detectores de presencia*: un sistema muy utilizado en oficinas en diversas zonas como pueden ser las escaleras, aseos, descansillos, etc., son los detectores de presencia. Las principales ventajas de los detectores de presencia son:
  - Ahorro de energía: mediante este tipo de detectores se puede maximizar su confort y ahorrar energía. Con un detector de presencia integrado —en función del modelo detectará presencia o ausencia— y/o una fotocélula, se asegura que las luminarias solo estén encendidas cuando sea necesario.

- Fácil de instalar: suelen tener un concepto de cableado sencillo, sin cableado vertical, permite el cableado directo o en cascada y opción de regleta con tornillos o conector *wieland*.
- Fácil de usar y configurar: los equipos suelen venir precableados con las funcionalidades más comunes.
- Adecuado para diversas aplicaciones.
- Control automático o manual.

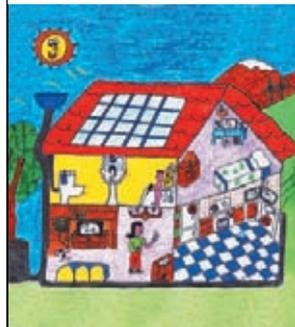


Figura 6. Sistemas de detección de presencia.

Dado que en estos espacios puede existir un flujo más o menos constante de personas y esto supondría un elevado número de encendidos y apagados, se deben instalar equipos de alta frecuencia de precaldeo de forma que los encendidos no reduzcan la vida de las lámparas. Además, para que la instalación sea más confortable y segura para las personas debemos de tratar que nunca se quede en completa oscuridad sino regulada al mínimo.

- *Detectores de aporte de luz natural*: son fotosensores que regulan el flujo luminoso de una luminaria en función de la luz natural existente en la zona de ubicación de ésta.



Figura 7. Célula fotoeléctrica.

En la siguiente tabla se muestra el potencial de ahorro de un sistema de luminarias regulado en función de los niveles de luz natural detectados:

Tabla 3. Ahorro de luminarias con regulación en función de luz natural.

		Sur	Norte
<b>Verano</b>	1ª Fila de luminarias	55%	45%
	2ª Fila de luminarias	35%	25%
<b>Invierno</b>	1ª Fila de luminarias	45%	35%
	2ª Fila de luminarias	25%	15%

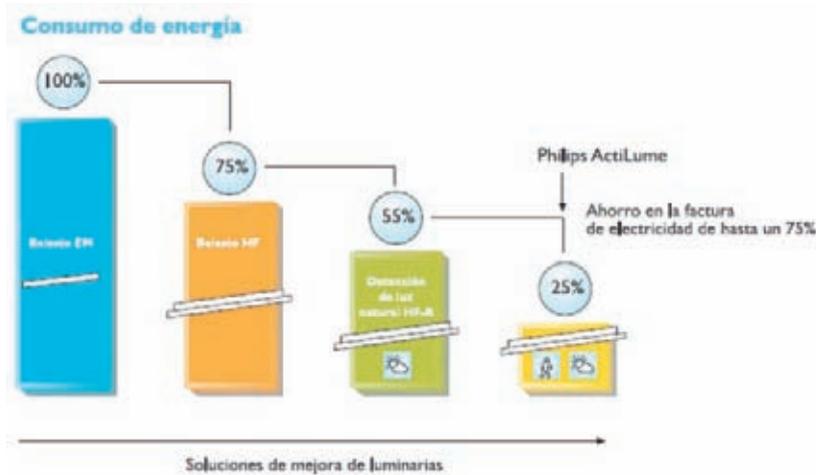
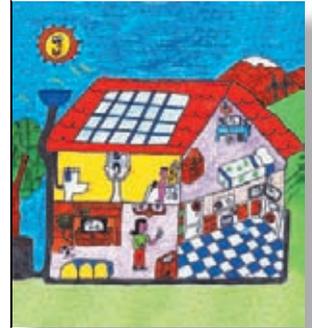
### b) Sistemas de control avanzados

Otros sistemas de regulación y control tienen funcionalidades más avanzadas como es no sólo la detección de presencia, sino la regulación en el caso de aportación de luz natural y otra serie de ventajas.

El consumo de energía supone entre el 50% y el 80% del coste total de un sistema de alumbrado. Usando este tipo de aplicaciones se puede conseguir un ahorro de energía de hasta un 75%. Este ahorro tendrá también un impacto significativo en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y ayudará a cumplir con las nuevas directivas de ahorro de energía y alcanzar los objetivos de Kioto.

Un ejemplo de este tipo de aplicaciones puede componerse de un multisensor (fotocélula, detector de movimiento y receptor de

infrarrojos) y un controlador integrados en una luminaria, que permite funciones de control dependiendo de la luz natural, de la detección de presencia y de las instrucciones de un mando a distancia.



**Figura 8.** Ahorros de energía a través de mejoras en las luminarias.

Ventajas principales de estos sistemas:

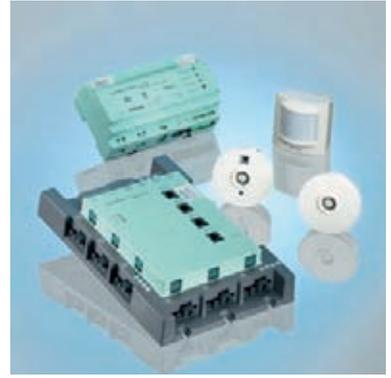
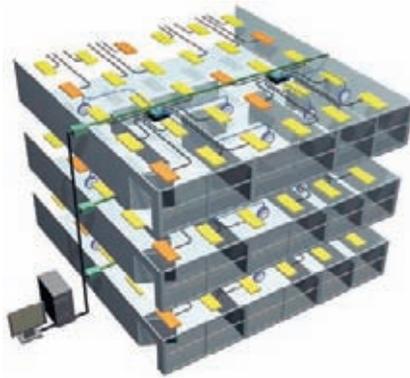
- Sistema de atenuación automático y asequible que ofrece un **ahorro de energía automático**.
- El alumbrado se regula automáticamente, adaptando los tipos de iluminación a los usos y necesidades del entorno.
- Fácil de instalar.
- Integrable en la luminaria o en falso techo.

### c) Sistemas de gestión integral de edificios

Son sistemas de gestión de alumbrado que pueden usarse para controlar toda la iluminación de un edificio. Estos sistemas garantizan grandes ventajas con una mínima inversión extra y un corto plazo de amortización. Ofrecen la máxima flexibilidad con el mínimo de complejidad y coste, Fig. 9.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



**Figura 9.** Sistemas de control integral para edificios.

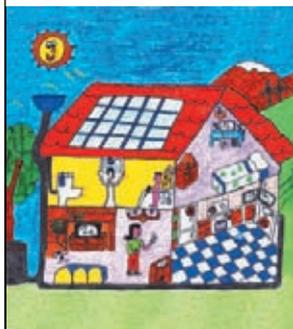
## 4. Bibliografía

- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. *Código Técnico de la Edificación y otras normas relacionadas con el alumbrado.*
- PHILIPS IBÉRICA: *Introducción al alumbrado.*
  - *Luz sobre la Norma Europea.*
  - *Manual de Iluminación.*
  - *Revista Internacional de Luminotecnia.*

# 8

## DOMÓTICA

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE DOMÓTICA  
(CEDOM)  
[www.cedom.es](http://www.cedom.es)



### 1. El ahorro energético en la edificación a través de la domótica

#### 1.1. ¿Qué es la domótica?

La domótica controla y automatiza la gestión inteligente de la vivienda. Aporta confort, comunicación y seguridad, además de gestionar eficientemente el uso de la energía, favoreciendo el ahorro de agua, electricidad y combustibles.

Mediante la incorporación de sistemas domóticos en la vivienda, se puede gestionar inteligentemente la iluminación, climatización, agua caliente sanitaria, el riego, los electrodomésticos, etc., aprovechando mejor los recursos naturales, utilizando las tarifas horarias de menor coste, y de esta manera reducir la factura energética mientras se gana en confort y seguridad.

Además, el uso de un sistema de monitorización de consumos permite ser consciente del consumo energético de la vivienda. Esta funcionalidad de la domótica aporta la información necesaria para modificar los hábitos e incrementar en ahorro y eficiencia.

#### 1.2. Aplicaciones de la domótica

Las principales áreas socio-técnicas y funciones que satisfacen los sistemas domóticos son:

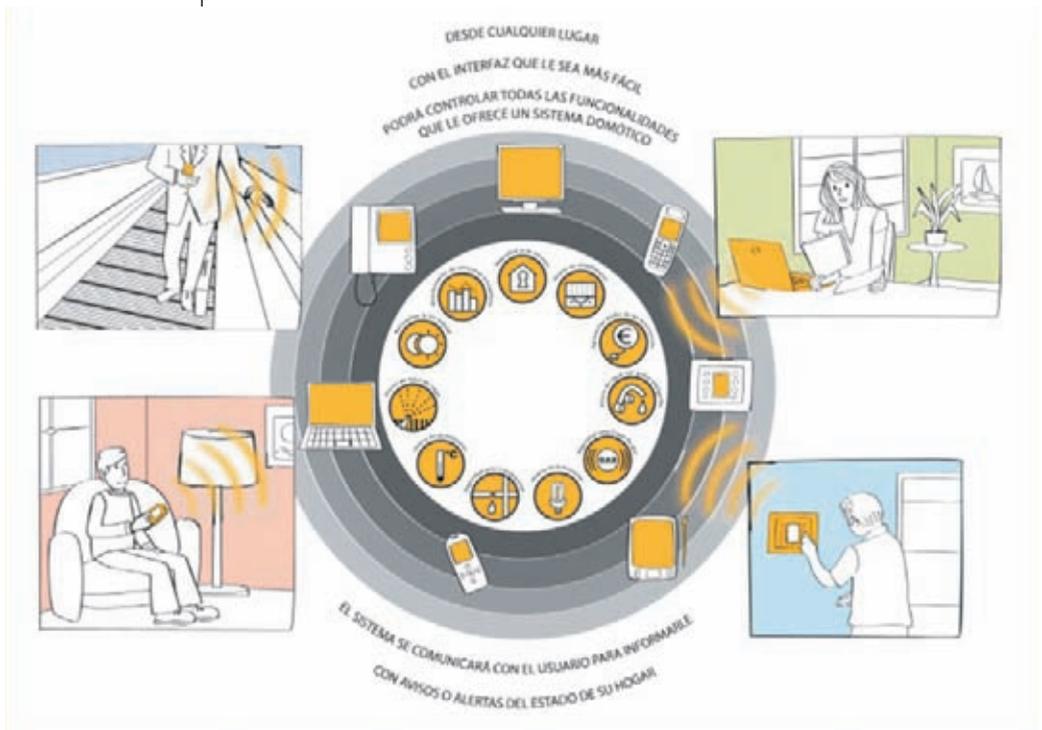
- **Seguridad:** vigilancia automática de personas y bienes, e incidencias y averías, así como alarmas de intrusión, cierre automático de



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

todas las aberturas, simulación dinámica de presencia, fachadas dinámicas, cámaras de vigilancia, alarmas personales, alarmas técnicas de incendio, humo, agua, gas, fallo del suministro eléctrico, etc.

- *Gestión energética*: conexión de dispositivos de calefacción y aire acondicionado según criterios de ahorro y confort, control de toldos, persianas, cortinas y ventanas para aprovechamiento de las energías naturales, control de alumbrados, racionalización de cargas eléctricas, etc.
- *Confort*: abrir, cerrar, apagar, encender, regular, etc. dispositivos y actividades domésticas (iluminación, climatización, persianas, toldos, cortinas, puertas, ventanas, cerraduras, riego, electrodomésticos, suministro de agua, gas, electricidad, etc.).
- *Comunicaciones*: recibir avisos de anomalías, recibir información del funcionamiento de equipos e instalaciones, control remoto de equipos e instalaciones, etc.



**Figura 1.** Interfaces desde las que se pueden controlar las funcionalidades de un sistema domótico.

### 1.3. Contribución de la domótica al ahorro y la eficiencia energética

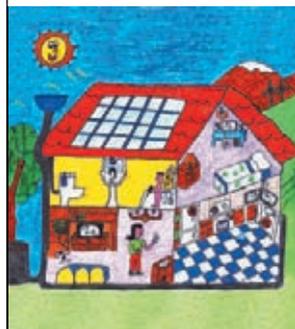
El creciente consumo de energía y la limitación de los recursos energéticos generan efectos negativos en el medio ambiente que se reflejan en dos aspectos:

- *Económico*: los precios de la energía tienden a subir, por lo que un control del consumo energético incrementa significativamente el ahorro para el usuario.
- *Ecológico*: el usuario puede disminuir el impacto negativo sobre su entorno si disminuye su consumo de energía.

La domótica gestiona elementos de control que contribuyen al ahorro de agua, electricidad y combustibles, notándose sus efectos tanto en el aspecto económico (menos coste) como en el ecológico (menos consumo de energía).

Son ejemplos de aplicaciones domóticas que contribuyen al ahorro y la eficiencia energética, los siguientes:

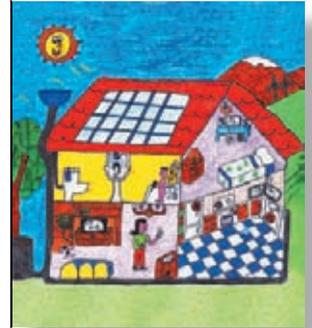
- Detección de presencia de personas en zonas de paso, como los pasillos de la vivienda o de las zonas comunes de un edificio, y las iluminan sólo cuando es necesario.
- Control automático inteligente de toldos, persianas y cortinas de la vivienda: permite que se aproveche al máximo la luz y la energía solar.
- Control automático del encendido y apagado de todas las luces de la vivienda: permite evitar el dejarse luces encendidas al salir de casa.
- Control de forma automática del encendido y apagado de las luces exteriores en función de la luz solar.
- Sistemas de regulación de la calefacción: adaptan la temperatura de la vivienda en función de la variación de la temperatura exterior, la hora del día, la zona de la casa o la presencia de personas.
- Control o secuenciado de la puesta en marcha de electrodomésticos: programando su funcionamiento en horarios en los que el precio de la energía es menor.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Detección y gestión del consumo “en espera” de los electrodomésticos.
- Programación de la desconexión de circuitos eléctricos no prioritarios —como, por ejemplo, el del aire acondicionado—, antes de alcanzar la potencia contratada.
- Detección de la apertura y cierre de ventanas: avisan al usuario de si hay ventanas abiertas cuando está activada la climatización.
- Implantación de sistemas de control y regulación centralizados: permiten detectar y avisar en caso de averías como, por ejemplo, una fuga de gas, provocando un corte del suministro que evite los peligros que pudieran ocasionarse. Además, la domótica facilita una buena gestión del mantenimiento de las instalaciones, con el consecuente ahorro económico que esto supone.
- Sistemas de control y regulación centralizados: detectan si se produce una inundación, dan señal de aviso, y provocan un corte del suministro. Estos sistemas además aportan información sobre comportamientos anómalos.
- Control inteligente de riego: a través de un sensor de humedad o de lluvia, detecta la humedad del suelo y de forma autónoma riega sólo cuando es necesario.
- Sistemas de medición de la calidad del agua: facilitan la gestión del reciclaje de aguas grises.
- Grifos inteligentes: gestionan el caudal y la temperatura del agua.
- Además, cualquier tipo de ahorro de agua aunque no se trate de agua caliente, conlleva un ahorro energético, ya que el agua es impulsada hacia nuestras viviendas mediante bombas eléctricas que consumen energía.



**Figura 2.** Funcionalidades de los sistemas domóticos que contribuyen al ahorro y la eficiencia energética.

### 1.3.1. La importancia de monitorizar el consumo energético en el hogar

En la actualidad, los sistemas domóticos ofrecen una gran variedad de funcionalidades orientadas a monitorizar el consumo de agua, de combustibles y el consumo eléctrico de todos los sistemas de la vivienda: electrodomésticos, iluminación, sistemas de comunicaciones, refrigeración y/o calefacción. Esto permite hacer una gestión personalizada del consumo (consumo por franjas horarias, diario, mensual, etc.), así como detectar malos funcionamientos de los equipos del hogar.

La información obtenida permite optimizar el ahorro energético en el futuro y corregir las pautas de comportamiento.

Monitorizar la calidad del suministro eléctrico permite, además, notificar remotamente la información al suministrador de electricidad,



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

mejorando así el funcionamiento global del sistema de distribución eléctrica para ajustar con más exactitud los patrones de producción a los hábitos de consumo.

En aquellos inmuebles en los que se disponen de sistemas de generación de electricidad por energía solar fotovoltaica u otros sistemas (microgeneradores, aerogeneradores, etc.), se puede monitorizar y gestionar la producción de electricidad. El usuario podrá saber en cada momento cuánta energía se está inyectando en la red y podrá obtener informes diarios, semanales y mensuales, que le permitirán incluso realizar la gestión económica de los ingresos que se obtienen mediante la venta de la energía. Esta misma información resulta de gran utilidad también para la empresa compradora de la energía, no sólo a efectos de facturación, sino también para poder prever la energía inyectada en red por los pequeños productores y planificar la producción basada en otras fuentes de energía que debe realizar (por franjas horarias, estaciones, etc.).

### **1.4. La domótica como respuesta a los cambios sociales**

La esperanza de vida se ha incrementado, con el consecuente envejecimiento de la población y el aumento de "jóvenes" inactivos (población de 55 a 65 años). Las estructuras familiares están cambiando, el teletrabajo y la enseñanza *on-line* son cada vez más habituales, además están surgiendo nuevas necesidades de comunicación, así como de incremento de la seguridad de personas y bienes.

La domótica permite dar respuesta a los requerimientos que plantean estos cambios sociales y las nuevas tendencias de nuestra forma de vida, facilitando el diseño de casas y hogares más humanos, más personales, polifuncionales y flexibles.

El sector de la domótica ha evolucionado considerablemente en los últimos años, y en la actualidad ofrece una oferta más consolidada. Hoy en día, la domótica aporta soluciones dirigidas a todo tipo de viviendas, incluidas las construcciones de vivienda oficial protegida. Además, se ofrecen más funcionalidades por menos dinero, más variedad de producto, y gracias a la evolución tecnológica, son más fáciles de usar y de instalar. En definitiva, la oferta es mejor y de ma-

yor calidad, y su utilización es ahora más intuitiva y perfectamente manejable por cualquier usuario. Paralelamente, los instaladores de domótica han incrementado su nivel de formación y los modelos de implantación se han perfeccionado. Asimismo, los servicios posventa garantizan el perfecto mantenimiento de todos los sistemas.

Hoy la domótica, contribuye a aumentar la calidad de vida, hace más versátil la distribución de la casa, cambia las condiciones ambientales creando diferentes escenas predefinidas, y consigue que la vivienda sea más funcional al permitir desarrollar facetas domésticas, profesionales, y de ocio bajo un mismo techo.

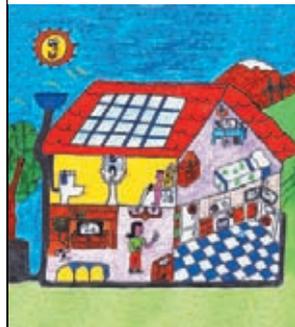
### **1.5. A quién va dirigida la domótica**

Es necesario estudiar el perfil del usuario final del sistema domótico que inevitablemente se verá influido por el tipo de vivienda que haya proyectado: número de metros cuadrados, de habitaciones, ubicación y orientación, etc. Todo ello determina si la vivienda será habitada por familias con hijos o monoparentales, personas que vivirán solas, jóvenes, personas mayores, etc.

Existen varios factores que han determinado un cambio en las formas de vivir de nuestra sociedad. En la actualidad, la unidad familiar comparte menos tiempo, ha disminuido el número de hijos y el de personas en el hogar, la edad de emancipación de los jóvenes se ha retrasado, y ha crecido la demanda de espacios individuales con necesidades específicas. Una domótica dirigida hacia el usuario tendrá en cuenta esos factores; por ejemplo, si el usuario viaja con frecuencia, le será imprescindible un control de su vivienda a través del teléfono, simulación de presencia, alarmas, etc.

Mediante la utilización de un sistema domótico, las personas con discapacidad pueden obtener una mejora en el desarrollo de sus actividades que les permita realizar tareas de forma segura, cómoda y sencilla. Del mismo modo, el uso de la teleasistencia y la telemedicina pueden ser de gran ayuda para todas aquellas personas que lo necesiten.

En nuestra sociedad cada vez hay más personas mayores que, gracias al uso de un sistema domótico adaptado a sus necesidades, pue-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

den disfrutar de su hogar con un alto grado de autonomía, confort, seguridad e incluso entretenimiento.

### **1.6. Una buena inversión**

Actualmente, existen en el mercado diversos sistemas domóticos fácilmente instalables en cualquier tipo de vivienda: protección oficial, libre, ya construida, de nueva construcción, unifamiliares aisladas, adosadas o en bloque.

La domótica pone la tecnología a su servicio. En función de los requerimientos de cada proyecto, se aplicará una solución a medida que satisfaga las necesidades del hogar y se adapte al modo de vida del usuario.

CEDOM, Asociación Española de Domótica, recomienda que la instalación se realice siguiendo las prescripciones de la especificación de AENOR EA0026:2006 *Instalaciones de sistemas domóticos en viviendas. Prescripciones generales de instalación y evaluación*. Este documento, consensado por un amplio panel de expertos, establece unas directrices que determinan los requisitos que debe cumplir una instalación domótica y su aplicación garantiza el uso de las buenas prácticas en el sector.

Instalar un sistema domótico en una vivienda está al alcance de cualquier bolsillo. Con una pequeña, pero inteligente inversión, es posible no sólo recuperar la inversión, sino también respetar el medio ambiente.

El coste dependerá del nivel de domotización que se desee instalar. Desde la Asociación Española de Domótica recomendamos solicitar varias ofertas y compararlas desde un punto de vista funcional con la tabla de niveles que se puede consultar *on-line* en la web de CEDOM ([www.cedom.es](http://www.cedom.es)).

Por nivel de domotización o nivel domótico se entiende el nivel asignado a una instalación domótica como resultado de la ponderación de los dispositivos existentes en la misma y las aplicaciones domóticas cubiertas. En la tabla de niveles mencionada se han definido tres niveles basándose en el principio de alcanzar un nivel considerado mínimo, nivel 1, uno superior considerado intermedio, nivel 2 y finalmente, el considerado como excelente, nivel 3.

Para instalar domótica en una vivienda, existen fabricantes que integran e instalan sus propios productos ellos mismos. Otra posibilidad es contratar a un integrador y/o instalador, quien, como conocedor de los diferentes productos presentes en el mercado, aconseja la opción más apropiada.

Son instaladores de domótica aquellos instaladores eléctricos con el Certificado de Instalador Autorizado en Baja Tensión con categoría Especialista (IBTE), que pueden realizar, mantener y reparar instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios —de acuerdo con la instrucción ITC-BT-03 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT).

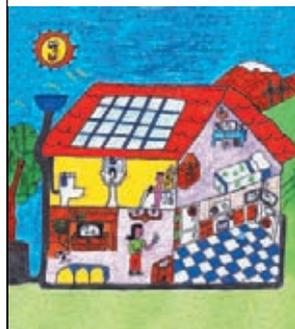
Tras la puesta en marcha de la instalación, deberá recibir un manual de usuario con las instrucciones para el correcto uso y mantenimiento de la instalación. Un buen mantenimiento garantizará tanto la disponibilidad y confiabilidad de las funciones empleadas en el sistema, como el cumplimiento de los requisitos del sistema de calidad y las normas de seguridad y medio ambiente.

### **1.7. Documentación técnica de la instalación**

La red de Automatización y Control, comúnmente conocida como inmótica (en edificios) y domótica (en viviendas), se centra en sistemas integrados que incluyen diferentes aplicaciones en los campos de: gestión técnica de la energía; seguridad de las personas y los bienes; confort; y comunicación del sistema y al sistema mediante el uso de redes de telecomunicación externas.

Por otro lado, tenemos la red de Tecnologías de la Información que se encarga de distribuir ficheros con textos, imágenes y sonidos, compartir recursos entre dispositivos, compartir el acceso a Internet y a nuevos servicios ofertados; además de circular contenidos de información y entretenimiento, relacionados con la captura, tratamiento y distribución de imágenes y sonidos, que tanto atrae a los usuarios.

La instalación interior eléctrica y la red de control domótico están reguladas por el REBT; en particular, la red de control domótico está regulada por la instrucción 51 en lo referente a seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Las redes de telefonía, televisión y tecnologías de la información, aunque están reguladas por el Reglamento de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios, están afectadas por el REBT en lo referente a la seguridad eléctrica.

La red de control del sistema domótico deberá integrarse con la red de energía eléctrica y coordinarse con el resto de redes con las que tenga relación: telefonía, televisión, y tecnologías de la información, cumpliendo con las reglas de instalación aplicables a cada una de ellas. En la Fig. 3 se muestran las distintas redes que pueden coexistir en la instalación de una vivienda o edificio.



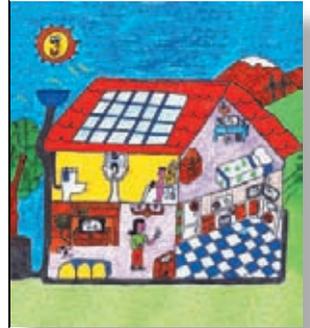
**Figura 3.** Redes coexistentes en la instalación de una vivienda o edificio.

La documentación técnica debe incluir, como mínimo, el manual del usuario y el manual del instalador, con los contenidos mínimos establecidos en la guía técnica de aplicación de la ITC-BT-51 Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.

### 1.7.1. Manual del instalador

Los contenidos que deben incluirse en el manual del instalador son:

- a) Identificación de la instalación: emplazamiento, características básicas, y datos particulares relevantes de la misma.
- b) Planos de la instalación:
  - Planta general de la vivienda o edificio (la EA es sólo para viviendas).
  - Indicación del trazado de los sistemas de conducción de cables, tanto de la red de control del sistema domótico como de la red eléctrica asociada.
  - Trazado de la instalación domótica en el que se indique la ubicación de los dispositivos.
  - Esquema unifilar de la instalación, con la identificación de los circuitos de control del sistema domótico y los de la red eléctrica asociada, incluyendo las secciones de los cables.
- c) Relación de los dispositivos instalados: características técnicas fundamentales e instrucciones de instalación del fabricante de dichos dispositivos.
- d) Asignación de entradas y salidas de cada uno de los nodos: entradas y salidas utilizadas con sus direcciones físicas y tipos de señal, localización en la topología del sistema, incluyendo también las no asignadas disponibles para futuras ampliaciones.
- e) Parámetros del sistema que se han establecido de acuerdo con las especificaciones de funcionamiento del fabricante de cada dispositivo.
- f) Programación de los niveles de aviso y de alarma.
- g) Instrucciones del fabricante del sistema completo o de los subsistemas y componentes para la empresa instaladora, ya que será ella la que haga la puesta en marcha y verificación del correcto funcionamiento, indicando las etapas apropiadas





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

para asegurar que las partes, componentes, subconjuntos, cableados, etc., están de acuerdo con las normas de instalación.

- h) Relación de disposiciones legales y normas con las que se declara el cumplimiento de la instalación.
- i) Condiciones y requisitos a cumplir en caso de ampliación o modificación de la instalación.

De acuerdo con la instrucción ITC-BT-04 Documentación y puesta en servicio de las instalaciones del REBT, las siguientes instalaciones necesitan de proyecto para su ejecución:

- Edificios destinados principalmente a viviendas, locales comerciales y oficinas, que no tengan la consideración de locales de pública concurrencia, en edificación vertical u horizontal ( $P > 100$  kW por caja general de protección).
- Las correspondientes a viviendas unifamiliares ( $P > 50$  kW).
- Las destinadas a locales de pública concurrencia sin límite de potencia contratada.
- El resto de instalaciones para viviendas necesitan de una memoria técnica de diseño para su ejecución. El manual del instalador deberá incluirse en el proyecto o en la memoria técnica de diseño, según proceda.

#### 1.7.2. Documentación para el usuario

El usuario final debe saber las funcionalidades del sistema domótico que le ha sido instalado y cómo funcionan.

En cumplimiento con el artículo 19 del Real Decreto 842/2002 por el que se aprobó el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), el manual del usuario debe formar parte de las "instrucciones para el correcto uso y mantenimiento".

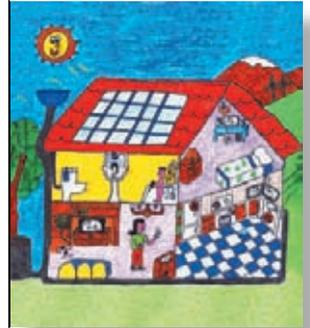
- a) Instrucciones para el correcto uso y mantenimiento de la instalación, en las que se incluyan:
- El esquema unifilar de la instalación del sistema domótico.
  - Relación de los dispositivos instalados con sus características técnicas fundamentales.
  - Trazado de la instalación del sistema domótico indicando la ubicación de los dispositivos.
  - Parámetros y especificaciones de funcionamiento del sistema domótico.
- b) Datos para la programación del sistema, incluyendo las explicaciones necesarias que permitan al usuario final cambiar los parámetros preestablecidos por el fabricante o el instalador.
- c) Posibilidades de ampliación de la instalación.
- d) Declaración de entrega firmada por el instalador, incluyendo la dirección y teléfono de la empresa instaladora y del servicio de mantenimiento o posventa.

Se entregarán al usuario de la instalación y deberá estar disponible para la empresa que realice el servicio de mantenimiento o de posventa de la instalación.

### **1.8. El servicio posventa**

Con un buen servicio de mantenimiento concertado al realizar la instalación, el promotor y/o constructor puede desvincularse de esta responsabilidad tras finalizar la construcción.

Un buen mantenimiento garantizará tanto la disponibilidad y confiabilidad de las funciones empleadas en el sistema, como el cumplimiento de los requisitos del sistema de calidad y las normas de seguridad y medio ambiente.





## 1.9. Legislación

Las instalaciones domóticas gestionan la automatización, la energía, la seguridad, etc., por lo que se les aplicarán los requisitos específicos reglamentarios correspondientes.

Las directivas y los reglamentos son de obligado cumplimiento; por tanto, constituyen un marco jurídico que aprovecha las normas como referencia, en la medida que se trate de prescripciones o recomendaciones de carácter eminentemente técnico, y especialmente cuando engloban características de los materiales.

### 1.9.1. Directivas europeas

- Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- Directiva 89/336/CEE sobre compatibilidad electromagnética, que ha sido sustituida, en diciembre de 2004, por la nueva directiva 2004/108/CE que se aplicará de forma obligatoria a los aparatos, componentes, subsistemas e instalaciones a partir del 20 de julio de 2009.

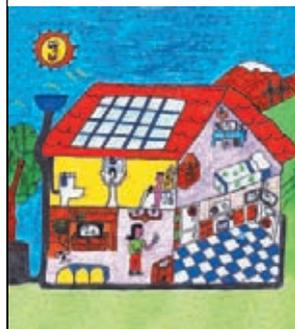
### 1.9.2. Reglamentos nacionales

- RD 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). Es el primer reglamento europeo en el que se prescribe cómo deben realizarse las instalaciones domóticas, y en él se incluyen las siguientes Instrucciones Técnicas Complementarias:
  - ITC-BT-03 Instaladores autorizados en baja tensión.
  - ITC-BT-04 Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.
  - ITC-BT-51 Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.

- Código Técnico de la Edificación (CTE). El documento básico HE Exigencias básicas de ahorro de energía entró en vigor el 29 de septiembre de 2006. Sus objetivos son el uso racional de la energía y el fomento de las energías renovables. Fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones.
- R. D. 401/2003, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones.
- En el caso de que la instalación domótica interactúe con la instalación de gas, se deberá cumplir, en todo momento, el R. D. 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
- Si el sistema de seguridad se conecta a una central remota de alarmas, deberá cumplirse el R. D. 2364/1994, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad privada, el R. D. 1123/2001, y el R. D. 4/2008 por el que se modifica parcialmente este reglamento. Dichos reglamentos regulan tanto a las empresas como al personal de seguridad privada, así como los servicios que prestan.

## 2. Bibliografía

- CEDOM (Asociación Española de Domótica) (2008): *Instalaciones domóticas. Cuaderno de buenas prácticas para promotores y constructores* (2.ª edición). AENOR Ediciones. Madrid.
- CEDOM (Asociación Española de Domótica), DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID, FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID (2007): *La Domótica como Solución de Futuro*, cap. 3: "Arquitectura de las instalaciones". Gráficas Arias Montano, S.A. Móstoles, Madrid.
- CEDOM (Asociación Española de Domótica), IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2008): *Cómo ahorrar energía instalando domótica en su vivienda*. AENOR Ediciones. Madrid.





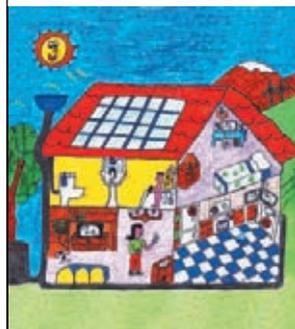
# 9

## ELECTRODOMÉSTICOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

DÑA. NOELIA VELA PARDOS

*Departamento Corporativo de Protección  
del Medio Ambiente de BSH Electrodomésticos España*

[www.bsh-group.es](http://www.bsh-group.es)



### 1. Electrodomésticos energéticamente eficientes

#### 1.1. Introducción

El consumo energético de los electrodomésticos no es un tema menor. Los hogares consumen en España entre el 17% y el 18% de toda la energía del país. Ciñéndonos al consumo eléctrico de los hogares (un hogar promedio consume unos 4000 kWh al año), los electrodomésticos son responsables de más de la mitad del consumo, exactamente un 52%.

Por otra parte, los electrodomésticos son uno de los equipamientos del hogar que más han evolucionado en los últimos años.

Los resultados de los análisis de ciclo de vida llevados a cabo por los fabricantes muestran que la fase de uso en los hogares es la de mayor impacto ambiental con un porcentaje de más del 90%. La etapa de fabricación representa menos del 8%, mientras que la de distribución y el fin de uso no llegan al 1%.

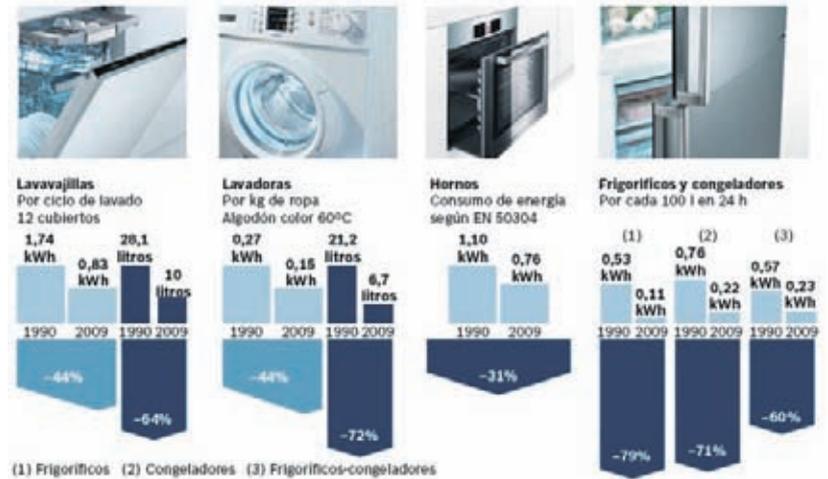
Por esta razón, las empresas punteras del sector están haciendo un esfuerzo tecnológico enorme para minimizar el consumo de recursos de los aparatos que fabrican. Los productos líderes han logrado reducir en 15 años los consumos de energía entre un 60% y un 80%, Fig. 1.

Todo esto nos lleva a concluir que hay un gran potencial de ahorro derivado del equipamiento de los hogares con productos muy eficientes. Esto es válido para hogares nuevos, pero cobra especial importancia en aquellos casos en los que la rehabilitación de una vivienda requiere la sustitución de viejos aparatos. En ambos casos,



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

la elección de aparatos más o menos eficientes es una decisión que fijará en gran parte el consumo eléctrico de la vivienda a lo largo de toda una década.



**Figura 1.** Evolución del consumo de energía y agua de los electrodomésticos. (Fuente: BSH Electrodomésticos España, S.A.).

## 1.2. La etiqueta energética

Desde 1992 algunos electrodomésticos están regulados por una legislación europea que obliga a informar al consumidor de aspectos relacionados con el consumo de energía y otras prestaciones de los aparatos a través de la etiqueta energética.

Los tipos de electrodomésticos que tienen obligación de exponer la etiqueta energética en el punto de venta son: frigoríficos y congeladores, lavavajillas, lavadoras, lavadoras-secadoras, secadoras, hornos eléctricos y aparatos de aire acondicionado.

La etiqueta energética informa sobre la clase de eficiencia energética del electrodoméstico, es decir, del consumo del aparato en relación con el consumo medio de un aparato de similares características. En la actualidad existen siete clases de eficiencia energética identificadas por un código de colores y letras que van desde el color verde y la letra A para los equipos más eficientes (los que menos energía consumen), hasta el color rojo y la letra G para los equipos menos eficientes (los que más energía consumen). Para frigoríficos, se han definido dos clases más de eficiencia energética, A+ y A++, de menor consumo que la clase A.

Además, para lavadoras y lavavajillas, se informa de la clase de eficacia de lavado y centrifugado o secado siendo la máxima categoría la correspondiente a la clase A.

En las Figs. 2 y 3 se muestran las etiquetas energéticas de un frigorífico de clase A++ y de un lavavajillas de clase A, respectivamente.

Hoy en día, la mayor parte de los productos puestos en el mercado son clase A. Según datos de GfK, en diciembre de 2008 el 94% de los frigoríficos combinados y el 92% de los lavavajillas presentes en el mercado pertenecían a la clase A.

La nueva normativa de etiquetado energético que se encuentra en fase de elaboración, será mucho más exigente, y supondrá que los productos más eficientes destaquen del resto de competidores. Mientras tanto, se debe prestar atención no sólo a la clase de eficiencia energética sino también al consumo de energía del aparato para identificar a los productos de más alta eficiencia.

El objetivo de los siguientes apartados es el de describir ejemplos de tecnologías existentes en el mercado que permiten obtener valores eficiencia energética superiores a los definidos para la clase A.

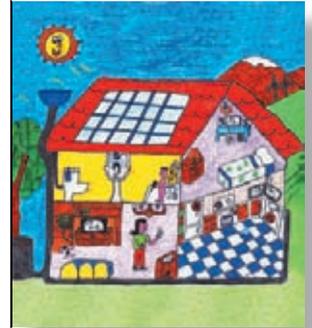


Figura 2. Etiqueta energética frigorífico.



Figura 3. Etiqueta energética lavavajillas.



### **1.3. Lavavajillas**

#### **1.3.1. La forma más eficiente de lavar la vajilla**

En 2008 BSH Electrodomésticos España ha llevado a cabo un estudio conjuntamente con Canal Isabel II, responsable de la gestión del ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid, en el que se analiza el consumo de agua en el lavado de la vajilla en 155 hogares de la Comunidad de Madrid.

Los resultados del estudio determinan un ahorro medio por hogar de 30,6 litros/día, un 9% del consumo total de agua del hogar, en el periodo de lavado con lavavajillas frente al periodo de lavado a mano. Dado que la mayor parte del agua ahorrada es caliente, se experimenta asimismo una reducción del consumo de energía de 1,06 kWh/día.

El resultado de este estudio pionero, presentado en la Tribuna del Agua durante la Exposición Internacional Zaragoza 2008 "Agua y desarrollo sostenible", pone de manifiesto el potencial de ahorro de agua y energía en los hogares españoles si se equipan con tecnologías eficientes. En 2008, sólo el 45,6% de los hogares españoles poseía un lavavajillas.

#### **1.3.2. Un lavavajillas para cada espacio**

Análisis internos llevados a cabo por el grupo BSH Electrodomésticos muestran que la falta de espacio en la cocina, con un porcentaje del 25%, es el principal motivo por el que los hogares españoles no disponen de lavavajillas.

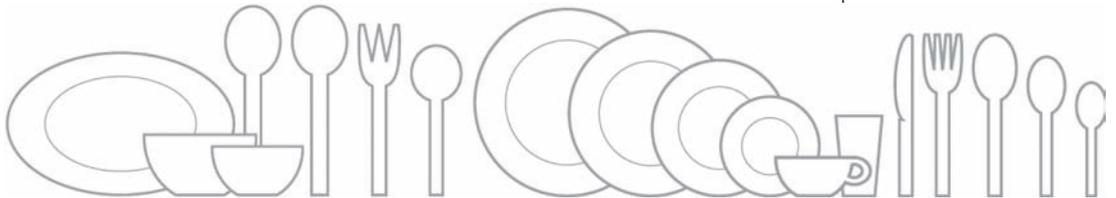
Sin embargo, hoy en día existe en el mercado una gran variedad de lavavajillas de distintas dimensiones disponibles para adaptarse a las necesidades de cada usuario y al espacio disponible en cada cocina, pudiendo encontrar modelos con distintas dimensiones tanto de anchura como de altura, Tabla 1.

**Tabla 1.** Ejemplos de dimensiones existentes en el mercado.  
(Fuente: BSH Electrodomésticos España, S.A.).

ALTO x ANCHO (cm)	SERVICIOS (nº)	ENERGÍA (kWh/ciclo)	ENERGÍA (kWh/servicio)
85 x 60	12 - 14	0,83 - 1,05	0,064 - 0,087
85 x 45	9	0,80	0,089
60 x 60	8	0,75	0,094
45 x 60	6	0,63	0,105

Estas dimensiones nos van a determinar sobre todo un número de servicios que vamos a poder lavar y el consumo asociado a ese producto. Un lavavajillas de menor tamaño puede ser la solución a un problema de espacio o a una baja frecuencia de utilización del aparato y, además, el consumo de recursos suele ser menor. A menor tamaño, menos vajilla y menor consumo de agua y energía.

Un servicio incluye: 1 plato llano, 1 plato hondo, 1 plato de postre, 1 servicio de café con su taza y platillo, 1 vaso y 1 set de cubiertos (1 cuchillo, 1 tenedor, 1 cuchara y 1 cucharilla). Además de la parte correspondiente a 1 set de servir que se considera que hay que lavar en cada ciclo independientemente del número de servicios que pueda lavar el lavavajillas. El set de servir está compuesto por: 1 fuente ovalada, 2 cuencos, 2 cucharas, 1 tenedor y 1 cuchara para salsas, Fig. 4.

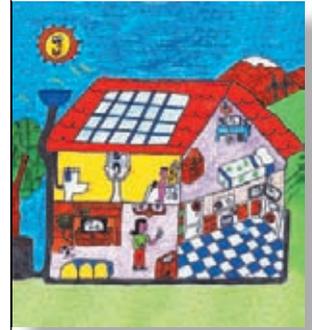


**Figura 4.** Descripción de un servicio.

### 1.3.3. Cómo funciona un lavavajillas

El lavado a máquina de la vajilla se basa en la acción mecánica que se realiza a través de haces de agua a presión, en todas direcciones, sobre la vajilla. El factor químico está presente en la acción del detergente. Otros factores a tener en cuenta son el tiempo y la temperatura.

Los lavavajillas están formados por una cuba, donde están situadas las dos cestas que sirven para colocar la vajilla sucia y donde se produce todo el proceso de lavado. En la Fig. 5 se representa un esquema de la estructura de un lavavajillas.



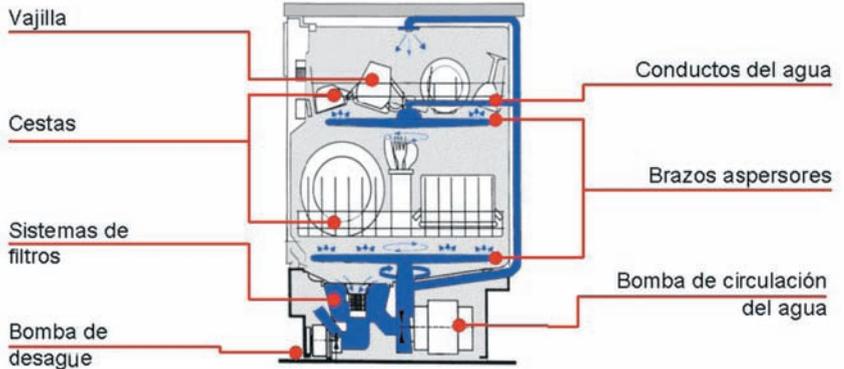


Figura 5. Estructura de un lavavajillas.

En la Fig. 6 se muestran las distintas fases del ciclo de lavado. El agua llega a la cuba a través del tubo de entrada. Tras recorrer el tubo de entrada, el agua es impulsada por la bomba de circulación a través de la resistencia, calentándose hasta alcanzar la temperatura deseada del programa de lavado seleccionado. Después, llega hasta los brazos aspersores giratorios en el interior de la cuba, que la reparten sobre la cesta superior y/o sobre la cesta inferior. Adicionalmente, existe otra salida de agua situada en la parte superior, o techo, del lavavajillas a modo de ducha.

El agua que entra en la cuba del lavavajillas se reutiliza varias veces, y al final del ciclo acaba cayendo o resbalando íntegramente hacia la parte inferior de la misma. Lo primero que va a encontrar al salir de la cuba, son los filtros, que retienen e impiden que los restos de suciedad sean arrastrados al desagüe. Antes de desaguar, el sensor de turbiedad efectuará una medición del grado de suciedad del agua para saber si es necesario vaciar y tomar agua nueva, o si es posible seguir aprovechando el agua que ya tenemos en el interior.

Para ablandar el agua, el lavavajillas hace pasar el agua por un descalcificador que debe ser regenerado cada cierto tiempo.

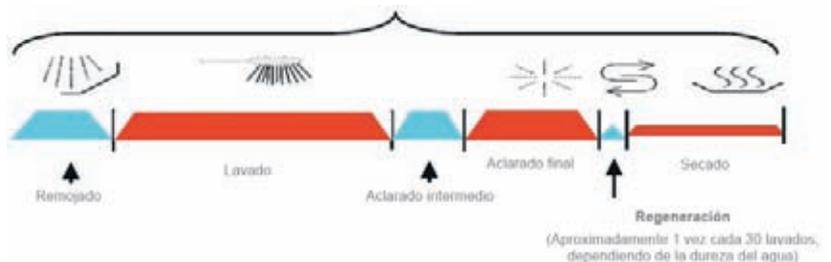
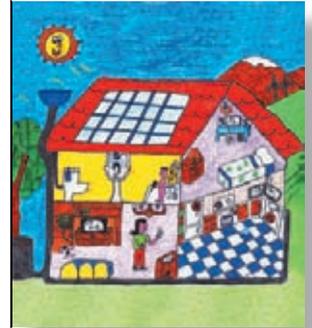


Figura 6. Fases del ciclo de lavado de un lavavajillas.

### 1.3.4. Nuevas tecnologías de alta eficiencia

El consumo estándar de un lavavajillas de 60 cm ancho en el mercado es de 1,05 kWh/ciclo. Sin embargo, podemos encontrar aparatos más eficientes, con un consumo de 0,98 kWh/ciclo, un 7% menos que la clase A e incluso de 0,83 kWh/ciclo, un 21% menos que la clase A.



#### ***Lavavajillas con consumo energético "A – 7%"***

La optimización del consumo de agua en el proceso de lavado ha permitido reducir no sólo el consumo de agua, sino también el consumo de energía en cada ciclo de lavado. Más del 90% del consumo de energía eléctrica de un lavavajillas se utiliza para calentar el agua, por lo que un menor consumo de agua implica un menor consumo de energía.

Además, esta mejora se ha obtenido manteniendo la clasificación A en eficacia de lavado y secado y lavando más piezas de vajilla en cada ciclo. El estándar del mercado es un consumo de 12 litros y 1,05 kWh para lavar 12 servicios, mientras que estos modelos son capaces de lavar hasta 14 servicios con tan sólo 10 litros de agua y 0,98 kWh de energía. Lo cual supone una reducción todavía mayor del consumo de energía por servicio del 20%.

A continuación se describen las principales mejoras llevadas a cabo en los componentes de estos modelos de lavavajillas:

- Motobomba más eficiente. La nueva motobomba más potente lleva integrada la resistencia de calentamiento, para un calentamiento más eficiente y rápido.
- Se han rediseñado los brazos aspersores y orificios de salida de agua. La ducha superior se localiza en el centro, aumentando su tamaño e incorporando una pieza que expulsa el agua como un aspersor para un mejor reparto del agua.
- El filtro autolimpiable tiene una superficie ondulada que incrementa la capacidad de filtrado del agua en un 20% reteniendo un mayor número de partículas y favoreciendo así un mejor aprovechamiento del agua.



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Nuevo sistema que permite impulsar el agua alternativamente a los diferentes niveles de aspersión, ducha, brazo superior y brazo inferior, para optimizar su consumo.

El objetivo es hacer circular el agua con mayor frecuencia en el lavavajillas de forma que sea necesario consumir menos cantidad. Un lavavajillas convencional mueve con 12 litros el equivalente a 3.600 litros de agua, mientras que los nuevos modelos de lavavajillas mueven el equivalente a 4.100 litros de agua con 10 litros o incluso con 9 litros.

### ***Lavavajillas con consumo energético "A – 21%"***

Este espectacular aumento de la eficiencia energética se consigue gracias a la incorporación de una novedosa tecnología basada en el uso de zeolitas, familia de minerales aluminosilicatos cuya superficie porosa tiene la capacidad de absorber y almacenar la humedad generada en el interior del lavavajillas y desprender calor.

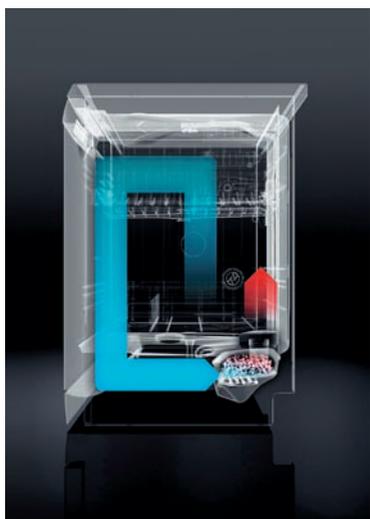
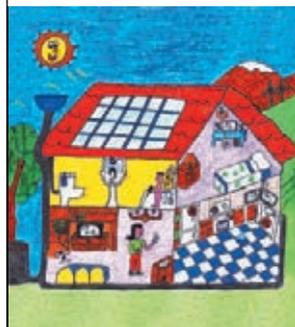
La zeolitas se sitúan en un depósito que se comunica con el interior de la cuba por dos orificios uno para que entre el aire al depósito y otro para que salga, y mediante un ventilador se crea un flujo de aire.

En la fase de secado, Fig. 7, las zeolitas absorben la humedad generada en el interior del lavavajillas al final de la fase de lavado. Este proceso genera una energía en forma de calor, que calienta el aire que se hace pasar por el depósito para llevarlo seco y caliente al interior del lavavajillas y secar la vajilla más eficientemente.

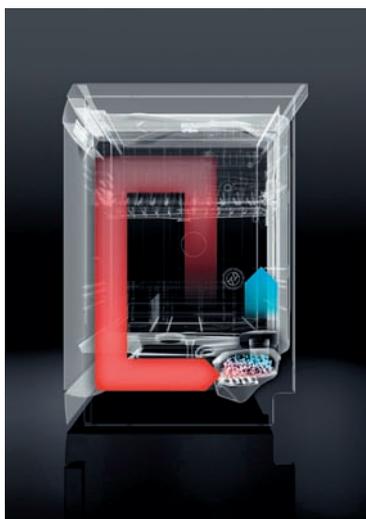
En la fase de lavado, Fig. 8, el aire frío del interior se extrae y es conducido al depósito de zeolitas, donde se calienta a través de una resistencia para eliminar la humedad almacenada en las zeolitas. Después el aire caliente y húmedo se dirige de nuevo al interior del lavavajillas ayudando al templado de la vajilla.

Gracias a este innovador sistema de secado basado en una rápida absorción de la humedad, la temperatura del aclarado final no supera los 35 °C, temperatura mucho menor que la de otros sistemas de secado convencionales, tales como el secado por condensación que suele alcanzar temperaturas próximas a 65 °C. Al no elevar tanto la temperatura para secar es necesario un menor consumo de energía.

Las zeolitas se regeneran en cada fase de lavado al liberar la humedad retenida en ellas, conservando intacta su capacidad de absorción y quedando preparadas para el siguiente proceso de secado. Y todo ello sin necesidad de tomar aire del exterior, de forma que se garantiza la máxima higiene. No es necesario realizar ningún proceso de mantenimiento, cambio o limpieza y su vida útil es la misma que la del lavavajillas.



**Figura 7.** Zeolitas en la fase de secado.



**Figura 8.** Zeolitas regenerándose en la fase de lavado.

### 1.3.5. Lavavajillas termoeficientes

Un lavavajillas termoeficiente es un lavavajillas que puede funcionar con entrada de agua caliente, para lo cual se conecta únicamente a una toma de agua caliente sanitaria o utiliza un dispositivo externo o interno capaz de realizar la mezcla de agua a partir de tomas de agua fría y caliente, obteniendo las diferentes temperaturas necesarias según el programa seleccionado y que genera un ahorro energético utilizando agua caliente al menos, en uno de los programas declarados por el fabricante.

Un aparato bitérmico es el que puede usar una alimentación de agua fría o caliente de red, termoeficiente es cuando a esta característica se le asocia además que tenga una mejora medible en la eficiencia energética.

Actualmente está en proceso de elaboración una especificación de AENOR que desarrolla los métodos de evaluación y medida del ahorro de los lavavajillas utilizando agua caliente sanitaria obtenida con



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

sistemas no eléctricos y mediante energías renovables u otros medios poco contaminantes como los requeridos por el Código Técnico de la Edificación de 2006.

### 1.4. Lavadoras

#### 1.4.1. Cómo funciona una lavadora

El lavado consiste en la eliminación de suciedad de los tejidos, lo cual se consigue gracias a cuatro factores siendo el agua el vehículo de estos factores:

- *Mecánica.* Unas palas de arrastre dispuestas en la cara interior del tambor transportan la colada y el agua haciéndolas circular permanentemente hacia arriba para luego dejarlas caer.
- *Temperatura.* Juega dos papeles principales, disolver determinados tipos de mancha y activar el detergente.
- *Química.* El detergente reduce la dureza del agua y la tensión superficial del agua, diluye y mantiene en suspensión la suciedad y blanquea la ropa.
- *Tiempo.* Debido a que las lavadoras actuales trabajan con menor cantidad de agua y detergente, el proceso de lavado se realiza con menos mecánica y menos temperatura, por lo que es necesario emplear más tiempo.

Una lavadora conjuga en diferentes proporciones estos factores de la forma más adecuada para cada tipo de tejido y suciedad.

En la Fig. 9 se representan los componentes de una lavadora:

- *Circuito hidráulico.* El agua entra en el circuito hidráulico a través de la electroválvula (2) llenando la jabonera (18) y arrastrando el detergente a la cuba (3). Finalmente se desagua gracias a la motobomba (10).
- *Transmisión mecánica.* La transmisión de la rotación del motor (7) al tambor (3) se hace a través de una correa que abraza una polea situada en la parte trasera del tambor.

- *Circuito eléctrico.* La electrónica (16) se encarga de recoger la información de los sensores, incluyendo los mandos de control, la procesa adecuadamente y activa los componentes.

- 1 TAPA.
- 2 ELECTROVÁLVULA.
- 3 CUBA Y TAMBOR.
- 4 PRESOSTATO.
- 5 TUBO DESAGÜE.
- 6 PROGRAMADOR.
- 7 MOTOR.
- 8 CARCASA.
- 9 AMORTIGUADOR.
- 10 MOTOBOMBA.
- 11 CIERRE PUERTA.
- 12 CALENTADOR.
- 13 OJO DE BUEY.
- 14 PUERTA DE CARGA.
- 15 FUELLE EMBOCADURA.
- 16 MANDO PROGRAMADOR.
- 17 MANDO TEMPERATURA.
- 18 CIIRETA DETERGENTE.

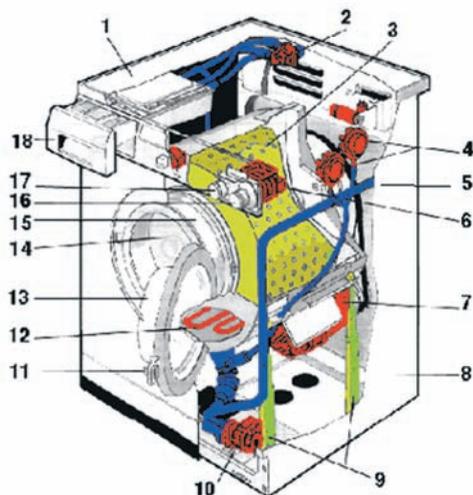
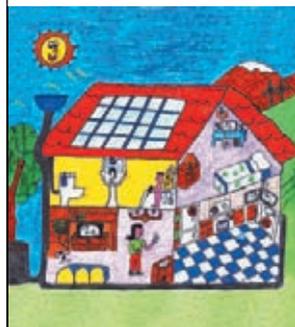


Figura 9. Componentes de una lavadora.



### 1.4.2. Nuevas tecnologías de alta eficiencia

Aunque la máxima eficiencia energética viene marcada por la clase A (0,19 kWh/kg), existen en el mercado lavadoras con consumo 10% menos que clase A (0,17 kWh/kg), e incluso 20% menos que clase A (0,15 kWh/kg).

Para alcanzar estas prestaciones récord y considerando que la eficacia del lavado debe mantenerse siempre en su grado máximo (A), se recurre a desarrollos de *software* complejos. Se prolongan duraciones de ciclo de lavado, aunque con unos tiempos de trabajo de la resistencia menores, así como una acción mecánica más suave. Química y temperatura no se ven afectados, ya que los determina el usuario al seleccionar detergente y programa.

Asimismo, se han incorporado sensores de flujo, de turbiedad y de carga que permiten utilizar tan sólo el agua necesaria. Esta eficiente gestión del agua hace que haya menos agua a calentar y revierte en un menor uso de la resistencia.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

En ambos casos el ahorro de energía se consigue gracias a un menor trabajo por parte de la resistencia, que es el elemento de mayor consumo. Al igual que ocurría en el lavavajillas, la mayor parte del consumo de una lavadora proviene de calentar el agua.

### 1.4.3. Lavadoras termoeficientes

Se conocen como lavadoras termoeficientes aquellas capaces de ser alimentadas de manera totalmente independiente con agua fría y agua caliente, mediante dos electroválvulas accionadas por la propia lavadora.

También se las conoce como lavadoras bitérmicas, aunque es importante incidir en que las tomas necesariamente deben ser independientes y se debe demostrar su termoeficiencia.

Se define termoeficiencia como el porcentaje de ahorro energético respecto a la Clase A que se consigue al utilizar ambas tomas, fría y caliente. Por ejemplo una lavadora con termoeficiencia 30% consume un 30% menos que Clase A cuando la toma caliente está conectada. La termoeficiencia se mide y regula según norma EA0035:2009.

La importancia de esta prestación radica en el Código Técnico de Edificación (CTE) de 2006, que obliga a toda nueva construcción a disponer de sistemas de agua caliente sanitaria apoyados por captadores solares térmicos. Igualmente es obligatorio prever tomas independientes para la conexión de lavadora a la red de agua fría y caliente.

Asimismo, los Planes Renove lanzados en 2008 por muchas Comunidades Autónomas incluyen subvenciones de hasta 105 € si la nueva lavadora es termoeficiente.

## 1.5. Secadoras

### 1.5.1. ¿Por qué el secado a máquina?

La secadora automática es un electrodoméstico de uso muy recurrente, ya que permite disponer de ropa seca durante todo el año indepen-

dientemente de la climatología. Asimismo, da solución a hogares que no disponen de espacio adecuado para tender la ropa o que están situados en poblaciones con ordenanzas municipales que prohíben tender en exteriores a la vista.

Además, el uso de secadoras aporta una serie de ventajas frente al secado de la ropa al aire:

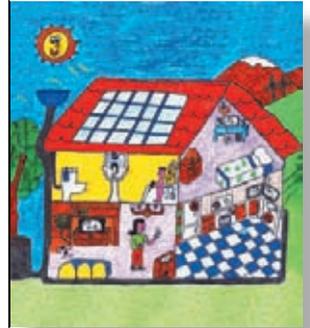
- Ahorra tiempo al eliminar por completo el tender y recoger la colada.
- La ropa queda esponjosa y suelta, evitando acartonamientos.
- Ahorra tiempo y esfuerzo en el planchado, incluso evitándolo en algunos tejidos.
- El secado es totalmente higiénico, ya que a la ropa no le afecta ni poluciones, ni humos ni malos olores del exterior.
- Evita la decoloración de la ropa de color y el amarillamiento de la blanca por la exposición solar.
- Evita la deformación que sufren las prendas al ser colgadas.

### 1.5.2. Cómo funciona una secadora

El proceso final de una lavadora, el centrifugado, tiene como objeto eliminar la máxima cantidad de agua de la colada, sin embargo, tras este proceso queda una cantidad de agua determinada en la misma que se mide en términos de humedad residual. Para poder realizar un secado en máquina, es necesario que la lavadora tenga una velocidad mínima de centrifugado de 800 r/min (revoluciones por minuto), es decir, que la ropa no tenga más de un 68% de humedad residual.

Un programa de secado consta de las siguientes etapas:

- *Secado.* Se aplica aire caliente a la ropa húmeda.
- *Enfriamiento.* Se hace circular aire frío a través de la ropa después del secado.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- *Protección antiarrugas.* Consiste en una serie de movimientos de giro alternos que ahuecan la ropa evitando que se apelmace y se formen arrugas.

### 1.5.3. Tipos de secadoras

#### **Secadoras de evacuación**

Expulsan el aire húmedo directamente al exterior ayudados de un tubo de salida de vapores. Esto condiciona su instalación a lugares con posibilidad de salida al exterior.

En la Fig. 10 se representa el esquema de funcionamiento de una secadora de evacuación. El aire ambiente se conduce hasta el tambor de secado a través de los orificios del tambor propulsado por un ventilador, y pasando previamente por la resistencia (1). Por efecto de la corriente de aire caliente, la humedad se desprende de la ropa. El aire caliente humedecido atraviesa el filtro de pelusas (2). El aire humedecido vuelve al exterior por la rejilla de salida de aire (3).

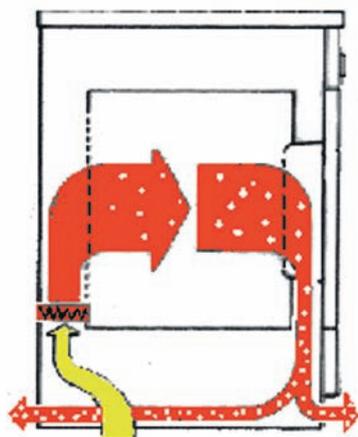
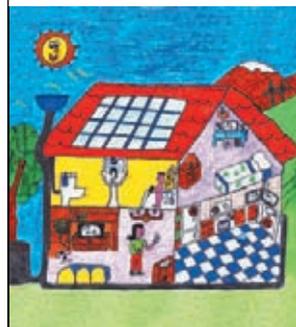
#### **Secadoras de condensación**

El aire húmedo originado durante el secado se condensa gracias al condensador formado por láminas de metal. El agua se recoge en un depósito situado en el frontal. En algunos casos estas máquinas van equipadas con un tubo de vaciado, que permite evacuar el agua directamente al desagüe.

En la Fig. 11 se representa el esquema de funcionamiento de una secadora de condensación. Las secadoras de condensación disponen de tres sistemas independientes:

- *El circuito de aire caliente.* El aire frío se calienta en la resistencia y pasa a través del tambor de secado haciendo que la humedad se desprenda de la ropa y arrastrándola a través del filtro de pelusas hasta el intercambiador de calor o condensador.
- *El circuito de refrigeración.* El aire frío es impulsado a través del condensador, pasa por el exterior del tambor y vuelve a salir por las ranuras de la parte posterior.

- *El circuito de captación y eliminación del agua.* La humedad desprendida del aire se recoge en la bandeja del condensador, y por medio de la bomba de vaciado se lleva hasta el depósito de agua. Cuando el depósito está lleno, se avisa de que hay que vaciarlo. Existe la posibilidad de instalar un tubo de desagüe para evacuar el agua al exterior.



**Figura 10.** Secadora de evacuación.



**Figura 11.** Secadora de condensación.

#### 1.5.4. Nuevas tecnologías de alta eficiencia

##### *Tecnología de bomba de calor*

En las secadoras de condensación tradicionales el calentamiento del aire se realiza por resistencia eléctrica, haciendo que el consumo energético sea elevado y la eficiencia no supere la clase B. En cambio, las secadoras de condensación con tecnología de bomba de calor consiguen reducir el gasto eléctrico a la mitad, pudiendo llegar a consumir hasta un 40% menos que la clase A.

En la Fig. 12 se representa el funcionamiento de una secadora con calentamiento por bomba de calor. En el condensador se le extrae el calor al aire húmedo procedente del tambor. El líquido refrigerante absorbe, transporta y reinyecta dicho calor en el flujo de aire contribuyendo al 50% de la necesidad energética del aparato.



Figura 12. Calentamiento por bomba de calor.

## 1.6. Aparatos de frío

### 1.6.1. Cómo funciona un frigorífico

Un frigorífico es una máquina térmica que trasvasa calor del interior al exterior permitiendo refrigerar un compartimento, así como mantenerlo refrigerado en un rango de temperatura determinado.

En la Fig. 13 se describen los componentes de un frigorífico:

- *El motocompresor (1)* es una bomba de aspiración accionada por un motor eléctrico que comprime el gas refrigerante e incrementa la temperatura del mismo. El gas pasa al condensador (2) donde se produce un intercambio de calor con el exterior. Cede calor y se enfría produciéndose un cambio de estado.
- *El filtro deshidratador (3)* absorbe la humedad y retiene cualquier impureza que pueda obstruir el tubo capilar (4), lugar en el que el líquido refrigerante sufre una disminución brusca de la presión.
- En el *evaporador (5)* el líquido refrigerante se transforma de nuevo en gas absorbiendo el calor del ambiente y de los alimentos.

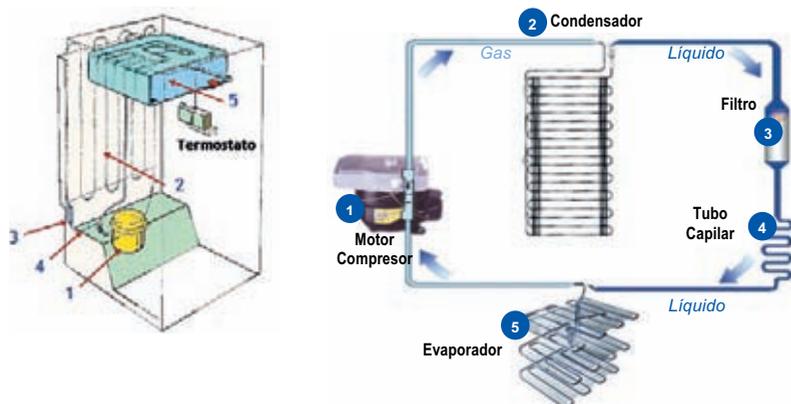
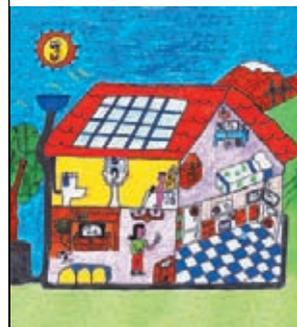


Figura 13. Componentes de un frigorífico.

Para evitar en lo posible la entrada de calor del exterior a los alimentos almacenados en los frigoríficos se utilizan materiales aislantes tales como el poliuretano.

### 1.6.2. Tipos de aparatos de frío

Hoy en día es impensable concebir un hogar sin frigorífico. En el mercado podemos encontrar una gran variedad de aparatos de frío atendiendo a sus dimensiones y volumen y tipo de alimentos que se desea refrigerar.

Asimismo, podemos encontrar aparatos con tecnología cíclica, especialmente recomendados para zonas con bajos porcentajes de humedad relativa, como zonas del interior, y aparatos con tecnología *No Frost*, también llamada frío sin escarcha, que se recomienda en zonas de costa, con alto porcentaje de humedad. Para ambos tipos de aparatos podemos encontrar en el mercado modelos de la más alta clase de eficiencia energética, la clase A++.

Además, con el objetivo de mejorar la eficiencia, podemos encontrar aparatos para diferentes clases climáticas que se adaptan a la temperatura ambiente del lugar donde se va a colocar el frigorífico: SN (16 °C a 32 °C), S (10 °C a 32 °C), T (18 °C a 43 °C) y ST (16 °C a 38 °C). La clase ST es la más habitual en España.



### **Tecnología de frío cíclico**

Esta tecnología se basa en disponer el evaporador del refrigerador en posición vertical y en contacto directo con la pared trasera de la cuba, por conducción el aire interior del frigorífico se enfría alcanzando las temperaturas seleccionadas por el usuario. Adicionalmente, un ventilador fuerza el flujo convectivo a través de las zonas más frías del aparato, acelerando el proceso de enfriamiento y uniformizando la temperatura en las diferentes zonas del frigorífico. En la parte del congelador se ubica un segundo evaporador en contacto directo con el aire interior, logrando, al igual que sucede en el caso anterior, la transferencia de frío por conducción. Esta tecnología permite modificar la temperatura interior, pero no cambia el porcentaje de humedad que se tiene en cada compartimento (equivalente al existente en la zona en la que se ubica el frigorífico).

La principal característica de la tecnología de frío cíclico es que el aire frío presente en el interior del frigorífico tiene una alta humedad relativa aproximada del 70%, lo que favorece la conservación de los alimentos evitando su deshidratación.

Ventajas:

- Aire interior con mayor grado de humedad relativa, menor deshidratación.
- Menor ruido.

### **Tecnología de frío No Frost**

Los frigoríficos con tecnología *No Frost* disponen de un evaporador, aislado de los compartimentos, en el que se genera aire muy frío y muy seco, debido a que la humedad presente en el aire condensa. Posteriormente, a través de un canal, e impulsado por una turbina interior, se distribuye el aire frío a los diferentes compartimentos. El frío es inyectado al interior de cada compartimento a través de múltiples ranuras lo que permite una mayor velocidad de enfriamiento y una mayor uniformidad de la temperatura. La humedad relativa interior es de aproximadamente el 30%, lo que evita que se forme escarcha en las paredes y no sea necesario su desescarche.

Ventajas:

- No es necesario hacer descongelaciones periódicas.
- Distribución del frío más homogénea.
- No se forma condensación sobre los alimentos: no gotean.
- Recupera la temperatura hasta tres veces más rápido que un frigorífico convencional.
- Mayor rapidez de congelación.

### 1.6.3. Nuevas tecnologías de alta eficiencia

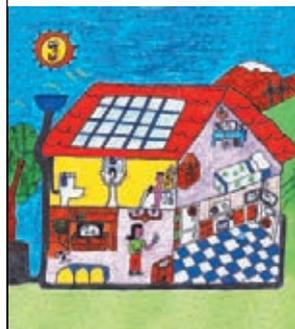
En el caso de los aparatos de frío, es importante tener en cuenta no sólo la clase de eficiencia energética, sino también la relación entre el consumo energético y el volumen interior.

#### ***Frigoríficos de clase A+ y A++***

Los frigoríficos de clase A++ consumen de media un 25% menos que los de clase A+ y un 45% que los de clase A. La eficiencia energética es especialmente importante en este tipo de aparatos, ya que el frigorífico es uno de los mayores consumidores de energía eléctrica del hogar. La elección de un frigorífico A++ frente a un frigorífico A puede implicar un ahorro anual de 142 kWh, lo que se traduce en un importante ahorro económico y en menores emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de la vida del aparato.

El paso a las clases de eficiencia energética A+ y A++ se ha conseguido gracias a la incorporación en los aparatos de diversas tecnologías:

- Compresores con un elevado coeficiente de operación (COP). Dentro del circuito de frío, el componente que más afecta al consumo de un aparato es el compresor. El COP, es el ratio entre potencia consumida y potencia entregada y da una idea de la eficiencia del compresor. Hoy en día, se utilizan compresores muy eficientes con valores de COP de 1,4 o 1,5.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

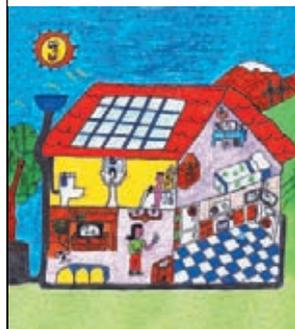
- Compresores inverter. Los compresores tradicionales trabajan a todo o nada, mientras que los inverter disponen de una electrónica propia que les permite trabajar a diferentes niveles de potencia. Un compresor inverter es capaz de adecuar su velocidad a las necesidades de frío. Además, la velocidad variable permite evitar los picos de consumo que se tienen cada vez que arranca el compresor. Esto supone un menor consumo de energía y una mayor eficiencia a la vez que se reduce el ruido.
- La incorporación de circuitos de frío totalmente independientes permite un aporte frío sólo dónde es necesario, manteniendo la temperatura adecuada de cada alimento de una manera constante. Circuitos independientes permiten optimizar cada uno de los compartimentos a refrigerar, es decir, en lugar de poner en funcionamiento un único circuito de gran capacidad de generación de frío, adaptamos el funcionamiento de pequeños circuitos independientes, mucho más eficientes, en función de la necesidad de frío concreta de cada compartimento. De esta manera se incrementa el periodo de conservación de los alimentos y se consigue una mayor eficiencia. Una ventaja adicional es que se evita la transferencia de olores entre compartimentos.
- Los sensores incorporados detectan cualquier variación de temperatura para adaptarla. De esta manera se aumenta la eficiencia y se garantiza estabilidad en la temperatura. Además, la electrónica, parametrizada por múltiples sensores, detecta las aperturas de puerta con objeto de regular de una forma más eficiente el funcionamiento del aparato en función de las necesidades.
- Se ha aumentado el rendimiento del ventilador interior que permite lograr una temperatura homogénea.
- Aislamientos. Es fundamental lograr que el aparato esté lo más aislado posible del ambiente externo para evitar cualquier pérdida de frío. Para ello se ha trabajado en distintos campos:
  - Mejora del índice de aislamiento de la espuma de poliuretano, así como mejor distribución de la misma.
  - Rediseño de los espesores de la cuba en función de la necesidad de aislamiento de cada zona.

- Diseño de nuevas juntas y sistemas de cierre de las puertas que reducen al mínimo el intercambio de calor entre ambiente y aparato.
- Alarma acústica para avisar si la puerta se ha quedado abierta y detectar si se produce una pérdida de frío.
- Sistema de iluminación de LED (Light Emiting Diodes). La tecnología de LED consume 20 veces menos que una bombilla normal y su vida útil es mucho mayor.

#### 1.6.4. Instalación para una mayor eficiencia

Para conseguir una mayor eficiencia a lo largo de la vida útil del frigorífico, es muy importante tener en cuenta las recomendaciones de instalación de los fabricantes:

- La habitación debe tener un ambiente seco y disponer de ventilación.
- Evitar focos de calor próximos al lugar de instalación del frigorífico. Si no es posible, poner un aislamiento. El objetivo es contribuir a que pueda respirar tanto si es de libre instalación como si es de integración.
- Mantener una distancia mínima de 3 cm de la placa de gas o eléctrica.
- Si el aparato está instalado al lado de un congelador o refrigerador, tiene que dejar una distancia mínima de 2,5 cm para evitar condensaciones.
- No colocar el aparato pegado a la pared ya que necesita tener ventilación para dejar escapar el calor. Para ello se suministran unos topes que se colocan en la parte trasera y marcan la distancia mínima.





## 1.7. Aparatos de cocción

### 1.7.1. Placas de cocción a gas

El gas es la forma de cocción que menos impacto genera en el medio ambiente.

El gas natural, en comparación con otros combustibles de origen fósil, es una energía primaria que se utiliza tal y como se extrae de la tierra, por lo que se evita la emisión de humos y cenizas procedentes de los procesos de transformación.

Además, es el sistema de cocción más barato y proporciona una serie de ventajas muy apreciadas por los cocineros profesionales y, cada vez más, por un amplio número de personas:

- Es rápido. La llama transmite el calor desde el principio al recipiente y no hay periodos intermedios de calentamiento.
- Regulación rápida de la potencia. El efecto en la cocción al reducir o aumentar la llama es instantáneo.
- Permite usar cualquier tipo de recipiente.

En el mercado, podemos encontrar una amplia gama de este tipo de producto. Algunos modelos incorporan prestaciones para aumentar su eficiencia tales como el quemador ecológico, que reduce la emisión de  $\text{CO}_2$  hasta 10 veces el valor establecido por norma. Otros modelos disponen de parrillas individuales, Fig. 14, que aumentan el rendimiento de los quemadores en un 3% de media, pudiendo llegar al 6% dependiendo del tipo de quemador y de la presión de gas.



**Figura 14.** Placa de cocción a gas con parrillas individuales.

### 1.7.2. Placas de cocción eléctrica

Dentro de las diferentes tecnologías de las superficies de cocción eléctrica, podemos encontrar placas vitrocerámicas convencionales y placas vitrocerámicas de inducción. Pero la tecnología más eficiente y segura es la de inducción.

#### Tecnología de inducción

En las placas de inducción el calor se genera de forma muy distinta a como se genera en las placas convencionales, Fig. 15.

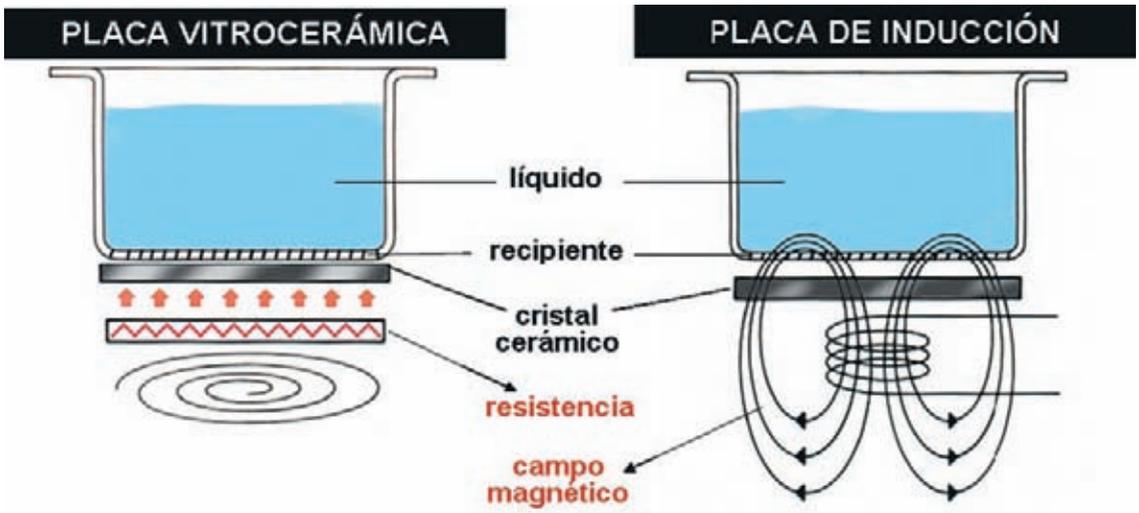
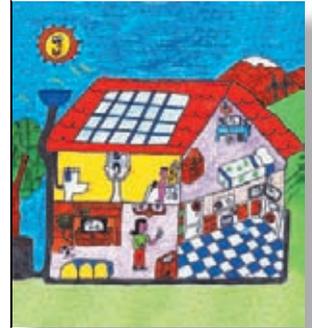


Figura 15. Componentes de las distintas tecnologías de cocción eléctrica.

En las placas vitrocerámicas convencionales una resistencia situada bajo el cristal vitrocerámico transmite el calor al cristal y éste a su vez lo transmite al recipiente.

En las placas de inducción, bajo el cristal vitrocerámico, justo debajo de cada una de las zonas serigrafiadas, hay un inductor que genera un campo magnético que se cierra sólo cuando se coloca un recipiente conductor sobre la zona. Al cerrarse el campo magnético, se generan en la base del recipiente unas pequeñas corrientes llamadas corrientes de Eddy o Foucault que la calientan, Fig. 16. De esta forma se transmite el calor al alimento en el interior del recipiente.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



**Figura 16.** Campo magnético y corrientes de Eddy o Foucault.

Gracias a la forma de generarse el calor, las placas de inducción tienen grandes ventajas:

- *Eficiencia.* Una placa vitrocerámica convencional transmite alrededor del 50% de su energía para calentar el recipiente, mientras que la tecnología de inducción puede llegar a transmitir más del 75%.
- *Menor consumo de energía.* Según análisis internos llevados a cabo por el grupo BSH, dependiendo de una serie de factores tales como la forma de cocinar, el tiempo de uso o la cantidad de alimentos, la inducción puede llegar a consumir alrededor de un 25% menos que la vitrocerámica convencional para usos cortos, donde el precalentamiento tiene mayor peso, como frituras y alrededor de un 10% menos para usos más largos por fuego (p. ej., cocción con agua).
- *Rapidez.* Al generarse el calor directamente en la base del recipiente, el proceso de precalentamiento se reduce considerablemente. El tiempo de precalentamiento se reduce a la mitad si lo comparamos con las placas vitrocerámicas convencionales.
- *Limpieza.* Debido a la menor temperatura que alcanza el cristal la suciedad que cae sobre el mismo no se queda adherida y la limpieza es mucho más fácil, no siendo necesario utilizar productos químicos específicos.
- *Seguridad.* Si unos segundos después de encender una zona de inducción no se coloca un recipiente conductor la placa se desconecta automáticamente. De esta forma se evitan posibles accidentes debidos al olvido de un trapo, papel o utensilio de madera

sobre la zona. Además, la placa posee un sistema de desconexión automática que varía en función de la potencia seleccionada. De esta forma, la zona se desconecta de forma automática en 1 hora si permanece a potencia 9 sin alterar este nivel en ningún momento y en 10 horas si el nivel de potencia que no sufre modificaciones es 1.

- *Precisión.* Las placas de inducción son más precisas, ya que el tiempo de reacción al variar la potencia es muy pequeño. Es posible pasar de un nivel de potencia 9 a un nivel de potencia 1 en muy pocos segundos.

### **Instalación de placas de inducción para una mayor eficiencia**

A la hora de instalar una placa de inducción, es muy importante seguir las instrucciones de los fabricantes para lograr una buena ventilación. La refrigeración de los componentes electrónicos va a influir en la eficiencia de la placa durante su vida útil.

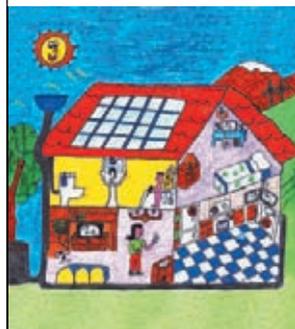
Algunas placas del mercado realizan la ventilación por la parte trasera, Fig. 17, mientras que otros productos requieren ventilación por la parte delantera.



Figura 17. Sistema de ventilación trasero.

### **1.7.3. Hornos**

La cocción con horno es la forma más sana de cocinar, puesto que no se emplean aceites ni grasas adicionales para cocinar el alimento, sino que el alimento se cocina con su propia grasa.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Al igual que ocurre con otras gamas, la mayor parte de los hornos presentes en el mercado pertenecen a la clase de eficiencia energética A. Sin embargo, existen modelos con convección forzada de medidas compactas que presentan un menor consumo de energía, obteniendo la misma calidad de cocinado. Así, por ejemplo, podemos encontrar hornos compactos que consumen un 25% menos que los hornos de medidas estándar y que además se pueden instalar bajo encimera con un cajón cacerolero estándar, Fig. 18.

Los aparatos compactos optimizan el espacio en el caso de cocinas pequeñas, y permiten disfrutar de diferentes formas de cocinado aportando vapor o acelerando la cocción con microondas.



**Figura 18.** Horno compacto.

### 1.7.4. Campanas

Las investigaciones realizadas sobre el clima en un local y la limpieza de aire han permitido comprobar que para conseguir una renovación adecuada de aire en la zona de cocción es necesario que la campana renueve entre 6 y 12 veces el volumen de la estancia a la hora, a mínima y máxima velocidad respectivamente. Conociendo el volumen de la coci-

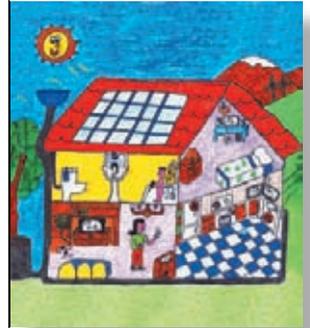
na, se puede elegir la capacidad de extracción de la campana que se mide precisamente en volumen renovado a la hora, es decir, en m<sup>3</sup>/h.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, una vez instalada la campana no se obtiene el mismo valor teórico de extracción que el que aparece en los catálogos, sino un valor real inferior, que será menor cuanto peor sea la instalación de salida de aire. El consumo de una campana extractora está muy relacionado con su instalación. Una mala instalación puede empeorar la capacidad de extracción tardándose más tiempo en ventilar el volumen de aire de la cocina, o incluso no realizando correctamente esta tarea.

La instalación de tuberías largas y rugosas, numerosos codos o tuberías de poco diámetro y, en definitiva, cualquier elemento que dificulte el paso del aire disminuye el caudal de la campana, es decir, implica una disminución de la capacidad de extracción real obtenida y, al mismo tiempo, un aumento del ruido.

Para lograr una mayor eficiencia, los fabricantes de campanas recomiendan:

- Utilizar conductos del mayor diámetro posible y de corto recorrido. Se recomienda el uso de tubos de diámetro 150 mm y se desaconseja totalmente el uso de conductos de diámetros 100 mm. Para aquellos casos en que no sea posible su utilización, por falta de espacio, siempre se puede colocar un tubo de sección rectangular 18x9 cm que es equivalente a la sección circular de 150 mm.
- Que los tubos sean lisos. Está desaconsejado el uso de aluminio coarrugado, ya que debido a las turbulencias generadas por la rugosidad del material se produce una gran reducción de la capacidad de extracción y aumento del ruido.
- Evitar salidas parcialmente bloqueadas.
- Reducir la utilización de codos de 90°.
- Evitar utilizar codos con el interior recto.
- Cuando la salida exterior es muy deficiente y las pérdidas de capacidad de extracción superan el 40%, instalar la campana en recirculación.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Situar una vía de aire abierta lo suficiente lejos para no provocar corrientes que desvíen el humo. Si una cocina no está bien ventilada, la campana absorbe aire que no se repone disminuyendo su rendimiento.
- Utilizar conducciones individuales para cada campana. Se mejora el rendimiento de capacidad de extracción y de nivel de ruido y se evita un posible retorno de humos.

Además de la instalación, hay otros factores que influyen en la eficiencia de las campanas y que es deseable tener en cuenta a la hora de seleccionar este tipo de aparatos:

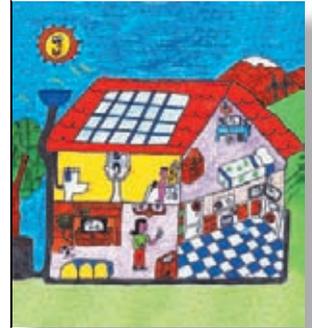
- *Motor-turbina.* Algunas campanas incorporan conjuntos motor-turbina de alto rendimiento que mejoran la eficiencia energética en la impulsión del aire.
- *Electrónica.* Dispositivos como la desconexión automática y los sensores de humos permiten que la campana se regule sola y evitan que el motor funcione más tiempo del necesario.
- *Iluminación.* Algunos modelos disponen de iluminación de bajo consumo.

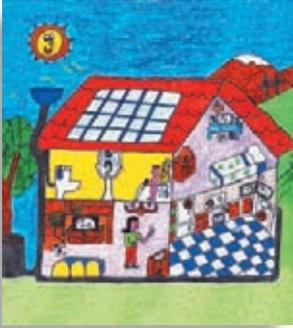


Figura 19. Componentes de una campana.

## 2. Bibliografía

- HORIE, Y. A.: *Life Cycle Optimization of Household Refrigerator-Freezer Replacement*. Center for Sustainable Systems, Univ. of Michigan Report No. CSS04-13.
- IBÁÑEZ CARRANZA, J. C.; MARTÍNEZ GIMENO, V., y PÉREZ BUENO, D. (2009): *Investigación sobre potenciales de eficiencia con el empleo de lavavajillas*. Cuadernos de I+D+I Canal de Isabel II.
- KROTKINE, G. (2002): *Forging Global Partnerships with Key Accounts*. Int. Appl. Manufacturing.
- OTTO, R.; RUMINY, A., y MROTZEK, H. (2006): "Assessment of the Environmental Impact of Household Appliances". *APPLIANCE Magazine*
- REAL DECRETO 124/1994, de 28 de enero, por el que se regula el etiquetado de electrodomésticos y la información referente al consumo de energía y de otros recursos.
- REAL DECRETO 1326/1995, de 28 de julio, por el que se regula el etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos.
- REAL DECRETO 574/1996, de 28 de marzo, por el que se regula el etiquetado energético de las secadoras de ropa electrodomésticas de tambor.
- REAL DECRETO 607/1996, de 12 de abril, por el que se regula el etiquetado energético de las lavadoras domésticas.
- REAL DECRETO 701/1998, de 24 de abril, por el que se regula el etiquetado energético de las lavadoras-secadoras combinadas domésticas.
- REAL DECRETO 864/1998, de 8 de mayo, por el que se regula el etiquetado energético de los lavavajillas domésticos.
- REAL DECRETO 142/2003, de 7 de febrero, por el que se regula el etiquetado energético de los acondicionadores de aire de uso doméstico.
- REAL DECRETO 210/2003, de 21 de febrero, por el que se regula el etiquetado energético de los hornos eléctricos de uso doméstico.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- REAL DECRETO 219/2004, de 6 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1326/1995, de 28 de julio, por el que se regula el etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos.
- RUEDENAUER, I., et al. (2004): *Eco-Efficiency Analysis of Washing Machines*. Oeko-Institut e.V. Freiburg.
- RUEDENAUER, I., y GENSCHE, C. O. (2005): *Environmental and Economic Evaluation of the Accelerated Replacement of Domestic Appliances*. Oeko-Institut e.V. Freiburg.
- STAMMINGER, R.: "Is a Machine More Efficient than the Hand?". *Home Energy*, May/June 2004.
- VAN HOLSTEIN EN KEMNA: European Commission Eco-design Methodology Project—MEEUP Product Cases Report, [www.euproject.org](http://www.euproject.org).
- Enlaces:
  - Association of Home appliances and Manufacturers (AHAM), USA: <http://www.aham.org/>
  - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), GER: <http://www.bmu.de/>
  - Deutsche Energie-Agentur (dena), GER: <http://www.stromeffizienz.de/>
  - Energy Efficiency Standards & Labeling Information Clearinghouse (CLASP): <http://www.clasponline.org/index.php>
  - European Commission on Energy: [http://ec.europa.eu/energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/index_en.htm)
  - European Committee of Domestic Equipment Manufacturers (CECED): <http://www.ceced.org/>
  - Europe's Energy Portal: <http://www.energy.eu/>
  - International Energy Agency: <http://www.iea.org/>
  - GfK Star Track Portal: [http://ginwbid/bid20/market\\_start.aspx](http://ginwbid/bid20/market_start.aspx)

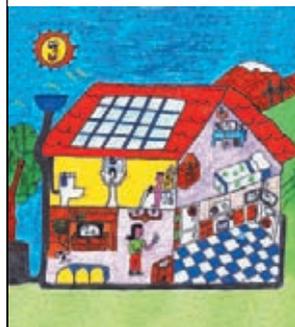
# 10

## TECNOLOGÍAS DE CALEFACCIÓN DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA

D. JOSÉ MARÍA DURÁN

Viessmann

[www.viessmann.es](http://www.viessmann.es)



### 1. Introducción

Tras la crisis energética de mediados de la década de los 70 surgió la necesidad de crear calderas que redujeran considerablemente las pérdidas y, en consecuencia, aumentasen el rendimiento. Hasta ese momento la tecnología no permitía que las calderas existentes, calderas Estándar, adaptaran su temperatura de funcionamiento a las necesidades reales de la instalación, o mejor dicho, a la demanda real. No era extraño hablar de temperaturas de ambiente muy elevadas en el interior de los edificios en pleno invierno, e incluso de aliviarlas mediante la ventilación natural, es decir, abriendo las ventanas.

Para entender adecuadamente los beneficios que reportan las tecnologías en calefacción más eficientes de Europa, las calderas de Baja Temperatura y de Gas de Condensación (según Directiva Europea de Rendimientos 92/42/CEE), conviene antes recordar algunos detalles de interés:

- La temperatura exterior de diseño de las instalaciones se alcanza durante muy pocas horas al año en temporada y horario de calefacción.

A título de ejemplo, contando que la temperatura exterior de diseño de las instalaciones de calefacción en Madrid capital es de  $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y que la media en el periodo comprendido entre el 1 de noviembre y el 31 de marzo en la franja horaria de 9,00 h a 23,00 h es de  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no resulta difícil comprender que si las instalaciones se diseñan para temperaturas tan bajas, cuando estas son más benignas, las necesidades de calor de los edificios son evidentemente menores.



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Para elevar la temperatura ambiente de un edificio en 1 °C, el consumo de combustible se incrementará entre un 6% y un 8%.

Con esta información podemos comprender fácilmente por qué la temperatura ambiente en los edificios era tan elevada —no era extraño alcanzar temperaturas ambiente sobre los 27 °C – 28 °C, y por qué el consumo de combustible era igualmente tan alto. Si se considera adecuada una temperatura ambiente de confort entre 20 °C y 22 °C, mantener los 27 °C o 28 °C descritos implica un malgasto de combustible de en torno a un 50%, e incluso superior, algo a todas luces excesivo.

## 2. Primeras medidas para el ahorro y la eficiencia energética

Este excesivo gasto de combustible obligó a las autoridades de toda Europa a emprender acciones dirigidas al ahorro energético. Concretamente en España, en 1979, se redactan las I.T.I.C (Instrucciones Técnicas para las Instalaciones de Calefacción), que tienen como principio fundamental “la racionalización de la energía”. Con la publicación de esta normativa, el avance fue espectacular en materia de ahorro energético. Para evitar los perniciosos efectos de lo relatado en el punto 1, comienza a exigirse la instalación de sistemas de regulación para compensación por temperatura exterior, que actuando sobre elementos mecánicos de control tales como válvulas motorizadas de 3 o 4 vías, reducen la temperatura de impulsión a los elementos calefactores terminales (radiadores, fan-coils, suelo radiante, etc.) hasta adecuarla a las necesidades reales del edificio, todo dentro de unas consignas de temperatura ambiente de entorno a 20 °C– 22 °C.

No obstante, si bien con esta medida se reduce en el circuito secundario la temperatura de impulsión en función de la temperatura exterior y, en consecuencia, también el consumo de energía, si la caldera continúa trabajando a una temperatura más alta a la necesaria para protegerse contra la condensación ácida que se producen en su interior con bajas temperaturas de agua en caldera, continuará existiendo un importante derroche energético, en torno a un 15% como media.

El límite inferior de temperatura mínima de retorno de una caldera está condicionado por la temperatura del punto de rocío de los pro-

ductos de la combustión, valor en el cual el vapor de agua producido durante la combustión condensa y humedece la superficie de intercambio térmica del cuerpo de caldera. Esta temperatura es de 48 °C para el funcionamiento con gasóleo y de 57 °C para el gas natural. Por sí solo, la condensación del vapor de agua en el interior de la caldera no representaría un serio problema a corto plazo, pero en combinación con otros productos de la combustión, tales como el azufre presente en el gasóleo, se obtendrá anhídrido sulfuroso y ácido sulfúrico, extremadamente agresivos y corrosivos como es sabido. En el caso del gas natural, la condensación producirá ácido carbónico, también altamente corrosivo.

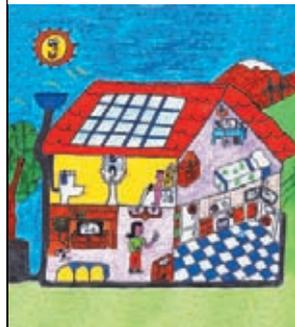
Para poder adaptar la temperatura de funcionamiento a las necesidades reales de la instalación también en el circuito primario ya desde la propia caldera y reducir así las pérdidas por disposición de servicio, se hizo necesario desarrollar nuevas tecnologías que permitieran trabajar con bajas temperaturas de retorno sin riesgo de condensaciones ácidas. La primera de estas calderas se presentó en 1979, denominándose por aquellos entonces caldera de Bajo Consumo. En la actualidad se denominan calderas de Baja Temperatura.

Por otro lado, conviene no olvidar que en el proceso de cambio de estado del vapor de agua producido durante la combustión, se desprende una apreciable cantidad de calor, denominado éste calor latente, que de poder aprovecharse, representa un aprovechamiento adicional de la energía. Acerca de este principio se desarrollarán más adelante las calderas de gas de Condensación.

### 3. Calderas de Baja Temperatura

La definición oficial de este tipo de calderas, según la Directiva Europea de Rendimientos 92/42/CEE, es la siguiente: *“Una caldera que puede funcionar continuamente con una temperatura del agua de alimentación de entre 35 °C y 40 °C y que en determinadas condiciones puede producir condensación”*.

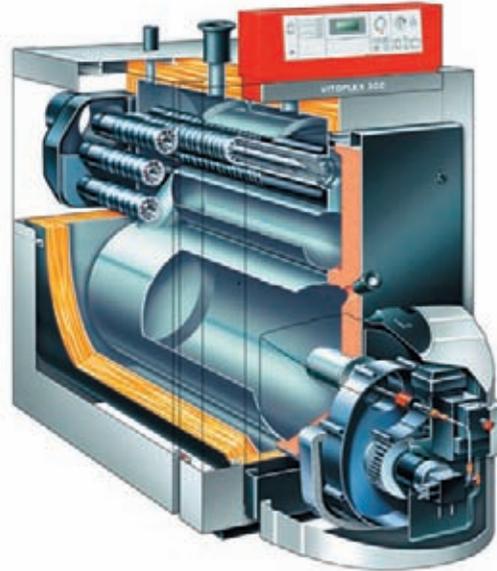
Para poder trabajar estas calderas con temperaturas tan bajas de agua de retorno sin que se produzcan en su interior condensaciones ácidas, es imprescindible disponer de elementos constructivos especialmente desarrollados para este fin. A título de ejemplo, el fabri-



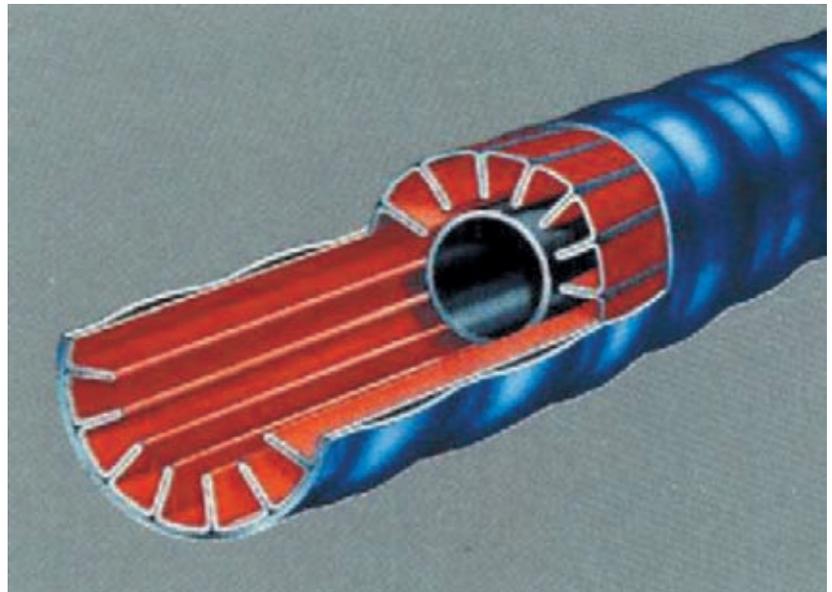


## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

cante alemán Viessmann utiliza superficies de intercambio de pared múltiple, con cámaras de aire para la dosificación de la transmisión del calor al agua de calefacción. Los detalles constructivos de estas superficies de intercambio pueden observarse en las figuras 1, 2 y 3.



**Figura 1.** Vista seccionada de caldera de Baja Temperatura de Viessmann modelo Vitoplex 300.



**Figura 2.** Tubo Triplex – superficie de calefacción por convección de pared múltiple de la Vitoplex 300.

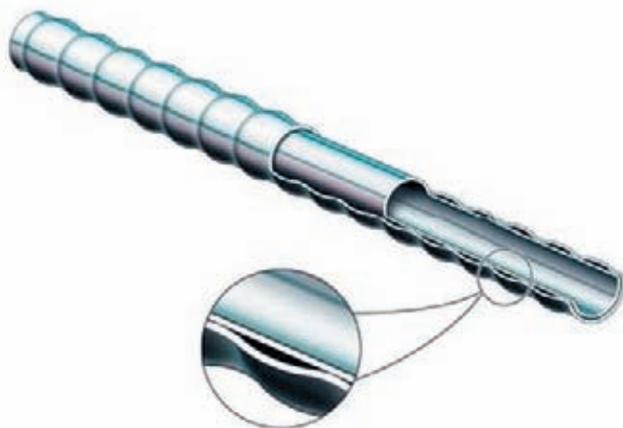


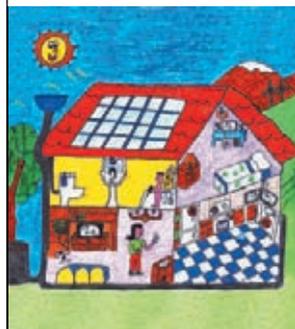
Figura 3. Tubo Duplex de la Vitomax 300-LT.

### **3.1. Funcionamiento de las superficies de intercambio de pared múltiple**

Como ocurre en todos los procesos de transmisión térmica, la transmisión de calor de los gases de combustión a la pared de calefacción, y de ésta al agua de la caldera, se ve limitada por una resistencia. Esta resistencia es el resultado de la suma de las resistencias parciales, que dependen de factores tales como la conductibilidad térmica de los distintos materiales a través de los que se realiza la transmisión térmica. Dependiendo del volumen de calor producido y de las distintas resistencias a la transmisión de calor, se alcanzan determinadas temperaturas en las superficies de calefacción. La temperatura de la superficie en el lado de admisión de los gases de combustión, no se ve influenciada por las altas temperaturas de éstos, sino de forma determinante, por la temperatura muy inferior, del agua de la caldera.

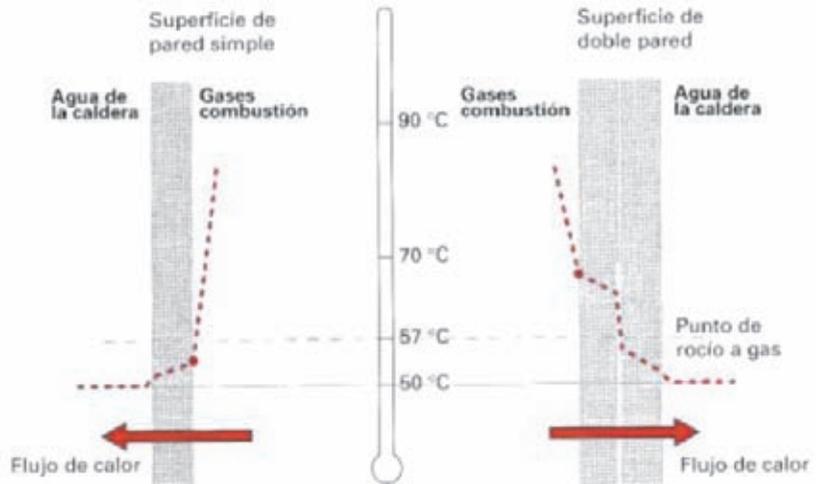
En las superficies de calefacción de pared simple, la diferencia de temperatura entre el agua de la caldera y la superficie en el lado de los gases de combustión es pequeña. Por esta razón, si la temperatura del agua desciende por debajo del punto de rocío, el vapor de agua contenido en los gases de combustión puede llegar a condensar.

Las superficies de calefacción de pared múltiple, por el contrario, permiten que se genere una resistencia a la transmisión de calor. Optimizaciones en el diseño pueden llegar a controlar esta resistencia de tal forma que, incluso con bajas temperaturas del agua de la caldera,





la temperatura en el lado de los gases de combustión se mantenga por encima del punto de rocío del vapor de agua, evitando de este modo, el descenso por debajo de este punto. De manera gráfica puede apreciarse en la Fig. 4.



**Figura 4.** Funcionamiento de superficies de calefacción de pared simple y de pared múltiple.

### **3.2. Análisis del funcionamiento de las calderas de Baja Temperatura**

La principal diferencia entre las calderas de Baja Temperatura y las calderas convencionales estriba en que las primeras ofrecen la posibilidad de adaptar la temperatura de funcionamiento en función de la demanda calorífica, o dicho de otra forma, de las necesidades reales.

En la curva característica de calefacción de un edificio se aprecia que a cada temperatura corresponde una temperatura de impulsión determinada. Como ya se ha explicado anteriormente, de otro modo la temperatura ambiente del edificio se incrementaría cuando la temperatura exterior ascendiera y no se redujera en paralelo la del agua de caldera. Esta curva de calefacción se adaptará a cada edificio, considerando su ubicación geográfica, pérdidas del edificio, orientación, etc., pudiendo por lo tanto "construir" una curva de calefacción a la medida de cada necesidad.

Así, para una temperatura exterior de 5 °C se obtendrá aproximadamente una temperatura de impulsión en torno a los 60 °C. Si la tempe-

ratura exterior aumentase, bajaría progresivamente la temperatura de impulsión hasta alcanzar los 30 °C ó 40 °C, que es el límite inferior para la mayoría de las calderas de este tipo. Caso de no haber demanda durante varias horas al día, muy habitual durante los meses de verano en la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), el quemador sólo entrará en funcionamiento para cubrir las pérdidas por radiación y convección de la caldera y sólo cuando la temperatura del agua de la caldera descienda por debajo de los 40 °C. Mediante este modo de funcionamiento se reducen hasta casi eliminarlas, las pérdidas por disposición de servicio, responsables de aproximadamente un 12 % - 13% del consumo total de combustible de una instalación de calefacción.

Las calderas convencionales de funcionamiento a temperatura constante trabajan durante todo el año, independientemente de la temperatura exterior y la demanda de la instalación, a una temperatura media de caldera 80 °C.

La utilización de calderas de Baja Temperatura con respecto a las calderas Estándar, aporta un ahorro energético de entorno a un 15%, o incluso superior en función de la marca y modelo de caldera con la que se realice la comparativa.

#### 4. Calderas de Gas de Condensación

Mediante la aplicación de las calderas de Baja Temperatura se consigue, adaptando la temperatura de funcionamiento de las mismas a las necesidades reales del edificio, reducir el consumo de energía, como ya se ha comentado, en torno a un 15% con respecto a una caldera Estándar. Sin embargo, todavía se desperdicia una importante cantidad de calor a través del vapor de agua que se produce en la combustión y que se arroja al exterior a través de la chimenea sin aprovechar el calor latente que aporta.

El principal obstáculo para este aprovechamiento radica en la necesidad de disponer de superficies de intercambio resistentes a la condensación ácida provocada en el interior de la caldera. Por este motivo, la mayoría de las calderas de Condensación de calidad en Europa están fabricadas en aceros inoxidable de alta aleación.

La definición oficial de este tipo de calderas, según la Directiva Europea de Rendimientos 92/42/CEE es la siguiente: "Caldera diseñada





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

para condensar permanentemente una parte importante del vapor de agua contenido en los gases procedentes de la combustión". Cabe destacar, por tanto, la importancia de que las superficies de intercambio de este tipo de calderas sean especialmente resistentes a este modo de funcionamiento. En este sentido, el acero inoxidable estabilizado al titanio, material que a título de ejemplo utiliza el fabricante alemán Viessmann, aporta la máxima fiabilidad de funcionamiento, permitiendo obtener importantes ahorros energéticos durante los más de 25 años de vida útil de estas calderas.

### 4.1. Técnica de condensación

El rendimiento estacional puede verse aumentado en unos 14 - 15 puntos con respecto a una moderna caldera de Baja Temperatura, con el empleo de esta técnica.

Durante la combustión, los componentes combustibles, principalmente Carbono (C) e hidrógeno (H), reaccionan durante la combustión con el oxígeno del aire, generando, además de calor, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Si las temperaturas en las paredes de las superficies de intercambio térmico descienden por debajo del punto de rocío del vapor de agua, éste condensa desprendiendo calor en el cambio de fase. Para un aprovechamiento eficaz de la condensación, es importante realizar la combustión con un alto contenido de  $\text{CO}_2$  reduciendo el exceso de aire. Para lograrlo, son apropiados los quemadores presurizados a gas, mientras que en los quemadores atmosféricos, debido al mayor exceso de aire, el punto de rocío se sitúa a temperaturas inferiores, con lo que el aprovechamiento de la condensación de los gases de combustión es peor.

El calor latente de los gases de combustión, también denominado calor de condensación, se libera durante la condensación de vapor de la combustión y se transmite al agua de la caldera.

Resulta cuando menos llamativo que este tipo de calderas obtengan rendimientos estacionales superiores al 100%, concretamente hasta el 109%. Es necesario matizar que el valor de referencia es el Poder Calorífico Inferior (PCI).

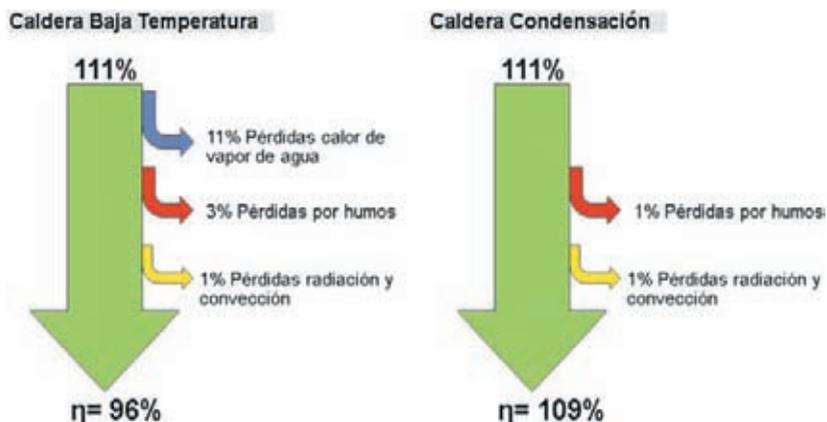
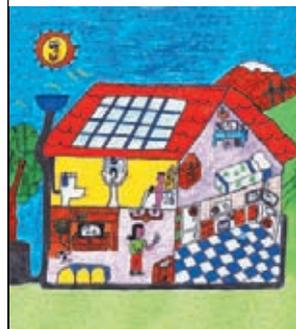


Figura 5. Ventajas de la técnica de condensación.

#### 4.1.1. El Poder Calorífico Inferior y el Poder Calorífico Superior

El Poder Calorífico Inferior (PCI) define la cantidad de calor liberada tras una combustión completa cuando el agua que contienen los gases de combustión está en forma de vapor. El Poder Calorífico Superior (PCS) define la cantidad de calor liberada tras una combustión completa, incluyendo el calor de condensación contenido en el vapor de agua de los gases de combustión en su paso a la fase líquida.

Con el aprovechamiento del calor latente haciendo referencia al PCI, dado que este valor no contempla el calor de condensación, se obtienen como ya se ha indicado anteriormente, rendimientos estacionales superiores al 100%. En la técnica de condensación, para poder comparar el aprovechamiento energético de las calderas de Baja Temperatura con el de las calderas de Condensación, los rendimientos estacionales normalizados se siguen calculando en referencia al Poder Calorífico Inferior. La cantidad de calor de condensación máxima aprovechable será la relación entre el Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI). A título de ejemplo, en el caso del gas natural, combustible idóneo para la utilización de esta técnica, esta relación es de 1,11, siendo un 11%, por lo tanto la cantidad de calor máxima que por este concepto se podrá obtener. Para el gasóleo, este valor desciende hasta el 6%. No obstante, también hay que considerar que las calderas de Condensación enfrían los humos hasta unos 10 °C por encima de la temperatura de retorno a la caldera, aprovechando así también de este modo el calor sensible de los humos en mucha mayor cuantía que las calderas de Baja Tempera-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

tura y también Estándar. En el balance total de rendimiento adicional obtenido por esta técnica habrá que considerar las dos ganancias: calor latente y calor sensible.

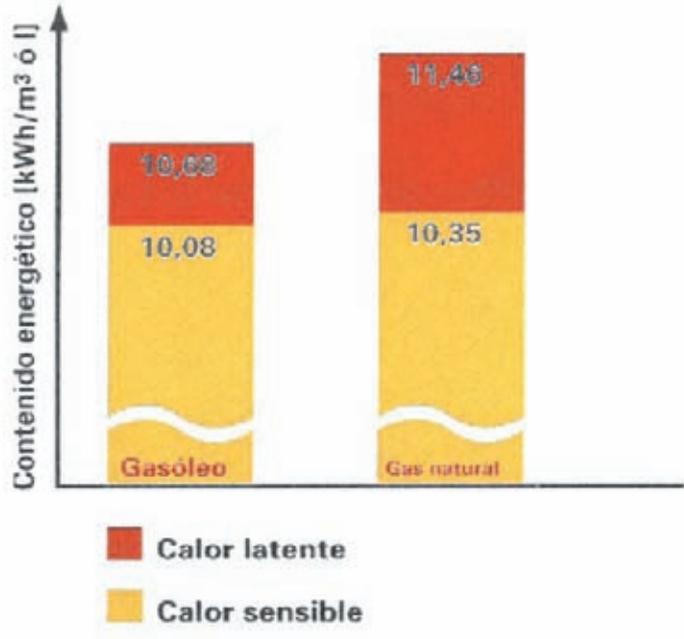


Figura 6. Contenido energético del gasóleo y el gas natural.

### 4.2. Diseño de las calderas de Condensación

El aprovechamiento de la condensación será tanto mayor cuanto más condense el vapor de agua contenido en los gases de combustión. Sólo de esta forma el calor latente de los gases procedentes de la combustión puede convertirse en calor útil para la calefacción. En las calderas de Baja Temperatura, las superficies de calefacción deben concebirse de forma tal que se evite la condensación de los gases procedentes de la combustión en el interior de las mismas. Todo lo contrario que en las calderas de Condensación: los gases de combustión son conducidos hacia la parte inferior, en sentido contracorriente a la circulación del agua de caldera para de esta forma conseguir el máximo enfriamiento de los mismos.

El empleo de acero inoxidable de alta aleación ofrece la posibilidad de aplicar una geometría óptima en el diseño de las superficies de intercambio térmico. Para que el calor de los gases de combustión

se traspase eficazmente al agua de la caldera, debe asegurarse un contacto intensivo de los gases de combustión con la superficie de intercambio. Para ello existen básicamente dos posibilidades:

Las superficies de calefacción pueden concebirse de forma tal que los gases de combustión se arremolinen continuamente, evitando así la creación de un flujo de corriente principal de mayores temperaturas. Los tubos lisos no son adecuados para este fin. Deben crearse puntos de desvío y variaciones en su sección transversal.

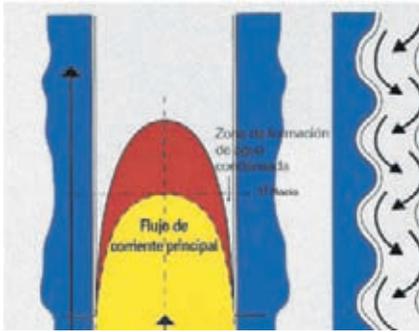


Figura 7. Requisitos físicos para los pasos de humos de mayor diámetro-superficie de calefacción Inox-Crossal.

A través de las superficies onduladas y enfrentadas se consiguen continuos cambios de sección del paso de los humos de combustión, lo que evita la formación de un flujo de corriente principal, que dificultaría la transmisión de calor y por lo tanto la condensación.

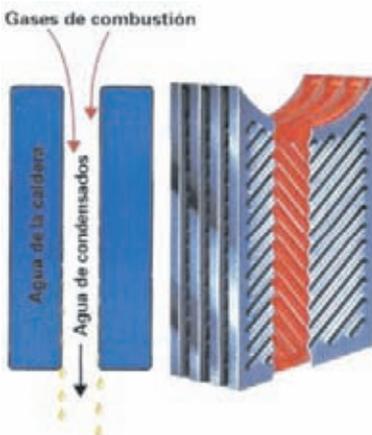
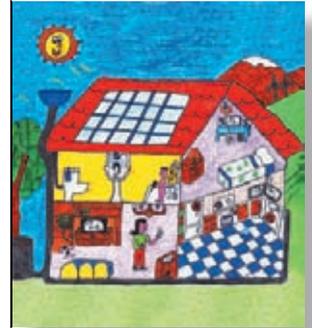
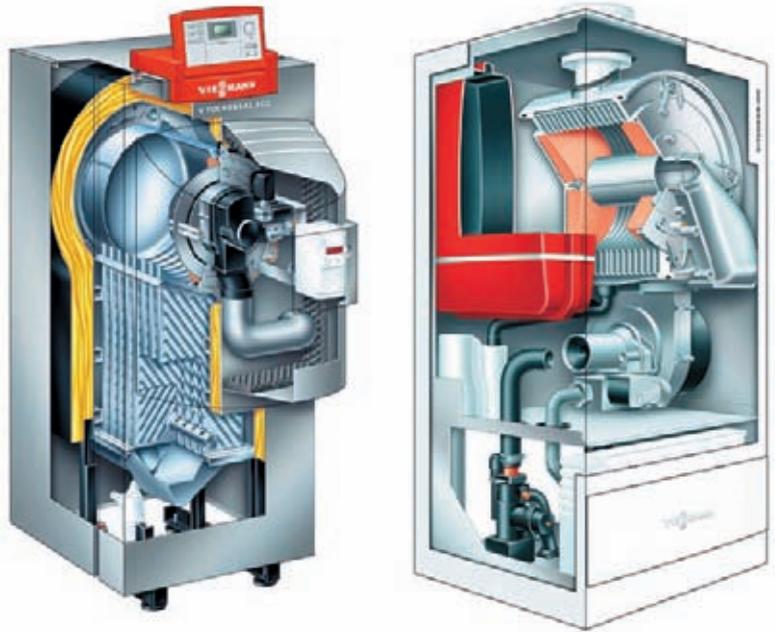


Figura 8. Conducción de los gases de combustión y del agua de condensados.





**Figura 9.** Vista seccionada de calderas de Condensación a gas de Viessmann.

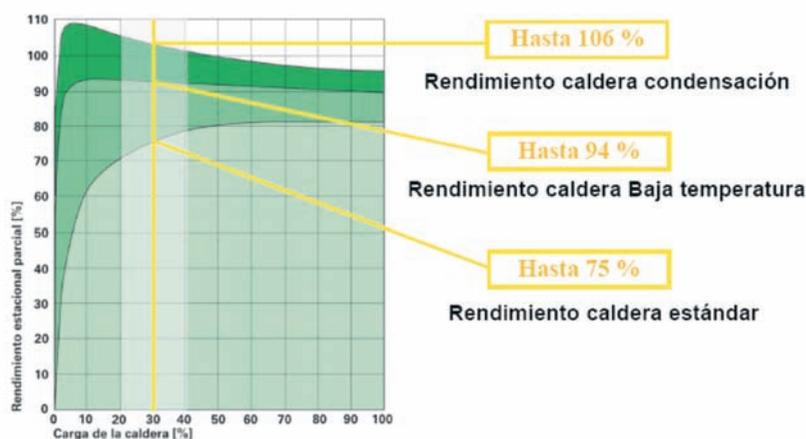
### ***4.3. Comparativa de valores de rendimiento estacional***

Una caldera de calefacción se dimensiona con el objetivo de cubrir completamente la demanda de calor con la temperatura exterior de diseño.

Las temperaturas de diseño para España se encuentran entre los + 1 °C y los – 5 °C.

Temperaturas exteriores tan bajas sólo se alcanzan en escasas ocasiones, por lo que el servicio de la caldera a **plena carga** se establece durante pocos días al año.

Durante el tiempo restante, tan sólo se requiere una pequeña fracción de la potencia térmica útil, resultando la **carga media** anual entre 20% y 30%.



**Figura 10.** Comportamiento del rendimiento estacional de calderas de Baja Temperatura y de Condensación con respecto a las calderas Estándar.

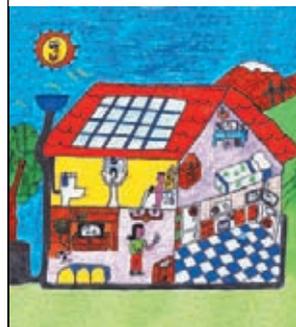
En la Fig. 10 se aprecia claramente cómo la utilización de calderas de Baja Temperatura y Condensación permite obtener elevados rendimientos estacionales y en consecuencia reducir de manera directamente proporcional el consumo de combustible.

## 5. Conclusiones

La dosificación del paso de calor es, junto con una regulación adecuada, la característica constructiva que permite a las calderas de Baja Temperatura adaptar la temperatura de funcionamiento a las necesidades reales de la instalación, sin que se produzca en su interior condensaciones ácidas perjudiciales para la caldera.

Las calderas de Condensación aprovechan una importante cantidad adicional de calor mediante el aprovechamiento precisamente de la condensación.

En ambos casos, el funcionamiento en función de las necesidades reales de la instalación reduce significativamente las pérdidas por radiación y convección y en consecuencia las pérdidas por disposición de servicio. Las calderas de condensación, mediante la recuperación del calor latente (calor de condensación) no sólo reducen aún más las pérdidas por calor sensible al enfriar intensivamente los humos y





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

reduciendo, por lo tanto, las pérdidas globales de energía, sino que el aprovechamiento de la condensación las permite obtener los mayores rendimientos estacionales y las convierte en el máximo exponente de ahorro y eficiencia energética.

Como resumen se puede partir de los siguientes valores de rendimiento estacional en función de la tecnología de la caldera:

- Caldera Estándar: 75% – 80%.
- Caldera de Baja Temperatura: 91% – 96%.
- Caldera de Gas de Condensación: 105% – 109%.

En los tres casos los valores de rendimiento estacional son relacionados al Poder Calorífico Inferior (PCI).

Dado que el rendimiento estacional es directamente proporcional al consumo, las diferencias de estos rendimientos entre una caldera y otra serán exactamente las diferencias en los consumos de combustible, pudiendo observar que el ahorro energético que puede llegar a alcanzarse con una caldera de Condensación con respecto a una Estándar puede superar incluso el 30%.

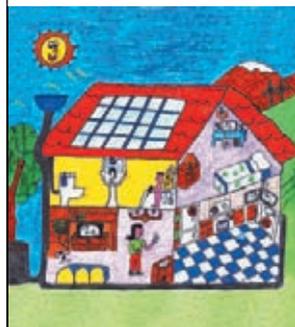
# 11

## CLIMATIZACIÓN INVISIBLE

D. MICHELE DAMBRA

Uponor Hispania, S.A.U.

[www.uponor.es](http://www.uponor.es)



### 1. Climatización Invisible

La *Climatización Invisible* es un sistema que consta de una serie de circuitos de tuberías integrados en el suelo de la vivienda, a través de los cuales circula agua a la temperatura necesaria según la época del año.

Las tuberías que conforman el sistema de Climatización Invisible son tuberías de polietileno reticulado con barrera de etilvinil-alcohol anti-difusión de oxígeno.

Dichas tuberías van dispuestas sobre una base de aislamiento de poliestireno expandido con lámina portatubos de recubrimiento plástico para el montaje de los circuitos, aportando a la vivienda el aislamiento térmico necesario, así como el aislamiento acústico necesario para el cumplimiento del Código Técnico.

Sobre ellos se extiende una capa de mortero de cemento, rematando la instalación con el pavimento que se desee (cerámica, gres, parquet, etc.). El sistema consigue mantener la temperatura ideal del hogar tanto en invierno como en verano.

Durante el invierno, el mortero absorbe el calor que desprenden las tuberías y lo cede al pavimento superior, que a su vez se transmite a las paredes y techo mediante radiación, evitando que elementos exteriores (aire y cuerpos fríos) influyan en las condiciones internas del confort. En verano, la eficiencia del sistema hace que se reduzcan las temperaturas por radiación en la medida necesaria para lograr el máximo confort del usuario.

En ambos casos la solución de Climatización Invisible genera una "protección térmica" (aprovechando la inercia térmica del suelo, te-



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

cho y paredes) contra los factores externos. Esto convierte al sistema en el único que permite mantener las condiciones de confort dentro de la casa en todo momento.

Otro de los aspectos fundamentales en cuanto a la influencia de los sistemas de climatización en relación con su influencia en el confort del hogar es el control de la temperatura (calor/frío) y la distribución de la misma. En este sentido, 8 de cada 10 entrevistados consideran que la solución supone una clara ventaja en relación a los sistemas de climatización tradicionales. Estos últimos no satisfacen las necesidades reales de los usuarios finales. En invierno, por ejemplo, es recomendable que la climatización del hogar presente una temperatura ligeramente más elevada en la zona inferior, en el suelo. Si la temperatura es elevada a la altura de la cabeza puede provocar cansancio o jaquecas. Y si, por el contrario, no lo es suficientemente alta en la parte inferior, no desaparecerá la sensación de frío.

Además, las corrientes de aire de los sistemas de aire acondicionado ocasionan molestias al usuario, ya que es habitual en el uso de estos sistemas que en una misma estancia puedan existir zonas con temperaturas varios grados inferiores a otras.

## 2. Principios básicos de la Climatización Invisible

### 2.1. Principios de funcionamiento

El principio básico del sistema consiste en la impulsión de agua a temperatura moderada (en torno a los 40 °C en invierno y a los 16 °C en verano) a través de circuitos de tuberías de polietileno reticulado por el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno.

En el sistema de Climatización Invisible, los tubos se embeben en una capa de mortero de cemento con un recubrimiento de tipo cerámico, parquet, etc. En invierno, el mortero absorbe el calor disipado por las tuberías y lo cede al pavimento superior que, a su vez, emite esta energía hacia las paredes y techo de la habitación mediante radiación y en menor grado convección natural. En cambio en verano, el pavimento absorbe el calor por radiación, y en parte por convección, desde las paredes y el techo. Luego el calor se transmite a la capa de mortero y a la tubería de suelo

radiante. Desde aquí, el agua transporta el calor hacia el exterior de la vivienda.

En la actualidad existen soluciones para su implantación en cualquier tipo de edificación (Residencial, No Residencial, Industrial y Reforma).

Por ello, existen soluciones con difusores por suelo para calefacción donde las tuberías emisoras se insertan en unas placas de aluminio (difusores), siendo éstas las que ceden la energía precisa al pavimento del local a calefactor.

Las soluciones para renovación por suelo para calefacción se aplican en aquellos casos donde existe una limitación de altura dentro de la vivienda o cuando la estructura del edificio no permite una sobrecarga de peso sobre los forjados. Las características de estos sistemas son su reducida altura y su reducido peso.

Las soluciones para techo para refrigeración son soluciones basadas en la circulación de agua refrigerada por paneles instalados en los techos, satisfaciendo de esta manera las demandas del mercado en refrigeración de espacios mediante el acondicionamiento térmico de las superficies.

Además, para ahorrar más energía el sistema necesita de una correcta regulación, por eso se utilizan colectores de distribución de circuitos emisores.

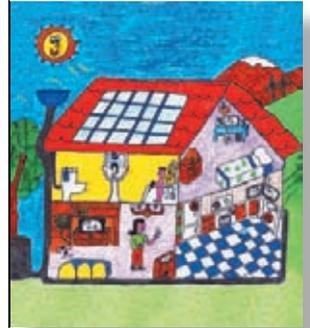
Desde los colectores se equilibran hidráulicamente los circuitos a través de cabezales electrotérmicos y se regulará la circulación de agua impulsada en función de las necesidades térmicas de cada local.

Los sistemas de regulación y control para Climatización Invisible permiten impulsar el agua a la temperatura deseada y controlar de forma independiente la temperatura ambiente de cada uno de los locales climatizados.

### 3. Ventajas

#### 3.1. Confort durante todo el año

De entre todos los sistemas existentes de climatización, los sistemas radiantes son los que mejor se ajustan a la emisión óptima de calor del





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

cuerpo humano por radiación, convección, transmisión y evaporación. La sensación de temperatura de las personas no corresponde a la temperatura de aire, sino que equivale a la temperatura de confort, denominada también temperatura operativa. De forma práctica, la temperatura operativa en el interior de los edificios equivale al valor promedio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media de las superficies interiores de la habitación (suelo, techo, paredes, puertas, ventanas, etc.).

Es decir, si en invierno deseamos mantener una temperatura de confort determinada, podemos disminuir la temperatura del aire y aumentar la temperatura radiante media de la habitación. En cambio, en verano, podemos aumentar la temperatura del aire y disminuir la temperatura radiante media.

### 3.2. Perfil óptimo de temperatura

El perfil óptimo de temperaturas en invierno para el cuerpo humano es aquél según el cual la temperatura del aire a la altura de los pies es ligeramente superior a la temperatura del aire a la altura de la cabeza. Esto se traduce en una percepción, por parte del usuario del sistema, de una mayor sensación de confort.

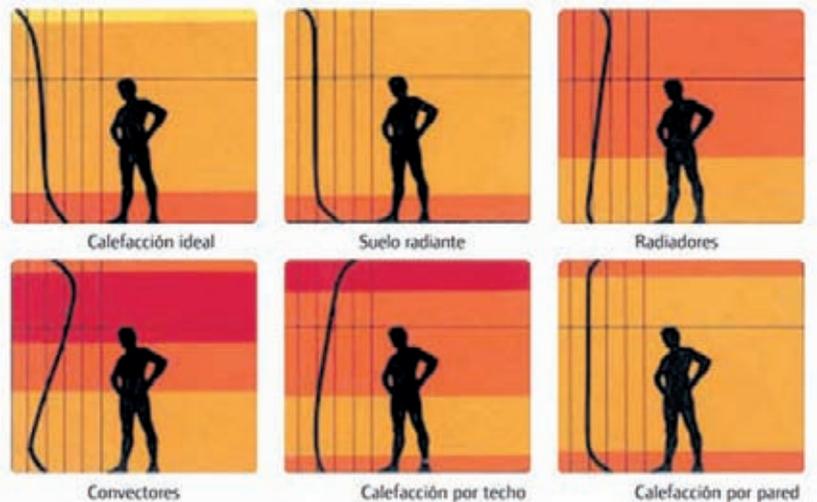


Figura 1. Perfiles de temperatura con diferentes sistemas de calefacción.

### 3.3. Inercia térmica

La inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, disminuyendo de esta forma la necesidad de aportación de climatización.

La inercia térmica o capacidad de almacenar energía de un material depende de su masa, su densidad y su calor específico. Edificios de gran inercia térmica tienen variaciones térmicas más estables, ya que el calor acumulado durante el día se libera en el período nocturno, esto quiere decir que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica. La inercia térmica es un concepto clave en las técnicas bioclimáticas, ya que la capacidad de acumulación térmica de las soluciones que conforman un elemento arquitectónico es básica para conseguir el adecuado nivel de confort y la continuidad en las instalaciones de climatización.

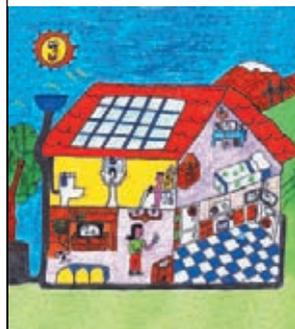
La inercia térmica conlleva dos fenómenos, uno de ellos es el de la amortiguación en la variación de las temperaturas y otro es el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior.

Un ejemplo de gran inercia térmica es el suelo, cuyo efecto climático puede ser utilizado, ya que amortigua y retarda la variación de temperatura que se produce entre el día y la noche. El semi-enterramiento de edificios puede llegar a aprovechar la capacidad de acumulación calorífica del suelo.

En los edificios modernos se presentan grandes variaciones de la temperatura interior debido a la influencia de factores externos, por ejemplo: radiación solar, frío radiante, aire frío, aire caliente. La principal causa de este problema es el bajo nivel de aislamiento térmico (incluyendo puertas y ventanas) y del alto nivel de infiltraciones de aire en los edificios.

Una forma de minimizar este efecto es el aprovechamiento de los elementos constructivos del edificio (suelo, techo, paredes) como elementos acumuladores de energía (inercia térmica). Cuanta más energía se pueda acumular en estos elementos, menor será el efecto exterior negativo, manteniéndose temperaturas interiores muy estables durante todo el día y año.

Por esta misma razón, los sistemas de Climatización Invisible requieren menos energía que otros sistemas para mantener las condiciones de





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

confort; y en especial, durante las horas de máximo consumo energético en invierno y verano.

### **3.4. Emisión y absorción térmica uniforme**

La unidad terminal del sistema es todo el suelo del área climatizada. Esto da lugar a que el intercambio térmico sea uniforme en toda la superficie. Este fenómeno se contrapone al de “zonas calientes” y “zonas frías” que se obtiene con otros sistemas de climatización en los cuales existe un número limitado de unidades terminales.

### **3.5. Climatización sin movimientos de aire**

La velocidad de migración de las capas de aire caliente hacia las zonas frías es proporcional a la diferencia de temperaturas del aire entre ambas zonas, caliente y fría. Una de las causas que generan este fenómeno es la presencia de cuerpos muy calientes, como los radiadores.

En una vivienda con Climatización Invisible, las diferencias de temperaturas entre las superficies (suelo, techo, paredes) y el aire son mínimas tanto en invierno como en verano, por lo que el movimiento de aire por convección es imperceptible.

La ausencia de movimiento de aire produce menor movimiento de polvo y un entorno más higiénico y saludable.

### **3.6. Ahorro energético**

La sensación térmica de las personas no corresponde a la temperatura de aire, sino que equivale a la denominada *temperatura operativa*. De forma práctica, la temperatura operativa en el interior de los edificios equivale al valor promedio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media de las superficies interiores de la habitación (suelo, techo, paredes). Es decir, si en invierno deseamos mantener una temperatura operativa o de confort determinada, podemos disminuir la temperatura del aire y aumentar la temperatura radiante media.

En cambio, en verano, podemos aumentar la temperatura del aire y disminuir la temperatura radiante media. Por esta razón, al ser menores las diferencias de temperaturas entre el aire interior y exterior del local, en invierno y verano, también son menores las pérdidas o ganancias energéticas (por cerramientos, por ventilación y por infiltración), ya que éstas son proporcionales a dichas diferencias de temperaturas.

Otro factor importante de ahorro energético lo constituyen la disminución de pérdidas o ganancias de calor en la sala de máquinas y en las conducciones hasta colectores debido a que la temperatura del agua es más moderada durante todo el año.

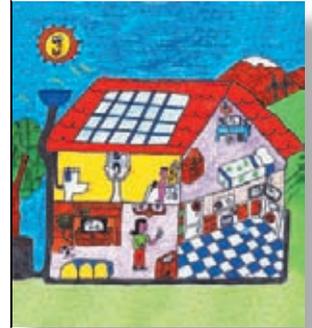
Por otra parte, habrá que tener en cuenta que uno de los componentes del sistema de Climatización Invisible es la plancha de aislamiento, elemento con el que no cuentan otros sistemas de climatización. Con este elemento se está contribuyendo a mejorar el aislamiento térmico del edificio.

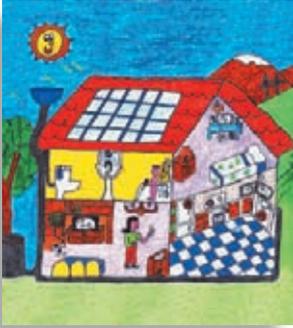
### **3.7. Medios eficientes de intercambio de calor**

El intercambio de calor por radiación es muy eficiente, ya que solamente es necesario que los cuerpos estén uno frente a otro y a distintas temperaturas, aunque no estén en contacto ni exista un fluido intermedio, como sucede con los sistemas de aire que utilizan un medio de transporte de energía térmica poco eficiente. El intercambio energético por radiación depende de la cuarta potencia de las temperaturas absolutas de los cuerpos. Aumentar o disminuir en un grado de la temperatura de la superficie radiante significa un factor multiplicador que no se alcanza si variamos la temperatura del aire en un grado.

### **3.8. Compatible con energías renovables**

La moderada temperatura de impulsión de agua que necesita el sistema hace que éste sea compatible con casi cualquier fuente energética (electricidad, combustibles derivados del petróleo, energía solar, energía geotérmica, carbón, gas natural, etc.). En particular, es el único sistema de climatización que puede ser alimentado energéticamente por paneles solares térmicos o bomba de calor geotérmica.





### **3.9. Climatización Invisible**

Es un sistema de climatización que ofrece una total libertad de decoración de interiores, ya que los emisores de calor o frío no son visibles.

El espacio habitable útil es mayor al no existir dentro de éste elementos visibles (por ejemplo, radiadores o splits).

### **3.10. Compatible con cualquier tipo de suelos**

El sistema es compatible con cualquier tipo de recubrimiento: pétreos, madera, plásticos, etc.

Si el sistema se va a utilizar como sistema de refrigeración en verano, se recomienda el uso de recubrimientos pétreos como cerámica, mármol, etc. (Habrá que tener en cuenta las diferencias de funcionamiento del sistema debido a las distintas resistencias térmicas de los materiales de recubrimiento habituales).

### **3.11. Saludable**

En sistemas de climatización por aire, el alto caudal de aire hace que éste alcance altas velocidades en la habitación. Estas corrientes de aire en combinación con su alta/baja temperatura, frecuentemente producen enfermedades reumáticas y enfermedades respiratorias. El porcentaje de personas insatisfechas debido a las corrientes de aire viene definido en la norma ISO 7730.

Sin olvidar que cuanto mayor sea la diferencia de temperatura de aire entre el interior y exterior de la vivienda, mayor será el efecto negativo de choque térmico sobre las personas cuando entran o salen de casa.

### **3.12. Silencio ambiental**

Los altos flujos de aire en los sistemas de aire producen usualmente ruidos molestos que tienen efectos negativos en la comunica-

ción y el confort de la personas. Este problema no existe con los sistemas radiantes.

### **3.13. Bajos costes de mantenimiento**

En sistemas radiantes se minimizan los costes de mantenimiento frente a los sistemas de aire. La complicada tecnología de los sistemas de aire, las numerosas partes móviles (ventiladores), la limpieza de los conductos de ventilación, filtros de aire, etc. para mantener el aire en unas condiciones adecuadas de higiene, se traduce en unos elevados costes de mantenimiento.

### **3.14. Aislamiento acústico**

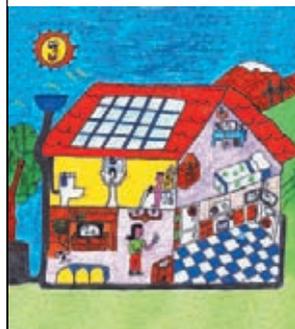
El conjunto plancha aislante-mortero de cemento se comporta como un suelo flotante, aportando al conjunto del forjado una reducción de ruido de impacto, por tanto el sistema de Climatización Invisible puede ayudar a cumplir con las exigencias del CTE en cuanto a reducción de ruido en la edificación.

## **4. Confort térmico**

Para proyectar edificios con alta calidad ambiental es fundamental planificar los criterios de confort o sensación térmica, que debe ser considerada conjuntamente con otros factores como niveles de luz, la calidad del aire y el control del ruido.

La sensación de confort térmico se define como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico" (ISO 7730) y depende del calor generado espontáneamente por una persona (calor metabólico) y del que disipa a su entorno. En condiciones de equilibrio se producirá una sensación de confort térmico, pero si la cantidad de calor disipado es excesiva la persona sentirá una sensación de frío, o una sensación de calor si el calor disipado es insuficiente.

Cuando se mide el ambiente térmico de una habitación es importante recordar que el hombre no puede sentir la temperatura del local,





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

sino el calor que pierde su cuerpo. Los parámetros que se deben medir son aquellos que afectan a la pérdida de energía.

El hombre tiene un sistema regulador de temperatura muy efectivo, que garantiza que la temperatura del núcleo del cuerpo se mantenga a 37 °C aproximadamente. Cuando el cuerpo empieza a calentarse demasiado (sobre los 37 °C), se inician dos procesos: primero se dilatan los vasos sanguíneos, incrementando el flujo de sangre por la piel y, a continuación, uno empieza a sudar.

El sudor es un efectivo mecanismo de enfriamiento, porque la energía requerida para evaporar el sudor es tomada de la piel. Bastan unas pocas décimas de grado de incremento de la temperatura del núcleo del cuerpo para estimular la producción de sudor que puede cuadruplicar la pérdida de calor del cuerpo. Si el cuerpo empieza a enfriarse demasiado (a partir de los 34 °C), la primera reacción es la vasoconstricción de los conductos sanguíneos, reduciendo el flujo de sangre por la piel.

La segunda reacción es incrementar la producción interna de calor mediante la estimulación de los músculos, pudiendo causar temblores. Este sistema es de también muy efectivo, y puede incrementar la producción de calor corporal bruscamente. Si los sensores de calor y frío envían señales al mismo tiempo, nuestro cerebro puede inhibir una o ambas reacciones térmicas de defensa del cuerpo.

Sin embargo, no todos los individuos reaccionan igual frente a la misma sobrecarga térmica y lo que para unos puede constituir un ambiente severo, para otros pudiera no serlo tanto.

Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE (Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio), en el apartado IT 1.1 exigencia de bienestar e higiene. IT 1.1.4.1.1 Generalidades, *“La exigencia de calidad térmica del ambiente se considera satisfecha en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa, temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire en la zona ocupada e intensidad de la turbulencia se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores establecidos a continuación”*.

Las condiciones interiores de diseño, en función de la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta, en general, estarán comprendidas entre los siguientes límites:

**Tabla 1.** Condiciones interiores de diseño.

Estación	Temperatura operativa °C	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa %
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0,15 a 0,20	40 a 60

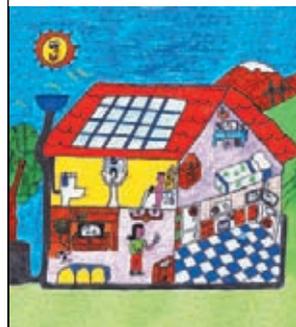
Es importante recordar que la sensación de temperatura de las personas no corresponde a la temperatura de aire, sino que equivale a un índice de confort térmico denominado temperatura operativa.

La temperatura operativa se define como la temperatura uniforme en un recinto negro radiante en el que un ocupante tendría que intercambiar la misma cantidad de calor por radiación y por convección, que en un ambiente real no uniforme.

De forma práctica, cuando la velocidad del aire es menor de 2 m/s, o cuando la diferencia entre temperatura radiante media y la temperatura de aire es menor de 4 °C, la temperatura operativa ( $t_0$ ) en el interior de los edificios equivale al valor promedio entre la temperatura del aire ( $t_{aire}$ ) y la temperatura media radiante ( $t_{mr}$ ) de las superficies interiores de la habitación (suelo, techo, paredes, ventanas, puertas, etc.).

$$t_0 = \frac{t_{mr} + t_{aire}}{2}$$

Es decir, si en invierno se desea mantener una temperatura operativa determinada, se puede disminuir la temperatura del aire y aumentar la temperatura radiante media. En cambio, en verano, se puede aumentar la temperatura del aire y disminuir la temperatura radiante media (ver apartado siguiente).





#### 4.1. Ecuación de Confort

La Ecuación de Confort desarrollada por Fanger proporciona una herramienta operativa con la cual, midiendo unos parámetros físicos, se pueden evaluar bajo qué condiciones podemos ofertar confort térmico en un espacio habitado.

En la práctica, la evaluación del confort térmico depende de seis factores. Hay dos factores personales que dependen de la actividad de los ocupantes, que conviene predecir para planificar los cuatro factores ambientales que dependen del ambiente del local, para ser previstos por el proyectista y controlados por el diseño arquitectónico y constructivo del edificio, o corregidos por medio de instalaciones técnicas:

**Tabla 2.** Factores de confort térmico.

Factores personales	Factores ambientales
Índice metabólico Índice de vestimenta	Temperatura seca del aire ( $T_a$ ) Temperatura radiante media ( $T_{rm}$ ) Velocidad del aire ( $V$ ) Humedad relativa del aire ( $HR$ )

La influencia de estos parámetros en la pérdida de energía no es igual, pero no es suficiente con medir sólo uno de ellos. Por ejemplo, la temperatura radiante media tiene con frecuencia una influencia tan grande como la temperatura del aire sobre las pérdidas de energía de las personas.

En los edificios, la radiación de las paredes a mayor temperatura que el ambiente puede hacer que, teniendo una temperatura del aire relativamente baja, se tenga una sensación de que hace más calor. Cuando se evalúa un lugar de estancia, se suele emplear la temperatura de confort, que se define como la temperatura equivalente en la que una persona tiene una sensación térmica de confort. No se suele hablar de humedad de comodidad, en parte por la dificultad para percibir la humedad del aire, y por otra parte por la poca influencia en la pérdida de calor de una persona cuando ésta se encuentra próxima a un estado de confort térmico.

En resumen, en condiciones de confort, tanto en invierno como en verano, el calor se disipa de la siguiente forma:

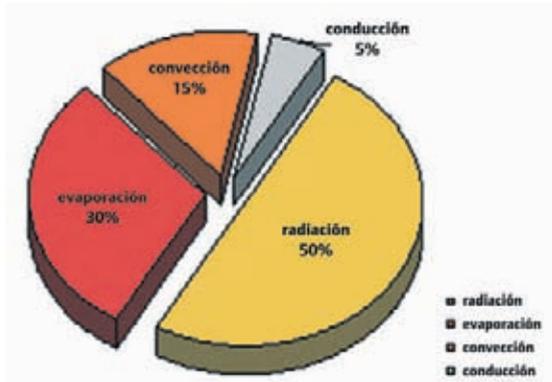


Figura 2. Condiciones de confort en invierno y en verano.

**Confort térmico** representa aquella condición en la cual el organismo puede mantener el equilibrio térmico, sin la intervención del sistema de termorregulación propio.

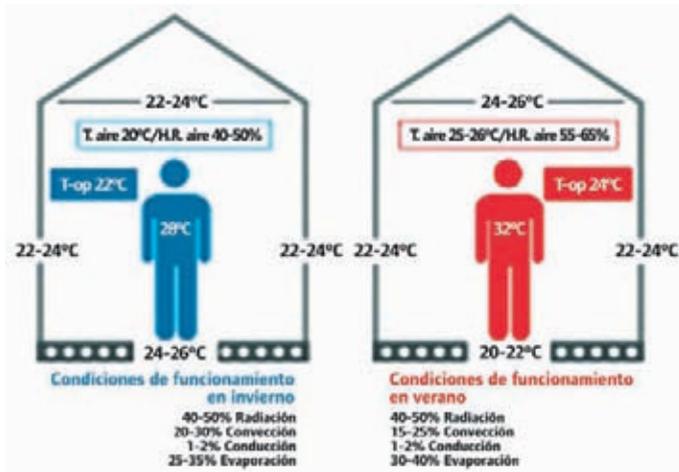
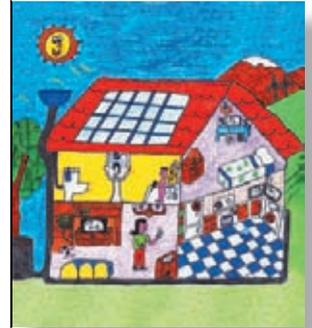


Figura 3. Disipación de calor en condiciones de confort.

## 4.2. Parámetros de la Ecuación de Confort

### Índice metabólico

El cuerpo humano es un generador constante de calor. En climatización se utiliza para definir la cantidad de calor que el cuerpo humano disipa al ambiente, según la actividad física realizada. Se produce mayor cantidad de calor cuanto mayor sea la actividad física. Pero también varía dependiendo de la edad, el tamaño, el peso y sexo del sujeto.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La unidad de medida del índice metabólico es el met y se define como la cantidad de calor emitido por una persona en posición de sentado por metro cuadrado de piel. Equivale a  $58 \text{ W/m}^2$  ( $50 \text{ kcal/hm}^2$ ). Un adulto normal tiene una superficie de piel de  $1,70 \text{ m}^2$ , de manera que una persona en reposo pierde aproximadamente  $100 \text{ W}$ .

**Tabla 3.** Actividad y consumo de energía de acuerdo con la Norma ISO 7730.

Nivel de actividad	$\text{W/m}^2$	met
Sentado, relajado	58	1
Activado sentado ( <i>oficina, colegio</i> )	70	1,2
Actividad ligera de pie ( <i>compras, laboratorio, industria ligera</i> )	93	1,6
Actividad media de pie	116	2

## Índice de vestimenta

Sirve para valorar el aislamiento térmico de la vestimenta (la ropa más otros accesorios, como zapatos o sombreros) que las personas utilizan frente a las inclemencias del tiempo.

Su unidad de medida es el clo (equivalente a  $0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ ) y se determina entre la desnudez (0 clo) y la vestimenta normal de un varón occidental (1 clo), es decir traje con chaqueta de algodón, camisa de algodón, ropa interior normal, también de algodón, calcetines y zapatos. Una vestimenta muy abrigada para un varón (con ropa de lana, sombrero, abrigo, bufanda, etc.) tiene un valor entre 3 y 4 clo. Este índice sirve para valorar el influjo de la vestimenta sobre las pérdidas de calor del cuerpo humano ante los factores ambientales.

Obviamente, cuanto más abrigada sea la vestimenta, se requiere menor temperatura ambiental para el confort térmico.

## Temperatura del aire

Se denomina temperatura seca a la temperatura del aire prescindiendo del efecto radiante de las superficies y objetos que rodean ese ambiente y de los efectos de la humedad relativa y de la velocidad del aire. Se puede obtener por ejemplo con un termómetro de mercurio,

cuyo bulbo, reflectante y de color blanco brillante, se supone razonablemente que no absorbe la radiación.

### Temperatura radiante media

Tiene en cuenta el calor emitido por radiación de los elementos y objetos que rodean o integran ese ambiente. En climatización, se considera también la temperatura radiante media de un ambiente, que se define como la temperatura uniforme de un local negro imaginario que produzca en la misma pérdida de calor por radiación en las personas como en el local real.

De forma práctica, la temperatura media radiante ( $t_{mr}$ ) en el interior de edificios se puede deducir aproximadamente a partir de las temperaturas ( $t_i$ ) de todas las superficies de la habitación utilizando un termómetro de infrarrojos (suelo, techo, paredes, ventanas, etc.) con sus correspondientes áreas:

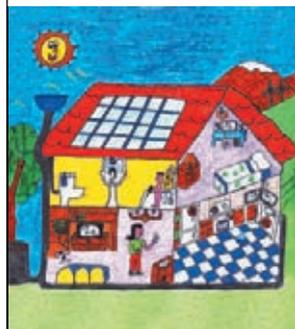
$$t_{mr} = \frac{\sum t_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

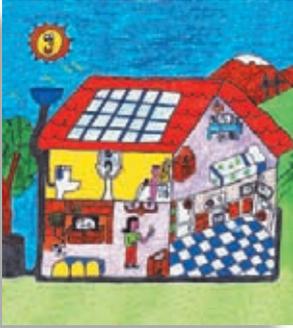
### Velocidad del aire

Cuanto mayor es la velocidad del aire, mayores son las pérdidas de calor por convección del cuerpo y también por la evaporación del sudor.

En las proximidades de la piel, se crea una capa de aire inmóvil que mantiene una temperatura cercana a la de la piel y una humedad relativa alta. El movimiento del aire desplaza ese aire y permite un intercambio de calor más efectivo con el ambiente y un mejor rendimiento de la evaporación del vapor de agua de la piel (sudor), lo que modifica las condiciones térmicas del cuerpo.

Es agradable la brisa en una situación de calor, puesto que mejora el enfriamiento del cuerpo; se admiten velocidades de hasta 1,50 m/s





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

por poco tiempo. Cuando se trabaja, debe ser inferior a 0,55 m/s, porque se vuelan los papeles.

El movimiento del aire es menos deseable cuando hace frío. Sin embargo, cuando el aire está inmóvil (velocidad igual a 0 m/s), la sensación es siempre desagradable, por lo que cuando hace frío se estiman correctas velocidades comprendidas entre 0,10 y 0,15 m/s.

## Humedad del aire

Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar como humedad absoluta o humedad relativa.

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, se expresa en gramos de agua por kilogramos de aire seco (g/kg), gramos de agua por unidad de volumen (g/m<sup>3</sup>) o como presión de vapor (Pa o KPa o mmHg). A mayor temperatura, mayor cantidad de vapor de agua permite acumular el aire. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento.

La sensación térmica puede ser de mayor temperatura cuando al calor se le añade una alta humedad relativa, ya que se dificulta la evaporación del sudor, uno de los medios para disipar el calor corporal.

### **4.3. Índice de valoración medio (IVM) y porcentaje de personas insatisfechas (PPI)**

El método para valorar el confort térmico desarrollado por Fanger y recogido por la norma ISO 7730, integra todos los factores que determinan el confort térmico y define el porcentaje de personas insatisfechas (PPI) bajo unas determinadas condiciones térmicas ambientales.

El IVM se basa en la valoración subjetiva obtenida por experimentación de un grupo de 1.300 personas.

Se utiliza un índice que valora el ambiente según la siguiente escala: muy caluroso (+3), caluroso (+2), ligeramente caluroso (+1), confort o neutro (0), ligeramente frío (-1), frío (-2), muy frío (-3).`

Se define como persona insatisfecha a aquella que otorga una valoración entre (-2 y -3) y entre (+2 y +3) a las condiciones climáticas de su entorno.

Conociendo el IVM resultante, se puede calcular el porcentaje de personas insatisfechas mediante el siguiente gráfico, Fig. 4.

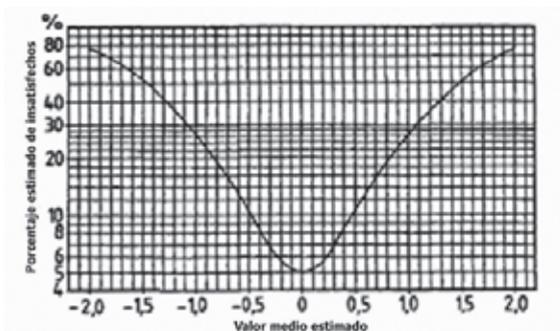


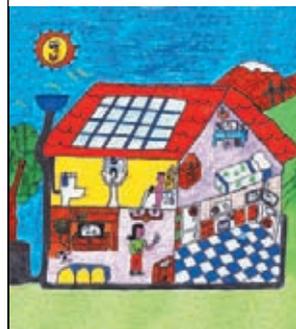
Figura 4. Gráfico de insatisfechos frente a variación de temperatura.

Se consideran como valores óptimos aquellos que no sobrepasen el 10% de personas insatisfechas o  $\pm 0,5$  del IVM. En caso de no cumplir con estos valores, se debe intervenir sobre los sistemas de climatización para conseguir las condiciones de confort propuestas por Fanger.

#### 4.4. Renovación de aire

No es suficiente con calentar o refrigerar un edificio, también es necesario ventilarlo para mantener las condiciones de calidad de aire que proporcionen una sensación de confort. Se entiende por ventilación el ingreso de aire fresco, no contaminado, al interior de la habitación. En algunos casos el aire debe ser sometido a uno o varios tratamientos previos antes de introducirlo en el edificio: filtración, humidificación, deshumidificación, etc.; ello dependerá de las condiciones del proyecto.

En un edificio cerrado siempre se generan gases o humos que pueden generar molestias e incluso pueden ser perjudiciales para la salud. Las principales causas de contaminación del aire son:





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Disminución del oxígeno y aumento del dióxido de carbono, por respiración de los seres vivos.
- Vapor y gases debidos al sudor y a la descomposición metabólica de los alimentos.
- Emisión de sustancias tóxicas debido, por ejemplo, a cigarrillos, productos de limpieza, vapores de pegamentos, etc.
- La evaporación del sudor es una de las principales causas de degradación del aire interior y está relacionado con la temperatura y humedad relativa del aire.
- Es decir, la calidad del aire será mejor en ambientes que se encuentren en condiciones de confort.
- La cantidad de aire que debe ser introducido en un lugar depende de varios factores, siendo dos de los más importantes el número de personas y la actividad que realizan. La ventilación puede ser de dos tipos:
  - Natural, cuando el ingreso de aire fresco es a través de ventanas, puertas y rendijas.
  - Artificial, cuando el ingreso de aire fresco es forzado por medio de ventiladores u otros elementos mecánicos.

En los métodos de ventilación artificial se puede trabajar solamente con aire exterior o con una mezcla de aire exterior más aire interior. Existen también casos en los que no se utiliza aire exterior, cuando los sistemas sólo tratan el aire interior. En este caso no hay aire de ventilación.

Se debe prever que una cantidad igual de aire exterior de ventilación debe devolverse al exterior también procedente del local, para que la cantidad de aire tratado sea siempre la misma. Debemos indicar que es importante conocer previamente las características y propiedades del aire exterior e interior del edificio: humedad (absoluta o relativa) y su entalpía.

Habrá que tener en cuenta la normativa aplicable en cada caso en cuanto a calidad de aire interior.

## 5. Sistemas

Las soluciones destinadas a uso residencial se pueden dividir en tres sistemas cuya diferencia radica en la estructura de la capa emisora, factor éste que viene determinado por las características particulares del edificio a climatizar.

- Sistema de suelo radiante tradicional para climatización (calefacción y refrigeración).
- Sistema de suelo radiante con difusores para climatización.
- Sistema de suelo radiante de renovación para climatización.
- Sistema radiante para techo.
- Sistema de suelo radiante industrial.

### 5.1. Sistema tradicional

Se utiliza como sistema estándar de Climatización Invisible (calefacción y refrigeración) por suelo.

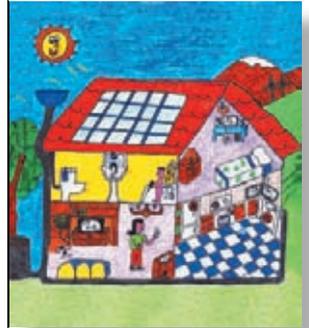
En calefacción, la capa de mortero de cemento por encima de tubos almacena la energía calorífica aportada por el agua caliente que circula a través de los tubos, y esta energía es cedida al pavimento.

El pavimento emite la energía al techo, paredes, ventanas, puertas, etc., del ambiente a calefactar por medio de radiación y, en menor medida, al aire por convección natural.

En el caso de refrigeración, el resto de superficies ceden su calor por radiación al suelo, a la vez que se genera una pequeña corriente convectiva, menor en este caso que en el caso de calefacción.

Luego el calor se transmite a la capa de mortero y a los tubos de suelo radiante. Desde aquí, el agua transporta el calor hacia la máquina de producción de frío donde de nuevo es enfriada.

El espesor del suelo radiante, dependiendo del panel aislante y la tubería escogidos oscila entre los 8,6 y los 9,5 cm.





## 5.2. Sistema con difusores

Es uno de los sistemas de Climatización Invisible por suelo para calefacción. Se aplica al caso particular de pavimentos contruidos con tarima de madera sobre rastreles.

El hecho de existir huecos de aire entre la superficie superior del mortero de cemento y la tarima imposibilita utilizar el sistema tradicional de climatización por suelo.

El sistema se puede utilizar también para frío, teniendo en cuenta que el rendimiento va a ser menor que con un sistema tradicional, debido al recubrimiento de madera y a la propia configuración del sistema.

## 5.3. Sistemas de renovación

Se aplica en aquellos casos en los cuales existe una limitación fuerte de la altura de suelo disponible o cuando la estructura del edificio no permite una sobrecarga de peso sobre los forjados del edificio.

Estas limitaciones, que pueden hacer inviable la instalación de un sistema de calefacción por suelo radiante tradicional, las solventan los sistemas para renovación cuyas dos características fundamentales son su reducida altura de suelo necesaria y su reducido peso.

Los casos en los que pueden existir este tipo de limitaciones son:

- Renovación del sistema de calefacción. Cuando se acomete una rehabilitación de una vivienda y se plantea la posibilidad de colocar calefacción por suelo radiante en el espacio rehabilitado surge la limitación de altura de suelo disponible (reducción de la altura habitable).
- Viviendas en altura. En estos casos pueden darse limitaciones de altura de suelo disponibles y limitaciones de peso (ocurre cuando se ha proyectado la estructura del edificio sin haber previsto la instalación de calefacción por suelo radiante).

## 6. Productos componentes del sistema

### 6.1. Tuberías emisoras evalPEX Especial calefacción

Son tuberías de polietileno reticulado por el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno, de color blanco.

Se emplean tanto como tuberías emisoras (evalPEX 9,9x1,1, 16x1,8, 17x2 o 20x1,9 mm) como en montantes y tuberías de distribución (evalPEX 25x2,3 hasta evalPEX 110 x10 mm).

#### 6.1.1. Características

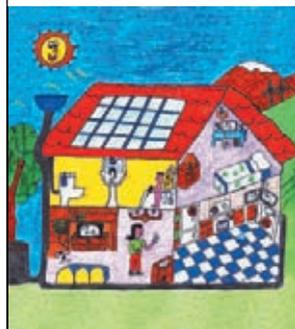
En las tuberías plásticas convencionales empleadas para la conducción de agua caliente en circuitos cerrados las moléculas de oxígeno del aire penetran a través de la pared de la tubería cuando, al aumentar la temperatura, el espacio intermolecular de la tubería tiende a ser mayor que la molécula de oxígeno.

Este fenómeno origina una permanente oxigenación del agua y la consiguiente oxidación continuada de las partes metálicas de la instalación que reduce su vida útil. Esta reducción de la vida útil es debida tanto a la pérdida de material de los metales de la instalación como al taponamiento de conductos originado por la deposición de óxidos.

La barrera antidifusión de oxígeno presente en las tuberías evalPEX evita dichos problemas ya que reduce drásticamente el aporte extra de oxígeno al caudal de agua. Esta barrera consiste en una delgada película de etilvinil-alcohol aplicada a la tubería base de Pex durante el proceso de fabricación.

Otra característica de las tuberías evalPEX es el reticulado de su cadena polimérica conforme al proceso Engel. El reticulado se define como un proceso que cambia la estructura de las cadenas de polímeros de manera que éstas se conectan unas con otras formando una red tridimensional mediante enlaces químicos.

Este proceso confiere a la tubería una alta resistencia térmica en condiciones de presión elevada. En consecuencia, estas tuberías aúnan





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

las excepcionales características de las tuberías de polietileno reticulado Pex y propiedades particulares para la distribución de agua caliente en circuitos cerrados que le confiere la barrera antidifusión de oxígeno.

Las tuberías evalPEX se fabrican de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 15875 y cumplen con las exigencias de barrera antidifusión de oxígeno que establece la norma EN 1264-4.

Las especiales características de los tubos eval PEX son:

- Estanqueidad al oxígeno. Incremento de la vida de la instalación.
- Alta resistencia a la erosión. Permite velocidades de impulsión muy elevadas.
- No se oxidan ni se deterioran por contacto con morteros, hormigones, aditivos para morteros, yeso ni con cualquier otro elemento constructivo.
- Las fuerzas de expansión son muy bajas. No existe riesgo de fisuras en la losa de mortero de cemento.
- Bajo coeficiente de fricción. Baja caída de presión.
- Peso muy reducido: 1 Rollo de 200 m. De evalPEX 16x1,8 pesa 17,6 Kg.
- Flexibilidad y suministro en rollo: facilidad de instalación y transporte.
- Instalación sin herramientas específicas: no se requiere inversión específica en herramientas especiales.
- Marcaje del rollo metro a metro. La información marcada es la siguiente:
  - Nombre del producto.
  - Dimensión.
  - Designación del material especificando el tipo de reticulado.
  - Norma conforme a la cual se fabrica: UNE-EN ISO 15875

- Lote máquina y fecha de producción.

## 6.2. Paneles aislantes

El aislamiento térmico del sistema es imprescindible en cualquier instalación de Climatización Invisible por suelo.

- Se minimizan las pérdidas y ganancias caloríficas inferiores, lo que implica una drástica reducción del consumo energético.
- Se posibilita el control de la temperatura operativa de cada uno de los locales. Si el suelo del local a climatizar ya está aislado (por ejemplo con la solución constructiva de bovedillas de poliestireno expandido incluyendo protección contra puentes térmicos con un coeficiente de transmisión térmica igual o inferior a  $1,25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), entonces no sería necesario colocar paneles aislantes.

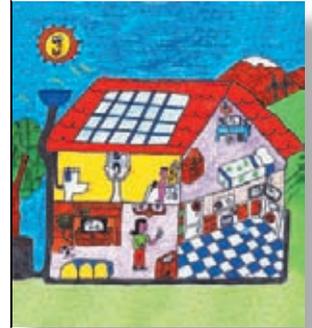
En caso de suelos no aislados la solución es colocar paneles moldeados de poliestireno expandido como aislamiento térmico.

Todos los modelos de paneles moldeados también tienen la misión de sujetar las tuberías emisoras, guiándolas y facilitando el trazado de los circuitos con la separación entre tubos proyectada. Los paneles han de colocarse sobre todo el área a climatizar a modo de superficie continua.

### 6.2.1. Aislamiento a ruido de impacto

Algunos paneles portatubos, además, proporcionan aislamiento contra el ruido de impacto, siendo una solución excelente para cumplir con el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HR de protección contra el ruido, en cuanto a exigencias frente al aislamiento al ruido de impacto entre distintas unidades de uso.

Para cumplir estos requerimientos de aislamiento acústico la ley del ruido indica que los forjados deben disponer de un suelo flotante (en algunos casos también se ha de disponer de un techo suspendido).





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Un sistema de Suelo flotante es un elemento constructivo sobre el forjado que comprende el solado con su capa de apoyo y el de una capa de un material aislante a ruido de impactos.

En el sistema de Climatización Invisible (calefacción y refrigeración por suelo radiante) se impulsa agua a través de circuitos de tuberías evalPEX instaladas en el suelo.

Las tuberías se fijan sobre planchas de panel aislante (paneles portatubos) con forma de tetones, y se embeben en una capa de mortero.

Los paneles aislantes tienen propiedades de aislamiento térmico y además proporcionan aislamiento acústico. El sistema de Climatización Invisible, es por tanto, un suelo flotante.

Algunas planchas portatubos, caracterizadas por su Rigidez dinámica ( $s^{-1}$ ), y la capa de mortero en el que se embeben las tuberías, caracterizada por su Densidad superficial ( $m^{-1}$ ), constituyen un sistema masa-muelle, que proporciona una importante reducción del nivel global de ruido de impactos  $\Delta L_{n,w}$  (dB).

Con una plancha de 11 mm y que tenga una rigidez dinámica de  $38,25 \text{ MN/m}^3$ . Con espesores de mortero de 2 a 5 cm por encima de la generatriz de la tubería (densidades superficiales de la losa de mortero entre  $76,6$  y  $140 \text{ Kg/m}^2$ ) se obtienen reducciones del nivel global a ruido de impactos entre de 22 y 26 dB, respectivamente.

Con una plancha de 33 mm con una rigidez dinámica de  $9,05 \text{ MN/m}^3$ . Con espesores de mortero de 2 a 5 cm por encima de la generatriz de la tubería (densidades superficiales de la losa de mortero entre  $76,6$  y  $140 \text{ Kg/m}^2$ ) se obtienen reducciones del nivel global a ruido de impactos entre 32 y 36 dB, respectivamente.

Un forjado tradicional de cemento y ladrillos (espesor 24 cm) con una densidad superficial de  $250 \text{ Kg/m}^2$ , tiene un valor de  $L'_{nT,w}$  próximo a 80 dB.

Instalando Climatización Invisible encima del forjado, de forma adecuada, evitando puentes de sonido y teniendo en cuenta el resto de elementos constructivos (tabiquería, techos, etc.), se al-

canzan los valores de aislamiento acústico exigidos por el Código Técnico.

Por tanto, a todas las ventajas que aporta el sistema de Climatización Invisible (confort térmico, no produce movimientos de aire, ahorro energético, compatible con variedad de fuentes de energía, invisible) hay que añadir la mejora al aislamiento acústico, ya que constituye un sistema de suelo flotante, formado por un material aislante y una capa de mortero, que proporciona los valores de aislamiento acústico a ruido de impacto exigidos en el Código Técnico.

## 7. Clasificación energética de los edificios

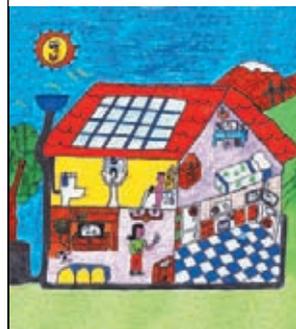
Desde el 27 de octubre de 2007 es obligatoria la Certificación de Edificios.

Con la clasificación de eficiencia energética de los edificios se quiere reducir el consumo energético convencional y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Con este proceso se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto del edificio y por el edificio terminado, que conduce a la expedición de un certificado.

La calificación de eficiencia energética se muestra en una escala de siete letras, que va desde la letra A (mayor eficiencia) a la letra G (edificio menos eficiente).

Con los sistemas de Climatización Invisible se puede lograr una certificación de eficiencia energética desde C-D hasta A-B combinando la Climatización Invisible con fuentes de energías renovables.





## CALIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

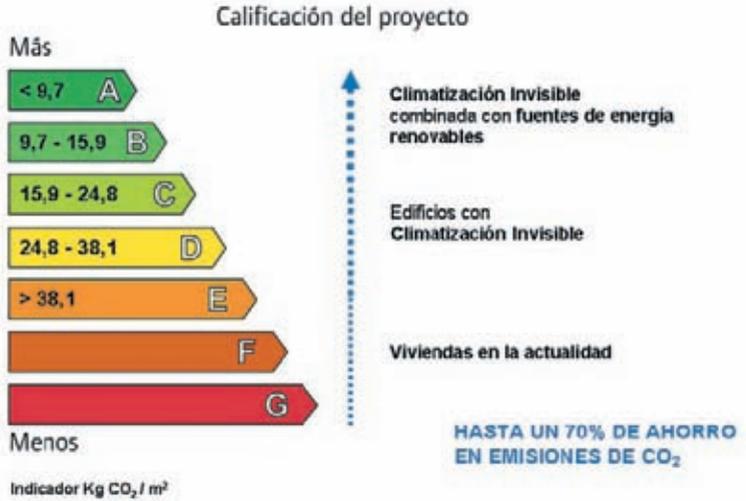


Figura 5. Tabla de calificación energética.

Esto viene de que con los sistemas de Climatización Invisible suponen una reducción de emisiones y un ahorro energético respecto a los sistemas tradicionales de CO<sub>2</sub> del 30%.

Si se combinan con fuentes de energía renovables se puede llegar hasta un 70%.

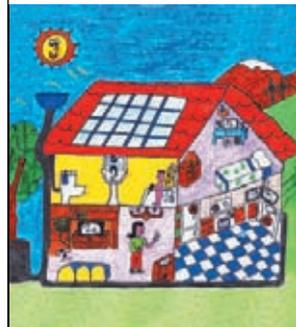
## 8. Ahorro energético

La demostración del ahorro energético se basa en que para conseguir la misma temperatura operativa, la temperatura ambiente es menor para suelo radiante y por lo tanto las pérdidas de calor a través de los cerramientos y la ventilación.

Cogiendo como ejemplo estudios hechos para una vivienda en altura teniendo en cuenta transmitancia térmica máxima según el Código Técnico de la Edificación (CTE) libro 10.

Se han calculado las cargas térmicas con dos supuestos diferentes para el hecho que se deben tener en cuenta que defieren del caso de suelo radiante al caso de radiadores:

- La transmitancia térmica del suelo con radiadores o con suelo radiante es diferente, debido a que en caso del suelo radiante se añade una capa de aislamiento y una capa de mortero de cemento.
- En el caso del suelo radiante se ha tomado clase de servicio I, es decir sin interrupción, con marcha reducida por la noche y en el caso de radiadores se ha tomado clase de servicio II, es decir, interrupción del funcionamiento de 9 a 11 horas diarias.
- La temperatura de aire interior de cálculo será diferente para cada uno de los casos. Para conseguir una temperatura operativa equivalente se considera una temperatura de 20 °C para el sistema de calefacción por suelo radiante y de 22 °C, para el sistema de radiadores.



Para una vivienda de 90 m<sup>2</sup> teniendo en cuenta los factores dichos antes y las cargas de ventilación la carga térmica con suelo radiante sale un 26% menor que con radiadores:

$$Q T, UFH= 4.968,6 W$$

$$Q T, rad.= 6.787,8 W$$

Además, calculando la potencia de la caldera la diferencia sube más a causa de las pérdidas de cargas en las tuberías de distribución más altas en el sistema de radiadores por la temperatura de impulsión más alta (se ha tomado un 5% de pérdidas para los radiadores y un 3% para Climatización Invisible).

$$\text{Climatización Invisible: } 6,1 \text{ kW} = 5.294,4 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Radiadores: } 8,5 \text{ kW} = 7.372,9 \text{ kcal/h}$$

Si se considera luego el rendimiento de una caldera a condensación con los dos sistemas será mucho mejor con Climatización Invisible:

$$\eta_{\text{rad-cond}} = 0,95$$

$$\eta_{\text{UFH-cond}} = 1,05$$

Entonces, según la fórmula para el cálculo del consumo anual estimado de combustible:



$$C = \frac{24 \cdot Z \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext-media}}) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot Q}{(T_i - T_{e \text{ min}}) \cdot \text{PCI} \cdot \eta}$$

Se obtienen los siguientes consumos anuales de gas:

**Suelo radiante: 653,95 m<sup>3</sup> /año**

**Radiadores: 1.184,39 m<sup>3</sup> /año**

Lo que supone una reducción en el consumo de un 44,7%.

Considerando factor de conversión entre m<sup>3</sup> gas natural y kg CO<sub>2</sub> de 0,204, obtenemos que las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en ambas instalaciones son:

**Suelo radiante: 133,4 kg CO<sub>2</sub>**

**Radiadores: 241,6 kg CO<sub>2</sub>**

Lo que supone una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 44,7 %.

Si se piensa, además, que el sistema se puede utilizar para climatizar se tendrá también un ahorro en el coste de instalación de un doble sistema, uno para calor u otro para frío.

Como para calefacción en refrigeración el Código Técnico de la Edificación pone una temperatura operativa para obtener confort.

**Tabla 4.** Condiciones de confort.

Estación	Temperatura operativa (°C)	Velocidad media del aire (m/s)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 23	0,15 a 0,20	40 a 60

En un sistema de acondicionamiento por aire podemos controlar la temperatura del aire y su velocidad de impulsión, sin embargo en un

sistema de acondicionamiento térmico por superficies podemos controlar la temperatura radiante media e indirectamente la temperatura del aire y, por lo tanto, la temperatura operativa disminuyendo la temperatura de la superficie del suelo.

Definiendo las siguientes condiciones para las temperaturas superficiales de las paredes tanto en el caso de aire acondicionado como en el caso de Climatización Invisible y teniendo en cuenta que en el caso de Climatización Invisible, al estar el suelo a una temperatura menor el efecto radiante hará que el resto de las paredes también estén a una temperatura menor, se tendrá, cogiendo una temperatura operativa de 24 °C:

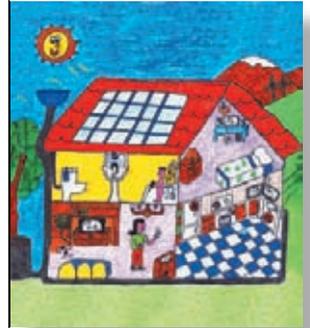
**Taire = 22,6 °C en el caso de aire acondicionado**

**Taire = 24,6 °C en el caso de Climatización Invisible**

Para calcular el consumo energético de ambos sistemas habrá que tener en cuenta que la potencia consumida por la máquina de refrigeración es menor cuando se usa un sistema radiante en el que el fluido frío va a ser agua que si se usara un sistema de enfriamiento de aire, debido a las siguientes razones:

- El salto térmico entre el aire del ambiente y el aire frío que impulsa la máquina es mayor que el salto térmico entre el agua fría de ida y la de retorno.
- Las máquinas enfriadoras de agua o de aire trabajan con unos rendimientos que dependen de las características físico-químicas del foco caliente y del foco frío. El agua es mejor conductor de calor que el aire y tiene una capacidad de acumulación de calor más elevada por unidad de masa y grado centígrado que cualquier otro elemento (mayor capacidad calorífica Cp). Por estos motivos, el rendimiento de las máquinas que usan agua como foco frío, como foco caliente o ambos es superior a las que usan aire.

En el estudio hecho para una vivienda de 49 m<sup>2</sup> para su climatización mediante un sistema *multi-split*, se necesita una potencia total de 3.256 W, si suponemos que el sistema *multi-split* tiene una calificación energética B, su EER estará comprendido entre 3,2 y 3,0. Tomando como dato de partida un EER\* de 3,0 y un periodo de funcionamiento anual de abril a octubre con un funcionamiento diario de 6 horas, tendremos que el sistema estará en funcionamiento 1.284 horas.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

El consumo eléctrico total del sistema *multi-split* será de 1.393,6 kWh.

Lo que supone una emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de:

$$1393,6 \text{ kWh} \cdot 0,45315 \text{ Kg CO}_2/\text{kWh} = 631,5 \text{ KgCO}_2$$

En el caso de que la vivienda se refrigerara con un sistema de refrigeración por suelo (climatización invisible), según el estudio "*Posibilites and limitations of floor cooling in Souther Europe*". Prof. Bjarne Olsen. DTU University. Denmark, y teniendo en cuenta que el sistema estaría en funcionamiento las 24 horas del día, tenemos un consumo de potencia térmica para el caso de Madrid de 64 kWh/m<sup>2</sup>.

Suponiendo una enfriadora con un EER de 3,0, el consumo eléctrico de la misma sería 21,3 kWh/m<sup>2</sup>.

Quedando el consumo eléctrico de esta instalación en 1.047,3 kWh para el periodo de refrigeración.

Lo que supone una emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de:

$$1.047,3 \text{ kWh} * 0,45315 \text{ Kg CO}_2/\text{kWh} = 474,58 \text{ Kg CO}_2$$

Lo que supone un ahorro en emisiones de Co<sub>2</sub> de aproximadamente el 25%.

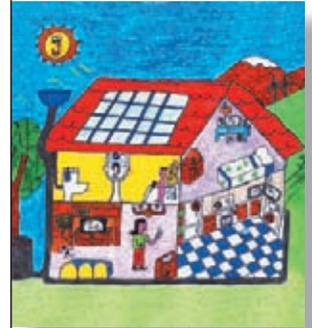
En cuanto a costes para el usuario final si consideramos el precio oficial del kWh para el 2007 (Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).

$$\text{Sistema Multi-split: } 1.393,6 \text{ kWh} \cdot 0,063 \text{ €/kWh} = 87,8 \text{ €}$$

$$\text{Sistema climatización invisible} = 1.047,3 \text{ kWh} \cdot 0,063 \text{ €/kWh} = 65,97 \text{ €}$$

# 12 BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS

D. MIGUEL ZAMORA GARCÍA  
Ciatesa  
[www.ciatesa.es](http://www.ciatesa.es)



Editado por primera vez en la obra. ZAMORA GARCÍA, M., (2008): "Bombas de Calor Geotérmicas", en LINARES, J. I. y MORATILLAS, B. Y. (COORDS.): Eficiencia Energética en la Edificación. Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, (pp. 75-92).

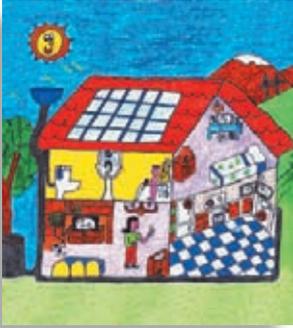
## 1. Bombas de calor geotérmicas

### 1.1. Fundamentos de la bomba de calor

La designación de bombas de calor geotérmicas es común en Europa, pero quizás en España aún pueda causar confusión con la energía geotérmica de alta temperatura, asociada al aprovechamiento de pozos de agua caliente y vapor. Realmente la expresión bombas de calor geotérmicas hace referencia a bombas de calor agua/agua con un intercambiador de calor enterrado en el subsuelo, que actúa de foco térmico exterior.

La máquina frigorífica y la bomba de calor son dispositivos que permiten llevar el calor de donde hay menos temperatura a donde hay más, tomando como calor útil el extraído del recinto de menos temperatura (máquina frigorífica) o el entregado al de más (bomba de calor). Una bomba de calor opera entre dos focos térmicos siguiendo un ciclo termodinámico. Si se pretende climatizar un edificio en invierno, el foco caliente es el local a calentar y el foco frío será el aire del ambiente exterior, el agua de un lago, el terreno, etc., de donde se extrae el calor. El Segundo Principio de la Termodinámica nos enseña que este proceso no puede ocurrir de forma espontánea, siendo por tanto necesario un consumo energético para producirlo.

La bomba de calor, por tanto, maneja tres potencias en su funcionamiento:



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

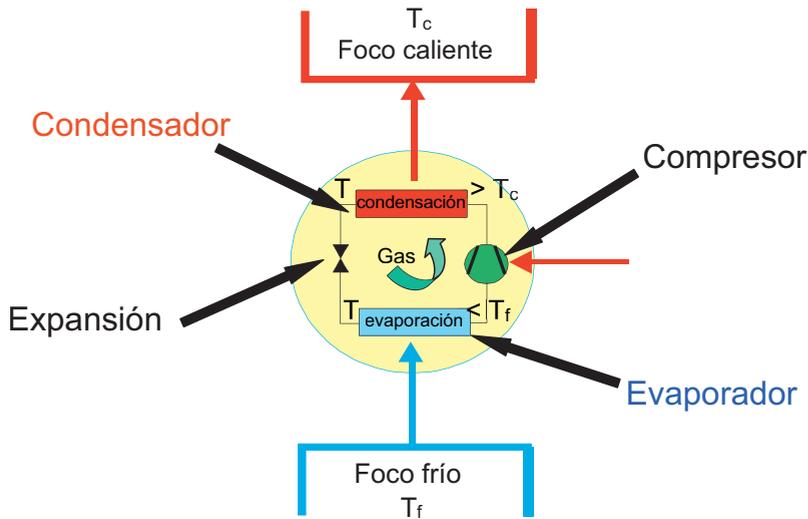
- Potencia frigorífica, extraída del foco frío.
- Potencia calorífica, cedida al foco caliente.
- Potencia absorbida, suministrada a la bomba de calor.

Se define la eficiencia instantánea de la bomba de calor, COP (*Coefficient Of Performance*), como el valor de la potencia calorífica entre la absorbida y la eficiencia de la máquina frigorífica, EER (*Energy Efficiency Ratio*), como la potencia frigorífica entre la absorbida. Otros rendimientos que cada vez son más necesarios para evaluar las prestaciones energéticas globales de los sistemas de climatización son los llamados rendimientos medios estacionales:

- HSPF (*Heating Seasonal Performance Factor*), determinado en bombas de calor como cociente entre la energía calorífica y la energía consumida.
- CSPF (*Cooling Seasonal Performance Factor*), determinado en máquinas frigoríficas como cociente entre la energía frigorífica y la energía consumida.

El HSPF y el CSPF expresan, por tanto, el rendimiento medio de la instalación durante toda su operación en invierno o verano, considerando toda la energía útil y toda la energía consumida. Es conveniente familiarizarse con el empleo de estos valores medios energéticos en lugar de con los instantáneos de potencia, ya que toda la nueva legislación que va apareciendo en el sector y que vela por la eficiencia energética se configura en base a estos nuevos parámetros.

El funcionamiento de la bomba de calor aparece ilustrado en la Fig. 1. Un compresor mueve y comprime el fluido refrigerante en fase gaseosa que pasa a un intercambiador de calor (condensador) donde el gas condensa a una temperatura superior a la del foco caliente, de modo que éste recibe el calor cedido en la condensación. El fluido seguidamente se expande en una válvula para pasar luego a otro intercambiador de calor (evaporador) donde se evapora a una temperatura inferior a la del foco frío, recibiendo de éste el calor necesario. Finalmente, a la salida del evaporador el gas vuelve a ser aspirado por el compresor.

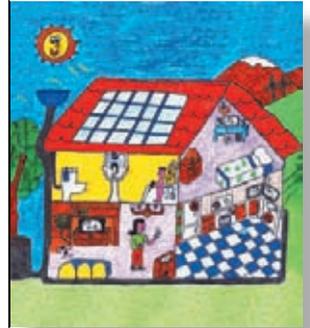


**Figura 1.** Esquema básico de una bomba de calor.  
(Fuente: elaboración propia).

El funcionamiento de la bomba de calor se puede modelar a partir de los balances energéticos y las ecuaciones de transferencia de calor en los intercambiadores de calor, el compresor y la válvula de expansión. Dicho modelo ha de ser acotado por las condiciones de contorno que son los caudales de los medios ambientes (agua, aire, etc.), la geometría de los intercambiadores y las temperaturas de los focos. Este aspecto resulta de especial importancia pues significa que el comportamiento de la bomba queda en gran medida influido por la temperatura del foco exterior (la del interior trataría de ser constante conforme a las condiciones de confort). Así, por ejemplo, las prestaciones serán diferentes cuando se emplee la misma bomba de calor para extraer calor de un foco a una temperatura moderada y constante como puede ser la del agua del mar o se use el aire ambiente en un clima nórdico extremo.

Las consideraciones anteriores determinan que los fabricantes clasifiquen sus equipos conforme a los focos entre los que trabaja la máquina:

- Aire/Aire, donde se intercambia calor entre dos focos de aire, como por ejemplo en un equipo compacto de cubierta de un supermercado o en un split doméstico.
- Aire/Agua, que utilizará un foco exterior (aire) al que cederá el calor que retira de una corriente de agua ("planta enfriadora"), o del





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

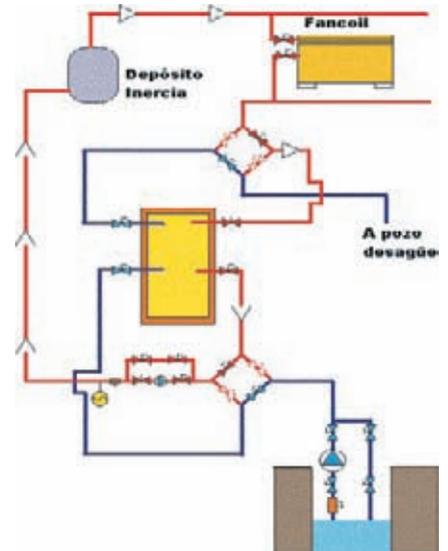
que tomará calor para producir agua caliente ("bomba de calor aire-agua").

- Agua/Aire, en el interior del edificio se enfriará o calentará aire devolviendo o extrayendo el calor a una corriente de agua.
- Agua/Agua, la máquina intercambia calor con el edificio enviándole una corriente de agua acondicionada a partir de un foco exterior en el que a su vez el intercambio de calor se produce empleando agua. El foco exterior será un estanque, el subsuelo, una torre de refrigeración, etc.

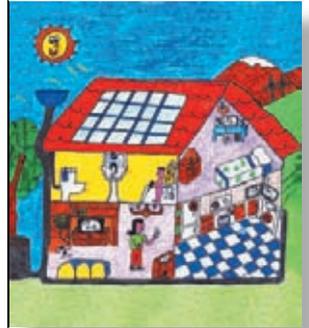
Las bombas de calor geotérmicas se incluyen en esta última clasificación.

### 1.2. Tecnología de las bombas de calor agua/agua

Los equipos no reversibles son aquellos que no tienen inversión en el circuito frigorífico, realizándose el cambio de funcionamiento de bomba de calor a máquina frigorífica en el circuito del agua. En la máquina los intercambiadores de calor que actúan como condensador y evaporador son siempre los mismos, siendo un juego de válvulas exteriores las encargadas de conmutar la alimentación a los focos térmicos, tal como se muestra en la Fig. 2.



**Figura 2.** Esquema de máquina agua/agua no reversible. (Fuente: elaboración propia).



En la actualidad, la mayoría de fabricantes implementan la tecnología de equipos reversibles, en los que el cambio de bomba de calor a máquina frigorífica se lleva a cabo en el lado del refrigerante mediante una válvula de cuatro vías, de modo que cada foco térmico siempre intercambia calor con el mismo intercambiador de la máquina, que unas veces hará de condensador y otras de evaporador. La Fig. 3 ilustra el funcionamiento en el caso de calefacción. La válvula de cuatro vías (VIC) comunica la salida del compresor con el intercambiador interior.

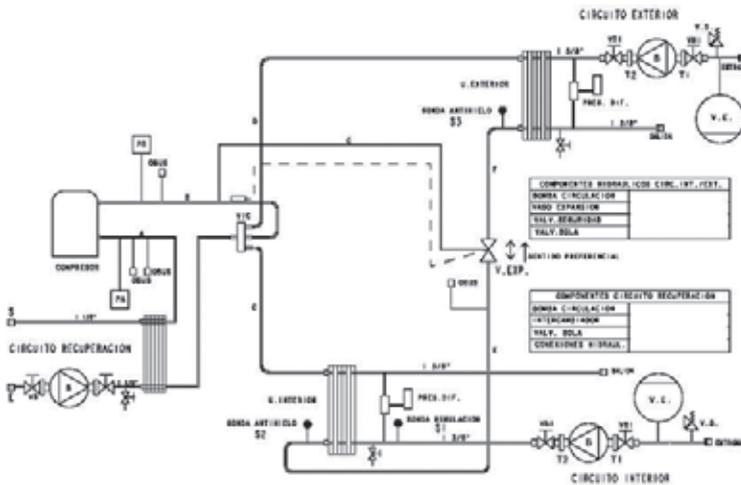
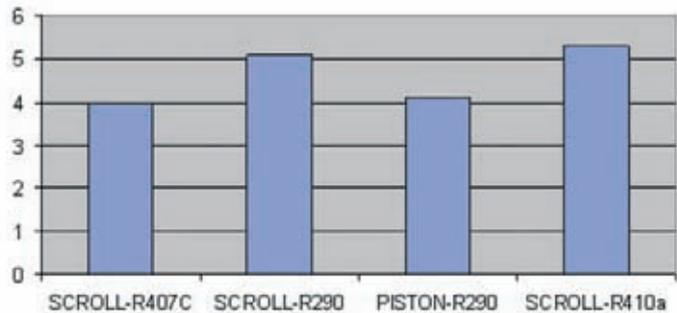


Figura 3. Esquema de una máquina agua/agua reversible en el lado refrigerante. (Fuente: elaboración propia).

Los refrigerantes que se emplean actualmente en este tipo de bombas son HFCs que no perjudican la capa de ozono, como el R-410a y el R-407C. Estos gases tienen un elevado efecto invernadero, por lo que es posible que las legislaciones fuercen la introducción en un futuro de los llamados refrigerantes naturales, como el propano (R-290), CO<sub>2</sub> (R-744) y amoníaco (R-717). En cuanto a los compresores, la tecnología “scroll” es la mayoritaria, especialmente en la gama de pequeñas potencias. La Fig. 4 muestra los COPs obtenidos por una bomba de calor geotérmica de 17 kW con diferentes compresores (“scroll” y pistón) y diferentes fluidos. A igualdad de fluido (R290) se aprecia que el compresor “scroll” entrega un COP un 25% mayor, llegando a 5. Para el mismo compresor (“scroll”) el fluido que mejor COP presenta es el R410a, que supera 5, aunque seguido muy de cerca por el R290, perdiéndose un 20% al emplear R407C.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



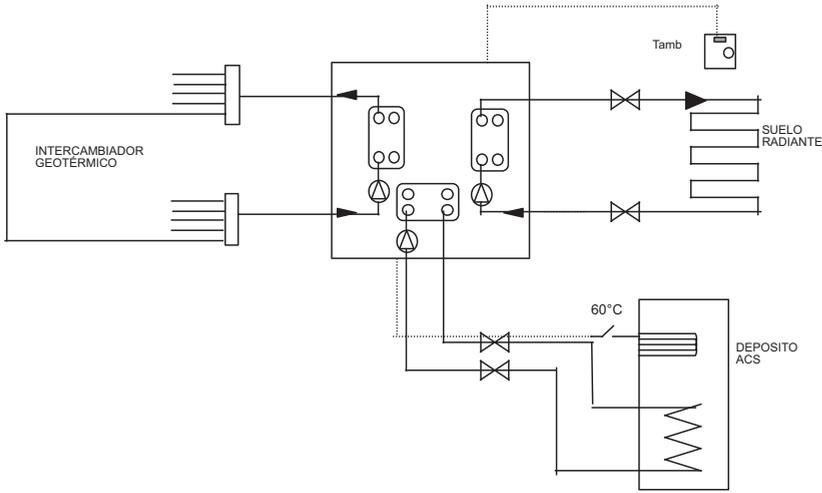
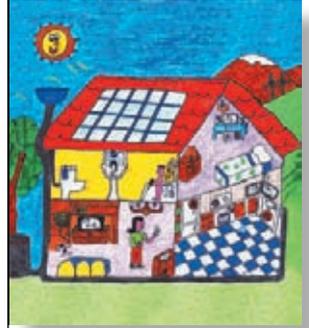
**Figura 4.** COP de diferentes compresores y fluidos en una bomba de calor geotérmica de 17 kW. Salto de temperatura agua evaporador: 10°-5°C. Salto de temperatura agua condensador: 30°-35°C. (Fuente: Geocool).

Los intercambiadores de calor empleados en la gama de pequeñas potencias suelen ser de placas soldadas, de acero inoxidable, dadas sus excelentes prestaciones y su elevado nivel de compatibilidad.

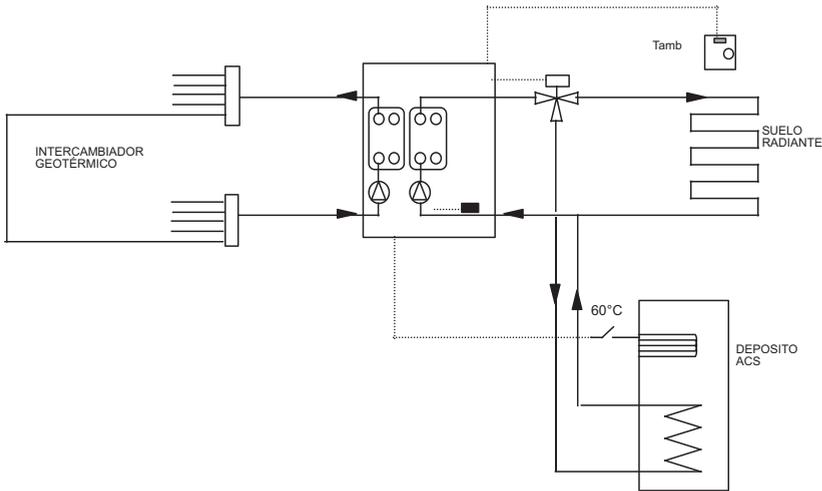
Con objeto de facilitar el trabajo del instalador y reducir los tiempos de montaje es frecuente que en pequeñas potencias se incorpore el grupo hidráulico en la misma máquina. En equipos más grandes el grupo hidráulico es externo, de modo que es preciso instalarlo in situ.

Una aplicación interesante de las bombas de calor de agua es que también pueden producir agua caliente sanitaria (ACS). Existen dos tecnologías dominantes: la de intercambiador de calor de gases calientes y la de la válvula de tres vías. La primera, ilustrada en la Fig. 5, consiste en recuperar el calor de alta temperatura de los gases que salen del compresor, antes de su entrada al condensador mediante un intercambiador de calor auxiliar, conocido como "desuperheater". El método de la válvula de tres vías, recogido en la Fig. 6, consiste en conectar en paralelo los circuitos de calefacción y ACS, de modo que cuando haya demanda de agua caliente o se reduzca la demanda de calefacción, la potencia calorífica se aplique al depósito acumulador de ACS.

Mientras que la producción de ACS en calefacción se hace a costa de reducir la potencia calorífica, en modo de refrigeración la producción de ACS resulta siempre gratuita, pues se consigue a partir de calor extraído del propio edificio y que tiene que ser cedido al ambiente exterior (terreno).

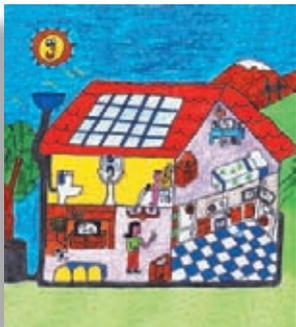


**Figura 5.** Producción de ACS mediante la recuperación de los gases calientes a la salida del compresor. (Fuente: elaboración propia).



**Figura 6.** Producción de ACS mediante by-pass del circuito de calefacción con válvula de tres vías. (Fuente: elaboración propia).

En cuanto a las potencias disponibles, existen equipos desde los 4 kW, válidos para pequeñas viviendas, contruidos con formato de electrodoméstico y que se pueden instalar en una cocina o en una terraza lavadero, pasando por equipos mayores de 15 kW, válidos para un residencial de lujo, 35 kW para pequeños hoteles y finalmente grandes plantas enfriadoras y bombas de calor de entre 300 y 1000 kW para el sector gran terciario.



### 1.3. Intercambiadores de calor enterrados

Como ya se ha indicado, en las bombas de calor geotérmicas es el terreno el que actúa de medio ambiente exterior, de modo que en verano recibe el calor extraído del edificio y en invierno lo produce.

El terreno es un foco térmico estable que se regenera de forma natural. Presenta la ventaja de que a pocos metros de profundidad su temperatura es mucho más uniforme que la del aire ambiente.

Los intercambiadores de calor enterrados se construyen enterrando tuberías de polietileno. Pueden ser de circuito cerrado o abierto, en los que se toma agua de un acuífero en un punto y se devuelve en otro situado a una cierta distancia.

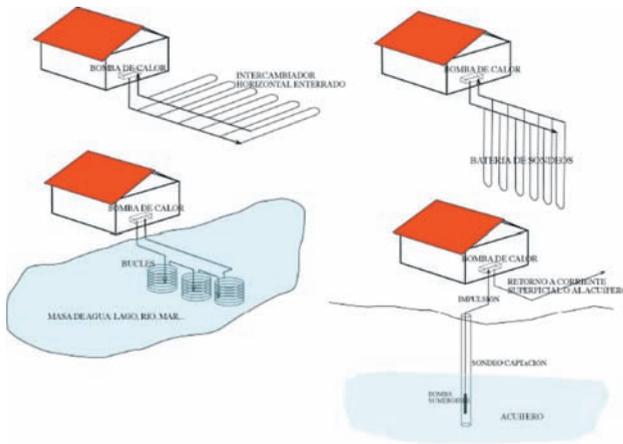
La Fig. 7 muestra diferentes ejemplos; se puede enterrar un intercambiador de tubería de polietileno a poca profundidad extendido en horizontal, disponer las tuberías dentro de una serie de pozos de 50 a 100 metros, construir un serpentín y sumergirlo en un lago o finalmente en captación abierta, emplear el agua de un acuífero lo bastante grande. Este último método es el que presenta un mayor potencial, aunque está sujeto a la legislación de aguas y puede tener limitaciones de protección medioambiental.

#### Intercambiadores horizontales

La construcción de un intercambiador de calor horizontal comienza por la excavación de una amplia zanja de 1 a 1,5 metros de profundidad, sobre la que se depositan las tuberías de polietileno convenientemente alineadas, como se aprecia en la Fig. 8 en la que se muestra una instalación en la Universidad Politécnica de Valencia desarrollada en el seno de un proyecto de investigación.

Estas instalaciones requieren una gran superficie. Su realización es relativamente sencilla, pudiendo emplearse una pequeña retroexcavadora para la excavación y uniendo las tuberías por soldadura de termofusión. La construcción del intercambiador tan próxima a la superficie, puede afectar a su mantenimiento en la medida en que pueda deteriorarse por obras de nuevas instalaciones y canalizaciones enterradas cercanas si no se acotan adecuadamente sus límites. Al ser poca la

profundidad, la temperatura del terreno está influida por la del aire ambiente. Esta tipología es adecuada sólo para pequeñas potencias.



**Figura 7.** Posibles configuraciones para el aprovechamiento geotérmico mediante bombas de calor.

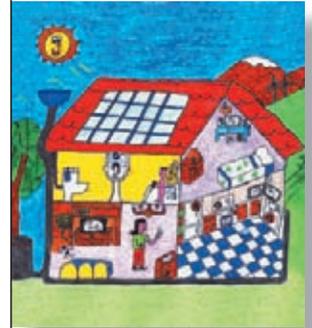


**Figura 8.** Intercambiador de calor horizontal enterrado. (Fuente: PROFIT).

### Intercambiadores verticales

Los intercambiadores verticales (“boreholes”) son los mayoritariamente empleados. Dada su gran profundidad, no están afectados por las condiciones ambientales, y ocupan un área de terreno mucho menor. La Fig. 9 muestra un esquema de esta configuración. Presentan el inconveniente de una mayor dificultad de instalación, una mayor inversión y necesitan un personal más especializado para su construcción. Como ventaja no necesitan mantenimiento.

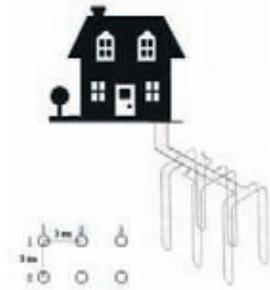
Aunque tanto los profesionales de los sondeos de agua, de la geotecnia y del micropilotaje cuentan con suficiente capacidad para llevar





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

a cabo los trabajos de excavación, la experiencia en países del norte de Europa y de Estados Unidos, aconseja que sean empresas especialistas en bombas de calor geotérmicas, las que dirijan y coordinen los trabajos, ofreciendo proyectos llave en mano de todo el conjunto de la instalación. Se debe de dar respuesta a problemas complejos que van desde el posible encamisado de los pozos, a la selección del material de relleno para mejorar el intercambio de calor, el diseño del circuito, la correcta ejecución de las soldaduras de polietileno, el adecuado diseño hidráulico y finalmente la conexión con la bomba de calor.



**Figura 9.** Esquema de configuración en "boreholes". Fuente (GEOCOOL).

## Intercambiadores "slinky"

Otro tipo de intercambiadores horizontales de alta compacidad son los denominados "slinky", como el mostrado en la Fig. 10. Su ejecución es más laboriosa que la de los horizontales convencionales, y al igual que éstos quedan influenciados en cierta medida por las condiciones ambientales. Dada su gran compacidad, es preciso estar seguro que el terreno tendrá la suficiente capacidad (difusividad térmica) para responder a ese intercambio en tan poca superficie.



**Figura 10.** Intercambiador de calor "slinky".  
(Fuente: ELK 2004. Cortesía de EVE).

## Intercambiadores integrados en la arquitectura

En el caso de obra nueva existen grandes posibilidades para la integración arquitectónica, habiéndose propuesto, por ejemplo, la colocación del captador horizontal debajo de una piscina, como se muestra en la Fig. 11. También es posible integrar los "boreholes" en micropilotajes mientras se está llevando a cabo la cimentación. Son las denominadas "cimentaciones termoactivas".



**Figura 11.** Ejemplo de integración en la edificación: intercambiador de calor horizontal enterrado bajo una piscina. (Fuente: Instalaciones TONVA, S. L.).

Para el cálculo de intercambiadores con geometrías sencillas, está muy extendido el método IGSHA (*International Ground Source Heat Pump Association*), desarrollado por la Universidad de Oklahoma. Se basa en la teoría de la línea infinita de Kelvin, por la que una línea suficientemente larga de diámetro lo bastante pequeño a temperatura constante transmite calor al medio que la rodea en sentido radial. La transmisión de calor viene regulada por la conducción, pudiendo resolverse por un modelo de resistencias térmicas, donde se conectan en serie la resistencia  $R_t$  de la tubería (Ec. V.1) y la resistencia  $R_s$  del suelo, que es la más complicada de determinar. Conocidas ambas resistencias y el salto térmico entre el agua y el terreno, se calcula la longitud requerida para disipar la potencia térmica  $Q$  deseada según la ecuación V.2.

$$R_t = \frac{\ln \left( \frac{D_e}{D_i} \right)}{2\pi k_t} \quad [V.1]$$

$$L = \frac{Q}{T_t - T_s} (R_t + R_s) \quad [V.2]$$

$R_t$  resistencia térmica de la tubería [m·K/W]

$R_s$  resistencia térmica del suelo [m·K/W]

$T_t$  temperatura de la tubería [K]

$T_s$  temperatura del suelo [K]

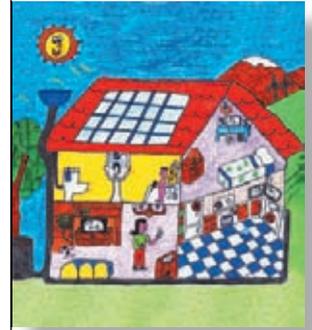
$Q$  calor a disipar [W]

$D_e$  diámetro externo de la tubería [m]

$D_i$  diámetro interno de la tubería [m]

$k_t$  conductividad térmica de la tubería [W/m·K]

$L$  longitud de la tubería [m]





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Diversos autores han propuesto formulaciones para calcular la resistencia térmica del suelo  $R_s$ . Todas ellas dependen del tiempo, es decir, desde cuándo se esté cediendo o tomando ese calor, lo que viene a reflejar que el terreno no es un foco de capacidad infinita, sino que se va "cargando" o "descargando" por efecto del calor acumulado o sustraído.

Por otra parte, es necesario corregir la expresión por un factor que recoja el funcionamiento real de la máquina ya que el calor intercambiado con el terreno es variable, y depende de los ciclos de funcionamiento, del número y duración de las paradas y arranques, en definitiva de la mayor o menor cantidad de calor intercambiada con el edificio. En la práctica esta corrección se formula en la ecuación multiplicando la resistencia térmica del suelo teórica por un factor de utilización, que representa la fracción de tiempo equivalente en el que la bomba de calor ha estado en marcha a potencia nominal. Dicho factor de utilización se calcula a partir de la simulación energética horaria de cada edificio y es función de su ubicación geográfica, su arquitectura (orientaciones, materiales) y del tipo de uso al que está sometido.

Finalmente, para conocer la longitud según la ecuación [V.2] hace falta determinar la temperatura del terreno, que varía con la profundidad, con el tiempo y con la temperatura ambiente exterior. En el método IGSHA se obtienen por separado la longitud necesaria para satisfacer la carga de calefacción y la carga de refrigeración, seleccionándose la mayor de ellas. En el caso de que ambas longitudes sean muy diferentes el diseñador podría optar por emplear un sistema auxiliar para compensar la diferencia, manteniendo el equilibrio de cargas en el intercambiador, buscando la relación óptima entre prestaciones e inversión inicial.

La Fig. 12 muestra la evolución de la temperatura en el terreno a lo largo del año para Valencia, simulada a través de este procedimiento. Se aprecia que la variación es menor en el terreno que en el aire, si bien hay una clara relación. Por otra parte, la inercia del terreno es importante, lo que redundará en un desfase en el seguimiento de la temperatura del aire.

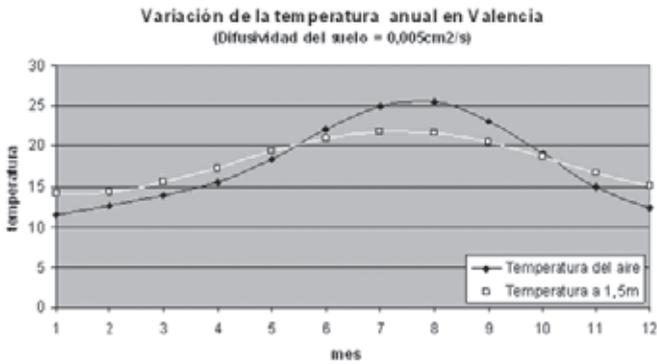
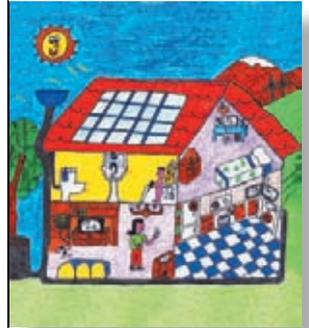


Figura 12. Variación de la temperatura anual en Valencia. (Fuente: GEOCOOL).



#### 1.4. Funcionamiento de la bomba de calor acoplada al terreno

Las bombas de calor agua-agua son las habituales en el norte de Europa, y en general las únicas que se pueden usar con efectividad en países muy fríos. Animados por conocer cuales serían las prestaciones en climas mas templados como el Mediterráneo, CIATESA y la Universidad Politécnica de Valencia, junto a otras empresas y entidades, desarrollaron desde 2003 a 2006 el proyecto de I+D GEOCOOL. En este proyecto, se comparó el consumo energético de una bomba de calor geotérmica con el de una convencional de tipo aire-agua, satisfaciendo ambas la misma demanda térmica de un edificio. La Fig. 13 muestra los resultados obtenidos en toda una temporada de calefacción, apreciándose que el consumo eléctrico de la bomba geotérmica resulta más estable y además es inferior al del sistema convencional.

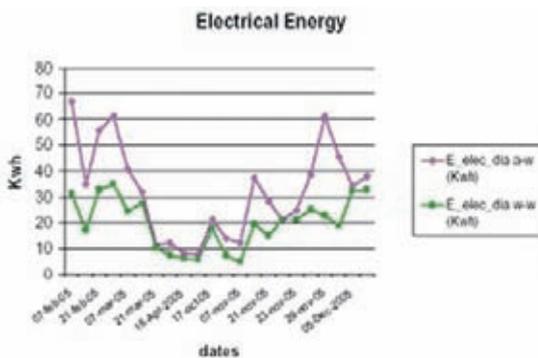
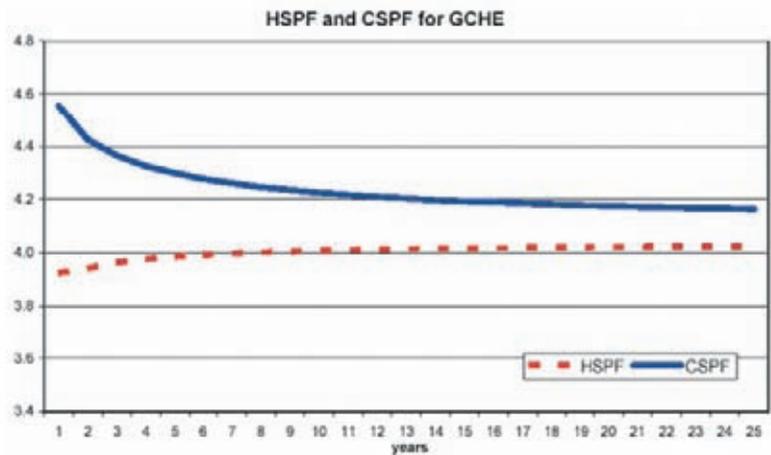


Figura 13. Comparación del consumo de una bomba de calor geotérmica (w-w) frente a una convencional aire/agua (a-w) durante la temporada de invierno en Valencia, satisfaciendo la misma demanda térmica. (Fuente: GEOCOOL).



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Dado que el terreno no es un foco infinito, se llegan a detectar en él efectos acumulativos si las cargas de verano e invierno no están compensadas. Así, para el caso de Valencia, donde es predominante la carga de verano, y por tanto, es mayor el calor aportado al terreno durante esa estación que el retirado del mismo en el invierno, la simulación a 25 años mostraba que la temperatura del agua de retorno del intercambiador enterrado se vería incrementada en 2,5 °C gracias al pequeño pero continuo efecto de acumulación de energía en el terreno, incapaz finalmente de disipar todo el calor recibido. Esto supondría que a lo largo de ese tiempo, el rendimiento de frío se iría degradando, mientras que el de calefacción mejoraría, Fig.14. Se abre, por tanto, todo un campo de investigación consistente en considerar el terreno como almacén de energía. Pudiendo plantearse, por ejemplo, usarlo para acumular los excedentes de energía solar en verano y disponer de un suelo más caliente en invierno, etc.



**Figura 14.** Degradación del rendimiento estacional en verano (CSPF) y mejora del de invierno (HSPF) debido al calentamiento medio progresivo del terreno en Valencia. (Fuente: GEOCOOL).

La Fig. 15 resume los resultados obtenidos en el proyecto GEOCOOL en Valencia, tanto en calefacción como en refrigeración. En la representación aparecen tanto los resultados experimentales como los predichos por los modelos de simulación. Tomando sólo los experimentales se aprecia un rendimiento medio estacional en calefacción de 3,46 para la bomba geotérmica frente a 2 para la convencional, siendo los resultados de refrigeración aún mejores, con 4,36 para la máquina geotérmica frente a 2,68 para la convencional. Son solamente datos particulares, correspondientes a las mediciones realizadas durante

un año en un experimento concreto. Se ponen de manifiesto en este caso que las mayores inversiones requeridas por la instalación geotérmica serán compensadas con el ahorro en el consumo energético de la instalación a lo largo de su vida útil.

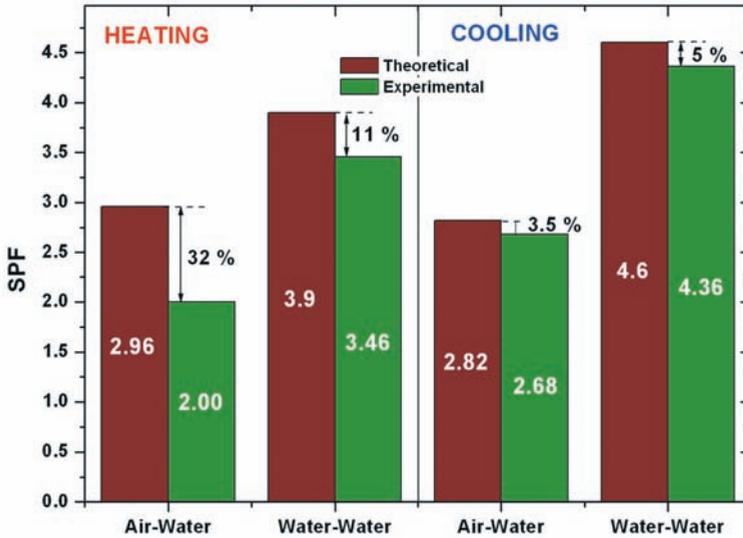
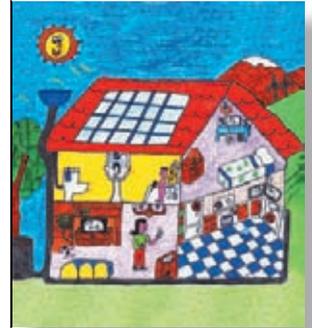


Figura 15. Comparación entre los rendimientos estacionales (SPF) del sistema geotérmico y del convencional tanto a nivel de simulación como en las mediciones reales. (Fuente: GEOCOOL).

### 1.5. Consideración de las bombas de calor como energía renovable

Un debate paralelo a la tecnología es la consideración de si las bombas de calor geotérmicas constituyen o no una energía renovable. La clasificación legal en este sentido, sería de gran importancia de cara a dar cumplimiento a nuevas Normas, como el Código Técnico de la Edificación que obliga a cubrir parte de la demanda del edificio con energía renovable. Finalmente, dicha consideración abriría las puertas además, al acceso a ciertas ayudas e incentivos públicos que facilitarían su penetración.

La Comisión Europea, en el artículo 5 de la propuesta de Directiva de Fomento del Uso de Energía Procedente de Fuentes Renovables del 23 de enero de 2008 indica que "la energía térmica generada por la bombas de calor que utilizan la energía geotérmica del suelo o del agua se tendrá en cuenta a efectos de apartado 1, letra b", en el que se contabiliza "el consumo de energía final procedente de fuentes renovables



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

para la calefacción y la refrigeración". De hecho, la propuesta va más allá, indicando que también se considerará renovable el calor proporcionado por las bombas de calor que emplean como foco exterior el aire ambiente, siempre que superen unos valores límites de eficiencia.

En nuestro país, las Administraciones están adoptando progresivamente medidas de fomento para el uso de esta tecnología. En algunas Comunidades Autónomas existen ya programas de incentivos sobre los sobrecostes que suponen estas instalaciones.

Finalmente, puede caber la duda de si el favorable balance energético en energía final ofrecido por las bombas de calor geotérmicas, se mantiene en términos de energía primaria. La Fig. 16 muestra un diagrama de Sankey adaptado de la literatura en el que asumiendo un 40% de rendimiento medio para la generación y transporte de la energía eléctrica y un dato "pesimista" de HSPF para la bomba de calor de 3,46, se logra aportar al edificio (demanda térmica final) casi un 20% más de la energía primaria empleada en la central eléctrica. La conclusión es que ese 20% adicional procede de una fuente natural y renovable (aire, agua, suelo, etc.) que contribuye a reducir la demanda de energía primaria. Compárese esta situación con la satisfacción de esa demanda de calefacción a partir de la misma energía primaria aplicada a una caldera, donde no se conseguiría utilizar más del 95% de la misma.

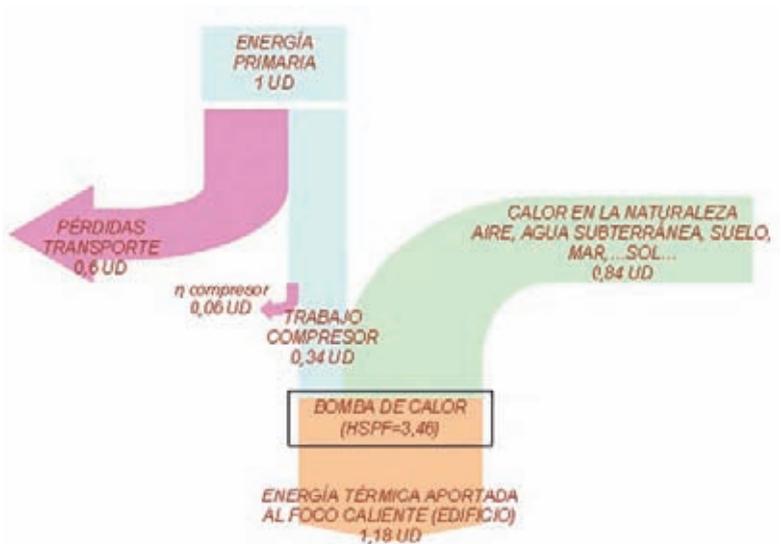
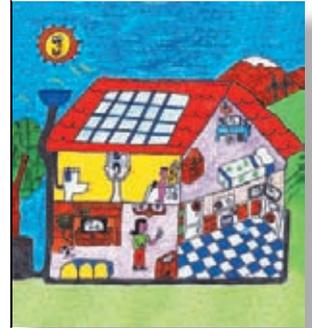


Figura 16. Diagrama de Sankey. Fuente: CIATESA (modificado de: EVE, Monasterio et al. [1993], Urchueguía [2004]).

## 2. Bibliografía

- BOSE, J., y PARKER, J. (1984): *Ground-coupled heat pump research*. Ashrae Trans 89 (2B), 375–390.
- ÇENGEL, Y. A. (2004): *Transferencia de Calor*. McGraw-Hill. México.
- CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE): R. D. 314/2006, de 17 de marzo.
- CORBERÁN, J. M.: *Aprovechamiento del calor residual de origen geotérmico para la mejora energética en la producción de frío/calor en el Área Mediterránea*. MICyT.
- INGERSOLL, L. R., y PLASS, H.J. (1948): *Theory of the ground pipe source for the heat pump*. Ashve Trans. 54, 339-348.
- KUSADA, T., y ACHENBACH, P. R. (1965): *Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States*. Ashrae Trans. 71, 61-75.
- MONASTERIO, R.; HERNÁNDEZ P., y SÁIZ, J. (1993): *La bomba de calor. Fundamentos, técnicas y aplicaciones*. McGraw-Hill. Madrid.
- PROFIT: Programa Nacional de Energía, FIT 120202-2002-7, 2002 a 2004.
- RAMEY, H. J. Jr. (1962): "Wellbore heat transmission", *J. Petrol Tech.* Aime Trans. 225, 427-435.
- URCHUEGUÍA, J. (coord.): *Geothermal Heat Pump for Cooling-and Heating along European Coastal Areas*. EU V Framework Programme, Contract NNES-2001-00847, Publishable version of the Final Report (2003 to 2006). <http://www.geocool.net/>.



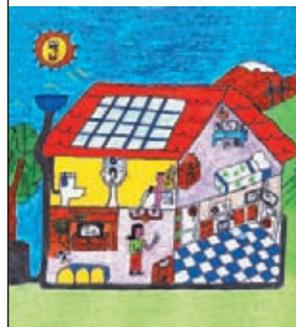


# 13 LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN LA EDIFICACIÓN

D. RAMIRO CABALLERO DÍAZ

*Isofoton*

[www.isofoton.com](http://www.isofoton.com)



## 1. Introducción

La energía solar térmica de baja temperatura consiste en el aprovechamiento de la radiación proveniente del Sol para el calentamiento de un fluido a temperaturas inferiores a las de evaporación, comúnmente inferiores a 100 °C.

El aprovechamiento de la Energía Solar Térmica de baja temperatura tiene tres aplicaciones fundamentales en la edificación:

- *Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS)*. Es la más extendida de todas, por ser la que mejor se adapta a las características de la energía solar, debido a que los niveles de temperatura a alcanzar no son elevados (45 °C a 60 °C) y que su utilización abarca los doce meses del año.
- *Climatización de Piscinas*. Al igual que en la producción de agua caliente, la temperatura a lograr (24 °C y 26 °C) se engloba dentro del abanico de temperaturas más apropiadas para una buena eficacia del colector, pero en cambio, en el caso de piscinas descubiertas, su uso es estacional por lo que el aprovechamiento de la instalación está condicionado a su uso en una cierta época del año. Por el contrario, en el caso de piscinas cubiertas, al igual que en el caso del ACS su aprovechamiento abarca la totalidad del año; es por ello, que tanto para instalaciones de producción de ACS como para climatización de piscinas cubiertas su uso es de obligado cumplimiento según rige la normativa del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico DB HE4.
- *Calefacción*. De finalidad diferente a la climatización de piscina pero con las mismas ventajas siempre y cuando se opte por so-



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

luciones de climatización de baja temperatura tales como suelo radiante o radiadores de baja temperatura con temperaturas típicas de impulsión de entre 40 °C y 55 °C. Tal y como sucedía en el caso de piscinas descubiertas, el uso de calefacción con apoyo de energía solar térmica sufre una acusada estacionalidad que merma su aprovechamiento anual, ya que abarca únicamente los meses de invierno.

## 2. Necesidades energéticas en la edificación

El gran desarrollo que ha venido experimentando desde hace décadas la construcción en nuestro país, unido a unos requerimientos de confort cada vez superiores que han supuesto un aumento del consumo energético total en torno al 40% en los últimos años, requieren de una solución energética limpia y eficaz para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a dicho consumo.

La expresión del consumo energético (C) se expresa como el cociente entre la demanda energética y el rendimiento del sistema.

$$C = \frac{\text{DEMANDA ENERGÉTICA}}{\text{RENDIMIENTO DEL SISTEMA}}$$

Como parte de la definición de demanda energética se engloba la cantidad de energía consumida o estimada necesaria para satisfacer las necesidades de calefacción, calentamiento de agua, refrigeración, iluminación y ventilación del edificio.

El cálculo de la demanda del edificio varía en función de la época del año tal y como se muestra en la Fig. 1.

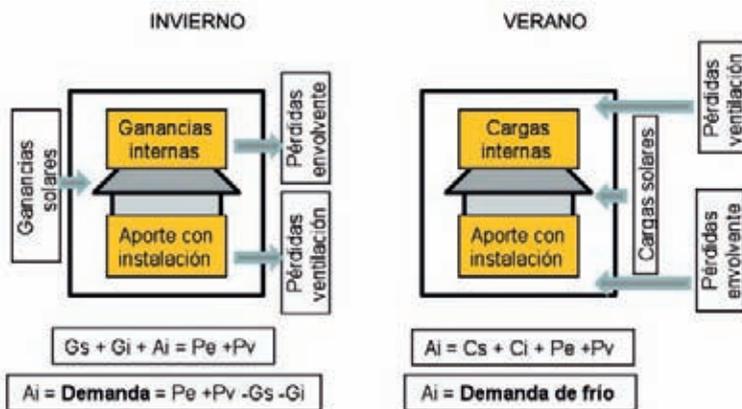
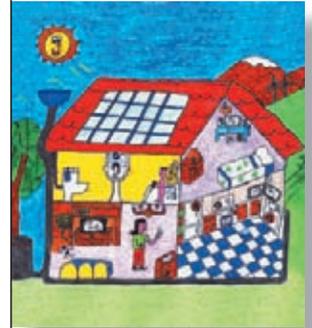


Figura 1. Cálculo de la demanda del edificio.



La reducción del consumo energético se obtiene bien reduciendo la demanda energética del edificio o bien aumentando el rendimiento del sistema. Las aportaciones energéticas de carácter renovable que ayudan a reducir la demanda energética del edificio son cada vez más demandadas por la creciente sensibilidad ecológica de la sociedad, y por tanto requieren encontrar nuevas soluciones a las instalaciones tradicionales de las edificaciones.

La energía solar, como recurso energético terrestre, se convierte de manera inmediata en parte de dicha solución.

Está constituida por la porción de la luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra. Los rayos solares sufren procesos de dispersión al atravesar nuestra atmósfera, encontrándonos, en consecuencia, dos tipos de radiación fundamentalmente:

- *Directa*. Es aquella porción de radiación que llega a la Tierra sin sufrir desviaciones.
- *Difusa*. Es la radiación recibida en la Tierra que se ha visto afectada por grandes dispersiones en su recorrido.

En función de la forma de utilización de la radiación solar terrestre, distinguimos dos tipos de tecnología:

- *Pasiva*. Cuando la captación solar se realiza sin ningún elemento intermedio. Una de las aplicaciones de la energía solar es direc-



Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

tamente como calefacción al permitir calentar recintos por radiación directa. En la Fig. 2 se representa las trayectorias del Sol sobre el horizonte en función de las distintas épocas del año (21-12 Solsticio de invierno, 21-6 Solsticio de verano) y de la latitud del lugar.

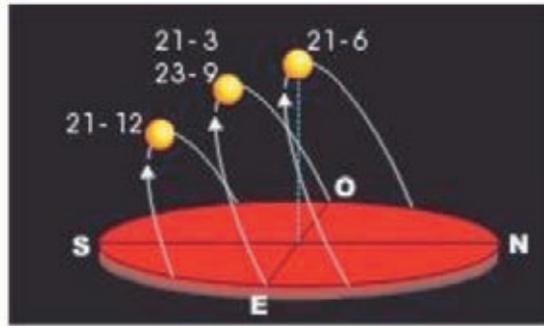


Figura 2. Trayectorias del Sol en la bóveda celeste en distintas estaciones y latitud entre 23.5°N (trópico) y 66.5°N (círculo polar).

En función de esas trayectorias, la radiación directa incidirá con un cierto ángulo sobre la superficie de la Tierra que variará en función de la época del año y de la latitud del lugar. Puede verse en la Fig. 3 un ejemplo para el caso de una localización emplazada en una latitud en torno a los 40° Norte (aproximadamente a la que se encuentra una ciudad como Madrid).

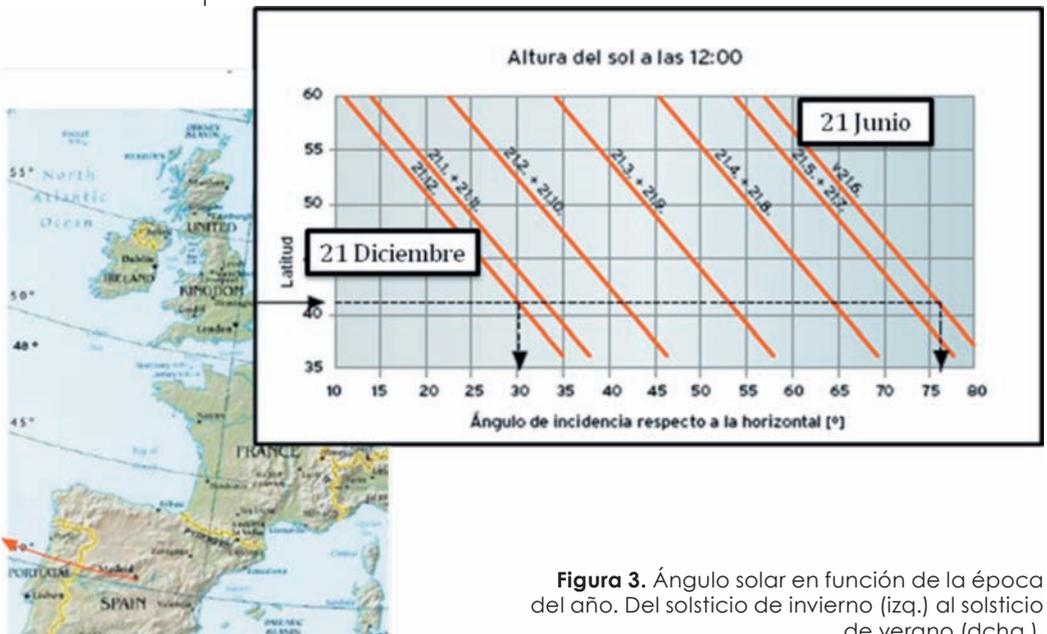


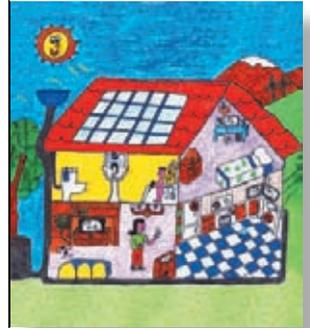
Figura 3. Ángulo solar en función de la época del año. Del solsticio de invierno (izq.) al solsticio de verano (dcha.).

Aprovechando esas trayectorias se introducen elementos arquitectónicos para aumentar en invierno y reducir en verano las cargas solares favoreciendo los distintos tipos de climatización (calefacción o refrigeración) tal y como se puede apreciar en la Fig. 4.



**Figura 4.** Favorece las ganancias térmicas en invierno (izq.) y las reduce en verano (dcha.)

- Activa: Para obtener rendimiento de la energía solar, se intercala un dispositivo de captación intermedio. Se distinguen dos tipos de tecnología:
  - *Térmica.* Se denomina *térmica* a la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por calentamiento de algún medio. La calefacción de viviendas, calentamiento de agua, entre otros son aplicaciones térmicas.
  - *Fotovoltaica.* Se llama fotovoltaica a la energía solar aprovechada por medio de células fotovoltaicas, capaces de convertir la luz en corriente eléctrica.
- Tal y como ocurría con los elementos pasivos, los elementos activos verán condicionada su posición e inclinación en función de las necesidades de generación de la instalación solar. Tomando como forma típica y más extendida del elemento que capta la energía solar la de un paralelepípedo rectangular donde una de las caras de mayor superficie coincide con la parte activa de captación solar, y considerando que el aprovechamiento debe ser anual, la inclinación óptima será en torno a la latitud del emplazamiento, siendo conveniente aumentar en torno a  $10^\circ$  la inclinación si las necesida-

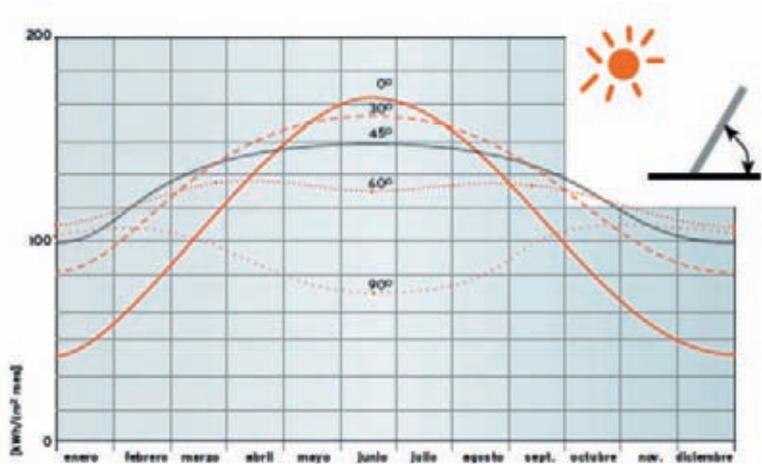




**Soluciones energéticamente eficientes en la edificación**

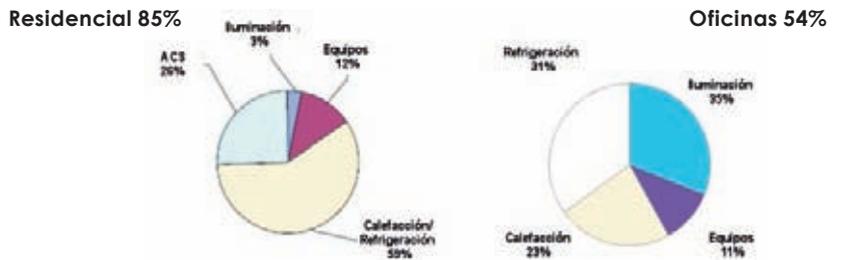
des energéticas tienen una clara estacionalidad con requerimientos mayores en épocas de invierno o disminuir en torno a 10° la inclinación si las necesidades energéticas mayores son en verano. La razón se debe a que es recomendable que la radiación solar incida lo más perpendicularmente a la superficie captadora para evitar reflexiones sobre la misma.

La orientación será lo más próxima al sur siempre y cuando se encuentre en el hemisferio norte (la orientación será la contraria cuando la instalación se encuentre en el hemisferio sur). En la Fig. 5 se puede apreciar como la irradiación por metro cuadrado varía en función de la época del año y la inclinación del elemento de captación solar.



**Figura 5.** Irradiación mensual por metro cuadrado en función de la inclinación del elemento activo de captación solar en torno a los 40° latitud norte.

Tal y como se puede apreciar en la Fig. 6 las necesidades térmicas copan un alto porcentaje de las necesidades energéticas totales en los usos más comunes de los edificios, como son residencial y oficinas.



**Figura 6.** Distribución del consumo de energía en los edificios.

Para abastecer esa demanda de energía térmica la energía solar térmica de baja temperatura se posiciona como una solución ideal.

### 3. Partes constituyentes de una instalación de energía solar térmica

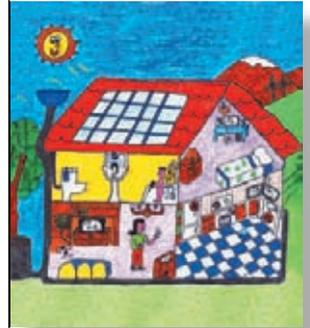
Una instalación solar térmica puede estar constituida por:

#### 3.1. Sistema de captación

Formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica que es transferida al fluido de trabajo contenido en su interior. Dado que se trata del principal elemento del sistema se debe prestar una atención especial a su elección según las distintas posibilidades que ofrecen los fabricantes. La superficie absorbente es el elemento principal del colector térmico, pues es la responsable de la capacidad de captación de energía térmica, que posteriormente será transferida al fluido de trabajo.

##### 3.1.1. Clasificación de los modelos de captador

- *Captador solar plano.* Es el tipo de captador más extendido ya que ofrece un excelente ratio prestaciones/coste para las aplicaciones de baja temperatura que se aplican en la edificación. Existe una primera clasificación de los diferentes modelos según el tratamiento que recibe la superficie absorbente. Atendiendo al tipo de tratamiento, los absorbedores pueden ser presentados con pinturas negras especiales o con tratamiento selectivo absorbente (alta absorción en longitudes de onda corta y baja emisividad en longitudes de onda larga).
- *Captador con tubos de vacío.* El vacío que existe dentro de cada una de las ampollas que conforman la superficie de captación del captador anula las pérdidas por convección lo que provoca que el rendimiento de los captadores de tubo de vacío sea superior al de los captadores solares planos. No obstante según la aplicación, la fragilidad,





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

superior tiempo de montaje y mayor coste suponen que se opte por un captador solar plano en detrimento del captador de tubos de vacío.

- *Captador de polipropileno.* Es el modelo más simplificado de captador solar. Se componen de un conjunto de tubos negros de EPDM o polipropileno, sin aislamiento y aunque tiene un coste reducido, sus prestaciones energéticas son modestas, solamente aptas para climatización de piscinas y en especial de exteriores donde la normativa no exige ningún tipo de aporte solar.

La relevancia de tener un absorbedor selectivo queda demostrada en la Fig. 7. Los absorbedores con recubrimiento selectivo con base de óxido de titanio reflejan en menor proporción las longitudes de onda más energéticas y por lo tanto la ganancia de energía es mayor.

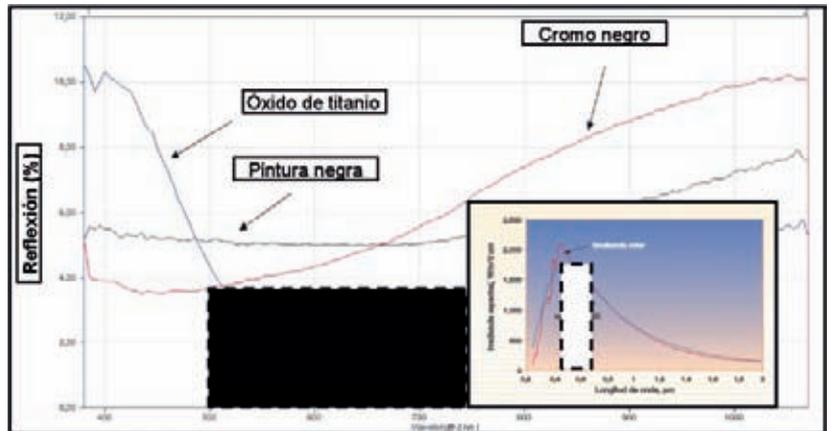


Figura 7. Reflexión en el absorbedor según su tratamiento superficial.

La ganancia térmica influye directamente en el rendimiento del captador según la aplicación, tal y como se puede observar en la Fig. 8.

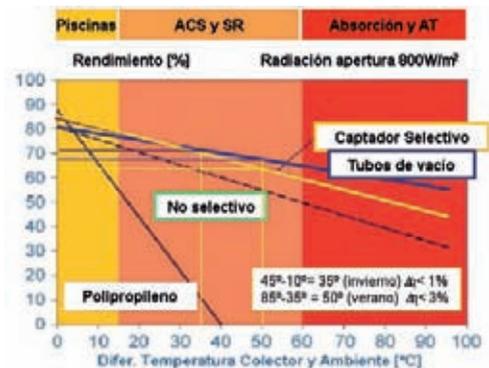


Figura 8. Ecuación característica del captador en función de su tipología.

En la siguiente tabla pueden verse las temperaturas de referencia aproximadas en función de la aplicación a la que va a destinarse la instalación solar térmica.

**Tabla 1.** Temperaturas de referencia.

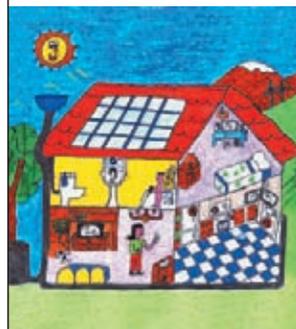
Aplicación	Temperatura
Preparación de ACS	45° C - 60° C
Climatización de piscinas	25° C
Calefacción suelo radiante (SR)	45° C
Calefacción por radiadores (AT)	75° C
Frío solar (Absorción)	85° C

La valoración sobre qué tipo de captador es el idóneo para cada aplicación puede llevarse a cabo interpretando las ecuaciones características del captador de la Fig. 8 en conjunción con las temperaturas de referencia según las aplicaciones.

Como puede observarse los captadores de polipropileno, debido a su bajo coste pueden ser una solución óptima para aplicaciones de climatización de piscinas donde la diferencia entre la temperatura de retorno o de entrada al colector, que se debe equiparar a la de la aplicación (en este caso en torno a 25 °C) y la temperatura ambiente (15 °C y 35 °C típica de la temporada de baño) se encuentra en el rango de 0 °C a 10 °C donde el rendimiento del captador es suficientemente elevado como para valorarlo como una opción. Sin embargo según la temperatura de la aplicación es más elevada el rendimiento del captador, al no disponer de cubierta de vidrio y por tanto no favorecerse del efecto invernadero y de tener altas pérdidas por convección, cae rápidamente descartándolo como opción a valorar.

Cuando la aplicación combine ACS y climatización de piscinas el bajo rendimiento de los captadores de polipropileno para las temperaturas asociadas a la preparación de ACS y la recomendación de tener un campo de captación único para optimizar los costes de los elementos comunes del sistema hidráulico y de circulación provocan que todo el sistema deba dimensionarse con captadores más eficientes, y por tanto, descartar la opción de captadores de polipropileno o similares.

Para aplicaciones de ACS y climatización mediante Suelo Radiante (SR) o, en su defecto, radiadores de baja temperatura, la diferencia de





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

temperatura entre el ambiente, en las épocas de más necesidad de energía térmica (típicamente en invierno con temperaturas en torno a 10 °C) y la de la aplicación (entre 45 °C y 60 °C) se sitúa en torno a 35 °C donde la diferencia entre el rendimiento de captadores solares térmicos de absorbedor con tratamiento selectivo y los captadores de tubo de vacío en comparación con los captadores de absorbedor no selectivo se sitúa en torno al 10%. Esta diferencia puede ser definitiva a la hora de descartar los captadores no selectivos, ya que si bien su coste suele ser inferior, la obligatoriedad de llegar a aportaciones solares según dicta el CTE en construcciones donde escasea la superficie donde instalar los captadores, tal y como pueden ser las cubiertas de viviendas en altura, puede significar que la aportación de dichos captadores no sea suficiente y se deban descartar a favor de captadores más eficientes como son los selectivos o los tubos de vacío.

A la hora de valorar la opción de decantarse por captadores selectivos o tubos de vacío se debe estudiar el coste de la totalidad del sistema y el tiempo de instalación asociado a cada tipología de captador, que son típicamente más elevados en los captadores de tubos de vacío que los captadores planos selectivos, mientras que el rendimiento de ambos para este tipo de aplicaciones es muy similar.

Otro dato a tener en cuenta es que para épocas estivales donde se producen traslados de las zonas residenciales a las zonas de disfrute de vacaciones provocan una disminución del consumo energético del edificio coincidiendo con la época de más alta radiación. Una opción muy extendida para mitigar las sobre temperaturas que provoca esa situación es aumentar la temperatura de acumulación por lo que la temperatura media de retorno al captador aumenta y a su vez la diferencia entre ésta y la del ambiente, por tanto la eficiencia de los captadores de tubo de vacío aumenta en relación a la de los captadores solares selectivos provocando una mayor ganancia de temperatura y agravando el problema de sobre temperaturas.

### **3.2. Sistema de acumulación**

Constituido por uno o varios depósitos que almacenan la energía térmica en forma de agua caliente hasta que se precise su uso. Para las aplicaciones en las que el agua acumulada se distribuya directamente al circuito de consumo deberán estar fabricados en acero

vitrificado o inoxidable, si el circuito es cerrado se podrá optar por la solución más económica de acero negro. Para la aplicación de ACS, el volumen de acumulación (A) respecto al área total de los captadores (V) tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

En el caso de calentamiento de agua de piscinas, el sistema de acumulación es el propio vaso de la piscina.

### **3.3. Sistema de intercambio**

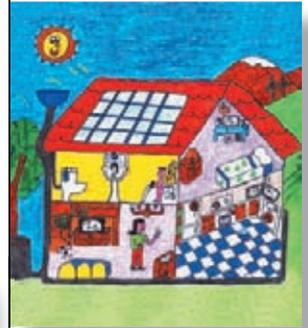
Realiza la transferencia de la energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al circuito secundario, o de acumulación. Para el caso de intercambiador incorporado al acumulador, la relación entre superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

### **3.4. Sistema hidráulico**

Constituido por tuberías, bombas, válvulas y demás elementos que se encargan de conducir el movimiento del fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y de éste a la red de consumo. En los sistemas donde se instalen más de 50 m<sup>2</sup> de superficie de captación se montarán dos bombas idénticas en paralelo y siempre que las bombas hagan circular agua en el circuito de consumo deberán ser de bronce o acero inoxidable.

### **3.5. Sistema de regulación y control**

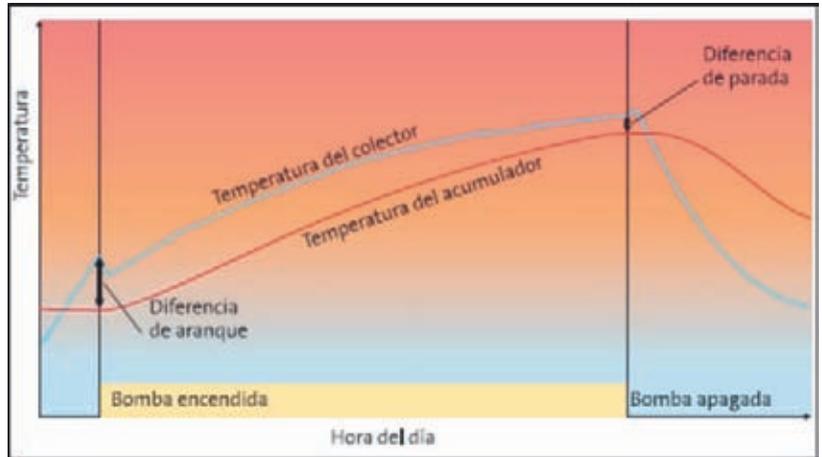
Es el responsable de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para aprovechar la máxima energía solar térmica posible activando





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

o desactivando los distintos elementos eléctricos activos de la instalación como son las bombas de circulación hidráulica entre otros. Su gráfico de control se representa en la Fig. 9.



**Figura 9.** Esquema de control por diferencial entre temperatura de captador y de base de acumulador.

### 3.6. Sistema de energía auxiliar

Se utiliza para complementar el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o consumo superior al previsto. El sistema entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y de forma que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación además en caso de que el sistema no disponga de acumulación, es decir, sea una fuente instantánea, el equipo deberá ser modulante, es decir, capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente con independencia de cual sea la temperatura del agua de entrada al citado equipo. No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

## 4. Aplicaciones solares en edificios

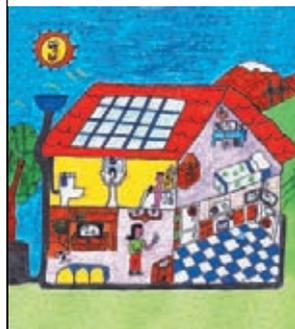
### 4.1. Antecedentes

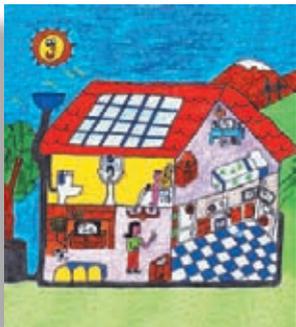
Existe una amplia variedad de configuraciones en la instalación de sistemas solares térmicos en la edificación y si bien el desarrollo inmobiliario ha sufrido un gran retroceso en el último año, es en el ámbito de la vivienda donde a raíz de la implantación del Código Técnico de la Edificación (CTE) donde se han implantado la mayor cantidad de instalaciones solares térmicas.

Dentro del abanico de soluciones para vivienda se pueden diferenciar dos grandes grupos: viviendas unifamiliares y viviendas en altura o multifamiliares.

De la totalidad de edificaciones realizadas en los últimos años en torno al 80% corresponden a la tipología de viviendas en altura por lo que analizando las instalaciones típicas implantadas en este tipo de viviendas abarcamos un alto porcentaje de las instalaciones realizadas y en cierto modo a realizar, ya que el CTE obliga a instalar sistemas solares térmicos no sólo en edificios de nueva construcción, sino en ciertas clases de rehabilitación de los mismos.

Una premisa inicial que se debe tener en cuenta a la hora de valorar la posibilidad de decantarse por una tipología u otra de la instalación será la elección del tipo de captador que compondrá el sistema de captación. Una característica intrínseca a la mayoría de las viviendas en altura es su alto índice de ocupación y por tanto de demanda energética y su poco espacio en cubierta, lo que provoca que la elección del captador se vea condicionada por esta premisa. Tal y como se mostró en el apartado 3.1.1 el rendimiento del captador se ve condicionado por el tratamiento del absorbedor por lo que ya que la superficie de instalación es finita y en muchos casos muy reducida, la demanda es elevada y la fuente energética, el Sol, no puede ser aumentada de intensidad, para poder alcanzar los valores de aporte solar incluidos en el CTE será necesario disponer de captadores de alto rendimiento y acordes a las necesidades energéticas propias de un edificio de viviendas. Tal y como se observó en la Fig. 6 las necesidades mayores corresponden a abastecer la demanda de calefacción, refrigeración y en segundo orden ACS copando ambas en torno a un 85% de la demanda total de la vivienda.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Debido a que las configuraciones típicas en viviendas multifamiliares carecen de medios disipativos con un coste moderado y sin gasto energético, como pueden ser comúnmente las piscinas (el empleo de los llamados aerotermos se encuentra muy extendido ya que otorgan una solución inmediata y eficaz a la problemática de sobre temperaturas en meses de verano, sin embargo acarrear un consumo que se contrapone al ahorro energético buscado con la instalación de sistemas solares); existe la controversia de no poder realizar instalaciones solares térmicas que abastezcan la demanda de calefacción aunque ésta sea la demanda principal del edificio ya que en meses de verano, donde el consumo de calefacción es inexistente provocaría un excedente de generación energética que agravaría el problema de disipación. Es por ello que las instalaciones que abarcan un alto porcentaje de la totalidad se utilizan exclusivamente para el abastecimiento de agua caliente del edificio, por lo que las temperaturas típicas de trabajo se engloban entre 45 °C y 60 °C siendo muy recomendable dimensionar la instalación con temperaturas más próximas a los 50 °C, ya que se trata de una temperatura acorde con la temperatura habitual de uso del agua caliente en viviendas (los 60 °C corresponden con el límite de temperatura con riesgo de quemaduras) y que la eficiencia del conjunto será mayor. Cabe destacar que tal y como aparece reflejado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis en su artículo 2 apartado 3:

*«Quedan excluidas del ámbito de aplicación de este real decreto las instalaciones ubicadas en edificios dedicados al uso exclusivo en vivienda».*

No obstante y para minimizar los riesgos, se recomienda dimensionar la instalación con un control diferencial basado en la temperatura de la zona del acumulador solar más baja posible, siempre y cuando se trate de instalaciones directas (donde el agua acumulada en el acumulador solar se consumirá posteriormente por los inquilinos del inmueble) ya que por estratificación, las zonas superiores dentro del acumulador se encontrarán a temperaturas superiores.

Tomando como premisa que la gran mayoría de las instalaciones tendrán como objetivo el abastecer al edificio de ACS y que el espacio será limitado, lo recomendable sería optar por sistemas con captadores planos selectivos, o en su defecto, con tubos de vacío si el coste asociado al sistema adoptando esta última opción es del mismo orden.

## 4.2. Instalaciones de ACS para multiviviendas: configuraciones

Existen gran cantidad de posibles configuraciones a la hora de diseñar un sistema de energía solar térmica de baja temperatura para dar servicio de A.C.S. en un edificio de multiviviendas, por lo que se presentarán a continuación únicamente algunas de las más comunes indicando sus ventajas o desventajas más importantes. Los nombres con los que se suelen designar cada una de las posibles configuraciones difieren según el criterio del diseñador, es por eso que se incluirá para cada una de las tipologías un pequeño esquema de principio para identificarla correctamente.

### 4.2.1. Acumulación distribuida

La Fig. 10 muestra el esquema de principio que identifica este tipo de configuración.

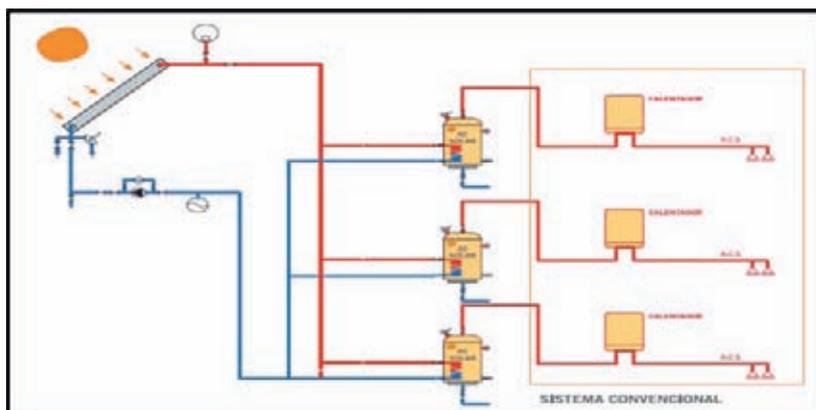
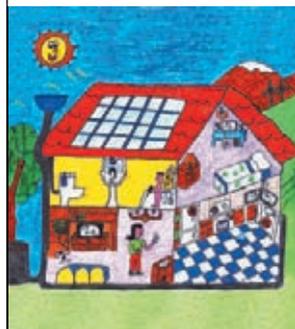


Figura 10. Acumulación distribuida.

En cada vivienda se instala un acumulador cuyo tamaño dependerá del número total de dormitorios. Un ejemplo puede ser el siguiente:

- Viviendas de dos dormitorios: inter-acumulador de 110 litros con una superficie de intercambio del serpentín en torno a  $0,6 \text{ m}^2$ .
- Viviendas de tres dormitorios: inter-acumulador de 150 litros con una superficie de intercambio del serpentín cercana a  $0,8 \text{ m}^2$ .





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

El caudal que circula por los acumuladores está asociado al que circula por el campo de captadores. El agua del circuito de distribución no es agua de consumo, ya que la transferencia de energía se realiza a través de un serpentín situado en el interior de cada depósito de acumulación. En esta configuración también es muy importante el correcto equilibrado del circuito de distribución para repartir equitativamente la energía obtenida en el campo de captadores.

Para el control de las bombas existen diversas alternativas, a continuación se mostrará una de ellas.

Mediante el uso conjunto de sondas de radiación y temperatura las bombas se ponen en marcha a partir de un valor mínimo de radiación solar y una diferencia mínima de temperatura entre la existente en el campo de captación y la unión de todos los retornos de los inter-acumuladores. A su vez existirá un conjunto de electroválvulas de dos vías a la entrada de cada inter-acumulador que se abrirá si la diferencia de temperatura entre la base del mismo y la entrada a su ramal de abastecimiento desde el montante principal es mayor a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , este procedimiento impediría que el agua del secundario circulara por el serpentín del depósito cuando la temperatura en el circuito de distribución fuese inferior a la del propio depósito contribuyendo a su enfriamiento en vez de a su calentamiento, que en definitiva es el objetivo.

Con esta configuración, el espacio ocupado en cada vivienda es elevado, aunque si bien es cierto que no es necesario reservar espacios comunes para los depósitos, en el caso de acumulación centralizada, la independencia entre los usuarios aumenta, ya que cada uno de ellos tiene su propio depósito de acumulación solar.

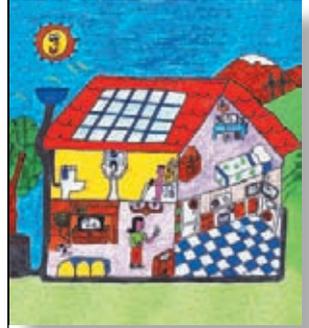
Algunas de sus ventajas son:

- Total independencia en consumo de gas y agua, no hay facturación ni gestión adicional de consumos energéticos comunes.
- No es necesario copar espacio alguno en zonas comunes del edificio, exceptuando en la cubierta.

Por el contrario sus principales desventajas son:

- Un alto coste asociado tanto en distribución como en acumulación.

- Pérdidas altas de calor al aumentar la superficie total en la acumulación.
- Complejo sistema de regulación del sistema.
- Necesidades grandes de espacio para la ubicación de acumuladores en cada vivienda.
- Dificultad en las labores de mantenimiento.



#### 4.2.2. Acumulación centralizada con intercambiadores independientes

El esquema de principio se encuentra representado en la Fig. 11.

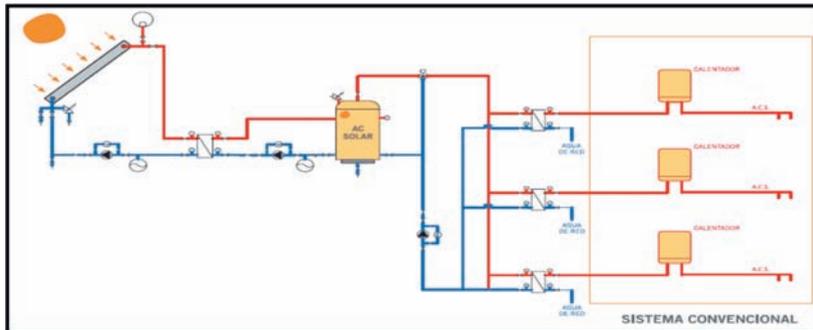
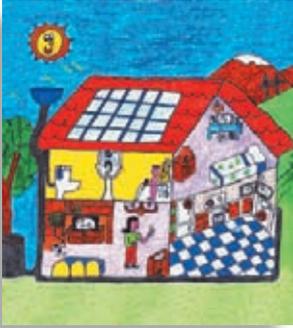


Figura 11. Acumulación centralizada con intercambiadores independientes.

En cada vivienda es necesario disponer de la suficiente potencia de intercambio entre el circuito terciario y el de consumo de la vivienda. Teniendo en cuenta un caudal punta de consumo de entre 11 l/min y 13 l/min y un salto térmico entre temperatura de agua de red y consumo de unos 30 °C, puede evaluarse la potencia requerida en estos equipos. El dimensionado de los intercambiadores de calor es crítico, ya que debe tener potencia suficiente para satisfacer el máximo consumo de agua caliente que pueda preverse, y de este modo, aprovechar al máximo el sistema solar.

El circuito de distribución es un circuito cerrado. La energía solar acumulada se hace circular a través del primario de cada uno de los intercambiadores de calor individuales. El caudal que circula a través



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

del circuito de distribución es muy superior al caso de agua de consumo centralizada, ya que se deben satisfacer las demandas térmicas en los puntos de consumo. Este hecho provoca una ruptura de la estratificación y un menor número de horas de funcionamiento del circuito de captación incluso disminuirá su rendimiento y la energía total aportada al consumo. Finalmente, el dimensionado de bomba y tuberías del terciario deberá tener en cuenta el elevado caudal que deben mover para poder garantizar el elevado salto térmico en cada uno de los intercambiadores de las viviendas.

Para tratar de reducir los perjuicios provocados por la rotura de la estratificación, se pueden realizar entradas de agua a diferentes alturas en el depósito, en función de la temperatura de retorno. Además se puede reducir el caudal de recirculación y el tamaño de la bomba y tuberías si se provee a los intercambiadores de un control de caudal en función del consumo instantáneo en la vivienda a la que da servicio. Esto puede realizarse mediante válvulas de dos vías asociadas a sensores de flujo, de tal modo que permitan el paso de agua sólo en el caso de que haya consumo. Finalmente, se pueden utilizar bombas de caudal variable para poder gestionar la circulación por el circuito secundario en función del número de viviendas que demanden consumo al mismo tiempo.

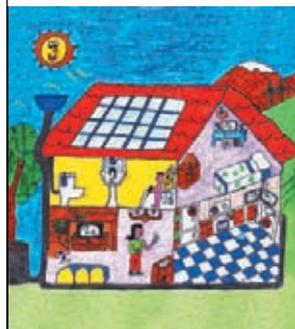
Un aspecto de suma importancia es el equilibrado hidráulico del circuito terciario para que cada intercambiador reciba el caudal adecuado y se maximice su rendimiento. Además, como la acumulación se realiza con agua en un circuito cerrado no apta para consumo, conlleva una reducción de costes en el sistema al poder usarse equipos de acumulación de materiales más económicos como el acero negro.

Las ventajas de este sistema son:

- Total independencia en consumo de gas y agua, no hay facturación ni gestión adicional de consumos energéticos comunes.
- Pérdidas de calor de acumulación reducidas.
- Función de refrigeración nocturna del acumulador posible.
- Sin necesidad de grandes espacios para la instalación del equipo de intercambio y control.

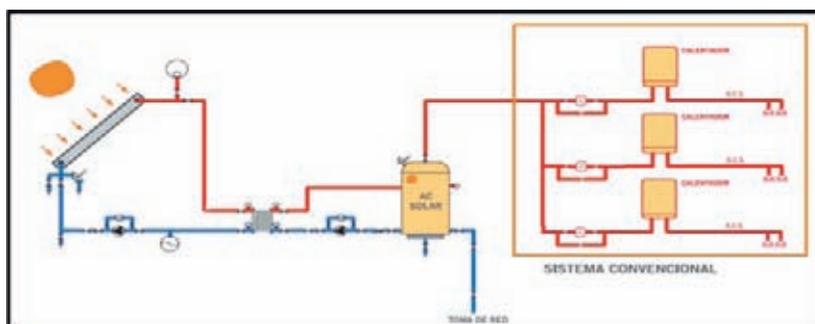
Se podrían considerar como desventajas:

- Sobrecoste asociado a la necesidad de un sistema de intercambio y de control por cada vivienda.
- Posibilidad de calcificación del intercambiador en cada vivienda y dificultad en las tareas de mantenimiento.
- Complejo sistema de regulación del sistema.
- Mayores pérdidas de rendimiento total al incluir nuevas etapas de intercambio desde la generación al consumo.



#### 4.2.3. Acumulación centralizada, sistema auxiliar independiente

A continuación, en la Fig. 12, se puede ver un sencillo esquema de principio que identifica este tipo de configuración.



**Figura 12.** Acumulación centralizada, sistema auxiliar independiente.

La acumulación puede realizarse en uno o más depósitos, conectados en serie o en paralelo. Lo recomendable sería la conexión en serie para favorecer la estratificación del conjunto.

El depósito se alimenta con agua fría de red, que finalmente será agua de consumo, y finalmente se distribuye el agua precalentada vía solar a cada sistema auxiliar situado en la vivienda. En cada una de ellas debe colocarse un contador de agua caliente solar, además del contador de agua fría de red.



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La bomba del circuito de distribución, terciario (no representada en el diagrama), es de pequeña potencia porque su misión es garantizar un mínimo caudal de recirculación que permita consumir agua en la vivienda a una temperatura similar a la del depósito y evitar que, para pequeños consumos, las pérdidas térmicas en las tuberías impidan que el agua llegue con una temperatura inferior a la deseada. El caudal de recirculación dependerá de la longitud de este circuito, de manera que se garantice que a todas las viviendas llegue el agua con una caída menor de 10 °C como máximo, respecto a la de impulsión en la salida del depósito solar, con una temperatura de 60 °C en su base.

La bomba de recirculación en el terciario funcionará continuamente exceptuando, si se considera oportuno, una parada programada en horas nocturnas.

Algunas de sus principales ventajas son:

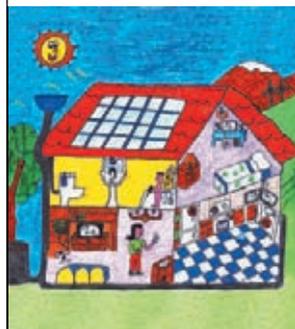
- Pérdidas de calor de acumulación reducidas.
- Instalación solar compacta y única, optimizando la superficie de captación.
- No es necesario copar espacio alguno en cada una de las viviendas, ni para instalar acumuladores ni intercambiadores.

Como desventajas podríamos destacar:

- Necesidad de contador de ACS por cada vivienda para distribuir los gastos asociados al servicio común.
- Necesidad de espacios comunes para la instalación del acumulador solar.
- Necesidad de diseñar la instalación para poder realizar choques térmicos de limpieza en instalaciones de uso estacional.

# 14 SOLUCIONES A MEDIDA PARA LA INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA

D. LUIS CARLOS BLANCO MACHÓN  
*Schüco International KG*  
[www.schueco.com](http://www.schueco.com)



## 1. Introducción

Hoy en día se puede afirmar que la tecnología fotovoltaica integrada en elementos constructivos de los edificios es una posibilidad real que viene a sumarse a la integración arquitectónica convencional en cubiertas horizontales o tejados inclinados que ya nos resultan familiares.



**Figura 1.** Lucernario en vivienda unifamiliar en Colmenar Viejo con protección solar compuesta de células fotovoltaicas integradas en el vidrio.

Esto va a permitir generar energía eléctrica en el mismo edificio donde se consume, minimizando las pérdidas por transporte eléctrico e integrando en el espacio urbano la única tecnología renovable que actualmente podría instalarse de forma masiva en el seno de las grandes ciudades.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

La Integración fotovoltaica en edificios (BIPV - *Building Integrated Photovoltaics*) camina hacia la sustitución de materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos fotovoltaicos y que, por tanto, son generadores de energía. Con esta tecnología se pueden realizar fachadas de edificios multifuncionales que integran funciones de protección y generación de energía, ofreciendo a arquitectos y diseñadores unas posibilidades únicas de diseño.

Además de la doble función mencionada, el nuevo Código Técnico de la Edificación, en su anexo HE05, también favorece esta forma de integración, ya que se aceptan mayores índices de pérdidas en la productividad, por inclinación y orientación.

## 2. Tecnología solar fabricada a medida

### 2.1. El vidrio

Existen distintos niveles de integración arquitectónica. En el más avanzado de ellos, a diferencia de los módulos estándar producidos en serie, se fabrica según las especificaciones del proyectista con un diseño individual en forma, color y estructura visual. Como solución fotovoltaica integrada en el edificio, dichos módulos pueden realizar todas las funciones de los paneles convencionales en todas las zonas de la fachada del edificio. Las fachadas sinérgicas y los tejados acristalados no solamente destacan por su manera eficiente y no contaminante de obtener energía, sino que también satisfacen las normas de calidad más altas en lo que a seguridad, confort y diseño se refiere.

Los módulos fabricados a medida están formados por dos hojas de vidrio endurecido, entre las que se fijan las células solares por medio de una resina transparente no degradable ni por luz ni por calor que presenta así un alto nivel de fijación, seguridad y transparencia a lo largo de los años. Se denominan vidrio-vidrio por este motivo. Cada elemento lleva dos conexiones eléctricas. Todos los elementos se conectan entre sí formando un sistema generador de corriente continua.

Cada fabricación es específica. Esta flexibilidad de concepción permite igualmente la elección del acristalamiento en función de criterios de uso, así como del tipo y nivel de prestaciones de las células solares.

Por regla general, el acristalamiento exterior o delantero es un vidrio con bajo contenido en hierro y alta transparencia que permite ofrecer al sistema fotovoltaico un alto nivel de transmisión energética. Para el vidrio interior o posterior, se pueden utilizar una gran gama de productos. A menudo se emplean para conseguir colores de fondo y motivos. La elección de un vidrio u otro modificará el color de transmisión del conjunto. El vidrio interior puede ser también un vidrio laminado o un doble acristalamiento transparente.

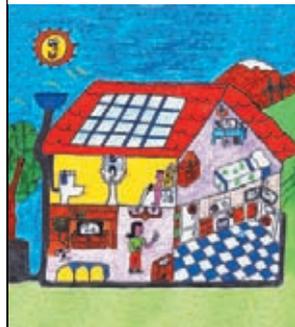
La amplia gama de colores y formas de las células y cristales permite una gran libertad en el diseño concreto del edificio. Los módulos no requieren mantenimiento y cumplen con las características funcionales y estéticas de un acristalamiento convencional.

En especial, los módulos fotovoltaicos vidrio-vidrio como nuevos elementos de construcción optimizan el cumplimiento del CTE, aportando no sólo soluciones para el cumplimiento del documento básico HE 5, Contribución FV mínima de energía eléctrica, sino también apoyando la implantación de las normas del documento básico HE 1 Limitación de demanda energética, mediante el efecto de protección solar de los módulos FV, lo que permite reducir significativamente la carga térmica de los edificios sin elementos de sombreado adicionales.

Asimismo, para la elección de los cristales de alta calidad se dispone de los tamaños, formatos y modelos más variados, desde una simple combinación de cristal/Tedlar hasta modelos con vidrio aislante, vidrio antisonoro o de seguridad.

Los cristales pueden fabricarse en todas las graduaciones de entre aproximadamente 200 x 300 mm hasta 2.000 x 3.000 mm. Aparte de los formatos corrientes pueden realizarse también formatos especiales, como por ejemplo con cantos redondeados, permitiendo así la realización de edificios con un diseño muy exigente.

Debido a la baja conductividad térmica del vidrio, el calentamiento o el enfriamiento parcial provoca tensiones que pueden originar las denominadas roturas térmicas. El riesgo más frecuente de rotura térmica se presenta en los bordes de los vidrios absorbentes montados en un resalte y sometidos a una fuerte exposición solar, ya que se calientan más lentamente que la superficie. Cuando las condiciones de utilización o instalación puedan implicar diferencias de temperatura importantes en un vidrio será necesario tomar las precauciones oportunas





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

de colocación y fabricación. Con un tratamiento adecuado el vidrio puede soportar diferencias de temperatura de 150 a 200 °C.

El espesor de los cristales disponibles es determinado por los requerimientos estáticos y la reglamentación urbanística local.

Los vidrios frontal y trasero deben ser templados, primero para adquirir suficiente robustez contra impactos y, segundo, para aguantar el choque térmico debido al calentamiento de las células FV en operación. Sin embargo, se debe encontrar el punto óptimo de temple para conseguir una mínima estabilidad del vidrio en caso de rotura.

Se recomienda usar un módulo FV con denominación de Vidrio laminado de seguridad según la norma EN 14449:2005 y que cumpla las directivas de los productos de construcción.

El requisito de máxima resistencia contra rotura es de gran importancia sobre todo en aplicaciones que cubran un paso de personas. Para estas aplicaciones se recomienda que la resina que sostiene las células aguante una presión mayor de 20N/m<sup>2</sup> para evitar la rápida caída de los vidrios FV en caso de rotura.

Los vidrios FV se instalan de igual manera que cualquier otro vidrio de construcción y se pueden usar con cualquier sistema de fachada tradicional.

## 2.2. Células solares

La estética de los paneles FV es determinada fundamentalmente por la elección de la célula solar: estructura, tamaño, formato y color pueden combinarse de forma muy variada.

En los módulos, como sucede por ejemplo en el módulo PROSOL, se pueden utilizar dos tipos de células: células solares mono-cristalinas o poli-cristalinas.

- Las *células solares mono-cristalinas* tienen una apariencia sombreada de color negro, plateado o azul. Son las que aportan un rendimiento más elevado, transformando hasta el 16% de la energía solar en electricidad.

- Las células solares poli-cristalinas de tamaño comparable a las anteriores, 125 x 125 mm ó 156 x 156 mm, están formadas por planos cristalinos orientados en diferentes direcciones, que reflejan una parte de la luz visible bajo diversos índices, con matices azul claro, gris, y para ciertas aplicaciones, bronce o plateado. Su rendimiento eléctrico puede alcanzar el 14%.

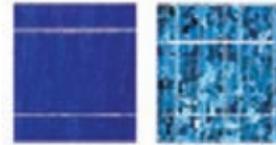
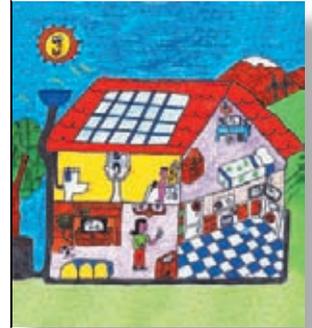


Figura 2. Células Mono y Poli Cristalinas.

- Célula BSC (*back-side-contact*) destaca por su extraordinario rendimiento de más del 20% y ofrece además una estética clara y elegante. La razón de este valor tan innovador es la supresión de la actual rejilla de contacto de la cara frontal, eliminando así las sombras.
- Célula amorfa. Se trata de dar al vidrio un baño con los componentes químicos necesarios para lograr el efecto fotovoltaico. No tiene el apellido "cristalino" porque es un estructura completamente desordenada de tonos rojizos o grises, homogénea —no forma una cuadrícula— y con un pequeño índice de transparencia en algunos casos. La productividad por metro cuadrado es más baja, de entre el 6% y el 10%.



Figura 3. Módulos de capa fina.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

El rendimiento de color del conjunto del módulo solar puede ser modificado y adaptado mediante un ordenamiento geométrico de las células. Puede orientarse horizontal o verticalmente; la distancia entre ellas puede variar bajo demanda, siempre y cuando se respete una distancia mínima de 2 mm. Así, el proyectista dispone de un parámetro adicional: la densidad de las células de los acristalamientos.

### 2.3. Conexión eléctrica

Los módulos deben ser conectados entre sí para formar el circuito eléctrico. En la integración arquitectónica se usan generalmente terminales de conexión lateral, por motivos estéticos, ya que quedan dentro de los perfiles del sistema estructural. Así, el cableado se realiza dentro de los montantes y/o travesaños de la fachada (o cubierta). En la selección del sistema estructural se debe evaluar si esto es posible porque no todos los sistemas son adecuados.

## 3. Aplicaciones y posibilidades

Existen diversos grados de integración arquitectónica que van desde los más adaptados a los criterios del proyectista, que exigen la ya mencionada fabricación a medida, a sistemas estándar que responden a criterios generales.

Así mismo, hay también en el mercado, distintas tecnologías.

En todo caso, la utilización de módulos FV, ya sean fabricados a medida o estándares, brinda un sinnúmero de posibilidades para combinar de forma innovadora el aprovechamiento moderno de la energía solar con una arquitectura individual y racional, que es el punto que debe resolverse siempre.

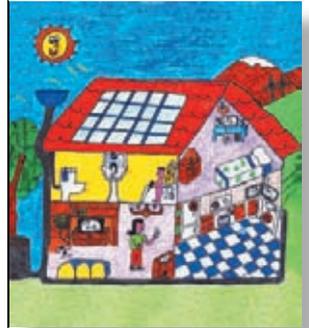
Algunas soluciones:

- Fachada con ventilación trasera.
- Fachada con/sin ventilación trasera.

- Fachada sin ventilación trasera.
- Construcción de tejado acristalado.
- Lucernarios.
- Pérgolas.
- Muro cortina.
- Voladizo.
- Protección solar con lamas.
- Balcón.
- Galería acristalada.
- Integración en tejado.
- Tejado inclinado.
- Cubierta horizontal.

### **3.1. Fachada con ventilación trasera**

Los módulos FV en fachadas con ventilación trasera actúan como envoltura exterior contra las influencias meteorológicas y sirven al mismo tiempo de elemento creativo y destacado para la fachada. Pueden emplearse para esta aplicación módulos de cristal/Tedlar o de doble cristal con vidrio de seguridad sencillo. Con la adaptación dimensional de los módulos FV al reticulado de la fachada se logra una apariencia muy integrada y cerrada. Se puede conseguir un toque especial con módulos dotados de células solares policristalinas que reflejan la luz solar en la fachada, resplandeciendo en un tono azul muy destacado visible desde lejos. Vidrios de tecnología amorfa, dan un elegante tono rojizo o gris a la fachada. Únicamente debe tenerse en cuenta que debido a la inclinación de 90°, el CTE sólo lo permite en fachadas sur, con muy poca desviación.





### **3.2. Fachada con/sin ventilación trasera**

El hecho de que los módulos FV puedan utilizarse en fachadas con y sin ventilación trasera, por ejemplo balaustradas o áticos, proporciona más libertad de configuración y permite la realización de fachadas atractivas con un reticulado exterior uniforme o bien vidrios de tecnología amorfa que dan un tono rojizo o gris a la fachada.

Incluso en las fachadas con una geometría poco común se puede adaptar la forma de los módulos y células a los bordes del edificio mediante la mecanización por láser.

Además, si se trabaja con la modulación adecuada estas soluciones pueden implantarse con módulos y fijaciones estándar.

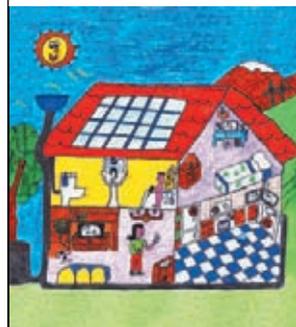
Únicamente debe tenerse en cuenta que debido a la inclinación de  $90^\circ$ , el CTE sólo lo permite en fachadas sur, con muy poca desviación.

### **3.3. Fachada sin ventilación trasera**

Una fachada solar sin ventilación trasera con módulos FV como paneles cumple con todos los requerimientos que se exigen de una fachada como elemento de cierre de espacio: capacidades estáticas, aislamiento térmico, protección contra la intemperie y aislamiento acústico. Los módulos de vidrio aislante transparentes o semitransparentes destacan por unos valores  $U_g$  extraordinarios, permitiendo así la sustitución de acristalamientos aislantes convencionales. La integración total técnica y arquitectónicamente de todos los componentes de la fachada, incluyendo la generación de energía solar, en un solo plano permite opciones de diseño excepcionales con una apariencia plana en toda la fachada. Únicamente debe tenerse en cuenta que debido a la inclinación de  $90^\circ$ , el CTE sólo lo permite en fachadas sur, con muy poca desviación.



Figura 4. Fachada a medida.

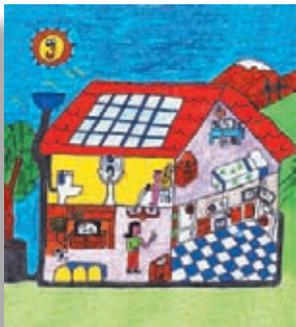


### 3.4. Construcciones de tejados acristalados

Como elementos de inserción multifuncionales en construcciones de tejados acristalados, los módulos FV permiten soluciones arquitectónicas extraordinarias con diseños interiores y exteriores de gran variedad. Como cubierta semitransparente sirven por un lado de protección térmica, solar, antideslumbrante y protección contra la intemperie y por el otro proporcionan también una utilización selectiva de la luz natural y su efecto en el interior, según la colocación de células, distancia entre ellas, color del módulo, etc. Con la utilización de células FV perforadas semitransparentes se consigue una dispersión muy fina de la luz en el interior del espacio cubierto.

Superficies con ángulos de inclinación adecuados aseguran además altos rendimientos solares.

Al mismo tiempo, estos módulos asumen las mismas funciones de protección como un acristalamiento tradicional. Para esta aplicación, es muy importante tener en cuenta una alta resistencia contra rotura para obtener una seguridad adecuada contra caída de los vidrios en caso de rotura. Se pueden utilizar laminados simples o vidrios de cámara en el caso de requerir una mayor protección térmica.



### **3.5. Lucernarios**

Los módulos FV de doble vidrio son muy aptos para regular la entrada de luz en los lucernarios. Arquitectónicamente se pueden obtener grandes efectos interiores para la creación de sombras.

En cuestiones de seguridad y funcionalidad son válidos los mismos criterios que para cubiertas acristaladas.



**Figura 5.** Techo acristalado

### **3.6. Pérgolas**

Igual que para cubiertas cerradas los módulos FV de doble vidrio también son muy indicados para construir pérgolas traslucidas. Se deben aplicar los mismos criterios de seguridad si se cubre un paso de personas. Un efecto especialmente apreciado en esta aplicación es el carácter no deslumbrante de los módulos FV que hace del espacio por debajo de la pérgola un lugar de encuentro agradable en verano.

### **3.7. Muros cortina**

Los módulos FV de doble vidrio son perfectamente aptos para su colocación como muro cortina o fachada panel, ya que cumplen con todos los requisitos que se exigen a este tipo de fachadas en la construcción convencional. Debido a los requerimientos de comportamiento térmico de los edificios establecidos en el nuevo CTE, en la mayor parte de los casos se utilizarán vidrios FV de cámara que ofrecen valores

U excepcionales. Únicamente debe tenerse en cuenta que debido a la inclinación de  $90^\circ$ , el CTE sólo lo permite en fachadas sur, con muy poca desviación.

### 3.8. Voladizos

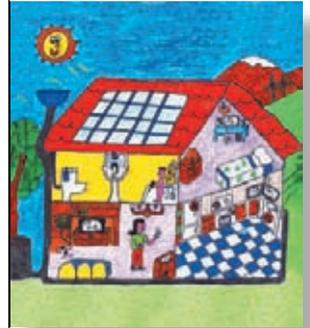
Integrados en voladizos encima de ventanas, entradas o terrazas, los módulos FV no solamente protegen de la radiación solar, la lluvia y la nieve sino que también suministran corriente eléctrica. La instalación con una inclinación óptima de  $30^\circ$  a  $45^\circ$  y la ventilación trasera condicionada por razones constructivas proporcionan un alto rendimiento solar. Los voladizos FV ofrecen soluciones creativas, complementando de manera armónica los diseños individuales de fachadas. Esta solución es posible también con módulos y fijaciones estándar.

### 3.9. Protección solar con lamas

Para acristalamientos de gran superficie suelen utilizarse hoy en día instalaciones de protección solar hechas a medida con elementos eficientes para la creación de sombras. Las lamas, fijas o móviles, resaltan especialmente en proyectos comerciales. Sobre todo el sistema de lamas móviles de accionamiento eléctrico, que permiten obtener la inclinación más adecuada y es, por lo tanto, un soporte ideal para los módulos FV, proporcionando una combinación óptima de protección solar transparente hacia el exterior, un alto rendimiento eléctrico y unas opciones de diseño extraordinarias.



Figura 6. Lamas.





### 3.10. Balcón

El empleo de módulos semitransparentes de cristal/cristal como paneles en balcones es una manera perfecta de tener buena visibilidad y privacidad al mismo tiempo. Ofrecen las mismas características estáticas que el vidrio de seguridad laminado y dan un toque atractivo a edificios de viviendas.



Figura 7. Balcón.

### 3.11. Galería acristalada (veranda)

En la construcción de viviendas particulares, los tejados acristalados de verandas constituyen un campo de aplicación ideal para los módulos FV. Con una disposición individual de las células solares y la libre elección del cristal, los módulos proporcionan la entrada controlada y antideslumbrante de la luz natural, reflejando al mismo tiempo el calor. El resultado es una veranda de un diseño altamente estético con funciones integradas de protección solar y climatización sin mantenimiento combinada con la generación económica de corriente solar durante mucho tiempo.

### 3.12. Integración en tejado

En tejados ciegos la mejor integración arquitectónica se logra sustituyendo parte de la cobertura de teja, pizarra, metálica u otros tipos por módulos solares y fijaciones estándar. Esta solución da efecto de

ventana en cubierta y, si el tejado está orientado e inclinado adecuadamente, es uno de los sistemas con mejor rentabilidad por sus reducidos costes, al ser fabricación estándar.

### 3.13. Tejados inclinados

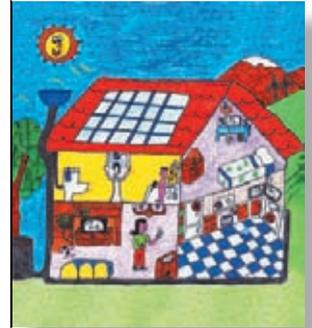
Se trata de una forma de ver la integración arquitectónica similar a la anterior, también con módulos y fijaciones estándar, pero sin sustituir elementos constructivos de cobertura. El anexo HE05 del Código Técnico de la Edificación es menos tolerante en cuanto a pérdidas admisibles con este tipo de integración.



Figura 8. Integrado.

### 3.14. Cubiertas horizontales

Las cubiertas horizontales, en cumplimiento del Código Técnico de la Edificación HE 05, exigen de la implantación de escuadras que doten a los módulos de una cierta inclinación hacia una orientación con componente sur. Dichas escuadras se pueden fijar con latre y ancladas a la cubierta. Si bien son el tipo de cubierta más simple de montar y mantener la integración lograda es la menor de todas y debería lograrse como regla general que no se puedan ver desde las proximidades del edificio.





## 4. Energía generada y pérdidas

### 4.1. Orientación e inclinación

La orientación y la inclinación del campo FV tiene una influencia importante en el comportamiento energético de la instalación FV. La orientación óptima en el hemisferio norte siempre es el sur. La inclinación óptima se puede aproximar con la latitud  $-10^\circ$ , lo que resulta en España en una aproximación media de  $30^\circ$  respecto a la horizontal. Desviaciones de este punto óptimo de orientación e inclinación conllevan pérdidas energéticas respecto a la generación máxima posible.

Durante el proyecto se debe prestar atención a la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos, así como a las posibles sombras que puedan incidir sobre la superficie.

Como promedio anual el máximo rendimiento energético en nuestra latitud se consigue en una superficie orientada al sur y con una inclinación aproximada de  $30^\circ$  con la horizontal. Incluso aunque la orientación del módulo fotovoltaico esté desviada con respecto a la ideal y teniendo en cuenta que en fachadas se está desviando además el grado de inclinación óptimo, un elemento fotovoltaico, en fachada orientada al sur todavía genera el 65% de su máximo rendimiento energético disponible.

### 4.2. Proyección de sombras

Se debe evitar al máximo la proyección de sombras en los campos FV por más pequeñas que sean, sobre todo en horas de más sol (por la mañana y tarde difícilmente se podrá evitar alguna sombra en la integración arquitectónica). Pequeñas sombras pueden provocar que gran parte del módulo no funcione debido a que la mayor parte de las células fotovoltaicas están conectadas en serie. Las células solares afectadas por sombras obstaculizan el paso de la corriente de todo el módulo FV condicionando la potencia total. Por lo tanto, se deben evitar las sombras a la hora de planificar una superficie con un sistema FV.

### 4.3. Rendimiento energético

El rendimiento energético de una célula FV disminuye con un aumento de su temperatura. Una célula FV en funcionamiento produce un

calor residual que debe ser evacuado. Esto resulta más fácil si la parte trasera del módulo FV está ventilada. En la mayor parte de los casos de integración arquitectónica esto no es posible y se tiene que calcular con pérdidas debido al calentamiento del módulo. Este efecto es aún más importante en vidrios de doble acristalamiento por su gran aislamiento térmico y en sistemas integrados en cubierta.

Las células amorfas tienen un peor comportamiento con la temperatura pero es acusado en menor grado que en las tecnologías cristalinas.

#### **4.4. Un retorno de inversión y energético positivo**

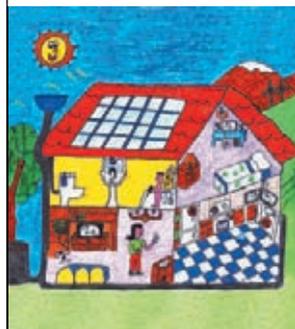
La inversión en tecnología fotovoltaica integrada en edificios no solamente se amortiza bajo aspectos económicos conforme al Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, sino que además proporciona unas ventajas adicionales como el aumento de valor del inmueble y funciones de protección para el edificio, consiguiendo una mejor calificación energética para la obtención de los necesarios certificados de eficiencia energética, conforme al Real Decreto 47/2007.

Tampoco debe olvidarse el beneficio en imagen para arquitectos y promotores, ya que les proporciona un diseño poco común y el empleo de una tecnología no contaminante con futuro.

Precisamente, uno de los aspectos relacionados con la fabricación de las células, que más ha dado que hablar estos últimos años, es el tiempo de retorno energético de la célula, es decir, cuánto tarda una célula fotovoltaica en producir la electricidad que se empleó en su fabricación.

Según un estudio realizado por la IEA-PVPS, la sección para la fotovoltaica de la Agencia Internacional de la Energía; la Plataforma Europea para la Tecnología Fotovoltaica y la EPIA, Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea —desde este sitio web puede obtenerse el citado informe— las tasas de retorno energético son como siguen:

Dependiendo de la radiación solar de cada emplazamiento, es de entre 19 y 40 meses para sistemas instalados en los techos de los edificios; y de entre 32 y 52 meses para los sistemas en fachadas. Partiendo





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

de que la vida útil de un sistema fotovoltaico alcanza los 30 años, éstos devuelven, en instalaciones en tejados, entre 8 y 18 veces la energía empleada en fabricarlos; y entre 5,4 y 10 veces para instalaciones en fachadas, siempre dependiendo de la localización geográfica de los edificios. En cuanto a las emisiones de  $\text{CO}_2$ , dependientes en este caso del "mix" energético de cada país, un kilovatio fotovoltaico puede suponer un ahorro en emisiones de 40 toneladas a lo largo del ciclo de funcionamiento del sistema cuando tratamos con instalaciones en tejados; y de 23,5 toneladas de  $\text{CO}_2$ , cuando se trata de fachadas.

## 5. Conclusiones y ejemplo

La utilización de elementos fotovoltaicos integrados en los edificios para la transformación de la energía solar en corriente eléctrica es una tecnología respetuosa con el medio ambiente y con una gran proyección de futuro.

La integración de módulos fotovoltaicos en el revestimiento del edificio ofrece una alternativa a los habituales elementos de cobertura o cerramiento, que proporciona rentabilidad energética y ayuda al mantenimiento de los recursos.

Existe todo un abanico de posibilidades en generación de energía eléctrica, tanto para cubrir con las necesidades del Código Técnico de la Edificación como para también abrir nuevas dimensiones para una arquitectura solar y eficiente.

Además de aunar tecnología y estética, la gestión de la energía y el aprovechamiento de una fuente de energía renovable juega un papel cada vez más importante a la hora de planificar un edificio.

### **5.1. Ejemplo práctico: Centro de Estudios sobre Alzheimer de la Fundación Reina Sofía (Madrid)**

En este ejemplo se presenta, además de las ventajas de toda la gama de productos y las múltiples soluciones con Energía Solar Fotovoltaica vidrio-vidrio, una posibilidad de instalación con un ejemplo en un proyecto de un gran edificio. Como se trata de un proyecto de lamas

FV se podría planificar la instalación con el edificio ya terminado, no necesariamente en la fase de proyecto.

### Sistema de lamas fotovoltaicas

El sistema de lamas fotovoltaicas de Schüco seleccionado, supone el reto de combinar completamente los conocimientos de sistemas de aluminio para la realización de un sistema de lamas, con los conocimientos de sistemas solares fotovoltaicos, y la fabricación de módulos a medida.

### Dimensiones

El sistema SunControl de lamas móviles, tiene una variante con vidrio que permite poner un módulo FV (fotovoltaico) en su lugar.

Como sistema estándar, las medidas son las siguientes:

Ancho: 300 mm.

Grosor: 12 mm.

Largo: un máximo entre 2,5 y 3,15 m, en función de la altura y del refuerzo del perfil.

### Fijación del vidrio

Con el clip (o grapa) estándar, con un vidrio de 300 mm de ancho, queda una luz entre clip inferior y superior de 237 mm. Para un vidrio de 312 mm de ancho, que da una luz de 249 mm.

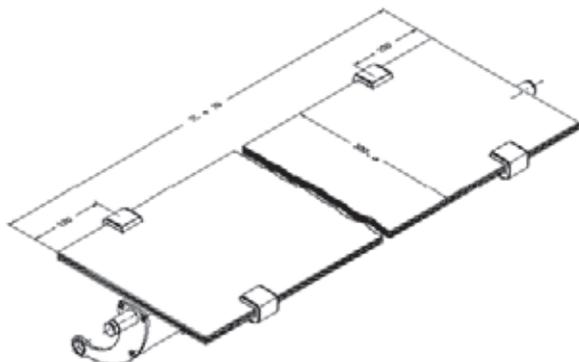
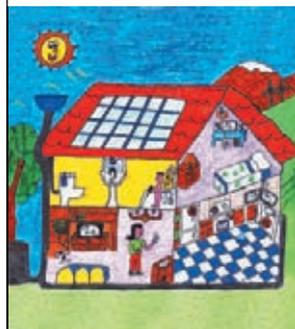


Figura 9. Módulos fotovoltaicos en forma de lama.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



**Figura10.** Sección de un módulo FV vidrio-vidrio.

Dos vidrios protegen unas células fotovoltaicas rodeadas de resina.

La resina que rodea las células, ocupa 2 mm de grosor. Como que el SunControl está diseñado para grosores de 12 mm, la configuración del vidrio de la lama es:

- 5 mm de vidrio.
- 2 mm de resina y células FV.
- 5 mm de vidrio.

La resina entre los dos vidrios, se pone para la protección de las células y su aislamiento, y al mismo tiempo actúa como la lámina de un vidrio de seguridad (aunque no está certificada u homologada para esa función).

### **Configuración fotovoltaica de las lamas**

Para colocar células FV en las lamas, se deben tener en cuenta las dimensiones de éstas:

- 100 x 100 mm (son las que salen en la foto, pero ya se han dejado de fabricar).
- 125 x 125 mm (variante 125,5 x 125,5).
- 156 x 156 mm.

Y que además:

- Separación mínima entre células: 2 mm
- Separación mínima de célula al final del vidrio: 30 mm

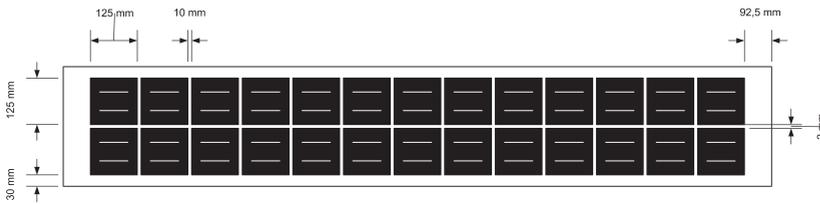


Figura 11. Ejemplo de lama de 312 mm de ancho con células de 125x125 mm.

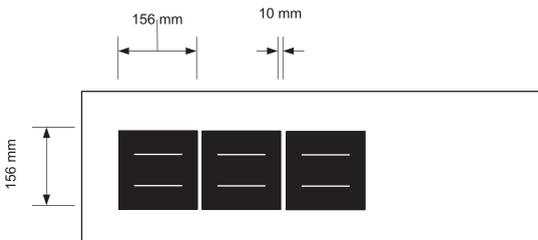


Figura 12. Ejemplo de lama de 300 mm con células de 156 x 156 mm.

### Opacidad

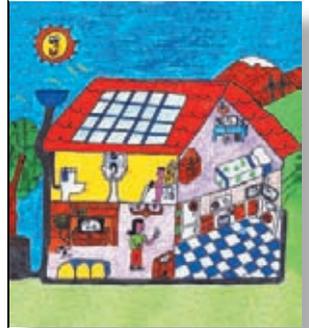
Las células FV son completamente opacas, pero al dejar separaciones entre ellas, y con respecto al borde, tenemos zonas por donde la luz puede entrar.

Las lamas se colocan generalmente para proteger el interior de la luz exterior. Así que es posible que unas lamas semitransparentes no cumplan con los deseos del cliente. En esos casos hace falta que el vidrio trasero de la lama lleve un tratamiento para hacerlo más opaco. Puede ser un texturizado, coloreado o bien pintura. Estas variantes se deben explicitar en el pedido de las lamas, así como el color deseado, o incluso el dibujo del texturizado.

### Colocación

Aquí es donde hay que aplicar todo el conocimiento solar, para adaptar un sistema de protección solar, a un sistema de captación solar.

El sistema de lamas está pensado para dar sombra, y en cambio, para la energía solar, no podemos permitir que las células estén permanentemente en sombra.





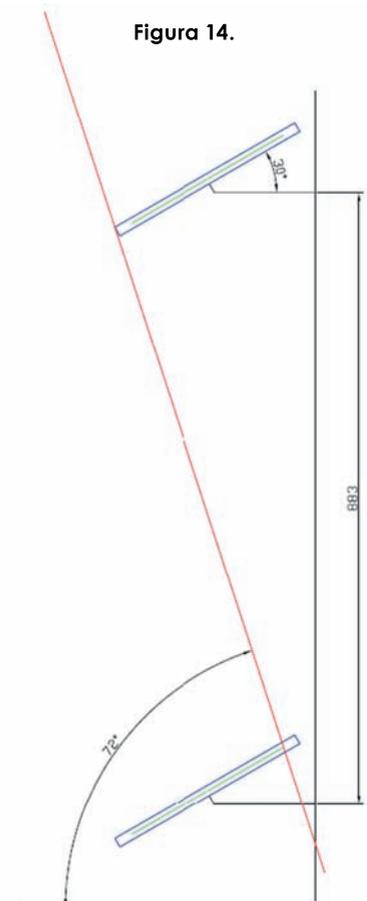
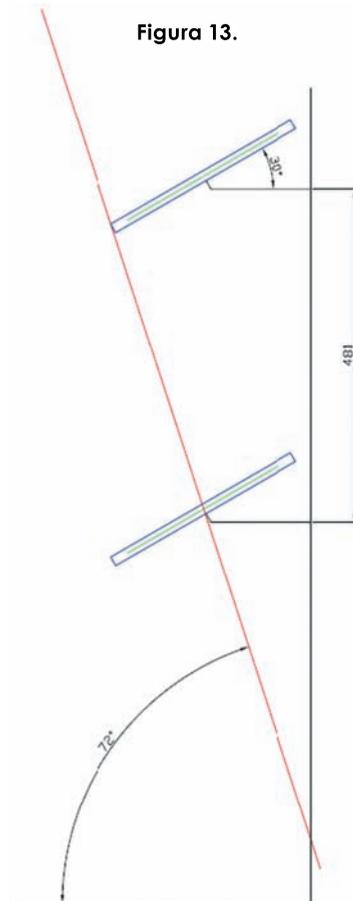
### Sombreado entre lamas

La lama superior hace sombra a la lama inferior. Para evitar esto, hay que separar las lamas de forma que la lama superior sombree el menor tiempo posible ninguna célula de la lama inferior.

En una fachada orientada a sur, se debe tener en cuenta el ángulo de incidencia del sol en los meses de verano, que es cuando más elevado está, y la sombra es más larga. Para las latitudes de la Península Ibérica y Baleares este ángulo es de  $70^\circ$  a  $75^\circ$ .

Para una lama fija a  $30^\circ$  respecto a la horizontal:

En el gráfico se ve claramente, que la separación de lamas es fuera de lo habitual, si se quiere evitar el sombreado a una lama de dos filas de células.



Por ejemplo, si se admite un sombreado de la primera fila de células, es decir, hasta la mitad de la lama, entonces la distancia entre lamas cambia, se reduce a casi la mitad.

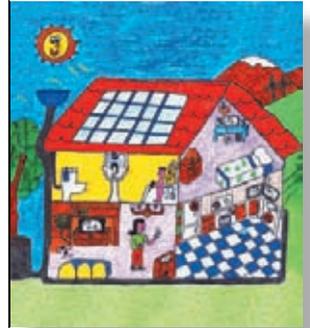
### **Control de movimiento de lamas**

En el mercado se dispone de un control sofisticado del movimiento de las lamas, programable según la orientación de la fachada y la latitud de la localidad, para colocar las lamas protegiendo del sol, es decir, siguiéndolo.

Se puede hacer que unas lamas giren y otras no, o que lo hagan con otra lógica.

## **6. Bibliografía**

- ALSEMA; DE WILD, y RHENAKIS (2006): 21 Conferencia Europea de la Energía Fotovoltaica. EPIA-GREENPEACE.
- SCHÜCO: Documentación interna.



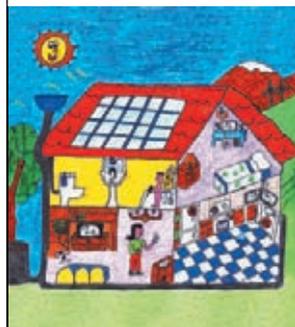


# 15 ASCENSORES DE ÚLTIMA GENERACIÓN

D. RAFAEL MACÍA APARICIO

Zardoya OTIS

[www.otis.com](http://www.otis.com)



## 1. Introducción

La degradación del medio ambiente y el cambio climático en el Planeta son motivos universales de preocupación, acrecentados tras las evidencias del deshielo en los polos y regiones adyacentes, el tiempo en los últimos años y, sobre todo, por los informes de la ONU firmados por los científicos más relevantes.

Hemos pasado de vivir millones de años experimentando únicamente las variaciones naturales a pensar en la muerte ecológica de la Tierra, y sólo hace unos 40 años que se empezó a hablar de los conceptos nuevos hoy tan en boga como polución y contaminación.

Para evitar o frenar este proceso exponencial, aparecen como únicas soluciones el dejar de contaminar (prácticamente imposible, al suponer un retroceso en el progreso y bienestar para los países ricos y la renuncia al desarrollo y a la mejora de las condiciones de vida para los medios y pobres) y el contaminar menos.

Esta última solución, basada en el ahorro generalizado por la reducción del consumo energético, el aumento de la eficiencia en el uso de la energía, y la mayor utilización de las fuentes limpias y renovables parece la única posible, y requiere una decisión y unos esfuerzos mundiales conjuntos para alcanzar el desarrollo sostenible.

Dentro del consumo energético en general, uno de los apartados más importantes es el realizado en el interior de los edificios y, en particular, en las viviendas y, en ellas, el consumido por los ascensores. El reducir drásticamente este consumo de energía es responsabilidad de todos aquellos que participan en el diseño, la construcción, el uso y la conservación de los edificios.



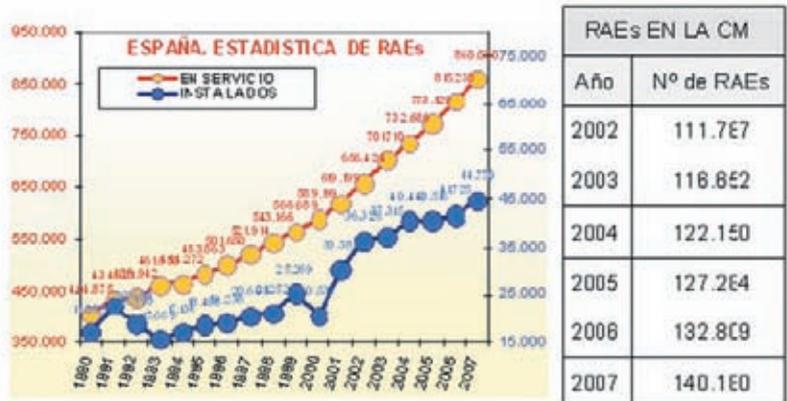
## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

En el folleto de 2007 de la Comunidad de Madrid “Elévate con seguridad y energía” puede leerse que “El consumo de energía eléctrica de un ascensor puede alcanzar hasta el 80% del consumo eléctrico de la Comunidad de Propietarios”.

### 1.1. Algunos datos y consideraciones relativos al ascensor

El ascensor es el medio de transporte más utilizado y más seguro. Para corroborarlo, daremos los siguientes datos:

- Existen en el mundo unos 10 millones de ascensores en funcionamiento. De ellos, más de 900.000 en España (y 150.000 en la Comunidad de Madrid), transportan al día en sus 200 millones de viajes el equivalente a 8 veces la población estatal. Véase la Fig. 1.



**Figura 1.** Evolución del número de ascensores en funcionamiento incluidos en el Registro de Aparatos Elevadores (RAE) en España y en la Comunidad de Madrid.

- El recorrido que realizan diariamente estos ascensores es de unos 2.400.000 km, lo que supone dar 60 vueltas a la Tierra.
- Si comparamos los pasajeros transportados por los ascensores con los de los demás medios de transporte públicos, resulta que los elevadores mueven 17 veces más viajeros que todo el tráfico público aéreo, marítimo, ferroviario, de metros, de autobuses, etc., juntos.

Respecto a la seguridad, el ascensor es unas 10 veces más seguro que el avión, considerado por todos como el medio de transporte seguro por excelencia, ya que en la aviación hay serias dificultades para evitar los 1,5 accidentes por cada millón de vuelos (considerar los fallecimientos por cada accidente), mientras que los ascensores españoles tienen una media en los últimos años de un incidente de cualquier gravedad cada 300 millones de viajes y una fatalidad cada 10.000 millones de desplazamientos.

El ascensor es el único medio de transporte que en el mundo, en Europa y en particular, está regulado en cuanto a la seguridad de usuarios, inspectores, trabajadores y público en general por Legislación y Normativa al mayor nivel (Directivas de la UE, Reales Decretos en el Estado Español y Decretos, Órdenes, etc. en las CC.AA.).

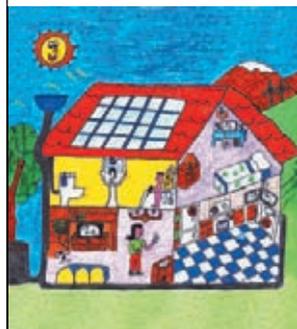
Sin embargo, y extrañamente, todavía no es considerado en la reglamentación medioambiental y de ahorro de consumo energético en la edificación, aspecto que debe ser solucionado.

Entre los medios de transporte, el ascensor es el gran conocido/descubierto. Todos lo usamos normalmente, tanto si vivimos en una ciudad como si la visitamos, pero poco más sabemos de él que de sus componentes que vemos y utilizamos, tales como puertas, cabina, botoneras de mando y señalizaciones.

No se conoce el origen del ascensor. Bajorrelieves y altorrelieves asirios, caldeos y romanos ya mostraban soluciones para la elevación de mercancías, animales o personas, y hasta nosotros han llegado planos y grabados de dispositivos medievales y renacentistas —entre ellos los de Leonardo da Vinci— más o menos ingeniosos, pero con un denominador común: no eran seguros para el uso de pasajeros, ya que si aumentaba considerablemente la velocidad de la cabina en subida o en bajada, o se rompían los cables, cadenas, tambores, palancas, etc., de suspensión, el vehículo se precipitaba inevitablemente hasta el suelo, con las consecuencias que pueden suponerse.

Hasta 1853 no se inventó el uso seguro del ascensor para su utilización por personas. El inventor fue el encargado de una fábrica de camas en una localidad llamada Yonkers cerca de Nueva York, Elisha Graves Otis.

La invención, presentada en una exposición en el Palacio de Cristal en Nueva York, consistió en un dispositivo (que se denominó paracaídas)

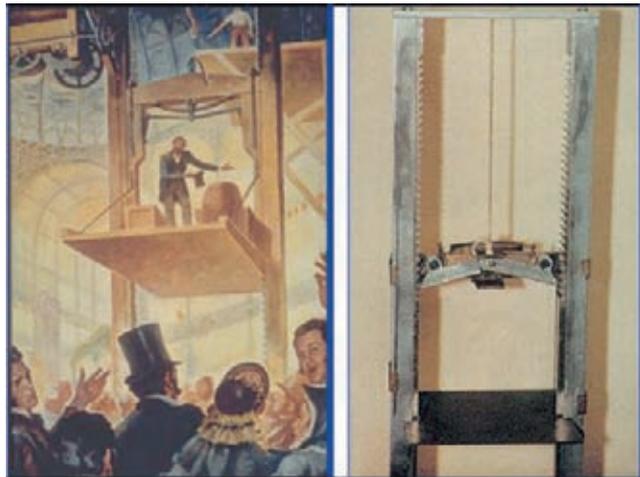




## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

que en los casos anteriormente citados sujetaba (acuñaba) al vehículo a ambos lados y en las guías por las que se deslizaba y guiaba, Fig. 2.

El primer ascensor del mundo, autorizado para su uso por personas, se instaló en 1857 en el edificio de E.V. Haughwout China & Glassware Store Co., en la esquina de Broadway con la calle Bloome de Nueva York, y en España, 20 años más tarde, en la C/ Alcalá Nº 57 de Madrid.



**Figura 2.** Invención del ascensor autorizado para pasajeros.

El ascensor tiene una importancia crucial en la civilización moderna, ya que sin él no sería posible la existencia de las ciudades actuales tal como las conocemos.

Desde el punto de vista arquitectónico, unido al de la utilización de los edificios, el ascensor tiene un papel preponderante, por ocuparse de algo tan importante como el permitir el movimiento de las personas en el interior de ellos.

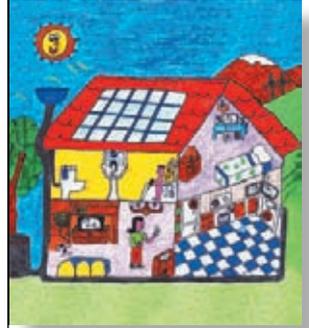
El capítulo que nos ocupa trata estos equipos en su aspecto más avanzado respecto a la reducción de su impacto medioambiental, así como su consumo energético, considerando las particularidades esenciales que definen sus principales características actuales y, presumiblemente, futuras, con el fin de su uso en todos los edificios.

En cuanto a su vida útil, el ascensor es un aparato de muy larga duración. La reposición —generalmente por decisión voluntaria— no se

realiza antes de pasar un mínimo de 25 a 30 años tras su puesta en servicio.

Un elevador convenientemente conservado mediante un mantenimiento adecuado por una compañía experta puede funcionar durante toda la vida del edificio.

Por ello, es muy importante la óptima definición de sus características básicas iniciales, sobre todo la del diseño, ya que con posterioridad será prácticamente imposible, o muy difícil, modificarlas.



## 2. Tipos de ascensores comúnmente instalados

En la actualidad, y atendiendo a su sistema de tracción, la inmensa mayoría de los ascensores instalados son de los tres tipos siguientes, Fig. 3.

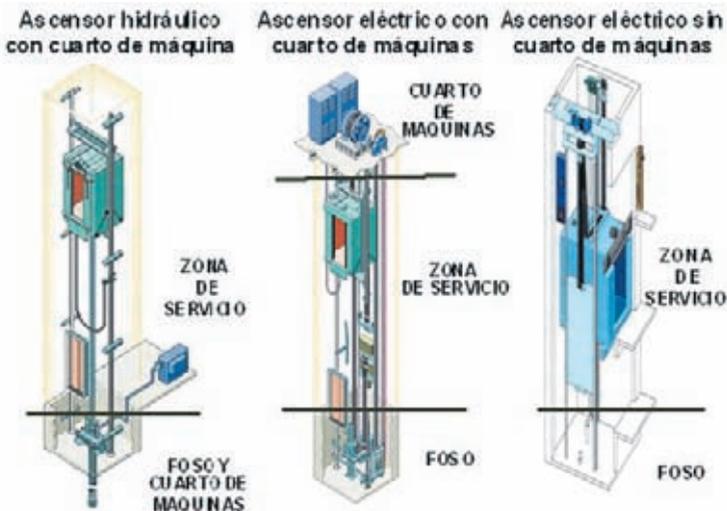


Figura 3. Esquema de configuración de los principales tipos de ascensores.

### 2.1. Ascensores hidráulicos

En este tipo de ascensor, la cabina se mueve impulsada por un émbolo o pistón que asciende al aumentar la presión que le comunica el aceite bombeado desde la central hidráulica. Dentro de esta central se encuentran la bomba y el motor que impulsan el aceite, estando ambos componentes sumergidos.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Los ascensores hidráulicos, al carecer de contrapeso, consumen una elevada cantidad de energía al subir. Por el contrario, el consumo durante los viajes de bajada es prácticamente nulo. A primera vista esto podría considerarse como una ventaja general, pero la cantidad de energía utilizada durante el ascenso alcanza valores que hacen desaconsejable el uso de este tipo de ascensores desde el punto de vista de la eficiencia energética.

### 2.2. Ascensores eléctricos

Tradicionalmente, son movidos por la adherencia de cables trenzados de acero actuando sobre una polea motriz de gran diámetro accionada por un motor eléctrico a través de una reducción mecánica.

A diferencia de los ascensores hidráulicos, los eléctricos se diseñan de manera que equilibran los esfuerzos a ambos lados de la polea motriz mediante un contrapeso.

El motor consume energía cuando el desequilibrio de peso entre la cabina y el contrapeso sea contrario al sentido del movimiento, pero no lo hace cuando es favorable. De hecho, cuando el ascensor viaja a favor de la carga, la acción de la gravedad causa que el motor actúe como un generador de energía.

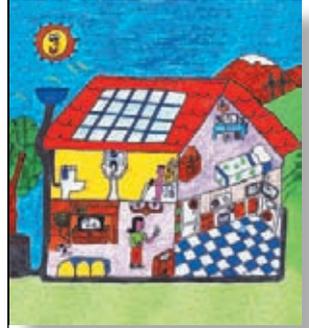
En función del tipo de control del movimiento, existen dos tipos de ascensores eléctricos de tracción.

#### 2.2.1 Motor de una o dos velocidades

Los ascensores más antiguos, con motores eléctricos de una sola velocidad, accionan el motor conectándolo directamente a la tensión de la red y sin ningún control, deteniéndose posteriormente de forma brusca y por la acción de un freno mecánico desde la velocidad de viaje hasta la parada en una planta. Este control de movimiento supone la utilización de elevados picos de potencia en el arranque y cuenta con un confort de viaje relativamente bajo, puesto que el arranque y la frenada no son muy confortables.

Una mejora posterior es el ascensor con motor eléctrico de dos velocidades. Se continúa con la conexión directa a la red y sin ningún control, pero los dos devanados que ahora tiene el motor, en vez de sólo uno, permiten una parada más suave y precisa, manteniéndose el arranque más o menos brusco.

De esta forma, los ascensores de dos velocidades realizan la maniobra de aproximación al nivel de piso alimentando su segundo devanado, pasando de la velocidad normal de viaje a otra más reducida (normalmente la cuarta parte), accionándose posteriormente el freno. En este caso, la mejora de la eficiencia en el confort queda confinada al proceso de frenado.



### 2.2.2 Motor alimentado con frecuencia y tensión variables

Los ascensores con motores eléctricos controlados a frecuencia y tensión variables realizan siempre el mismo diagrama velocidad-tiempo, independientemente del desequilibrio y de la dirección del viaje. De este modo, arrancan y frenan progresivamente, aumentando o disminuyendo suavemente la velocidad.

Mediante la variación de la tensión se regula el par del motor, y con la de la frecuencia, la velocidad. De este modo, el confort es constante y está asegurado para todo tipo de viajes y cargas en cabina.

En la Fig. 4 se muestra esquemáticamente el diagrama velocidad-tiempo según la alimentación y el control del motor.

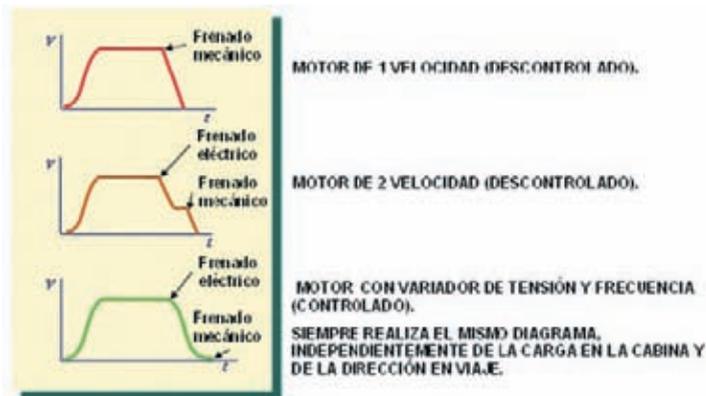


Figura 4. Curva de velocidad del ascensor según el control.



### 3. El ascensor de última generación

El ascensor “convencional” que ha llegado hasta nuestros días siempre ha tenido unas consideraciones de diseño enfocadas principalmente a lograr la mayor seguridad y las prestaciones más elevadas.

En los últimos años, y debido a la economía de mercado y al aumento de la competencia, los objetivos cambiaron, sin detrimento de lo anterior, a reducir los costes de fabricación, instalación y mantenimiento, lo que conducía, por optimización y reducciones de pesos, a una mejora en la eficiencia energética.

Los principios básicos en los que se asentaban los ascensores convencionales eran los cables de tracción trenzados de acero, las máquinas con engranajes (aceites, pérdida de eficiencia energética), los controles de tráfico básicos, la iluminación permanente de la cabina, la ausencia de regeneración de la energía no utilizada y los motores de elevada potencia nominal, generalmente no controlados.

Recientemente, las connotaciones medioambientales han llevado a la creación de los denominados “Ascensores de Última Generación”, cuyas consideraciones principales de diseño son las tendentes a lograr, de una forma directa, la eficiencia energética mediante la drástica reducción del consumo, el uso únicamente de materiales no contaminantes y su completo reciclaje.

Así, los ascensores de última generación, denominados también “ascensores energéticamente eficientes” o “ascensores verdes”, alcanzan este propósito, ya que producen menos residuos y consumen menos energía, ayudando a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y reduciendo la cantidad de otros contaminantes.

Un ascensor se puede considerar energéticamente eficiente cuando, entre otras características, está configurado o cuenta entre sus componentes con elementos o sistemas reciclables y que reduzcan el consumo, el empleo y el peso de los materiales, el espacio ocupado en el edificio, los ruidos y las vibraciones.

Entre las principales características que definen los ascensores eficientes de última generación, se pueden destacar las siguientes:

### **3.1. Tracción directa. Motor síncrono de imanes permanentes**

Los ascensores "verdes" de última generación son del tipo eléctrico y accionados por máquinas de un solo eje sin reductor de velocidad, movidas por motores eléctricos controlados.

Al no existir reductor, el eje del motor coincide con el del conjunto de la máquina, es decir, la velocidad del eje del motor es la velocidad de accionamiento de la polea que mueve el ascensor, lo que causa menores ruidos y vibraciones.

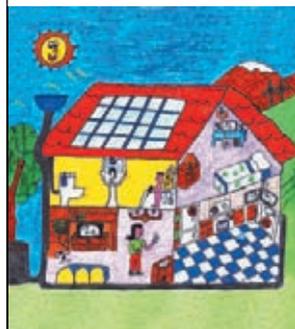
Esto permite eliminar las pérdidas de rendimiento originadas por el rozamiento entre elementos mecánicos en la antigua transmisión (en la mayoría de los casos, del tipo sinfín-corona).

Así, y además, se evita la necesidad de lubricación de la máquina. Con ello se logra reducir la necesidad de mantenimiento y se evitan posibles agresiones al medio ambiente.

Estas máquinas cuentan comúnmente con un motor eléctrico síncrono cuyo estator puede estar cableado o más modernamente constituido por imanes permanentes de material sintético, más eficiente que los asíncronos normalmente empleados anteriormente. Estos motores no sólo tienen un consumo más reducido al no necesitar una corriente de excitación en el rotor, sino que cuando son alimentados mediante un variador de frecuencia y tensión reducen la intensidad consumida durante el arranque de manera significativa.

### **3.2. Sistemas regenerativos de energía**

Los sistemas regenerativos en los ascensores se basan en la actuación sobre los procesos de deceleración y frenado y en el comportamiento del motor eléctrico según la dirección del viaje y la carga en la cabina. En los casos favorables (cuando la fuerza de la gravedad ayuda al movimiento), la carga ayuda al motor, que actúa entonces como un generador, proporcionando energía eléctrica que puede devolverse a la red o utilizarse de diversas maneras en el edificio.





### 3.2.1. Control regenerativo de energía

Cuando la carga en cabina es favorable respecto a la dirección de viaje, por ejemplo, al bajar con la cabina llena o subir con ella vacía según se muestra en la Fig. 5, y en los procesos de arranque, aceleración, deceleración y frenado eléctrico, el motor eléctrico del ascensor actúa como un generador, produciendo energía de la misma tensión y fase que la de la red de alimentación.

Esta energía puede utilizarse para devolverla a la red o en otras aplicaciones en el edificio, tales como la alimentación del alumbrado o de otro ascensor.

De esta manera, aparte de reducirse notablemente el consumo, se logra un mayor confort de viaje y precisiones de parada en planta de, como máximo,  $\pm 3\text{mm}$ .

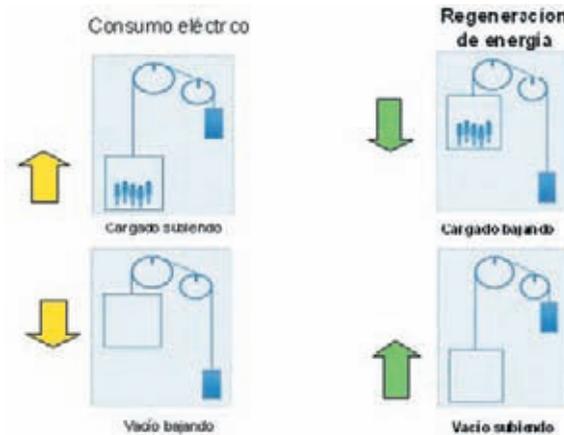


Figura 5. Consumo y regeneración de energía en el ascensor.

Con el control regenerativo de energía, se eliminan las tradicionales resistencias de frenado, que suponen una reducción en la eficiencia energética y una generación de calor inútil.

Los controles regenerativos producen "energía limpia", lo que supone una menor distorsión de la electricidad utilizada por el edificio, ayudando a proteger los equipos sensibles. Esto se debe a que minimizan la distorsión de onda sinusoidal de la corriente de entrada, reduciendo la distorsión por armónicos a sólo el 5%, mientras que los no regenerativos con resistencias de disipación pueden llegar a causar distorsiones por encima del 80%.

Los controles regenerativos de energía pueden reducir el consumo eléctrico del ascensor hasta en un 75%.

Un control regenerativo de energía y sus características fundamentales de funcionamiento aparecen en la Fig. 6.

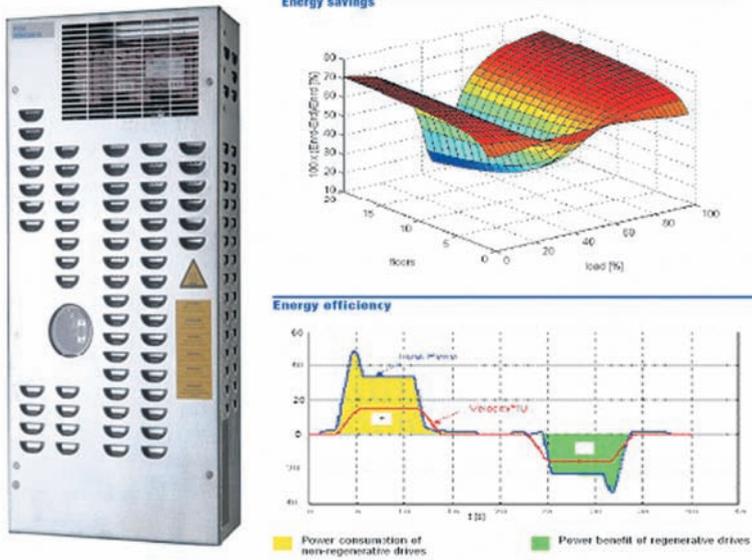
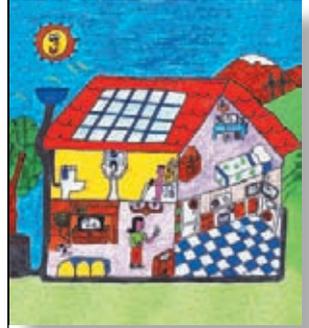


Figura 6. Control regenerativo de energía y curvas de consumo/regeneración.

### 3.2.2. Freno mecánico regenerativo de energía

Un freno regenerativo aprovecha la energía que se genera durante cada proceso de frenado mecánico del ascensor (tradicionalmente disipada en forma de calor).

### 3.2.3. Otros sistemas

Existen otros sistemas de recuperar energía durante el funcionamiento del ascensor, como, por ejemplo, la alimentación de su motor mediante un sistema combinado de red y baterías en lugar de hacerlo sólo a través de la red. Con ello se logra reducir la potencia eléctrica contratada y consumida, ya que las baterías actúan como generadores y acumuladores de energía.

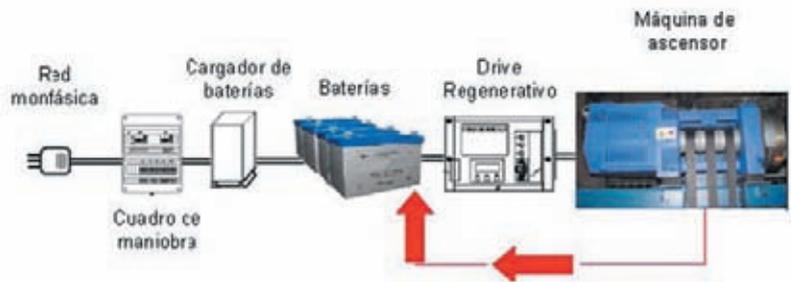


## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

El sistema, del que se muestra el diagrama de bloques en la Fig. 7, alimenta con la corriente de las baterías o de la red a un control regenerativo de energía, que transforma la corriente alterna o continua en la alterna trifásica necesaria para mover el motor del ascensor.

La energía regenerada, se acumula en las baterías y puede utilizarse para realizar los próximos viajes.

Mediante esta configuración, es además posible aprovechar la energía tradicionalmente disipada en calor en resistencias eléctricas durante los procesos de frenado y alimentar el ascensor desde una red monofásica.



**Figura 7.** Esquema de funcionamiento del sistema de alimentación por baterías.

### **3.3. Elementos de suspensión y tracción distintos de los cables trenzados de acero**

Desde siempre, los medios de suspensión y tracción de los ascensores han sido los cables trenzados de acero. Recientemente, y con el objetivo de reducir al máximo los diámetros de las poleas motrices de las máquinas, para minimizar éstas, los motores y su potencia nominal y, con ello, el consumo de energía, los cables clásicos se están sustituyendo por otros elementos de materiales naturales o artificiales de gran flexibilidad.

Estos nuevos elementos suelen ser cables redondos con varias capas de material plástico sintético (Aramid, Kevlar, etc., Fig. 8), o cintas planas de hilos de acero recubiertas de algún tipo de polímero.

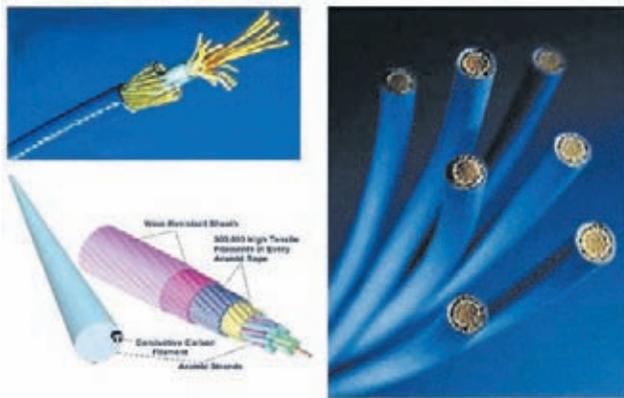


Figura 8. Cables de materiales sintéticos.

### 3.3.1. Cintas planas de hilos de acero recubiertos de material plástico

La Fig. 9 muestra una de estas cintas, en este caso recubierta de poliuretano, y la transformación del cable tradicional de acero y su polea a sus equivalentes con esta nueva solución.

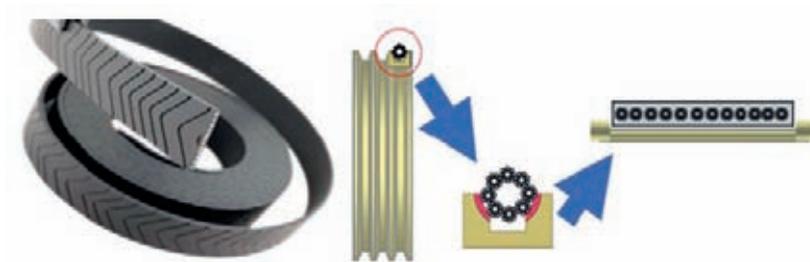
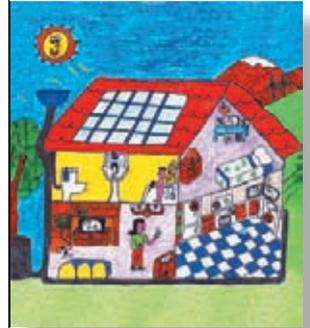


Figura 9. Cinta plana de cables de acero recubiertos de poliuretano.

Las cintas suponen, entre otras, las siguientes ventajas frente a los cables trenzados de acero:

- Tienen el triple de vida útil, puesto que se reducen en gran medida las fricciones. La vida de las poleas motrices puede llegar a ser la misma que la del ascensor.
- La polea motriz de la máquina puede ser de mucho menor diámetro, puesto que el radio mínimo de curvatura de las cintas es hasta ocho veces menor que el de los cables trenzados de acero.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Suponen la posibilidad de construir máquinas sin reductor, de un tamaño y potencia considerablemente menores. Como se aprecia en la Fig. 10, la reducción de escala es del orden de 12.
- No necesitan lubricación. Al estar recubiertas de poliuretano no se produce contacto entre elementos metálicos.
- Su funcionamiento es más silencioso y con menores vibraciones.
- Son hasta un 40% más ligeras que los cables trenzados de acero.
- Como consecuencia de todo lo anterior, consiguen una mayor eficiencia energética.

*Máquina tradicional (con reductora de engranajes) Tracción por cable de acero*      *Máquina Gearless (sin reductora de engranajes) Tracción por cinta*



**Figura 10.** Máquinas convencionales para cables trenzados de acero y de tracción directa para otros medios

### 3.3.2. Control del estado de los nuevos medios de suspensión y tracción

Para garantizar el mantenimiento de las características fundamentales de estos medios durante su vida útil, existen sistemas de control continuo de su estado.

Para ello, bien una de las capas de los cables redondos es conductora (funcionando análogamente al aviso de poca guarnición restante en los frenos de disco de los automóviles), o se mide la continuidad

eléctrica mediante el paso de una corriente a través de los hilos de acero internos en el caso de las cintas, avisando inmediatamente de la rotura del primer cable elemental en su interior.

La Fig. 11 muestra un ejemplo del control del estado de las cintas planas.

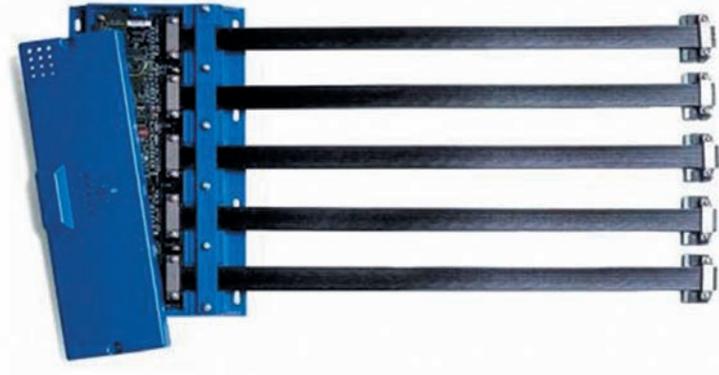


Figura 11. Sistema de control del estado de las cintas planas.

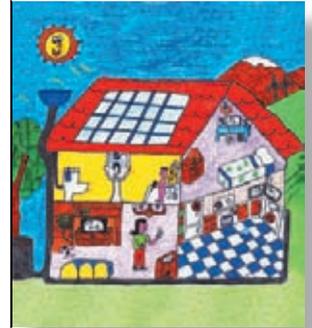
### 3.4. Ascensor sin cuarto de máquinas

Los nuevos medios de suspensión y tracción, al margen de conseguir una eficiencia energética del ascensor mucho mayor que la lograda con el empleo de los cables trenzados de acero, permiten reducir el tamaño de muchos de los componentes esenciales del ascensor.

Esto favoreció el poder atender a las nuevas exigencias de arquitectos y constructores de conseguir evitar el realizar el problemático o muchas veces antiestético cuarto de máquinas (siempre de mayor superficie que la prolongación del hueco del ascensor y situado normalmente en la parte superior de los edificios) mediante la inclusión de todos los sistemas, equipos y componentes del ascensor en un prisma de sección rectangular o cuadrada.

No construir el cuarto de máquinas, aparte de un ahorro cierto para el constructor, ha permitido en muchos casos ganar una altura más al edificio.

Por otro lado, el menor tamaño de la máquina y los elementos de tracción permiten reducir las dimensiones del hueco, aprovechando al máximo el espacio edificado disponible.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

En la Fig. 12 se representan ascensores eléctricos convencionales con cuarto de máquinas y de última generación sin él.

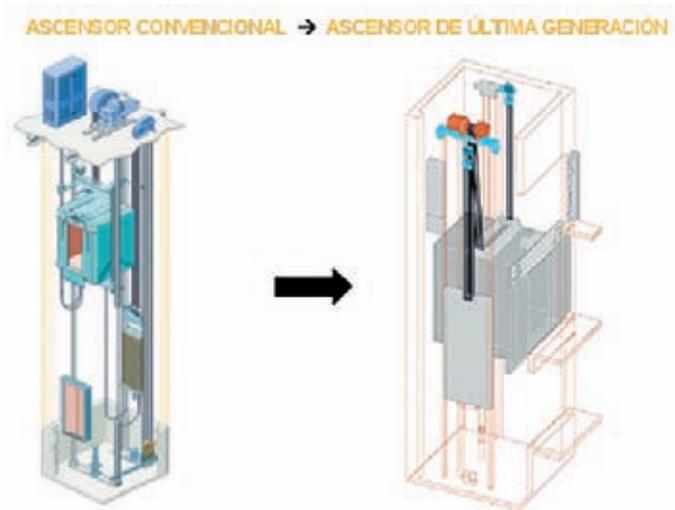


Figura 12. Ascensores con y sin cuarto de máquinas.

### 3.5. Optimización del tráfico. Controles (maniobras) eficientes

Para mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía, no sólo se debe atender a la reducción de potencia y a la optimización de los distintos componentes del ascensor, sino que debe ser también optimizada la gestión de su movimiento.

Los ascensores de última generación cuentan con sistemas avanzados y adecuados al tipo y uso del edificio, e incluyen maniobras que optimizan el número de viajes a realizar y que consiguen que el tiempo de espera sea mínimo.

Entre las maniobras más comunes en ascensores destacan las siguientes:

- *Automática simple o universal.* El ascensor atiende sólo a la primera llamada. Mientras está sirviéndola, no acepta ninguna más.
- *Colectiva en bajada.* En los viajes en descenso, se registran las llamadas efectuadas y se atienden según el orden lógico que reduce el número de viajes.

- *Colectiva selectiva.* Actúa como la colectiva en bajada, pero lo hace también en subida.
- *Maniobras múltiples.* Se emplean cuando hay más de un ascensor, para evitar que más de una cabina atienda a una misma llamada de planta.

En los grandes edificios con varias baterías de ascensores (sedes públicas, oficinas, hoteles, etc.), los ascensores son gestionados mediante maniobras más sofisticadas que incluyen los últimos avances en Lógica Difusa, Redes Neuronales e Inteligencia Artificial, que permiten un mayor volumen de personas transportadas y un menor tiempo de espera.

Entre otras, se pueden destacar las maniobras que sitúan a los ascensores en el edificio de forma o agrupamiento variable (*Bunching*) pudiéndose pasar por todas las situaciones entre desagrupados a hacerlo de forma fija, aquellas que detectan ya en la entrada del edificio a los pasajeros potenciales y sus posibles plantas de destino y la preasignación del ascensor al marcar la planta a la que el visitante desea ir en un pupitre situado inmediatamente después de la entrada (*Dispatching*).

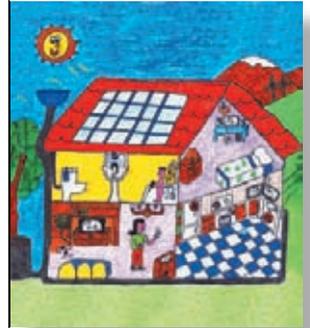
### **3.6. Apagado de luces automático**

En la mayoría de los ascensores instalados, la iluminación de la cabina permanece encendida 24 horas al día y 365 días al año. Esto implica un elevado gasto innecesario de energía.

Con sistemas de apagado automático de la luz de cabina se logran ahorros considerables en el consumo eléctrico y, a su vez, se reduce la temperatura en la cabina y, en ciertos casos, en su botonera de mando, con lo que aumenta el confort.

También puede incrementarse el ahorro cambiando las lámparas incandescentes por otros elementos de bajo consumo.

Si se utilizan tubos fluorescentes, su vida se alarga considerablemente, con lo que se reduce el gasto de reposición de estos y el número de avisos a atender por parte del servicio técnico. Los posibles problemas





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

causados por el aumento de los apagados y encendidos pueden eliminarse cambiando las reactancias del tipo normal a electrónico.

### 3.7. Otras mejoras

Por otra parte, los modernos ascensores eficientes emplean menos materiales y de menor peso, con lo que al instalar estos equipos se puede:

- Eliminar la necesidad de construir una losa de hormigón armado, normalmente ubicada sobre el hueco, que soporta los esfuerzos generados por el movimiento del ascensor y que los trasmite a la estructura del edificio.

Por el contrario, los ascensores de última generación, dada su disposición dentro del hueco y que la máquina se encuentra montada sobre él o sobre las propias guías del ascensor, transmiten las cargas a las paredes o directamente al foso, reduciendo la carga ejercida al edificio y, por tanto, reduciéndose la sección necesaria de los pilares.

- Reducir el ruido producido durante el funcionamiento, lo que permite ahorrarse un eventual aislamiento acústico, repercutiendo de nuevo en una mayor eficiencia en el empleo de materiales.

Para ello, además del bajo nivel de ruido y vibraciones proporcionados por las características constructivas de la máquina, unos elementos elásticos contribuyen a la eliminación de éstos, Fig. 13.



Un ascensor de última generación es hasta 10 veces menos ruidoso, más confortable e incomparablemente más fiable y seguro que el convencional equivalente.

- Mediante el diseño de los componentes con pesos individuales reducidos y los métodos de montaje se reducen los tiempos y la energía necesarios para la instalación. Los ascensores eficientes están diseñados de manera que una sola persona sea capaz de montarlos.
- Reducir los requerimientos de potencia contratada en la instalación eléctrica para la alimentación del ascensor, puesto que la potencia nominal de uno eficiente es considerablemente menor que cualquiera de sus tipos equivalente convencionales.

#### 4. El paquete energéticamente eficiente para la modernización de los ascensores

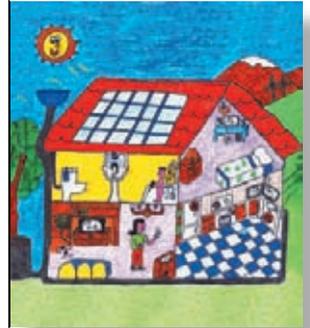
Como se indicó al principio del capítulo, en España están operativos más de 900.000 ascensores, de los cuales el 55%, bien sea por sus características o por tener más de 20 años de antigüedad, pueden y deben ser sustituidos por modelos más eficientes.

Pero la existencia de restricciones técnicas que afectan a las edificaciones existentes (hueco reducido del ascensor emplazado, características de la estructura, imposibilidad de cargas sobre paredes y techos, etc.), plantea problemas para la sustitución completa de muchos ascensores convencionales instalados en edificaciones antiguas.

Si se consideran los elementos principales que diferencian un ascensor convencional de su equivalente de última generación, se ve que la mayoría de los responsables del ahorro en el consumo de energía y en la reducción del impacto medioambiental pueden ser cambiados en el ascensor existente.

En los últimos años, los avances tecnológicos del sector de la elevación han permitido diseñar nuevos elementos capaces de ser instalados perfectamente junto con otros más antiguos.

La sustitución de este tipo de elementos y sistemas, conservando otros más difíciles de cambiar, como la cabina, el contrapeso, sus guías, las





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

puertas, etc., pero que no aportan grandes ventajas en el campo que nos ocupa, configura el *Paquete Energéticamente Eficiente* (PEE).

El PEE se presenta como una alternativa de aumento de eficiencia, confort, seguridad, ahorro de energía y reducción de impacto medioambiental para los ascensores antiguos que no se puedan o no se desee sustituir completamente por otros de última generación.

El PEE de modernización incluiría las siguientes características principales:

- Máquina de tamaño reducido, sin reductor y con un nuevo medio de suspensión y tracción.
- Motor controlado por variador de frecuencia y tensión.
- Control y freno regenerativos de energía.
- Alumbrado de cabina con apagado automático inteligente y sustitución de los elementos de iluminación por otros de bajo consumo.

## 5. Ahorros energéticos

El consumo energético del ascensor varía en función de parámetros como su capacidad y velocidad, el tipo y uso del edificio y su número de plantas, la altura entre ellas, la frecuencia de utilización, el número de pasajeros medio por viaje y el recorrido medio de desplazamiento.

Los ascensores de última generación optimizan todos estos parámetros para minimizar el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética, ofreciendo ahorros en el consumo eléctrico de hasta el 50% respecto a los ascensores eléctricos convencionales y hasta del 70% frente a los ascensores hidráulicos.

Cálculos realizados concluyen en que si se sustituyesen todos los ascensores convencionales existentes en España y en la Comunidad de Madrid por los actuales eficientemente energéticos se ahorrarían respectivamente unos 750 y 120 millones de kWh al año, equivalente al gasto doméstico de ciudades como Bilbao y Aranjuez.

Una comunidad de propietarios con dos ascensores convencionales eléctricos de seis personas, al sustituirlos por otros de última genera-

ción podría ahorrar anualmente entre 2.000 y 3.000 kWh. Este ahorro subiría un 60% si los ascensores existentes fueran hidráulicos.

Además, el iluminar inteligentemente la cabina de un ascensor puede suponer ahorros a partir de 600 kWh al año.

Respecto a los posibles ahorros a conseguir con la implantación del Paquete Energéticamente Eficiente serían similares a los logrados con el ascensor de última generación.

Sólo citar que, para la Comunidad de Madrid la realización de esta modernización en los ascensores existentes que lo permitan llevaría a reducir el 40% el consumo actual.

## 6. Beneficios medioambientales

Como punto de partida se considera que en nuestro país, y por el reparto de tipos distintos de generación de energía, para producir 1 kWh de electricidad se emiten a la atmósfera 0,65 kg de CO<sub>2</sub>.

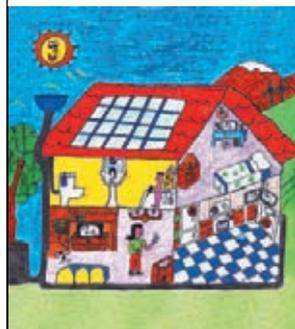
Los mismos cálculos citados en el apartado anterior determinan que si todos los ascensores nuevos que se instalen en España y en la Comunidad de Madrid fuesen energéticamente eficientes se reduciría el lanzamiento anual a la atmósfera de 22 y 3,7 millones de kg de CO<sub>2</sub> respectivamente.

También que si se sustituyesen todos los ascensores convencionales existentes por los actuales verdes, las cifras equivalentes a las anteriores serían de 490 y 80 millones de Kg de CO<sub>2</sub>.

Esta cantidad de dióxido de carbono sería equivalente a la que emiten anualmente 150.000 automóviles para el caso de España y 25.000 para la Comunidad de Madrid.

Todo lo anterior permitiría a España y a la Comunidad de Madrid absorber el incremento de reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero asignado en la última reunión en Kioto.

Por otro lado, los ascensores eficientes reducen el empleo de sustancias contaminantes, tales como el aceite y las grasas. Los equipos, al tener elementos en contacto con desplazamiento entre ellos, como la cabina sobre las guías, requieren lubricación. Los ascensores de últi-





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

ma generación reducen notablemente el consumo de aceite necesario durante su vida útil. Esta reducción no solamente implica ventajas medioambientales, sino que reduce la necesidad de mantenimiento de los equipos, lo que se traduce en un mayor número de horas disponibles para su uso.

Como se puede observar en la Fig. 14, el ahorro en el consumo de aceite en un ascensor de última generación respecto a otro hidráulico es del 95%. A su vez, el ahorro del mismo ascensor frente a otro eléctrico convencional es del orden del 50%.

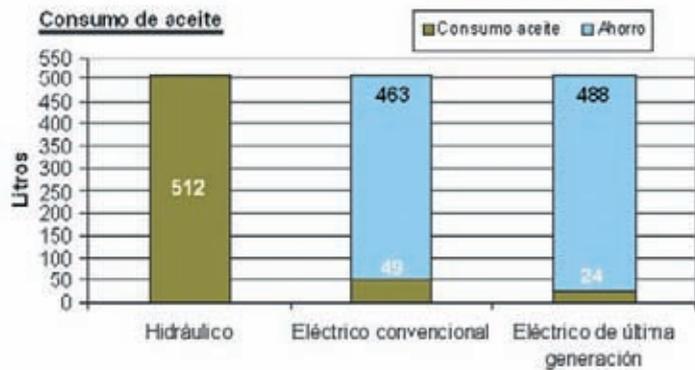


Figura 14. Consumo de aceite según tipo de ascensor.

Si se sustituyesen todos los ascensores convencionales hidráulicos existentes por los actuales verdes, no habría que reciclar en España y en la Comunidad de Madrid 75 y 10 millones de kg de aceites y grasas durante la vida útil de los equipos.

## 7. Impacto medioambiental durante el ciclo de vida del ascensor

Puede también considerarse la definición de un ascensor como de última generación por su comportamiento en las diferentes fases de su ciclo de vida, que se muestra en la Fig. 15.

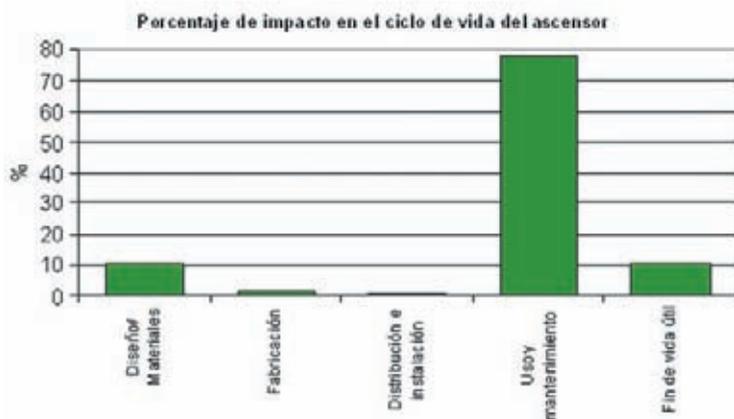


Figura 15. Impacto ambiental en el ciclo de vida del ascensor.

El ascensor verde actúa, como se indica a continuación, en cada una de las fases de su ciclo de vida para optimizar el consumo de energía y ser lo más respetuoso posible con el medio ambiente.

### 7.1. Diseño/materiales

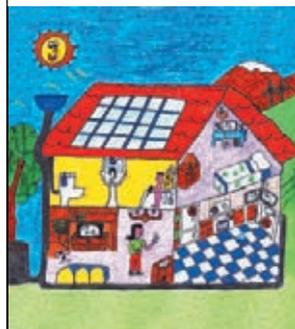
Un ascensor energéticamente eficiente lo es fundamentalmente por su diseño.

La inteligente adopción de los materiales permite ahorrar en su fabricación unos 350 kg de materias primas y unos 1000 kWh de energía.

Entre los programas de diseño orientados a la mejora de la eficiencia del ascensor y de su mayor respeto medioambiental, se encuentra el Ecodiseño. Este programa trata de analizar el ciclo de vida del ascensor para identificar en qué etapas se produce un mayor impacto ambiental, lo que suele coincidir con las de menor eficiencia.

### 7.2. Fabricación

Para que una producción pueda ser considerada energética y medioambientalmente eficiente se deben tener en cuenta algunos factores como:





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- Consumo de materiales y recursos. Debe ser lo más reducido posible sin perjudicar la calidad. En las fábricas de ascensores modernas se producen ascensores que optimizan los procesos productivos y reducen el empleo de materiales, especialmente los contaminantes. De esta manera también se reduce el consumo de energía durante la producción.
- Empleo de energías renovables en los centros de producción, con lo que la eficiencia energética de los centros aumenta considerablemente.
- Máximo aprovechamiento de la iluminación natural para reducir el consumo eléctrico. Instalación de sistemas de apagado automático de luminarias cuando no exista ocupación en las salas o zonas comunes y, a su vez, contar con un sistema de regulación de la potencia de la iluminación cuando exista luz natural suficiente.

En la Fig. 16 aparece una foto de un ejemplo de fabricación energéticamente eficiente. En este centro industrial, sobre el tejado, se han montado 3.600 paneles fotovoltaicos que generan al año 1GWh de energía, un 60% de la necesaria en la instalación, y que evita la emisión de 1.050 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.



**Figura 16.** Ejemplo de fabricación eficiente. Nuevo Centro Industrial de Zardoya OTIS, S.A. en el Parque Tecnológico de Leganés.

Contiene también paneles solares que proporcionan el 70% de los requerimientos de agua caliente del complejo. Existe un sistema de control general del alumbrado en función del nivel de luz natural y todas las lámparas son de bajo consumo.

Se han cuidado los aislamientos térmicos en suelos, paredes, ventanas y techos y las oficinas están orientadas de forma que reciban la mayor cantidad de luz natural el mayor tiempo posible.

También disfruta de una climatización general automática y un aljibe subterráneo que se llena con agua de lluvia y que se ha construido para que, en caso de incendio, los bomberos puedan actuar con mayor rapidez y eficacia.

Naturalmente, todos los ascensores son verdes de última generación y energéticamente eficientes.

### **7.3. Distribución e instalación**

Respecto a la distribución e instalación deben definirse los contenedores, embalajes y procedimientos de montaje lo más reciclables y respetuosos posible con el medio ambiente.

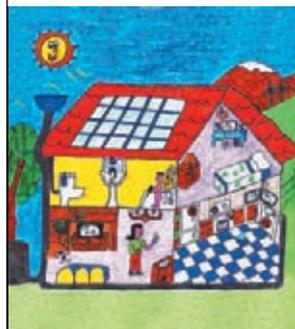
### **7.4. Uso y mantenimiento**

Como se puede observar en la gráfica de la Fig. 15, el impacto mayor ocurre en la fase de uso del ascensor. Con la aplicación de las soluciones comentadas en este capítulo, el consumo energético se puede reducir considerablemente.

Durante la vida media útil del ascensor, alrededor de los 20-30 años, el diseño debe lograr que ocurra el menor número de averías posible, y que en los trabajos de mantenimiento se atienda al empleo de materiales no contaminantes y al correcto reciclado de los sustituidos.

### **7.5. Fin de la vida útil**

Para finalizar el ciclo, los materiales utilizados para construir el ascensor han debido seleccionarse entre los que tienen una total reciclabilidad.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Una opción a utilizar es la modernización con la instalación del Paquete Eficientemente Energético, que reutiliza elementos difícilmente reciclables como la cabina, contrapeso, guías, puertas, equipamiento de hueco, etc.

## 8. El ascensor del futuro

Sin ninguna duda, el agravamiento de las condiciones medioambientales llevará a los gobiernos a emplear más y mayores medidas de ahorro en el consumo energético.

En línea con todo ello, el ascensor tenderá a:

- La reducción de pesos y del número de componentes, con utilización masiva de los materiales artificiales (*composites*).
- La optimización de los huecos, por los que circularán múltiples cabinas.
- La optimización del tráfico (número de personas movidas por unidad de tiempo y tiempo medio de espera) mediante el uso de la Lógica Difusa, las Redes Neuronales y la Inteligencia Artificial Evolutiva.
- Las soluciones para mejora del tráfico comentadas en el apartado 3.5.
- El almacenamiento de la energía eléctrica sobrante y su devolución a la red.
- La no existencia de elementos de suspensión y tracción, al moverse la cabina mediante efectos electromagnéticos de levitación causados por superconducción a altas temperaturas.

## 9. Conclusiones

Debido a la situación medioambiental de nuestro Planeta, es necesario tomar medidas para intentar revertir el cambio climático o minimizar sus consecuencias.

Hemos visto la importancia del impacto del ascensor en todo tipo de edificaciones, pero quizás por la extremada rapidez en la degradación del medio ambiente ocurrida en los últimos años, no es muy entendible ni explicable cómo *no existe ningún requerimiento ni en la legislación ni en la normativa relativo a los ascensores y a su máximo consumo energético permitido* para la construcción de edificios (incluido el recientemente puesto en vigor Código Técnico de la Edificación (CTE)).

Tanto la inclusión de un apartado en el actual CTE como la creación de nuevos sistemas de clasificación energética, donde aparezca el ascensor como elemento consumidor de energía, contribuirán al descenso del consumo en especial en comunidades de vecinos, y en la edificación en general.

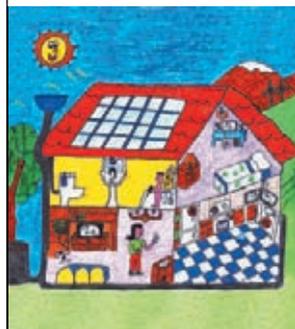
A su vez, ello ayudará a cumplir los objetivos y metas marcados por la UE, el Gobierno y las Comunidades Autónomas sobre el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La clasificación energética de los ascensores debe estimular el uso de tecnologías que permitan al ascensor tener una continua mejora en los consumos energéticos y, a la vez, promover la instalación de aquellos modelos que mejor se adapten a las necesidades y características propias de la edificación.

Es necesario, por tanto, lograr un método de clasificación energética homogénea para todos los fabricantes.

La norma ISO 25745 facilita una metodología de cálculo del consumo energético del ascensor y el proyecto de norma alemana VDI 4707 propone una clasificación energética del ascensor, no muy feliz en nuestra opinión.

Una posible propuesta de etiqueta energética para el ascensor podría ser la que muestra la Fig. 17.



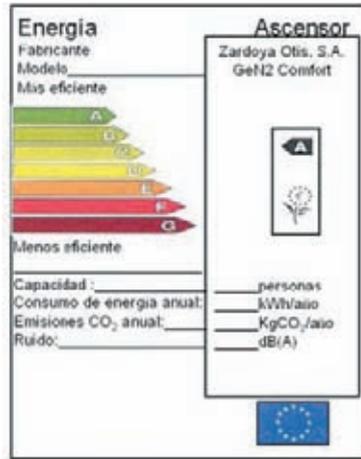


Figura 17. Propuesta de etiqueta de eficiencia energética del ascensor.

Al igual que ocurre con los electrodomésticos, los ascensores “verdes” o de clase A y los Paquetes Energéticamente Eficientes deberían estar subvencionados en general, y en los edificios de viviendas en particular.

Ya se han dado los primeros pasos con la Administración estatal y las autonómicas para conseguirlo, habiéndose logrado en ambos casos una favorable acogida inicial y, respecto a la Comunidad de Madrid (pionera en este campo) está a punto de lanzarse un Plan Renove para ascensores en los que se subvencionará el empleo de medidas que los haga más energéticamente eficientes.

De cualquier forma, y por conciencia pública, los Promotores, Inmobiliarios, Constructores y Arquitectos sólo deberían incluir en los nuevos edificios especificaciones para los ascensores de última generación.

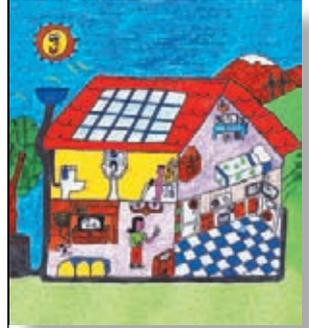
Respecto a las comunidades de propietarios y, sobre todo, a los Administradores de fincas, que normalmente se encuentran con los ascensores instalados cuando se constituye la comunidad, la primera actuación posible ocurrirá con la sustitución de los ascensores o con la necesidad de su creación si en el edificio no existían.

En ambos casos, la Junta Directiva y la Asamblea General de la comunidad de propietarios, siguiendo los consejos técnicos del Administrador, deberían decidir o la modernización con el Paquete Energéticamente Eficiente o que los nuevos ascensores sólo fueran

## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

de última generación, porque además de ser más seguros, confortables y silenciosos que los ascensores convencionales, son mucho más eficientes energéticamente y generan menos residuos contaminantes durante todo su ciclo de vida.

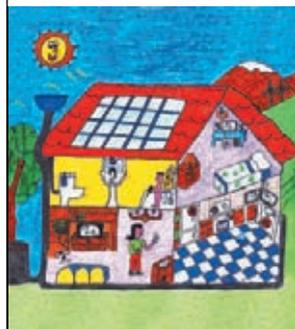
Cuanto mayor y más rápida sea la implantación de los nuevos ascensores eficientes, tanto en nueva creación como en sustitución o la inclusión del Paquete Energéticamente Eficiente, mayor será el ahorro de energía y la preservación del medio ambiente.





# 16 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS APARCAMIENTOS MECÁNICOS, APARCAMIENTOS ROBOTIZADOS Y SEMIAUTOMÁTICOS

D. LUIS DE PEREDA FERNÁNDEZ  
*Integral Park Systems, IPS*  
[www.integralparksystems.com](http://www.integralparksystems.com)



## 1. Introducción

En octubre de 2007 la Dirección General de Industria Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, presentaba, dentro de una amplia serie de Guías sectoriales de Ahorro Energético, la “Guía de Ahorro energético en Garajes y Aparcamientos”. A lo largo de nueve capítulos la Guía pormenoriza las acciones que se pueden adoptar para conseguir un uso eficiente de la energía en todos los aspectos clave que afectan a los aparcamientos: alumbrado, instalaciones eléctricas, ventilación, gestión y control, aplicación de sistemas captadores de energías de fuentes renovables, e incluso la optimización del consumo de agua y energía de los sistemas de lavado de vehículos.

Nuestra aportación a la Guía fue un capítulo sobre la aplicación a la construcción de aparcamientos de tecnologías mecánicas, robotizadas y semiautomáticas. En una dinámica que es consustancial al progreso técnico y al de las áreas de conocimiento asociadas, el aporte tecnológico permite crear nuevas condiciones y nuevas situaciones, que alimentan el proceso innovador que genera las nuevas soluciones que demandan los nuevos tiempos. En nuestro caso, y en nuestro tiempo, la construcción de aparcamientos está ligada a la necesidad de gestionar la posesión y el uso del vehículo privado que es hoy uno de los paradigmas de la libertad y el estatus individual y a la vez origen de no pocos desarreglos ambientales y conflictos. La materialización de esa aspiración se verifica en el crecimiento constante del parque móvil y frente a ella se encuentra la necesidad colectiva de ordenar el uso y la ocupación del espacio público que supone la utilización del vehículo privado.

Las tecnologías mecánicas de aparcamiento son instrumento, de este modo, de una alternativa conceptual a los aparcamientos concebi-



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

dos y construidos con sistemas tradicionales. La compactación del espacio de aparcamiento nos induce a una filosofía nueva y a una nueva escala de intervención. Permite materializar la liberación del espacio público para usos cívicos. Permite la creación de unidades de aparcamiento compacto de mucho menor volumen con las que desarrollar una política de dispersión de la carga del aparcamiento sobre la trama urbana y el sistema general de movilidad. Permite cumplir con las condiciones técnicas imprescindibles para llevar al máximo grado de eficiencia las políticas de aparcamiento de residentes; proximidad, seguridad y calidad. Ha permitido desarrollar el concepto de microaparcamiento asociado a procesos de rehabilitación urbana y edificatoria en los cascos consolidados y en las áreas históricas de nuestras ciudades, donde cada pequeña intervención individual es la oportunidad de crear una dotación con trascendencia colectiva.

Además de ser el instrumento de una nueva manera de concebir y operar para Planificadores, Urbanistas, Ingenieros y Arquitectos, la compactación mecánica del espacio de aparcamiento es extremadamente eficiente en cuanto a la utilización de los materiales y la energía en todas las fases del ciclo de vida de estas instalaciones, en la construcción, en la reducción de los espacios acondicionados para el uso humano y por lo tanto de los gastos operativos y de mantenimiento de los aparcamientos, y en la reducción del consumo energético de los vehículos en los procesos de aparcamiento. Por todo ello suponen un instrumento de eficiencia energética en la construcción de aparcamientos mucho más allá de lo que se pudiese conseguir con optimización energética de los sistemas tradicionales.

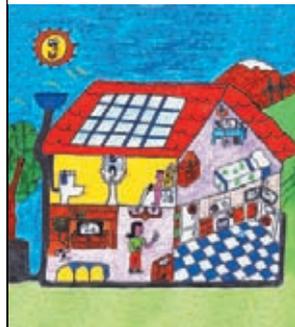
Los últimos cinco años han visto el desarrollo y la construcción en España de decenas de implantaciones de aparcamiento mecánico y la verificación de los aspectos relativos a la eficiencia energética que se exponen en la Guía publicada en 2007. En esta nueva publicación recogemos los datos elaborados entonces y los revisamos y ampliamos con datos, ejemplos y aspectos singulares procedentes de la muy intensa experiencia práctica reciente.

Las tecnologías mecánicas de aparcamiento cumplen, a principios del siglo XXI, casi cien años de historia y han sido extensamente implantadas en muchos países de nuestro entorno desde hace más de cincuenta. Estados Unidos, Japón, Alemania o Italia cuentan con cientos de miles de plazas de aparcamiento resueltas con estos sistemas.

Se trata de una tecnología sencilla experimentada y fiable en cuanto se refiere a su componente mecánica, de última generación en cuanto a la aplicación de sistemas electrónicos e informáticos a su gestión y mantenimiento. Su evolución ha ido enriqueciendo el repertorio de soluciones, a lo largo de un siglo, con variantes y sistemas, cada vez más flexibles, fiables, autónomos y adecuados al desarrollo de los últimos conceptos urbanísticos y de movilidad. Nuevas soluciones, verdaderamente innovadoras, fundamentadas en la compactación del espacio y la automatización parcial o total de los procesos de aparcamiento, y especialmente efectivas en el ámbito de la eficiencia energética y la sostenibilidad porque hacen posible:

- La reducción del impacto producido por la ocupación del suelo.
- La revitalización de áreas consolidadas de la ciudad.
- La rehabilitación de la edificación existente.
- La reducción del consumo de materiales de construcción y por extensión de la energía consumida en su producción, transporte y puesta en obra.
- La reducción del consumo energético en los procesos operativos de aparcamiento.
- La reducción del consumo energético en los procesos de mantenimiento.
- La reducción del consumo energético en los procesos de remodelación y adecuación.
- La reducción de residuos en la demolición.
- El reciclado y reutilización de los materiales tras la demolición y el desmontaje.

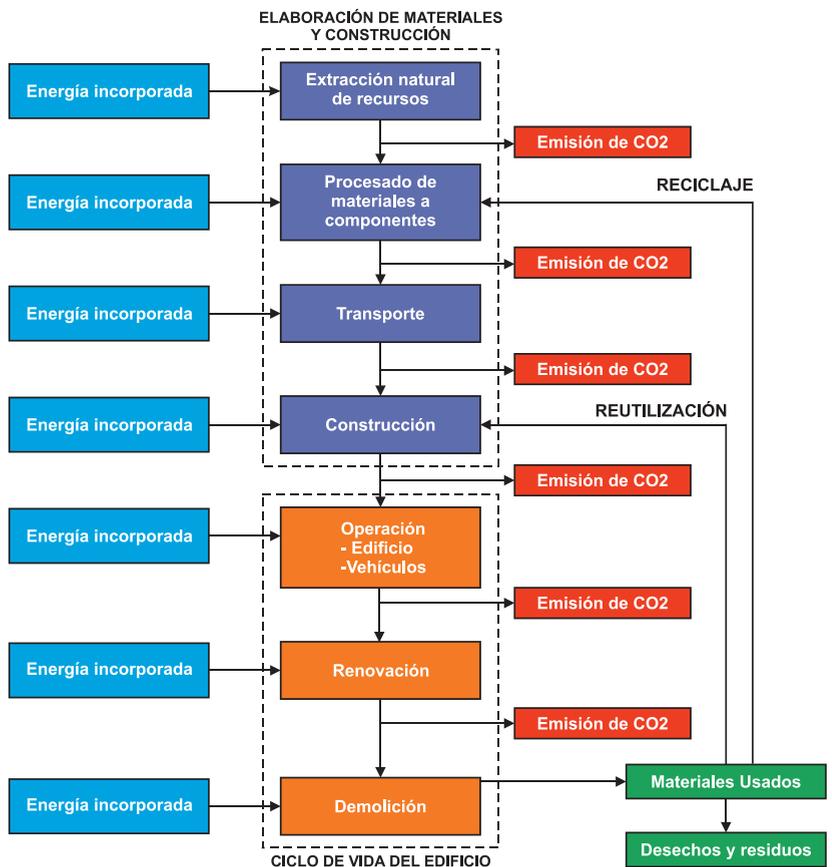
La verdadera eficiencia lo abarca todo. Si este nuevo enfoque no logra cambiar la manera en que los aparcamientos son planteados dentro de la estrategia urbana y de movilidad, cómo son proyectados, cómo son construidos, cómo se usan, cómo se mantienen, cómo se reutilizan o reciclan; estaremos haciendo una aproximación ingenua y superficial al problema de su eficiencia energética.





## 2. Ciclo de vida, consumo energético y emisiones en los edificios de aparcamiento

La aproximación a la eficiencia energética no puede hacerse sin contemplar todo el ciclo de vida de los edificios. Si no lo hiciésemos podríamos caer en el tan frecuente error de catalogar como eficientes materiales o sistemas que lo son en una parte de su ciclo de vida, por ejemplo en la fase operativa, sin serlo en absoluto en otra u otras, por ejemplo en el aporte de materiales y recursos o en el procesado, construcción o fabricación. Este principio, que lo es desde hace muchos años en la mayoría de los sectores industriales, debe orientar la selección de materiales y equipos, y también los procesos de diseño y las decisiones de proyecto hacia las soluciones más equilibradas en la relación entre prestaciones, coste y coste energético.



**Figura 1.** Diagrama de fases de incorporación de energía y emisión de gases de efecto invernadero durante la vida de un edificio de aparcamiento.

Los sistemas mecánicos de aparcamiento, tal como vamos a detallar en los distintos apartados de este capítulo, han sido concebidos para obtener un objetivo, la compactación del espacio de aparcamiento, que en sí mismo lleva asociados enormes beneficios en cuanto a la versatilidad y la flexibilidad de implantación, el consumo de recursos básicos, y la simplificación operativa y de uso de las instalaciones y edificios de aparcamiento. Además se trata de sistemas concebidos sobre la premisa de la economía de medios en el uso de los materiales y la energía. Diseñados para el montaje, el desmontaje y la reutilización, incorporan materiales que compensan su carga energética con su ligereza y su carácter reutilizable y reciclable. La optimización de su diseño, de su construcción y de su rendimiento que es la clave de su mejora como producto, lleva implícita la mejora de la eficiencia energética en todos y cada uno de los apartados de su ciclo de vida. Los proyectos de I+D en los que estamos trabajando sobre nuevas variantes, modelos y dispositivos, son en todos estos aspectos más eficientes que los precedentes, porque la innovación es una de las claves de la eficiencia energética.

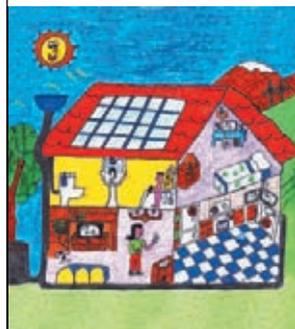
Prestaremos también especial atención a las emisiones derivadas del consumo energético, y aportamos los datos que permiten valorar cómo la utilización de la masa y el espacio tienen también consecuencias directas sobre el equilibrio ambiental.

### **3. Tipología de sistemas de aparcamiento mecánico**

La tecnología aplicable al desarrollo de aparcamientos mecánicos se caracteriza, en primera instancia, por ser abierta y flexible. Disponemos de una amplia caja de herramientas con dispositivos que, combinados, permiten crear aparcamientos a la medida, según los requerimientos específicos de cada situación: ubicación, uso, usuario, normativa y coste.

#### **3.1. Sistemas semiautomáticos para la compactación horizontal del espacio de aparcamiento**

Se trata de sencillos sistemas de plataformas móviles, deslizantes o giratorias, que permiten aprovechar espacios disponibles en aparcamientos existentes o planificar nuevas instalaciones con dobles o triples filas de aparcamiento:





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

### **3.1.1. Plataformas deslizantes con movimiento lateral**

En este sistema se crean varias filas independientes de aparcamiento, una tras otra.

### **3.1.2. Plataformas deslizantes con movimiento longitudinal**

Las citadas plataformas se disponen aprovechando espacios en las zonas de circulación.

### **3.1.3. Dispositivos de ayuda al aparcamiento**

Se trata de mecanismos guiados que permiten desplazar el vehículo dentro de espacios estrechos.

### **3.1.4. Plataformas giratorias**

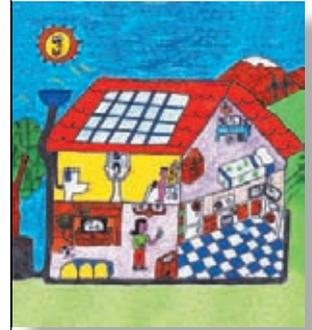
Permiten aparcar en plazas donde la maniobra no es posible por medios convencionales.

## ***3.2. Sistemas semiautomáticos para la compactación vertical y horizontal del espacio de aparcamiento***

Se trata de sistemas mecánicos que permiten el apilamiento de vehículos en dos o tres alturas. En sus variantes más complejas permiten también crear varias filas independientes, una tras otra, de plazas aparcamiento. Su condición de semiautomáticos la determina el que los usuarios accedan y circulen en el aparcamiento por medios convencionales, como en un aparcamiento convencional y sean ellos mismos los que aparquen su vehículo en estos dispositivos situados dentro del aparcamiento.

### 3.2.1. Sistemas Parklift

Se trata de dispositivos hidráulicos en los que se produce un movimiento vertical, de elevación y descenso de los vehículos, que permite apilarlos en dos o tres alturas, bajo el suelo, por encima del suelo o en situaciones intermedias con foso. Existen once variantes dentro de esta familia destinada a aprovechar tanto el espacio y la altura disponibles en locales existentes como a mejorar el aprovechamiento del espacio en proyectos de nueva implantación.



### 3.2.2. Sistemas Combilift

Constituyen la familia más avanzada de sistemas semiautomáticos de aparcamiento. Se trata de dispositivos hidráulicos de desplazamiento vertical que jugando con otros que permiten el desplazamiento horizontal de los vehículos situados en el nivel de acceso permiten la compactación de todo el espacio hasta en tres alturas para obtener hasta 29 plazas de aparcamiento sobre diez espacios convencionales.

Los sistemas de la familia *Combilift* se pueden disponer uno tras otro para crear hasta tres filas independientes creando bloques compactos de hasta tres alturas y tres filas en fondo con un solo acceso convencional. Hay cinco modelos de *Combilift* con una veintena de variantes.

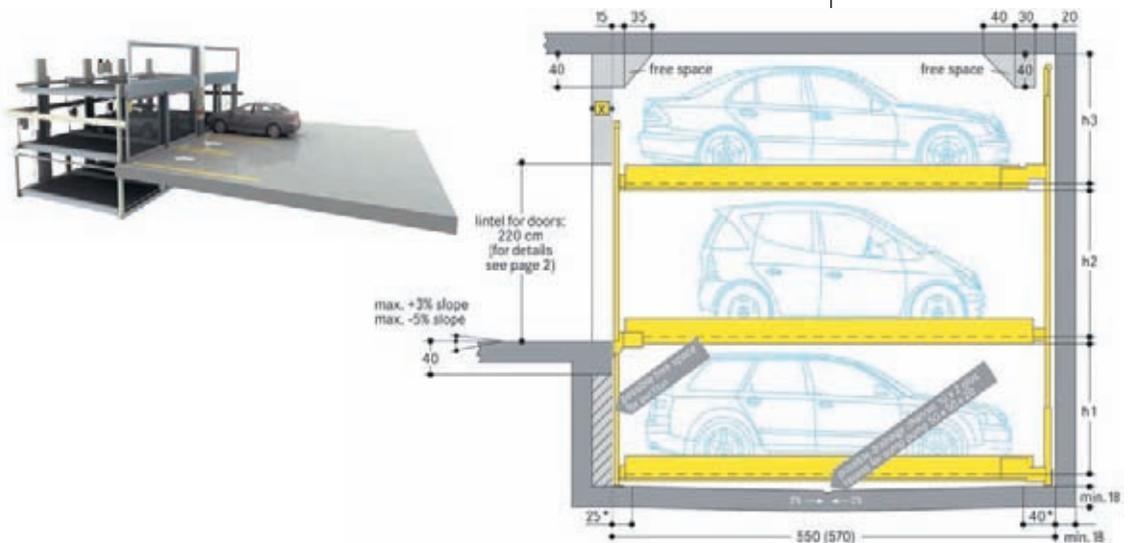


Figura 2. Esquemas y vista del sistema Combilift.



### **3.3. Sistemas robotizados para la compactación del volumen de aparcamiento**

Un aparcamiento robotizado es un sistema mecánico de almacenamiento de vehículos gestionado por un dispositivo informatizado de control. El usuario deposita su vehículo en un punto de recepción/ entrega y se va. El sistema resuelve automáticamente el aparcamiento y posteriormente la entrega del vehículo sin intervención del usuario.

Para resolver cada implantación con el equilibrio óptimo de todos sus requerimientos, de uso, de usuarios, normativos, de espacio, de acceso, de coste; necesitamos un amplio repertorio de herramientas y soluciones estándar que podamos combinar a la medida de nuestras necesidades.

Existen tres grandes familias de sistemas robotizados:

#### **3.3.1. Sistemas *Levelparker***

Se trata de sistemas mecánicos que funcionan rotando en horizontal o vertical (tipo noria) las plazas en espacios compactos de aparcamiento. Todas las plazas rotan simultáneamente y el aparcamiento es realizado directamente desde un elevador que introduce el vehículo en el recinto y lo deposita en una plaza libre situada junto a él. En esta familia hay dos tipos y una decena de variantes.

#### **3.3.2. Sistemas *Parksafe***

Se trata de sistemas dotados con un elevador que lleva integrado un robot de distribución de vehículos que alimenta estructuras de aparcamiento situadas a ambos lados. El robot puede, a su vez, estar equipado con una lanzadera que permite disponer dos o tres filas de vehículos. Dentro de esta familia hay cuatro tipos y más de cuarenta variantes.

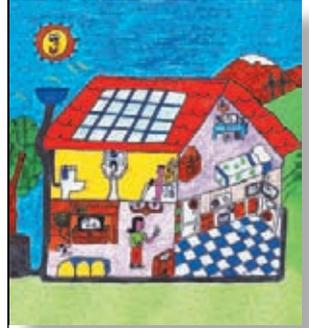


Figura 3. Secciones y vista de un sistema Parksafe.

### 3.3.3. Sistemas Multiparker

Son sistemas formados por estanterías dispuestas en posición transversal o longitudinal respecto a un espacio central que es recorrido por un robot que se desplaza en las tres direcciones del espacio, recoge y entrega los vehículos, los aparca y los retira.

Hay siete modelos distintos de sistemas *Multiparker* y más de cincuenta posibles variantes desarrolladas sobre ellos.

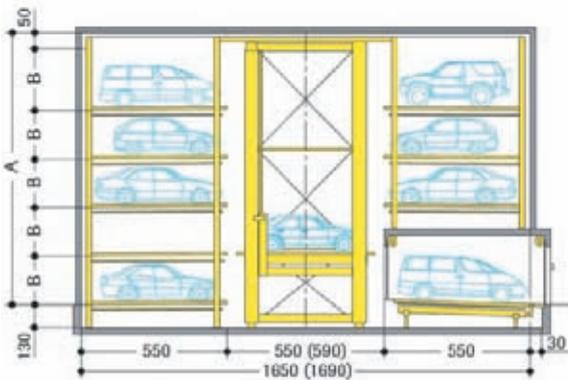


Figura 4. Sección, planta y vista de un sistema *Multiparker* con disposición transversal de los vehículos aparcados.



#### 4. Aplicación de los sistemas de aparcamiento mecánico

Los campos de aplicación de los sistemas mecánicos de aparcamiento son muy amplios. En términos generales son todos aquellos en los que la compactación del espacio de aparcamiento supone un factor determinante para conseguir:

- Que el aparcamiento sea viable donde no lo es un sistema convencional, desde el punto de vista técnico o económico.
- El aumento del número de plazas de aparcamiento viables con un aumento proporcional de la rentabilidad.
- La reducción del volumen de la unidad básica de aparcamiento que hace posible multiplicar las posibilidades de implantación.
- El aumento de la calidad de los procesos de aparcamiento.
- El aumento de la calidad del espacio de aparcamiento.

La compactación del espacio destinado a aparcamiento tiene tres componentes básicas:

##### **Optimización del aprovechamiento horizontal del espacio:**

Los ratios estándar de ocupación por plaza de aparcamiento convencional oscilan entre 25 m<sup>2</sup> y 30 m<sup>2</sup> por plaza. De esta superficie aproximadamente entre un 45% y un 50% corresponde a la plaza de aparcamiento y el resto a la repercusión que sobre la misma tienen los elementos de acceso y circulación, rodada y peatonal, de la instalación.

La superficie útil de una plaza de aparcamiento en un sistema mecánico no difiere sustancialmente de la de una plaza convencional de aparcamiento, es más, en términos generales los sistemas mecánicos gestionan plazas consideradas grandes para un aparcamiento convencional. La plaza convencional tipo sería un espacio de 2,50 m x 5,00 m = 12,50 m<sup>2</sup> y la plaza mecanizada tipo oscila entre los 2,50 m x 5,20 m = 13 m<sup>2</sup>, de un sistema

semiautomático, y los  $2,30 \text{ m} \times 5,35 \text{ m} = 12,30 \text{ m}^2$  de un sistema robotizado.

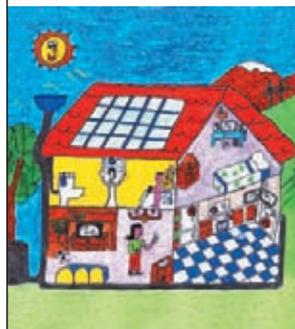
La optimización horizontal del espacio de aparcamiento se consigue reduciendo sustancialmente la repercusión que, sobre cada plaza de aparcamiento, tienen las superficies dedicadas a elementos de acceso y circulación del aparcamiento. En este sentido, los sistemas mecánicos de aparcamiento permiten la distribución del aparcamiento en dobles y triples filas, y la reducción proporcional al número de plazas que se obtienen añadiendo filas, de las superficies dedicadas rampas y zonas de de circulación. De este modo, del 50% de la superficie del aparcamiento destinado a espacios comunes podemos pasar a una repercusión del 25% y hasta del 15%, sólo mediante la optimización horizontal del espacio, lo que supone de un 25% a un 35% de optimización total del espacio horizontal reduciendo la repercusión por plaza de aparcamiento a valores entre  $18,75 \text{ m}^2/\text{plaza}$  y  $16,25 \text{ m}^2/\text{plaza}$ .

### Optimización del aprovechamiento vertical del espacio:

El apilamiento de vehículos en dos o tres alturas, en los sistemas semiautomáticos, y hasta 18 alturas en los sistemas robotizados permite un aprovechamiento vertical máximo del espacio de los aparcamientos. Este tipo de dispositivos permite ajustar las alturas de apilamiento para conseguir el máximo rendimiento en número de plazas, entre alturas de 1,75 m para vehículos normales de altura 1,65 m y 2,60 m para furgonetas, pasando por alturas intermedias de 1,85 m y 2,00 m para vehículos todo terreno, SUV y monovolumen. La superficie de ocupación en planta permanece invariable, y por ello el apilamiento supone una reducción proporcional de la repercusión total de superficie por vehículo.

Las ratios de superficie por plaza que se pueden obtener con apilamientos mediante la aplicación de sistemas semiautomáticos oscilan entre  $8,5 \text{ m}^2/\text{plaza}$  para sistemas triples tipo *Combilift* y  $12,5 \text{ m}^2/\text{plaza}$  para sistemas dobles tipo *Parklift*. La aplicación de sistemas en doble fila hace descender la superficie media hasta  $7,7 \text{ m}^2/\text{plaza}$ .

La aplicación de sistemas robotizados permite apilamientos de mucha más altura, los ratios de superficie por plaza se reducen radicalmente. Un





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

sistema robotizado con tres niveles de apilamiento puede tener una repercusión de 6 a 7 m<sup>2</sup>/plaza. Habitualmente se disponen en configuraciones de 5 a 7 niveles, lo que arroja cifras de repercusión entre 4 m<sup>2</sup>/plaza y 2,5 m<sup>2</sup>/plaza. El acceso a los sistemas robotizados se resuelve con elevadores verticales cuya repercusión en superficie es mínima.

### Compactación del volumen de aparcamiento:

Si los datos sobre la repercusión en superficie por plaza de que se obtiene mediante la compactación horizontal y vertical del espacio de aparcamiento ilustran sobre el significativo aumento de rendimiento que se obtiene con la aplicación de sistemas mecánicos, los datos más significativos sobre la ocupación del espacio son los que se refieren al volumen total de los aparcamientos.

El volumen total útil del aparcamiento, el volumen útil por plaza de aparcamiento y el volumen de construcción por plaza de aparcamiento nos van a permitir calcular la eficiencia en la ocupación del espacio, el volumen y la masa de construcción por plaza de aparcamiento, la energía consumida en los procesos de construcción y las emisiones correspondientes de gases de efecto invernadero.

Se toma como referencia el volumen útil por plaza de aparcamiento convencional que, considerando una plaza con 25 m<sup>2</sup> de repercusión y un promedio de 2,40 m de altura libre, es de 60 m<sup>3</sup>/plaza.

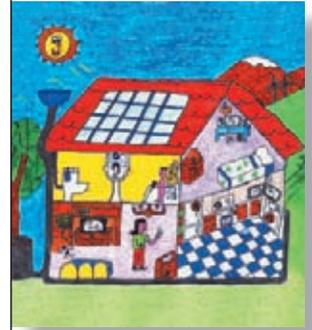
La utilización de sistemas semiautomáticos de aparcamiento, permite reducir el volumen útil por plaza hasta un 70% del valor de referencia.

La combinación de disposiciones en filas múltiples y el apilamiento en dos y tres alturas de los vehículos reduce el volumen útil por plaza a valores que, según el sistema y la configuración aplicados, oscilan entre 18,5 m<sup>3</sup>/ plaza y 35 m<sup>3</sup>/plaza, es decir entre un 30% y un 58% del valor de referencia.

La utilización de sistemas robotizados de aparcamiento, permite reducciones del volumen útil por plaza de hasta un 50%, oscilando normalmente entre un 30% y un 40%. La posibilidad de apilar en altura combinada con la de disponer múltiples filas en sentido transversal o longitudinal permite reducir el volumen útil por plaza a valores que

oscilan entre 40 m<sup>3</sup>/plaza y 43,5 m<sup>3</sup>/plaza, es decir entre un 66% y un 72% del valor de referencia.

Es importante señalar que los valores óptimos de compactación de volumen para los sistemas semiautomáticos se obtienen con configuraciones que sólo son aplicables sobre superficies de aparcamiento superiores a 800 m<sup>2</sup>. En este caso se obtienen índices de compactación óptimos e incluso muy superiores a los que se obtienen con sistemas de aparcamiento robotizado. Sin embargo los sistemas robotizados obtienen sus índices óptimos de compactación a partir de superficies de 150 m<sup>2</sup>, lo que los hace especialmente efectivos en espacios reducidos en situaciones donde incluso los sistemas semiautomáticos son difíciles de implantar.



		IMPRESIÓN DE LAS PLAZAS	SUPERFICIE DTL PLAZA	ALTURA MEDIA PROMEDIO	VOLUMEN DTL PLAZA	% DE AJUSTE DE VOLUMEN DTL PLAZA
SISTEMAS DE APARCAMIENTO AUTOMÁTICOS		25,00 m <sup>2</sup>	2,40 m	60 m <sup>3</sup>	0%	
		8,20 m <sup>2</sup>	2,40 m	20 m <sup>3</sup>	33%	
		12,5 m <sup>2</sup>	2,40 m	30 m <sup>3</sup>	50%	
		16 m <sup>2</sup>	2,40 m	38,4 m <sup>3</sup>	64%	
SISTEMAS DE APARCAMIENTO SEMIAUTOMÁTICOS		8,30 m <sup>2</sup>	3,00 m	25 m <sup>3</sup>	33%	
		7,7 m <sup>2</sup>	2,4 m	18,5 m <sup>3</sup>	29%	
		7,90 m <sup>2</sup>	2,5 m	19,84 m <sup>3</sup>	33%	
		12,50 m <sup>2</sup>	3,00 m	37,50 m <sup>3</sup>	62%	
		12,50 m <sup>2</sup>	3,00 m	45,00 m <sup>3</sup>	75%	
		12,50 m <sup>2</sup>	4,00 m	50,00 m <sup>3</sup>	83%	
		12,25 m <sup>2</sup>	2,13 m	26,10 m <sup>3</sup>	43%	
		8,30 m <sup>2</sup>	3,00 m	41,50 m <sup>3</sup>	69%	
	SISTEMAS DE APARCAMIENTO ROBOTIZADOS		12,52 m <sup>2</sup>	3,30 m	40,00 m <sup>3</sup>	66%
			13,65 m <sup>2</sup>	3,30 m	45,00 m <sup>3</sup>	75%
		12,00 m <sup>2</sup>	3,60 m	43,00 m <sup>3</sup>	71%	
		12,00 m <sup>2</sup>	3,25 m	39,00 m <sup>3</sup>	65%	

Figura 5. Compactación del volumen del aparcamiento



#### **4.1. Optimización de aparcamientos. Actuaciones para mejorar el aprovechamiento del espacio en aparcamientos existentes**

A menudo es posible actuar en instalaciones antiguas de aparcamiento de muy variada tipología y aplicar tecnologías mecánicas para mejorar sustancialmente el aprovechamiento del espacio disponible.

Se trata de edificios, locales e instalaciones de aparcamiento privado y público, destinados a usuarios habituales, residentes y oficinas, o de rotación, en garajes de edificios, en locales y naves, en patios de manzana, aparcamientos en superficie en áreas comerciales, aparcamientos en talleres y concesionarios de automóviles, y muchos otros donde la compactación y el agotamiento del espacio útil disponible permite multiplicar el número de plazas de aparcamiento.

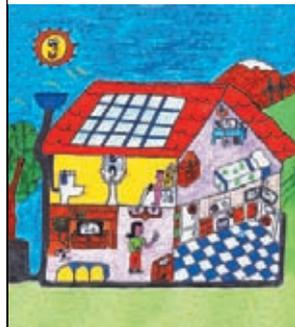
#### **4.2. Rehabilitación. Creación de espacio de aparcamiento en procesos de recuperación de edificación existente**

Los procesos de rehabilitación son intrínsecamente eficientes en la medida en que recuperan una parte importante de la energía incorporada a la masa y los procesos de construcción, pero también producen una intensificación del uso de los edificios y por extensión un aumento de la densidad de ocupación para usos residenciales y terciarios de la ciudad, que debe ir acompañada de una dotación proporcional de dotaciones, y en particular de aparcamiento para residentes y trabajadores. La aplicación de sistemas robotizados y semiautomáticos de aparcamiento ha demostrado ser la única alternativa técnica y económicamente viable para resolver las muy diversas fórmulas de implantación que son imprescindibles para culminar con éxito la dotación de los edificios y espacios rehabilitados.

#### **4.3. Obra nueva**

El proyecto de obra nueva que incorpora sistemas mecánicos de aparcamiento:

- Reduce muy significativamente el volumen construido y coste de construcción por plaza, ahorro que supera el coste de la tecnología mecánica de aparcamiento.
- Multiplica el número de plazas viables dentro de las limitaciones de volumen construido que determinen las normas urbanísticas.
- Reduce proporcionalmente el volumen de un aparcamiento en zonas donde la excavación es especialmente costosa o compleja.
- Aporta un enorme valor añadido al aparcamiento en seguridad para los vehículos y los usuarios, facilidad de uso, calidad ambiental y economía.



**Figura 6.** Construcción de un aparcamiento robotizado con 55 plazas bajo un edificio en rehabilitación integral en el casco histórico. C/ Huertas 39, Madrid.

#### **4.3.1. Creación de aparcamientos en espacios libres de edificación privados o públicos**

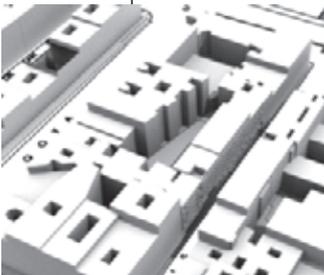
Los espacios libres de edificación son a la vez una necesidad vital y un lujo en nuestras ciudades. Plazas, calles, patios de manzana, patios de colegio, instalaciones deportivas, parques. Son los espacios donde se desarrollan las actividades cívicas, culturales, deportivas y de



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

ocio que equilibran el balance de calidad de vida y calidad ambiental de nuestras ciudades, y también son, tradicionalmente, bolsas de subsuelo potencialmente utilizable para usos dotacionales. La ciudad contemporánea pretende recuperar su superficie para el peatón y estratificar los usos del subsuelo racionalizando la explotación del espacio subterráneo.

Las tecnologías mecánicas de aparcamiento son una poderosa herramienta al servicio de las últimas estrategias en materia de urbanismo y movilidad. Efectivas y versátiles ofrecen muchas nuevas alternativas y resuelven la compatibilidad con otros elementos preexistentes en el subsuelo como las infraestructuras de servicios y transporte y la arqueología. Su carácter compacto multiplica las posibilidades de implantación bajo todo tipo de espacios libres, privados o públicos, generando una red de dotación de aparcamiento equilibrada y proporcionada, en términos de movilidad, con la capacidad y la estructura del tejido urbano.



**Figura 7.** Aparcamiento robotizado para residentes bajo patio de manzana. Promoción privada. Povedilla 9, D. Madrid



## **5. Factores de optimización del aprovechamiento energético y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la edificación mediante la utilización de sistemas mecánicos de aparcamiento**

### **5.1. Reducción del consumo energético y de los efectos medioambientales correspondiente a los materiales de construcción**

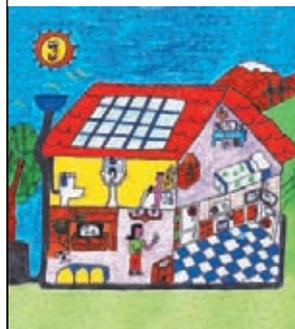
Uno de los campos de mayor consumo de energía es la construcción. En España entre el 30% y el 40% de la energía total consumida se aplica a la construcción y mantenimiento de los edificios. Hablando de aparcamientos, esto incluye tanto la energía consumida en los procesos operativos, iluminación, extracción y tratamiento del aire, mecanismos y otras funciones del edificio; como la energía incorporada a la estructura física del edificio.

Habitualmente la búsqueda de la eficiencia energética se orienta hacia la reducción de los consumos operativos, ya que comúnmente se sabe que mediante la utilización de dispositivos eficientes se puede ahorrar más de un 60% de la energía operativa de un edificio. Comparativamente se ha dedicado poco esfuerzo a la reducción de la energía incorporada a la construcción, que es un porcentaje muy significativo del total.

El concepto de energía "incorporada" incluye la energía que se requiere para extraer materias primas de la naturaleza mas la energía consumida en los procesos primarios y secundarios de transformación para la producción de materiales acabados. La energía incorporada a los edificios supone una inversión enorme a un plazo relativamente largo.

Cada edificio es una combinación compleja de múltiples materiales, cada uno de los cuales contribuye al balance global de energía incorporada. A medida que conseguimos reducir el consumo energético debido a los procesos operativos el concepto de energía incorporada cobra mayor importancia y representa un porcentaje significativo del cómputo total de la energía que se usa en los edificios. En los próximos años se dedicará un esfuerzo mucho mayor a calcular y reducir la cantidad de energía incorporada a los edificios.

En el caso de la utilización de sistemas mecánicos de aparcamiento, dos son los factores de reducción de la energía incorporada a los materiales y a los edificios:





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

- La reducción de la cantidad de materiales utilizados por plaza de aparcamiento, en virtud de la compactación del espacio.
- La utilización de materiales de larga vida con bajo requerimiento de mantenimiento.
- La utilización de materiales con disponibilidad local.
- La posibilidad de usar materiales reciclados.

En la construcción de aparcamientos mecánicos se suele dar la interacción de materiales como el hormigón, con un bajo índice de energía incorporada, con el que resolvemos toda la envolvente estructural de los sistemas, con el acero que tiene un alto índice de energía incorporada, y con el que se construyen todos los sistemas mecánicos. Juntos suponen casi el 95% de los materiales de un aparcamiento mecánico subterráneo. En el caso de aparcamientos en altura, el hormigón prácticamente desaparece, limitado a cimentaciones, y hay un ligero aumento del acero y otros materiales de cerramiento con una importante reducción del volumen total.

La combinación de hormigón y acero consigue un balance muy positivo de energía incorporada:

- El hormigón armado es íntegramente reciclable y puede ser fabricado con materiales reciclados. Tiene un muy bajo índice de energía incorporada y es un material común de suministro local. Permite la prefabricación total o la construcción mixta con elementos prefabricados y elaborados en obra.
- El acero utilizado en los sistemas mecánicos de aparcamiento constituye estructuras desmontables y reutilizables. Es un material con un elevado índice de energía incorporada pero por sus elevadas prestaciones se utiliza en volúmenes pequeños. Es totalmente reciclable y reutilizable incluso con sencillos procesos de transformación. El 85% del volumen de acero de un sistema de aparcamiento lo constituyen perfiles estándar que pueden ser suministrados y transformados en el entorno de la obra, localmente.

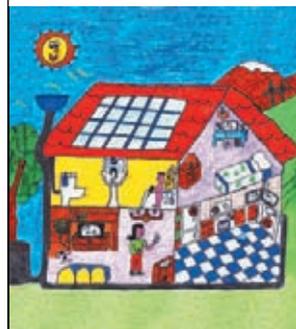
**Tabla 1.** Energía incorporada a los materiales de construcción y emisión de CO<sub>2</sub> correspondiente a la construcción de edificios de aparcamientos con sistemas mecánicos.

APARCAMIENTO CONVENCIONAL			
	Obra peso (kg)	Energía incorporada (MJ)	CO <sub>2</sub> emitido (t)
Hormigón	33.000,0	69.960	6,6
Pinturas Epoxy	50,0	4.560	0,15
Pinturas Normales	10,0	2.650	0,11
Cobre	0,5	50	0,002
Aluminio	0,5	90	0,003
Hierro	110,0	4.200	0,187
Plásticos	40,0	3.650	0,12
<b>TOTAL</b>	<b>33.211,0</b>	<b>85.160</b>	<b>7,172</b>

APARCAMIENTO SEMIAUTOMÁTICO			
	Obra peso (kg)	Energía incorporada (MJ)	CO <sub>2</sub> emitido (t)
Hormigón	14.022,0	29.730	2,8044
Pinturas Epoxy	21,0	1.910	0,0462
Pinturas Normales	4,0	210	0,0088
Cobre	1,7	180	0,0068
Aluminio	0,2	40	0,0012
Hierro*	800,0	30.530	1,36
Plásticos	16,0	1.460	0,048
<b>TOTAL</b>	<b>14.864,9</b>	<b>64.060</b>	<b>4,2754</b>

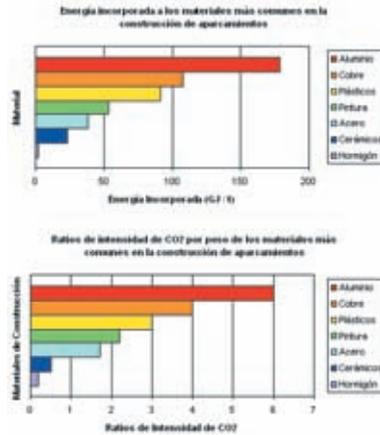
APARCAMIENTO ROBOTIZADO			
	Obra peso (kg)	Energía incorporada (MJ)	CO <sub>2</sub> emitido (t)
Hormigón	18.592,0	39.420	3,7184
Pinturas Epoxy	—	—	—
Pinturas Normales	1,0	50	0,0022
Cobre	3,0	320	0,012
Aluminio	0,1	20	0,0006
Hierro*	960,0	36.630	1,632
Plásticos	22,0	2.010	—
<b>TOTAL</b>	<b>19.578,1</b>	<b>78.450</b>	<b>5,3652</b>

\* Incluye sistemas mecánicos.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



**Figura 8.** Energía incorporada e intensidad de CO<sub>2</sub> de los materiales más comunes en la construcción de aparcamientos.

### 5.2. Reducción de desechos y residuos

Desechos y residuos suponen entre un 5% y un 15% del volumen de la obra. El hormigón constituye el material que más residuos genera en su elaboración y puesta en obra, casi el 50%.

Los residuos generados durante la obra, embalajes, líquidos y restos de material, contienen muchos tipos de materiales diferentes, que deben ser recogidos y tratados específicamente. Son procesos que exigen la dotación de las obras con medios de recogida selectiva, consumen energía y suponen emisiones contaminantes.

Los edificios de aparcamiento deben ser proyectados para optimizar el uso de los materiales de construcción y reducir el volumen de los materiales utilizados y los residuos generados.

### 5.3. Ahorro en los recursos consumidos y reducción de emisiones por el transporte

La enorme cantidad de materiales utilizada en la construcción de los aparcamientos hace que el impacto de los medios utilizados para transportarlos sea un aspecto significativo.

La energía que se necesita para transportar los materiales es, en términos generales, función de la distancia de transporte, del medio elegido y de la masa del material transportado.

Se ha calculado la reducción del consumo energético en transporte de materiales de construcción en aparcamientos semiautomáticos y robotizados, considerando una distancia máxima de transporte de 50 km, y la utilización del transporte por carretera, ya que el transporte y descarga en obra de casi la totalidad de los materiales y componentes se realiza, desde el origen, en camión.

**Tabla 2.** Tabla comparativa del total de emisiones y energía primaria utilizada para distintos medios de transporte.

	Acuático	Ferrovial	Terrestre	Aéreo
CO <sub>2</sub> /g por t por km	30	41	207	1.206
CH <sub>4</sub> /g por t por km	0,04	0,06	0,30	2,00
NO <sub>x</sub> /g por t por km	0,40	0,20	3,60	5,50
CO/g por t por km	0,12	0,05	2,40	1,40
VOCs/g por t por km	0,10	0,08	1,10	3,00
Energía/kJ por t por km	423	677	2.890	15.839

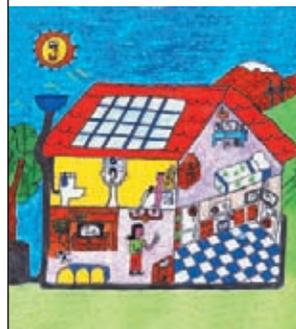
**Tabla 3.** Tabla comparativa de la energía consumida y CO<sub>2</sub> emitido en el transporte de materiales de construcción entre edificios de aparcamientos con sistemas mecánicos o convencional por plaza de aparcamiento. Radio de transporte: 50 km.

	Peso (kg)	Energía (MJ)	CO <sub>2</sub> (t)
Convencional	33.211,00	4.800,00	343,73
Semiautomático	14.864,90	2.149,36	153,92
Robotizado	19.578,10	2.830,88	202,72

#### 5.4. Ahorro en consumo de electricidad y combustibles en la construcción

Los procesos de construcción de aparcamientos se alimentan, básicamente, con dos fuentes de energía:

- Electricidad utilizada para alimentar maquinaria, herramientas, dispositivos de seguridad y vigilancia e iluminación.
- Combustibles de origen fósil, gasóleo y gasolina, utilizados para alimentar maquinaria, generadores y medios auxiliares de descarga y transporte en obra.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Al igual que sucede con otros recursos aplicados a la ejecución de la obra la reducción del volumen de obra que resulta de la compactación del aparcamiento supone una reducción proporcional, a partir de un volumen crítico, de los consumos de energía que requiere la puesta en obra y la transformación en obra de los materiales y los componentes de los aparcamientos.

En este sentido vuelve a cobrar importancia que el proyecto esté orientado a la puesta en obra de componentes listos para su montaje. La prefabricación total o parcial de los componentes estructurales de los aparcamientos es una vía muy importante de ahorro energético y reducción de los plazos de ejecución, lo que repercute directamente sobre este factor.

Los sistemas de aparcamiento mecánico son modulares, desmontables y optimizan extraordinariamente el uso de los materiales y su puesta en obra. Se prestan a desarrollar modelos constructivos donde actúen en interacción con los sistemas de estructura, cerramiento e instalaciones, para constituir un sistema integrado con un elevado grado de eficiencia constructiva, ahorro energético, reducción de emisiones y rapidez de ejecución.

### **5.5. Reducción del consumo energético de los edificios de aparcamiento**

La aplicación de sistemas mecánicos a los aparcamientos supone un factor de optimización del consumo operativo de energía y de reducción de las emisiones contaminantes muy significativo.

En los sistemas semiautomáticos se dan los siguientes factores de ahorro en consumo de energía eléctrica de los edificios de aparcamiento:

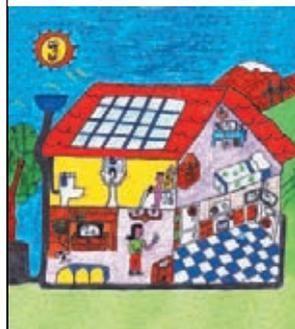
- Reducción de la iluminación. La compactación del espacio de aparcamiento, que permite resolver en una sola planta el número de plazas que en un aparcamiento convencional ocuparían dos tres o cuatro plantas, supone una reducción entre el 50% y el 65% de las zonas iluminadas del aparcamiento y una reducción proporcional el consumo en este concepto.
- Reducción de la extracción de humos. En este caso la reducción no es proporcional al espacio compactado ya que el sistema de

extracción se dimensiona en función del número de vehículos. El rendimiento mejora al ser un sistema más compacto, con menos longitud de conductos y siendo prudentes podemos estimar la reducción del consumo en un 10%.

- Reducción del consumo por aparatos de elevación de personas, proporcional a la reducción del número de plantas de aparcamiento que se consigue con el uso de sistemas semiautomáticos, del 50 % al 66% del consumo en aparcamientos convencionales.
- Reducción de un 50% de los consumos energéticos relacionados con actividades de limpieza, mantenimiento, vigilancia y control.

En los sistemas automáticos, o robotizados, se dan los siguientes factores de ahorro en consumo de energía eléctrica de los edificios de aparcamiento:

- Reducción de la iluminación. La reducción en este concepto es enorme, en torno al 90%, ya que en estos sistemas la única zona iluminada es el área de transferencia, donde se entregan y recogen los vehículos, y una pequeña dotación de iluminación para el personal que realiza labores periódicas de mantenimiento.
- Reducción de la extracción de humos. Los vehículos que acceden a un aparcamiento robotizado lo hacen a través de la zona de transferencia de vehículos, que es la única zona del aparcamiento donde los vehículos tienen el motor encendido. Una vez entregado el coche todo el proceso de aparcamiento se realiza con el motor apagado, en un recinto libre de humos y no accesible a usuarios. Por lo tanto, la extracción se reduce a la de la zona de acceso, a una pequeña extracción para mantenimiento y a la renovación obligatoria en caso de incendio. La reducción en este concepto es superior al 90%, respecto a un aparcamiento convencional.
- Reducción del consumo por aparatos de elevación de personas. En términos generales el acceso a estos aparcamientos se produce a nivel de calle o a nivel -1, luego en este concepto se plantea una reducción que oscila entre el 75% y el 100%, respecto a un aparcamiento convencional.
- Reducción de un 70% de los consumos energéticos relacionados con actividades de limpieza, mantenimiento, vigilancia y control.





### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

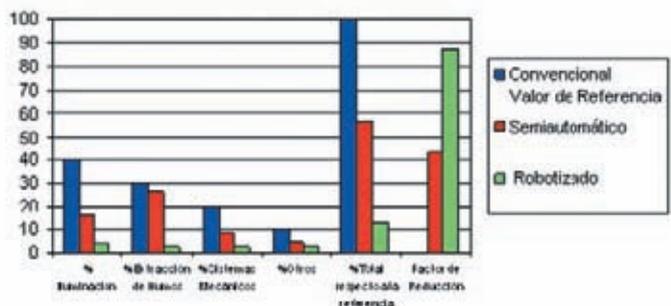
Las actividades de vigilancia y control se realizan sin presencia física mediante sistemas remotos vía modem. Así sucede también con parte del mantenimiento. Las labores fijas de limpieza y mantenimiento de los sistemas "in situ", están muy simplificadas por el carácter compacto, limpio y libre de humos, de los sistemas robotizados y la reducción de las zonas de acceso público.

**Tabla 4.** Comparativa de consumo energético por plaza de aparcamiento, dependiendo de un sistema convencional o mecánico.

	Convencional Valor de Referencia kWh	Porcentaje con respecto a la Referencia	
		Semiamatónico kWh	Robotizado kWh
Iluminación	0,120	0,048	0,012
Extracción de Humos	0,090	0,081	0,009
Sistemas Mecánicos: elevación de personas, ascensores, sistemas de bombeo contra- incendios, puertas y sistemas de acceso motorizados	0,060	0,025	0,008
Otros: dispositivos de vigilancia, control, señalización, detección, mantenimiento y otros conceptos menores	0,030	0,015	0,009
Porcentaje Total con respecto a la Referencia	0,300	0,169	0,038
Factor de Reducción		44%	88%
Emisión de CO <sub>2</sub> (g)	101,10	57,02	12,64

Valores por plaza de aparcamiento

**Factores de reducción del consumo energético en edificios de aparcamiento mediante la aplicación de sistemas mecánicos**



**Figura 9.** Gráfica comparativa de ahorro energético entre aparcamiento convencional y mecánico. Valores por plaza de aparcamiento.

## 5.6. Ahorro en consumo energético y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO, HC, NO<sub>x</sub>) en los procesos de aparcamiento de los vehículos

En los aparcamientos convencionales el movimiento de los vehículos por sus propios medios supone el consumo de combustibles derivados del petróleo y la correspondiente tasa de emisiones contaminantes. La aplicación de sistemas mecanizados de aparcamiento permite por un lado reducir el consumo energético y, además, sustituir parte de éste, en los sistemas semiautomáticos, o su totalidad, en los aparcamientos robotizados, por consumo eléctrico.

Los estudios más recientes distinguen dos modos de circulación en el acceso, la circulación y la maniobra dentro de los recintos de aparcamiento.

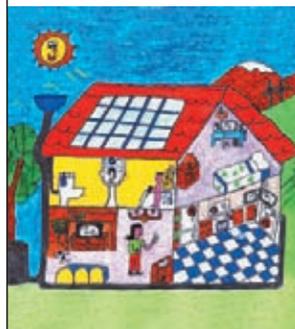
El primer modo de circulación corresponde a las fases de acceso a los aparcamientos, esperas en rampas, circulación por rampas y maniobras. Las emisiones de gases de efecto invernadero en este modo, en miligramos emitidos por metro recorrido, son:

- Emisión de CO<sub>2</sub> ..... 166,00 mg/m
- Emisión de HC ..... 21,60 mg/m
- Emisión de NO<sub>x</sub> ..... 2,60 mg/m

El segundo modo de circulación corresponde a recorridos horizontales. Las emisiones de gases de efecto invernadero en este modo, en miligramos emitidos por metro recorrido, son:

- Emisión de CO<sub>2</sub> ..... 117,12 mg/m
- Emisión de HC ..... 15,6 mg/m
- Emisión de NO<sub>x</sub> ..... 2,1 mg/m

Por otro lado, según los datos publicados sobre producción de energía eléctrica en España, en el año 2006 el promedio de emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh de electricidad producido es de 0,337 Kg de CO<sub>2</sub>/ kWh.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Teniendo en cuenta que en un aparcamiento de varias plantas un vehículo recorre un promedio de 80 m para acceder a la plaza de aparcamiento y otros 80 en la salida, estudiamos las emisiones de un proceso completo de entrada y salida y comparamos los tres sistemas con los siguientes resultados:

### **Aparcamiento convencional**

Se realiza un recorrido de 160 m con un 60% en modo 1 y un 40% en modo 2. Las emisiones son:

- Emisión de CO<sub>2</sub> ..... 21,40 g
- Emisión de HC ..... 2,81 g
- Emisión de NO<sub>x</sub> ..... 0,49 g

### **Aparcamiento semiautomático**

Se realiza un recorrido equivalente de 55 m con un 60% en modo 1 y un 40% en modo 2. Las emisiones son:

- Emisión de CO<sub>2</sub> ..... 7,21 g
- Emisión de HC. .... 0,95 g
- Emisión de NO<sub>x</sub> ..... 0,10 g

La emisión de CO<sub>2</sub> por la energía eléctrica consumida es de 3,37 g.

La emisión total de CO<sub>2</sub> en un ciclo de entrada y salida es de 10,58 g, es decir, hay una reducción del 51% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y un 70% en el resto de gases de efecto invernadero.

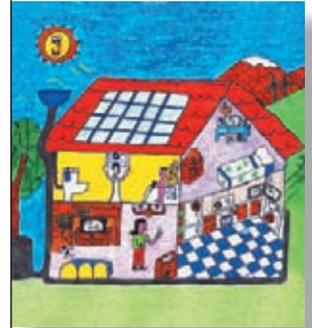
### **Aparcamiento robotizado**

Se realiza un recorrido equivalente de 10 m en modo 2. Las emisiones son:

- Emisión de CO<sub>2</sub> ..... 0,37 g
- Emisión de HC. .... 0,05 g
- Emisión de NO<sub>x</sub> ..... 0,01 g

La emisión de CO<sub>2</sub> por la energía eléctrica consumida en un ciclo de entrada y salida es de 13,48 g.

La emisión total de CO<sub>2</sub> en un proceso combinado de entrada y salida es de 13,85 g, es decir, hay una reducción del 36% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y reducciones del orden de cincuenta a setenta veces en las emisiones del resto de gases de efecto invernadero.



Emisiones de gases de efecto invernadero por ciclo de entrada y salida en aparcamientos con sistemas mecánicos

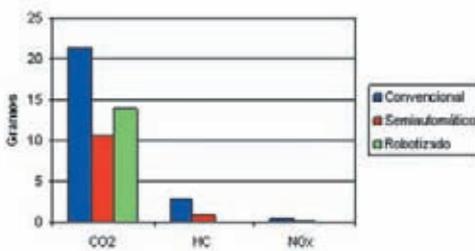


Figura 10. Comparación de las emisiones de gases contaminantes en los ciclos de entrada y salida de aparcamientos convencionales y mecánicos. Valores por plaza de aparcamiento.

Energía consumida por ciclo de entrada y salida en aparcamientos con sistemas mecánicos

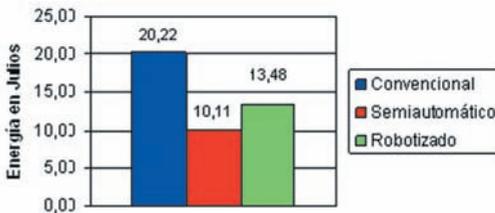


Figura 11. Comparativa del consumo energético en los ciclos de entrada y salida de aparcamientos mecánicos y convencionales. Valores por plaza de aparcamiento.

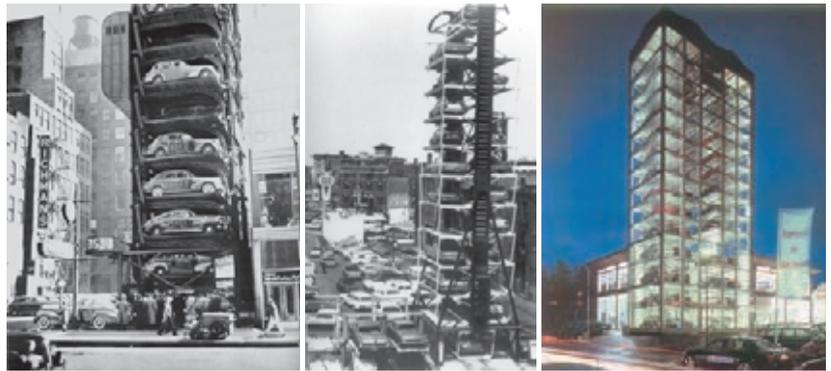
## 5.7. Renovación de los aparcamientos

Un factor importante para el ahorro energético durante el ciclo de vida de los edificios es la capacidad que por concepción, diseño y construcción puedan tener para ser renovados. Recuperar la funcionalidad o dotar con la máxima rentabilidad en explotación a un edificio de aparcamiento puede renovar el ciclo de su vida útil con una inversión ajustada de recursos.



## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

Los aparcamientos mecánicos son instalaciones concebidas en función de principios de flexibilidad, adaptabilidad y facilidad de desmontaje y reciclado. Son especialmente adecuados para renovar, con un significativo aumento del rendimiento, edificios de aparcamiento convencional. Existen millones de plazas de aparcamiento mecánico construidas desde hace más de cincuenta años en todo el mundo. Muchas de ellas siguen operando con sencillos y eficientes sistemas mecánicos antiguos y muchas otras han sido renovadas incorporando los más avanzados sistemas de gestión informática y dispositivos electrónicos de control.



**Figura 12.** Imágenes de una torre de aparcamiento robotizado del año 1925 (Chicago), otra del año 1973 (Denver) y otra del año 2001 (Berlín).

### **5.8. Mantenimiento de los aparcamientos**

El consumo de recursos y energía en los procesos de mantenimiento de los aparcamientos es un apartado importante en el balance energético global.

Se ha visto que en los aparcamientos mecánicos se da una reducción tan importante de la superficie útil que las zonas iluminadas, accesibles y acondicionadas son sustancialmente más pequeñas reduciendo proporcionalmente las acciones de mantenimiento y su consumo energético. Esta reducción que en los aparcamientos semiautomáticos está en torno al 50%, en los aparcamientos robotizados llega a valores por encima del 95%. Por el contrario, hay que añadir el mantenimiento propio de los sistemas mecánicos.

Los procesos de mantenimiento de los sistemas mecánicos están enmarcados en planes de mantenimiento que contemplan acciones de control a distancia, vía modem y ordenador, del fun-

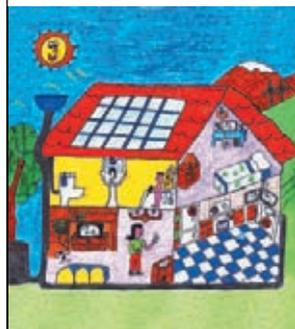
cionamiento de los sistemas; acciones periódicas, cada tres y seis meses, de limpieza, revisión y reposición preventiva de piezas, y servicio remoto permanente de atención al usuario. El cumplimiento estricto de los planes de mantenimiento supone una acción preventiva que reduce al mínimo los niveles de incidencias.

Recuérdese que la normativa alemana de fiabilidad mecánica exige un porcentaje de operatividad superior al 98% a los sistemas mecánicos de aparcamiento, es decir en un periodo de un año, sólo entre 75 y 100 horas pueden dedicarse a mantenimiento o a resolver problemas operativos del aparcamiento. Y esto supone un esfuerzo de sistematización y organización del mantenimiento que redonda en una reducción significativa de la energía invertida en él.

## 6. Integración de sistemas de captación geotérmicos en aparcamientos mecánicos

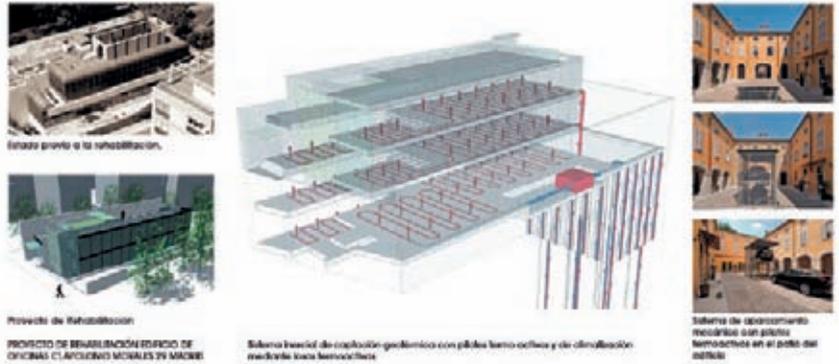
La construcción de aparcamientos mecánicos bajo rasante nos da la oportunidad de integrar en la estructura contenedora de los sistemas circuitos de intercambio geotérmico y de esta manera utilizar el aparcamiento como un dispositivo muy eficiente de captación de energía renovable. Las técnicas de termoactivación estructural hacen que sea muy sencillo y económico integrar en pilotes, pantallas o losas los circuitos que intercambian energía con el terreno y se integran en sistemas de alta eficiencia energética mediante bomba de calor geotérmica ( $COP > 5$ ). Si además la aplicación de la energía de origen geotérmico a la climatización se realiza mediante sistemas inerciales la eficiencia aumenta extraordinariamente.

Integral Park Systems, IPS, está ejecutando varias obras en Madrid y proyectando en diversas ciudades españolas la integración innovadora de los sistemas termoactivos en las estructuras de los aparcamientos mecánicos, que ha demostrado ser especialmente interesante en procesos de rehabilitación porque en una misma intervención se resuelve la dotación de aparcamiento y la de captación eficiente de energía renovable. Una vez más resolvemos situaciones que sin un planteamiento innovador no serían viables.





## Soluciones energéticamente eficientes en la edificación



**Figura 13.** Imágenes del proyecto de rehabilitación de un edificio de oficinas en la calle de Apolonio Morales nº 29 de Madrid, dotado de un aparcamiento mecánico semiautomático captador de energía geotérmica que se integra en un sistema de climatización inercial de alta eficiencia energética con bomba de calor geotérmica y forjados termoactivos.

## 7. Conclusiones

La aplicación de sistemas mecánicos a la construcción de aparcamientos semiautomáticos y aparcamientos robotizados constituye un hito en el desarrollo de nuevos conceptos de aparcamiento ligado a nuevos modelos de desarrollo urbano, movilidad y sostenibilidad.

Los aparcamientos semiautomáticos y robotizados permiten crear unidades viables de microaparcamientos para residentes y aparcamientos compactos para residentes en edificios y zonas de la ciudad donde las técnicas tradicionales de construcción de aparcamientos no pueden dar soluciones válidas, pero además son una alternativa más rentable y sostenible en cualquier situación convencional.

La utilización de estas tecnologías permite culminar tanto la rehabilitación de los edificios como la revitalización de los espacios urbanos y su peatonalización con las imprescindibles dotaciones de aparcamiento para residentes, algo que hasta ahora no había sido posible en nuestro país. Ayuntamientos, Empresas Municipales de Rehabilitación y de Aparcamiento y los más importantes promotores privados están utilizando sistemas mecánicos de aparcamiento para desarrollar planes generales de implantación de aparcamiento de residentes en el casco consolidado y en nuevas áreas metropolitanas, y para resolver la dotación a edificios rehabilitados o de nueva construcción.

MADRID 2009. Implantación de aparcamiento mecánico.

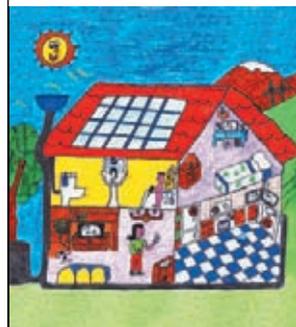
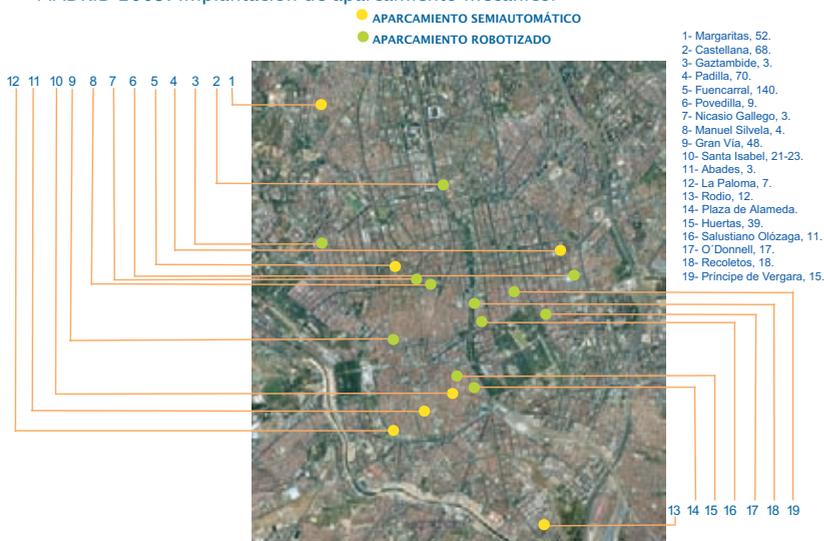


Figura 14. Microaparcamientos mecánicos para residentes construidos y en construcción en Madrid. Año 2009.

A escala urbana la aplicación de estos sistemas mejora sustancialmente, respecto a los convencionales, varios aspectos fundamentales:

- La reducción del impacto sobre los espacios libres y el uso del suelo.
- La dotación necesaria de aparcamiento para residentes para hacer viables densidades urbanas que optimicen la energía consumida por habitante en una ciudad compleja.
- El desarrollo de modelos de movilidad en los que la dotación de aparcamiento para residentes se superponga armónicamente a un sistema eficiente de transporte público.
- La reducción de emisiones y residuos.
- La reducción del consumo de energía.

Y, además de hacer viables nuevos modelos urbanísticos, edificatorios y de movilidad, en el ámbito del ahorro energético y la reducción de emisiones la aplicación de sistemas mecánicos al aparcamiento consigue mejorar sustancialmente todos los parámetros que afectan a los procesos de construcción y al ciclo de vida de los aparcamientos y en particular los que determinan consumo y emisiones en la trans-



### Soluciones energéticamente eficientes en la edificación

formación de los materiales de construcción y su puesta en obra, el transporte, los consumos operativos de los edificios y las emisiones de los vehículos durante los procesos de aparcamiento. Las reducciones de consumo y emisiones por estos conceptos son muy importantes y ponen de manifiesto la tremenda efectividad, a efectos de lograr soluciones más sostenibles, de implementar tecnología que consigue aumentar la compacidad y el rendimiento de los aparcamientos, con menos masa y menos energía.

**Tabla 5.** Tabla comparativa de la energía incorporada y de las emisiones de gases con efecto invernadero correspondientes a distintos sistemas de aparcamiento.

Consumos y Emisiones		Convencional	Semiautomático	Robotizado
Fabricación de material y construcción (por plaza)	Energía incorporada (MJ)	85.160,00	64.060,00	78.450,00
	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t)	7,172	4,275	5,365
Transporte de material (por plaza)	Energía incorporada (MJ)	4.800,00	2.149,36	2.830,88
	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t)	343,73	153,92	202,72
Operación Edificios (por plaza)	Energía incorporada (J)	1.081,00	609,12	135,00
	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t)	101,10	57,02	12,64
Operación vehículos (por ciclo de entrada y de salida)	Energía incorporada (J)	2.160,00	1.080,00	1.440,00
	Emisiones CO <sub>2</sub> (g)	21,40	10,58	13,85