

# Guía de Rehabilitación Energética



## de Edificios de Viviendas

Madrid Vive Ahorrando Energía



 Dirección General de Industria,  
Energía y Minas  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y CONSUMO  
**Comunidad de Madrid**  
[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

  
La Suma de Todos

# Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas



Madrid **Ahorra** con Energía

**Madrid, 2008**

Esta Guía es descargable en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

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

(Consejería de Economía y Consumo, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

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

Si desea recibir más ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

**Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid**

[dgtecnico@madrid.org](mailto:dgtecnico@madrid.org)

**Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid**

[fundacion@fenercom.com](http://fundacion@fenercom.com)



Depósito Legal: M. 6.323-2008

Imprime: Gráficas Arias Montano, S. A.  
28935 MÓSTOLES (Madrid)

# Presentación

Actualmente, se estima que el consumo de energía final en el sector residencial de nuestra región es del orden del 24%, situándose como el segundo más importante por detrás del sector transporte.

La demanda de energía en los edificios depende de muchas variables, pero se puede afirmar que el mayor gasto se debe a la climatización -calefacción y refrigeración- con un porcentaje sobre el consumo total del orden del 42%, seguido del consumo para producir agua caliente, con el 26%, funcionamiento de electrodomésticos y cocinas con el 23%, y la iluminación con el 9%.

El parque de viviendas en la Comunidad de Madrid supera actualmente los 2,6 millones, por lo que el potencial de ahorro en dicho sector es muy importante. Se estima que mediante la aplicación de medidas de rehabilitación energética se pueden conseguir ahorros de más del 20% de la energía consumida -más de medio millón de toneladas equivalentes de petróleo- y, al mismo tiempo, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta un 30%.

En los edificios existentes las actuaciones deben ir dirigidas tanto a la envolvente, o piel de los mismos, como a las propias instalaciones interiores, asimilables a los órganos de un ser vivo. En el primer caso se puede mejorar el aislamiento térmico de las fachadas y cubiertas, así como de las ventanas, reduciéndose significativamente los índices de intensidad energética. En el segundo caso, son diversas las instalaciones interiores susceptibles de mejora energética: instalaciones de calefacción individuales o comunitarias, sustituyendo las calderas actuales por otras más eficientes como son las de baja temperatura o de condensación y con combustibles menos contaminantes como por ejemplo el gas natural; instalaciones de iluminación más eficientes, con lámparas de bajo consumo, detectores de presencia, reguladores de flujo, etc.; ascensores con accionamientos e iluminación más eficientes, instalación de paneles solares térmicos para producción de ACS, etc.

La Comunidad de Madrid, dentro de su estrategia energética, considera prioritaria la política de rehabilitación de viviendas, incorporando nuevos materiales, sistemas y equipos, que no sólo aumentarán el confort de los ciudadanos, sino que

permitirá alcanzar los objetivos de seguridad, ahorro de energía y de calidad del aire. Todo ello se traducirá en unas ciudades más sostenibles y, además, en unas sociedades más competitivas.

Esta Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas constituye una aportación modesta, pero útil y necesaria para impulsar las actuaciones en esta materia, dando a conocer las distintas tecnologías existentes y las ayudas disponibles.

**Carlos López Jimeno**

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

# Prólogo

Los edificios de la Comunidad de Madrid son responsables de casi el 25% del consumo total de energía de la Comunidad, observándose en los últimos quince años un crecimiento ascendente y sostenido.

Varias son las razones que animan este incremento. La primera y más evidente ha sido el “boom” de la construcción de los últimos años, liderado por nuestra Comunidad con más de 200.000 viviendas nuevas construidas anualmente. Estas viviendas se han construido sin los adecuados criterios de eficiencia energética ni de protección térmica. Esto permite afirmar que más de la mitad de los edificios de la Comunidad pueden considerarse auténticos depredadores de energía.

La segunda, más ligada a los hábitos de los consumidores, es que los ciudadanos demandan un grado de confort térmico cada vez mayor. Esto requiere reforzar la calefacción en invierno y la refrigeración en verano. En ambos casos significa consumir y pagar más en nuestra factura energética.

A lo expuesto, se debe añadir que nuestra Comunidad tiene una dependencia energética del exterior del 97%, por lo que existe la obligación de tomar medidas para reducir nuestro consumo energético, aún más en un contexto internacional de incremento casi imparable del precio de la energía.

Conscientes de la necesidad de reducir el consumo energético de los edificios, las Administraciones Públicas han empezado a tomar medidas. A nivel estatal, la entrada en vigor del Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, y lo más reciente del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba la Certificación Energética de Edificios, pretenden, entre otros objetivos, reducir el consumo energético de los edificios.

En cuanto a los edificios existentes, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en la 2ª Edición del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2012, incluye medidas estratégicas dirigidas a estos edificios, en cuanto a su

rehabilitación térmica o ayudas económicas para las rehabilitaciones que conlleven una disminución del consumo de energía del edificio.

A nivel autonómico, la Orden 1063/2007, de 20 de Septiembre, por la que se regula la concesión de ayudas para promoción de actuaciones de ahorro y eficiencia energética, recoge dos actuaciones ligadas a los edificios existentes: mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior.

Sin embargo, más del 50% del consumo energético de una vivienda está ligado a una adecuada protección térmica de su envolvente, y esto queda al margen de lo comentado.

Por ello, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid ha editado esta Guía de Rehabilitación de Viviendas. Con ella se pretende concienciar a los ciudadanos de la importancia de una rehabilitación con criterios energéticos, así como ofrecer soluciones técnicas para llevarla a cabo.

La rehabilitación de un edificio suele estar asociada a una necesidad puntual por algún problema: reparación de goteras y humedades, un lavado de cara de la fachada del edificio, sustitución de las ventanas, cambio de tuberías de agua caliente, etc.

En todos estos casos, ya que se va a afrontar un coste determinado, se puede, además, incorporar aislamiento térmico en las cubiertas y muros, colocar ventanas más eficientes, aislar térmicamente las tuberías, etc. Estas medidas suponen un extracoste mínimo y conllevarán unos ahorros energéticos muy importantes durante muchos años.

Por ello, la Comunidad de Madrid anima a los ciudadanos a utilizar las recomendaciones y soluciones técnicas recogidas en esta Guía a la hora de rehabilitar los edificios, haciendo bueno el eslogan "Madrid **Ahorra** con Energía".

**Luis Mateo**

Director General

Asociación Nacional de Industriales de

Materiales Aislantes ANDIMA

# Autores

- Capítulo 1. **Introducción**  
Margarida Plana i Turró  
Directora del Proyecto Reenergía  
Institut Cerdà  
[www.icerda.es](http://www.icerda.es)
- Capítulo 2. **Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico**  
Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMA)  
[www.andima.es](http://www.andima.es)
- Capítulo 3. **Rehabilitación de cubiertas con aislamiento térmico**  
Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMA)  
[www.andima.es](http://www.andima.es)
- Capítulo 4. **Rehabilitación térmica de cerramientos de huecos: vidrios y marcos**  
Eduardo M<sup>o</sup> de Ramos Vilaríño  
Director del CITAV - Departamento de Marketing  
Saint-Gobain Cristalera, S.A.  
[www.saint-gobain-glass.com](http://www.saint-gobain-glass.com) / [www.climalit.es](http://www.climalit.es) / [www.vidrioautolimpiable.es](http://www.vidrioautolimpiable.es)
- Capítulo 5. **Láminas solares en ventanas para mejorar la eficiencia energética en edificios**  
Asociación Europea de Láminas de Ventana (EWFA)  
[www.ewfa.org](http://www.ewfa.org)
- Capítulo 6. **Impermeabilización de cubiertas**  
Luis Carlos González Garrudo  
SIKA, S.A.U., Bussines Unit Contractors  
[www.sika.es](http://www.sika.es)
- Capítulo 7. **Sistemas de captación de energía con módulos fotovoltaicos integrados en membrana para impermeabilización de cubiertas**  
Luis Carlos González Garrudo  
SIKA, S.A.U., Bussines Unit Contractors  
[www.sika.es](http://www.sika.es)
- Capítulo 8. **La energía solar térmica: agua caliente sanitaria, calefacción y climatización**  
Departamento de Energía Solar  
Viessmann, S.L.  
[www.viessmann.es](http://www.viessmann.es)
- Capítulo 9. **Tecnologías de calefacción de alta eficiencia energética**  
Departamento Técnico  
Viessmann, S.L.  
[www.viessmann.es](http://www.viessmann.es)
- Capítulo 10. **Instalaciones de iluminación eficientes**  
Philips División Comercial Alumbrado  
Departamento de eficiencia energética  
[www.philips.es](http://www.philips.es) / [www.alumbradoymedioambiente.es](http://www.alumbradoymedioambiente.es)
- Capítulo 11. **Ascensores de última generación**  
ZARDOYA OTIS, S.A.  
[www.otis.com](http://www.otis.com)
- Capítulo 12. **Ayudas de la Comunidad de Madrid**  
D. José Antonio González Martínez  
Subdirector de Gestión y Promoción Industrial de la Dirección General de Industria, Energía y Minas  
Comunidad de Madrid  
[www.madrid.org](http://www.madrid.org)



# Índice

Capítulo 1. Introducción	21
Capítulo 2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico	27
2.1. Introducción	27
2.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el exterior	27
2.2.1. Rehabilitación de fachadas con sistema de aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el exterior (SATE-ETICS)	29
2.2.1.1. Descripción del sistema de aislamiento exterior bajo revoco	30
2.2.1.2. Ventajas de los sistemas de aislamiento por el exterior bajo revoco	31
2.2.1.3. Detalles críticos del sistema	32
2.2.1.4. Durabilidad y mantenimiento	33
2.2.2. Rehabilitación de fachadas por el exterior mediante la aplicación de un sistema de fachada ventilada con lana mineral (lana de vidrio/lana de roca) MW	34
2.2.2.1. Descripción	34
2.2.2.2. Tipos de soporte	34
2.2.2.3. Ventajas	35
2.2.2.4. Limitaciones	36
2.2.2.5. Productos recomendados	36
2.2.2.6. Proceso de instalación	37
2.2.2.7. Detalles constructivos	37
2.2.2.8. Prestaciones térmicas de los sistemas	37
2.2.3. Rehabilitación de fachada aislada para revestir directamente sobre la plancha de poliestireno extruido (XPS) por el exterior (ETICS)	38
2.2.3.1. Tipos de soporte	38
2.2.3.2. Ventajas y limitaciones	38
2.2.3.3. Productos recomendados	39
2.2.3.4. Proceso de instalación	39
2.2.3.5. Detalles constructivos	39
2.2.3.6. Prestaciones térmicas	40
2.2.4. Rehabilitación de fachadas medianeras y fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)	42

2.2.4.1. Rehabilitación de fachadas medianeras con espuma de poliuretano proyectado	42
2.2.4.1.1. Descripción	42
2.2.4.1.2. Elementos del sistema	43
2.2.4.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)	44
2.2.4.2.1. Descripción	44
2.2.4.2.2. Elementos del sistema	44
2.2.4.2.3. Prestaciones de la solución	44
2.3. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior	45
2.3.1. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el interior	47
2.3.1.1. Descripción del sistema de aislamiento por el interior con acabado de placa de yeso laminado	48
2.3.1.2. Ventajas del sistema de aislamiento por el interior con acabado PYL	49
2.3.1.3. Detalles críticos del sistema	49
2.3.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el interior. Trasdosados autoportantes de placas de yeso laminado sobre perfiles metálicos y aislamiento de lana mineral	50
2.3.2.1. Descripción	50
2.3.2.2. Tipos de soporte	50
2.3.2.3. Ventajas	50
2.3.2.4. Limitaciones	51
2.3.2.5. Productos recomendados	51
2.3.2.6. Proceso de instalación	51
2.3.2.7. Tratamiento de puentes térmicos	52
2.3.2.8. Detalles constructivos	52
2.3.2.9. Prestaciones térmicas	53
2.3.3. Rehabilitación de fachada y fachada medianera por el interior con plancha aislante de poliestireno extruido (XPS) para revestir con yeso in situ o placa de yeso laminado	53
2.3.3.1. Tipos de soporte	53
2.3.3.2. Ventajas y limitaciones	54
2.3.3.3. Productos recomendados	54
2.3.3.4. Proceso de instalación	54
2.3.3.5. Detalles constructivos	57
2.3.3.6. Prestaciones térmicas	58
2.3.4. Rehabilitación de fachada mediante espuma de poliuretano proyectado (PUR) por el interior	59
2.3.4.1. Descripción	59
2.3.4.2. Elementos del sistema	60

2.3.4.3. Prestaciones de la solución	60
2.4. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras	60
2.4.1. Descripción	61
2.4.2. Elemento del sistema	61
2.4.3. Prestaciones de la solución	61
2.4.4. Recomendaciones	61
Capítulo 3. Rehabilitación de cubiertas con aislamiento térmico	63
3.1. Introducción	63
3.2. Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el exterior	63
3.2.1. Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con poliestireno expandido (EPS-h). Caso de cubierta invertida	65
3.2.1.1. Descripción de la cubierta invertida con EPS-h	66
3.2.1.2. Detalles críticos del sistema en rehabilitación	68
3.2.2. Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con proyección de espuma de poliuretano (PUR) y proyección con elastómero	69
3.2.2.1. Descripción	69
3.2.2.2. Elementos del sistema	70
3.2.2.3. Prestaciones de la solución	70
3.2.2.4. Recomendaciones	70
3.2.2.5. La rehabilitación del peto de cubierta.	72
3.2.3. Rehabilitación por el exterior de la azotea invertida no transitable y de la azotea invertida transitable con aislamiento térmico de poliestireno extruido (XPS)	74
3.2.3.1. Tipos de soporte	74
3.2.3.2. Ventajas y limitaciones	74
3.2.3.3. Productos recomendados	75
3.2.3.4. Proceso de instalación	75
3.2.3.4.1. Azotea invertida no transitable	75
3.2.3.4.2. Azotea invertida transitable	76
3.2.3.5. Detalles constructivos	77
3.2.3.6. Prestaciones térmicas	78
3.2.4. Rehabilitación de la cubierta inclinada bajo teja con aislamiento por el exterior de poliestireno expandido (EPS)	79
3.2.4.1. Descripción del aislamiento de cubiertas inclinadas bajo teja	80
3.2.4.2. Detalles críticos del sistema en rehabilitación	81
3.2.5. Rehabilitación de tejado con aislamiento de XPS colocado bajo teja	82
3.2.5.1. Tipos de soporte	82

3.2.5.2. Ventajas y limitaciones	82
3.2.5.3. Productos recomendados	83
3.2.5.4. Proceso de instalación	83
3.2.5.5. Detalles constructivos	84
3.2.5.6. Prestaciones térmicas	84
3.2.6. Rehabilitación de la cubierta inclinada con aislamiento por el exterior con proyección de espuma de poliuretano (PUR) sobre teja o pizarra y proyección con elastómero	86
3.2.6.1. Descripción	86
3.2.6.2. Elementos del sistema	87
3.2.6.3. Prestaciones de la solución	87
3.2.7. Rehabilitación de la cubierta inclinada con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano (PUR) bajo teja	88
3.2.7.1. Descripción	88
3.2.7.2. Elemento del sistema	88
3.2.7.3. Prestaciones de la solución	89
3.2.7.4. Recomendaciones	89
3.2.7.4.1. Renovación del tejado	89
3.2.8. Rehabilitación de la cubierta inclinada con proyección de espuma de poliuretano sobre cubierta de fibrocemento	90
3.2.8.1. Descripción	90
3.2.8.2. Elementos del sistema	91
3.2.8.3. Prestaciones de la solución	92
3.2.8.4. Recomendaciones	92
3.2.8.4.1. Cubiertas de chapa	93
3.3. Rehabilitación de la cubierta con aislamiento por el interior	94
3.3.1. Rehabilitación de cubiertas con aislamiento por el interior. Revestimientos autoportantes de placas de yeso laminado y aislamiento de lana mineral (lana de vidrio/ lana de roca)	96
3.3.1.1. Descripción	96
3.3.1.2. Tipos de soporte	96
3.3.1.3. Ventajas	97
3.3.1.4. Limitaciones	97
3.3.1.5. Productos recomendados	97
3.3.1.6. Proceso de instalación	97
3.3.1.7. Detalles constructivos	98
3.3.1.8. Prestaciones térmicas	99
3.3.2. Rehabilitación de techos aislados por el interior con plancha aislante de poliestireno extruido XPS para revestir con yeso in situ o placa de yeso laminado	100
3.3.2.1. Tipos de soporte	100
3.3.2.2. Ventajas y limitaciones	101

3.3.2.3. Productos recomendados	101
3.3.2.4. Proceso de instalación	101
3.3.2.5. Detalles constructivos	104
3.3.2.6. Prestaciones térmicas	104
Capítulo 4. Rehabilitación térmica de cerramientos de huecos: vidrios y marcos	105
4.1. Introducción	105
4.2. Propiedades térmicas de vidrios y marcos	108
4.2.1. Propiedades térmicas del marco	108
4.2.1.1. Tipos de marcos	108
4.2.2. Propiedades térmicas del vidrio	113
4.2.2.1. Tipos de vidrio	115
4.2.3. Propiedades del hueco	123
4.2.4. Normativa	126
4.2.4.1. Código Técnico de la Edificación	127
4.2.4.2. Certificación energética de los edificios	131
4.2.5. Situaciones de partida y soluciones de rehabilitación	133
4.2.5.1. Carpintería de madera con vidrio monolítico	134
4.2.5.2. Carpintería metálica con vidrio monolítico	137
4.2.5.3. Carpintería metálica con doble acristalamiento	141
4.2.5.3.1. Carpintería metálica con doble acristalamiento banal	141
4.2.5.3.2. Carpintería metálica con doble acristalamiento bajo emisivo	144
4.2.5.4. Carpintería metálica RPT y doble acristalamiento	147
4.2.5.4.1. Carpintería metálica RPT con doble acristalamiento banal	148
4.2.5.4.2. Carpintería metálica RPT con doble acristalamiento bajo emisivo	151
4.2.5.5. Carpintería de madera con doble acristalamiento	153
4.2.5.5.1. Carpintería de madera con doble acristalamiento banal	154
4.2.5.5.2. Carpintería de madera con doble acristalamiento bajo emisivo	156
4.2.5.6. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento	159
4.2.5.6.1. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento banal	160
4.2.5.6.2. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento bajo emisivo	162
4.2.6. Elección del acristalamiento	166
4.2.6.1. Composiciones recomendadas	167

4.2.6.2. Recomendaciones para instalar un acristalamiento sin problemas	168
4.3. Ventajas de la rehabilitación de huecos y recomendaciones	169
4.4. Glosario	172
Capítulo 5. Láminas de ventana para mejorar la eficiencia energética en edificios	175
5.1. Introducción	175
5.2. Principios de funcionamiento de las láminas de ventana	176
5.3. Beneficios más importantes de las láminas de ventana	178
5.4. Papel de las láminas de ventana en el Plan de Acción sobre Eficiencia Energética de la Comisión Europea	179
5.5. Mejora de la eficiencia energética de un edificio y contribuir a la reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> mediante las láminas de ventana	180
5.6. Tiempo de recuperación de la inversión en las láminas de ventana	181
Capítulo 6. Impermeabilización de cubiertas	183
6.1. Introducción	183
6.2. Cualidades de una buena impermeabilización	184
6.3. Sistemas de impermeabilización	185
6.4. Normativa	189
6.4.1. Normativa existente	190
6.4.2. Normas	190
6.4.3. Normas de apoyo	191
6.5. Cualidades de los materiales	191
6.6. Puesta en obra. Mano de obra	209
6.7. Conclusiones	209
Capítulo 7. Sistemas de captación de energía con módulos fotovoltaicos integrados en membrana para impermeabilización de cubiertas	211
7.1. Introducción	211
7.2. Características del sistema	212
7.3. Materiales	213
7.4. Instalación	216
7.5. Respeto medioambiental	219
7.5.1. Ejemplo de ahorro	220
7.6. Cumplimiento del Código Técnico de la Edificación	221
7.6.1. Política corporativa medioambiental responsable	221
7.7. Beneficios para las empresas	221

Capítulo 8. La energía solar térmica: agua caliente sanitaria, calefacción y climatización	223
8.1. Introducción	223
8.2. Posibilidades de ahorro solar en edificios de viviendas	224
8.3. Funcionamiento de las instalaciones solares térmicas. Componentes	225
8.3.1. Subsistema de captación	226
8.3.2. Subsistema de acumulación	230
8.3.3. Subsistema de intercambio	232
8.3.4. Subsistema de regulación y control	232
8.3.5. Subsistema de energía auxiliar o convencional	233
8.4. Principales aplicaciones de la energía solar térmica	234
8.4.1. Producción de ACS con energía solar térmica	235
8.4.2. Producción de ACS y climatización de piscinas con energía solar térmica	236
8.4.3. Conexión al retorno de los sistemas de calefacción con energía solar térmica	237
8.5. Conexión al retorno en sistemas de absorción con energía solar térmica	239
8.6. Caso práctico: ACS con energía solar en edificio de viviendas	241
8.7. Resumen de los beneficios de solarizar los edificios de viviendas	243
Capítulo 9. Tecnologías de calefacción de alta eficiencia energética	245
9.1. Introducción	245
9.2. Primeras medidas para el ahorro y la eficiencia energética	246
9.3. Calderas de baja temperatura	247
9.3.1. Funcionamiento de las superficies de intercambio de pared múltiple	249
9.3.2. Análisis del funcionamiento de las calderas de Baja Temperatura	250
9.4. Calderas de gas de condensación	251
9.4.1. Técnica de condensación	252
9.4.1.1. El Poder Calorífico Inferior y el Poder Calorífico Superior	253
9.4.2. Diseño de las calderas de Condensación	254
9.5. Comparativa de valores de rendimiento estacional	257
9.6. Conclusiones	258
Capítulo 10. Instalaciones de iluminación eficientes	261
10.1. Introducción	261
10.1.1. Antecedentes	261
10.2. Directivas, códigos, leyes y reglamentos sobre la eficiencia energética	262

10.2.1. Código Técnico de la Edificación (CTE)	263
10.2.1.1. Sección SU 4 - Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada	264
10.2.1.2 Sección HE3. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación	268
10.2.2. Norma UNE 12464-1	270
10.2.3. Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos, y la gestión de sus residuos	273
10.2.4. RoHS. Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos	274
10.2.5. Real Decreto 838/2002. Requisitos de eficiencia energética de los balastos para lámparas fluorescentes	275
10.3. Cómo se puede ahorrar energía en instalaciones de alumbrado	279
10.3.1. Fase de proyecto	281
10.3.1.1. Predeterminación de los niveles de iluminación	281
10.3.1.2. Elección de los componentes de la instalación	283
10.3.1.3. Elección de sistemas de control y regulación	288
10.3.1.4. Factores a tener en cuenta en las instalaciones de exterior (zonas comunes de edificios)	291
10.3.2. Ejecución y explotación	293
10.3.2.1. Suministro de energía eléctrica	293
10.3.2.2. Cumplimiento de los niveles proyectados	294
10.3.2.3. Respeto de las soluciones y sistemas proyectados	294
10.3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados	294
10.3.2.5. Regulación de los niveles de luz artificial	294
10.3.3. Mantenimiento	295
10.3.3.1. Previsión de operaciones programadas	295
10.3.3.2. Respeto a la frecuencia de reemplazo de los componentes	297
10.3.3.3. Reemplazo llevado a cabo con componentes correctos	297
10.3.3.4. Recogida, transporte y reciclaje de los elementos sustituidos	297
10.3.4. Coste Total de Propiedad (CTP) a la hora de elegir las lámparas	298
10.3.5. Consejos generales para la rehabilitación del sistema de alumbrado en edificios	300
Capítulo 11. Ascensores de última generación	311
11.1. Ascensores de última generación: ¿en qué consisten?	311
11.1.1. Tipos básicos de ascensores	312
11.1.2. Modos más utilizados de controlar el movimiento	312

11.1.3. Máquinas de ascensor con engranajes	313
11.1.4. Los ascensores de última generación. Máquinas de tracción directa	314
11.2. Ahorro en el consumo de energía y disminución de las emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmósfera	317
11.2.1. Ahorro en el consumo de energía	317
11.2.2. Ahorro potencial teniendo en cuenta el parque de ascensores de Madrid instalados en edificios de viviendas	320
11.2.3. Reducción de las emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmósfera	322
11.3. Reducción de la generación de residuos contaminantes durante la vida útil del ascensor	322
11.3.1. Desglose de consumo de aceite de un ascensor con máquina convencional con engranajes	322
11.3.2. Desglose de consumo de un ascensor hidráulico	324
11.3.3. Desglose de consumo de aceite de un ascensor de última generación	324
11.3.4. Reducción de residuos contaminantes	325
11.4. Conclusión	326
Capítulo 12. Ayudas de la Comunidad de Madrid	329
12.1. Fomento del ahorro y la eficiencia energética	329
12.2. Fomento de las energías renovables	331
12.2.1. Línea de apoyo financiero a proyectos de energías renovables	333
12.3. Plan Renove de Instalaciones Eléctricas Comunes en Edificios de Viviendas	334
12.4. Ayudas para instalación de ascensores	336
12.5. Ayudas para rehabilitación de edificios	336

El sector de la edificación ha sufrido un crecimiento en los últimos años que ha supuesto un incremento considerable de la demanda energética del sector y que ha propiciado la focalización del sector a satisfacer dicha demanda. Aumento que se ha visto agravado por un incremento ostensible de la instalación de nuevos equipos domésticos (aires acondicionados principalmente) y a la generalización de las nuevas tecnologías (ordenadores y otros equipos).

En este contexto, el sector de la edificación se ha situado en el punto de mira de las políticas de contención del crecimiento del consumo energético basadas, principalmente, en la aprobación de nueva normativa dirigida, básicamente, a la obra nueva así, como en la iniciativa de promoción de la implantación de eficiencia en la renovación de equipos.

No obstante, considerando el amplio parque de edificios existentes del Estado, debe plantearse la posibilidad de incorporar algunos de los requerimientos definidos para obra nueva a las actuaciones de rehabilitación. En este sentido, juegan un papel primordial la definición de actuaciones por parte de las Administraciones, así como iniciativas del sector privado en cuanto a cambios de combustible y en eficiencia energética, ahorrando consumo energético sin menguar el confort del usuario.

El Institut Cerdà, con el objetivo de estudiar el comportamiento de los edificios existentes y el potencial de ahorro de las medidas de mejora energética de las actuaciones de rehabilitación, ha liderado en los últimos 3 años el Proyecto Rehenergía. El trabajo ha desarrollado una metodología basada en la definición de 1.740 casos de estudio (36 edificios tipo, en las 12 zonas climáticas y para las 4 orientaciones) a los que se le han aplicado 14 medidas de rehabilitación energética mediante la realización de unas 35.000 simulaciones. A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en el proyecto.

La principal conclusión obtenida en el proyecto es que el parque de edificios existente tiene un potencial de ahorro energético asequible. La aplicación de medidas de rehabilitación energética en viviendas puede suponer:

- ✿ Ahorros entre el 5 y el 20% en el consumo de energía.
- ✿ Disminuciones entre el 10 y el 30% en las emisiones de CO<sub>2</sub> por edificio.
- ✿ Ahorros anuales en la factura de energía entre 500 y 2.000 € por vivienda.

En general, a parte del factor usuario, los principales factores que influyen en las necesidades energéticas y el consumo final de energía de un edificio son:

- ✿ Zona climática y orientación del edificio.
- ✿ Forma y volumen del edificio.
- ✿ Sección constructiva de fachadas y cubiertas.
- ✿ Tipo de instalaciones y equipos.
- ✿ Fuentes energéticas disponibles.

No obstante, para enfocar las medidas de rehabilitación energética, debe considerarse la diferenciación y limitación que existe en dichas actuaciones respecto a la obra nueva. En este sentido, la rehabilitación energética se basará, principalmente, en:

- ✿ Sección constructiva de fachadas y cubiertas.
  - ✓ Reducción de la demanda energética del edificio: mejora de las partes opacas y huecos arquitectónicos en fachada y cubierta.
- ✿ Tipo de instalaciones y equipos.
  - ✓ Mejora de la eficiencia energética implantada: mediante la implantación de equipos con mejores rendimientos y menor consumo.
- ✿ Fuentes energéticas disponibles.
  - ✓ Cambio de combustible: diversificación de fuentes y orientación a combustibles menos contaminantes.

- ✓ Implantación de energías renovables: en el sector doméstico, básicamente, se centraría en la energía solar térmica para la producción de ACS.

Las características del edificio en el momento de plantearse una rehabilitación energética son las que determinarán las necesidades de cada edificio y el nivel de actuación con el que debe actuarse, así como los ahorros que podrán obtenerse con cada una de ellas. No obstante, a continuación se presentan los principales resultados obtenidos de la aplicación, a nivel de edificio, de las diferentes medidas en los 1.740 casos de estudio.

### Reducción de la demanda energética del edificio

Estas actuaciones, básicamente, afectan a la demanda de climatización (calefacción y refrigeración), por lo que existen diferencias en cuanto a los ahorros energéticos entre las climatologías frías y cálidas.

El ahorro asociado crece en función de la relación superficie afectada por la rehabilitación respecto a superficie total de la envolvente.

- ✿ Aislamiento de fachadas: puede comportar un ahorro energético del 5-16% sobre el consumo total del edificio (15-24% sobre el consumo de climatización). Esta actuación favorece, principalmente, a la reducción de la demanda de calefacción, por lo que es muy recomendable en zonas climáticas frías. Asimismo, en climas fríos, debe priorizarse el aislamiento en la fachada norte para protegerla del frío y reducir la demanda de calefacción. En climas cálidos, las actuaciones se deben realizar en las fachadas sur, este y oeste para favorecer la reducción de la refrigeración.
- ✿ Aislamiento de cubierta: puede suponer un ahorro energético del 4-14% del consumo total del edificio (10-22% sobre el consumo de climatización). El ahorro asociado es independiente de la orientación del edificio y es recomendable en todas las zonas climáticas. Es conveniente complementar el aislamiento con la impermeabilización de la cubierta.

- ❖ Huecos arquitectónicos: puede implicar un ahorro energético del 3-10% del consumo total del edificio (6-20% sobre el consumo de climatización). Debe realizarse el cambio de vidrio y carpintería simultáneamente y combinarlo, a ser posible, con el aislamiento de fachada para evitar la formación de puentes térmicos. En caso de climas cálidos, debe considerarse la implantación de vidrios con factor solar, o de elementos externos que permitan regularlo en las orientaciones sur y oeste. Esta actuación no se limita sólo al ámbito energético sino que implica un aislamiento acústico.

### Mejora de la eficiencia energética implantada en zonas comunes

Son medidas que vienen condicionadas por la oferta del mercado. Su implantación debe adaptarse a la renovación constante de los equipos:

- ❖ Equipos de iluminación de las zonas comunes: pueden contribuir en un ahorro energético del 3-8% del consumo total del edificio (25-80% de ahorro de la electricidad consumida en las zonas comunes).
- ❖ Instalaciones térmicas centralizadas: pueden suponer un ahorro energético del 8% del consumo total del edificio. Aunque su representatividad en el parque edificatorio no es muy elevada, debe fomentarse su renovación con criterios energéticos

Ambas medidas, aunque enfocadas en el estudio a nivel de zonas comunes para todo el edificio, pueden adaptarse a las instalaciones interiores de las viviendas, mejorando la eficiencia de la iluminación, calderas, electrodomésticos y otros aparatos domésticos. Las políticas actuales promueven a través de los planes renove, dichas actuaciones.

### Cambio de combustible

La diversificación de fuentes energéticas colabora a evitar las puntas de consumo:

- Conexión de las instalaciones térmicas a la red de gas natural: pueden implicar un ahorro de energía primaria del 11-15% del consumo total del edificio debido a que las pérdidas por transporte y distribución son inferiores a otras fuentes energéticas.

## Implantación de energías renovables

Las políticas fomentan la implantación de energías renovables para reducir la dependencia de los hidrocarburos puesto que su utilización es siempre una medida de ahorro de energía primaria no renovable y, por tanto, un ahorro en las emisiones de CO<sub>2</sub>:

- Energía solar térmica para la producción de ACS: los ahorros en energía primaria y emisiones son proporcionales al porcentaje de aportación de energía solar térmica en la producción de ACS (30-70% del consumo de ACS), por lo que su implantación puede comportar un ahorro del 15-30% del consumo total del edificio. Para garantizar estos importantes ahorros energéticos y ambientales, es necesario realizar un buen mantenimiento de las instalaciones solares.

En consecuencia, es evidente el potencial de ahorro energético y de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque de edificios existentes y de su posible aportación a la contención del consumo energético. Por ello, deben abrirse nuevas vías para la potenciación por parte de las Administraciones Públicas de la rehabilitación, no sólo exigiendo el cumplimiento a los usuarios, sino también internalizando dichas medidas, tanto en los procesos públicos (pliegos de condiciones) como en las buenas prácticas de actuación pública con el objetivo de incluir el vector energético en los procesos de rehabilitación.

Los resultados presentados son fruto del proyecto Reenergía, liderado por el Institut Cerdà, que ha contado con la financiación del Ministerio de Vivienda, el Gobierno Vasco, la Xunta de Galicia, la Generalitat de Catalunya, la Generalitat Valenciana, el Gobierno de Navarra, el Ajuntament de Barcelona, Renta Corporación, Gas Natural y el Colegio de Arquitectos Técnicos y Aparejadores de Barcelona.

## 2.1. Introducción

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 se describen intervenciones con criterios de eficiencia energética por medio de aislamientos, que pueden abordarse una vez decidida esta acción y que conllevarán beneficios importantes para los usuarios a un coste reducido.

Por ello, este capítulo se ha clasificado en tres apartados conforme a la disposición del aislamiento térmico en el momento de acometer la reforma:

- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el exterior.
- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior.
- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras.

Las soluciones que se recogen son las más habituales, están debidamente acreditadas y son las avaladas por ANDIMA, Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes. Esto no significa que existan otras soluciones con los materiales aquí indicados que puedan utilizarse.

## 2.2. Rehabilitación de fachadas con 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 condensaciones superficiales e, incluso, moho. Este aspecto es especialmente importante en el caso de fachadas, pues es donde se producen casi todos los puentes térmicos: encuentros con la estructura (pilares, vigas, frentes de forjado) y formación de huecos (alféizares, mochetas, dinteles, capialzados).
- ✿ Destacar 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 y, en definitiva, suficiente para evitar fenómenos de condensación.
- ✿ Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción). Se debe tener 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.
- ✿ En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, será muy difícil, o incluso imposible, practicar la intervención por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

Los diferentes sistemas de rehabilitación existentes requieren 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).

### **2.2.1. Rehabilitación de fachadas con sistema de aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el exterior (SATE-ETICS)**

Especialmente recomendado en los siguientes casos:

- ✿ Seguridad por el reforzamiento de la fachada para evitar desprendimientos.
- ✿ Mantenimiento y estética por el deterioro causado por efecto del clima y el envejecimiento de los materiales.

En todos estos casos de reparación de la fachada, es recomendable el uso de sistemas de aislamiento por el exterior, ya que los costes fijos asociados a la intervención son elevados y el sobre coste de incluir el sistema de aislamiento queda muy reducido.

A la hora de realizar el proyecto, se debe prestar especial atención a los encuentros con la cubierta, los balcones, la carpintería exterior (ventanas y puertas), así como cualquier heterogeneidad que tenga la fachada.

### 2.2.1.1. Descripción del sistema de aislamiento exterior bajo revoco

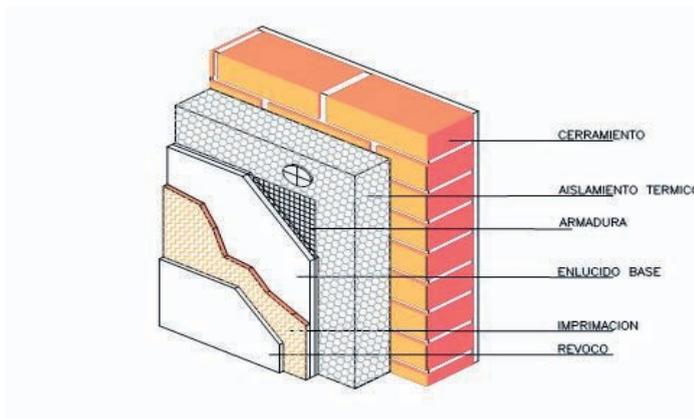
El sistema presenta tres grupos de materiales:

- ✿ El aislamiento, en este caso poliestireno expandido (EPS), cuya misión es ahorrar energía al edificio.
- ✿ Las fijaciones, cuya misión es asegurar la unión del sistema al muro soporte.
- ✿ Los acabados, cuya misión principal es proteger al sistema de las solicitaciones climatológicas, mecánicas, químicas, etc. Como misión secundaria, aporta parte de la estética del edificio.

El sistema está formado por los siguientes elementos:

- ✿ Aislamiento (EPS).
- ✿ Mortero adhesivo y/o fijaciones mecánicas (espigas).
- ✿ Perfiles metálicos o plásticos para el replanteo del sistema y los encuentros con los huecos de la fachada (ventanas, puertas) y los remates superior e inferior.
- ✿ Revestimiento base o imprimación.
- ✿ Mallas de refuerzo.
- ✿ Revestimiento de acabado.

El esquema básico se puede consultar en la Fig. 1.



**Figura 1.** Esquema básico de aislamiento por el exterior.

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser, al menos, las que aparecen en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Especificaciones mínimas del EPS para aislamiento por el exterior.

<b>AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR BAJO REVOCO</b>		<b>NIVEL</b>
<b>Especificación</b>	<b>Norma de ensayo</b>	<b>Mínimo</b>
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L2
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W2
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T2
Rectangularidad	UNE-EN-824	S2
Planimetría	UNE-EN-825	P4
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS(N)2
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23°C 90%HR	UNE-EN-1604	< 1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS50
Reacción al fuego	UNE-EN-13501-1	E
Resistencia a la tracción perpendicular a la caras	UNE-EN-1607	TR100

### 2.2.1.2. Ventajas de los sistemas de aislamiento por el exterior bajo revoco

Las ventajas de estos sistemas de aislamiento son las siguientes:

- Posibilita el cambio de aspecto de la fachada del edificio "rejuveneciendo" su aspecto y contribuyendo a la mejora del entorno.
- Corrige grietas y fisuras soporte evitando posibles filtraciones.

- ✿ Tiene bajos costes de mantenimiento.
- ✿ Aumenta la vida útil del edificio.
- ✿ Aumenta el valor de la propiedad.
- ✿ Evita trabajos en el interior.
- ✿ Se puede instalar en recintos ocupados.
- ✿ No reduce el espacio útil.
- ✿ Se pueden instalar grandes espesores que optimicen la intervención.
- ✿ Se mejora el aislamiento acústico del sistema de cerramiento.
- ✿ Es un sistema de construcción "seco". El proceso de instalación es rápido y sin tiempos de espera para secado de morteros o yesos.
- ✿ Es compatible incluso con muros de mala planimetría.
- ✿ Es aplicable a cualquier tipo de fachada.



### 2.2.1.3. Detalles críticos del sistema

En general, los detalles críticos de este sistema son los siguientes:

- ✿ El revestimiento debe tener las especificaciones necesarias para satisfacer las necesidades de protección del sistema.

- Deben respetarse las especificaciones del fabricante del mortero de revestimiento en cuanto a las juntas de dilatación del sistema.
- Deben respetarse las juntas de unión y los sellados del sistema con los encuentros, las instalaciones, etc.
- Se deben detallar en el proyecto cómo van a quedar las instalaciones que atraviesan el sistema o que necesitan perforarlo en sus fijaciones (por ejemplo la instalación de gas natural).

En cuanto a la rehabilitación, se pueden citar los siguientes detalles críticos:

- En las fijaciones al soporte, se debe tener en cuenta el tipo de sustrato, así como su resistencia mecánica y la degradación sufrida con el tiempo.
- Se debe evitar la corrosión de los sistemas de fijación y los posibles movimientos del sistema completo. En caso de ser necesario, se reparará previamente el soporte en las zonas con huecos o de baja adherencia.
- Los puentes térmicos, especialmente en los contornos de ventanas, puertas y balcones.
- En cuanto a las juntas de dilatación, además de las juntas propias del sistema de revestimiento (especificadas por cada fabricante), se deben respetar las juntas de dilatación estructural del edificio existente.
- Estudio en profundidad de los encuentros con las instalaciones existentes.

#### 2.2.1.4. Durabilidad y mantenimiento

El aislamiento exterior bajo revoco es vulnerable a ser dañado, sobre todo en la planta a pie de calle. Por ello, debe protegerse con un zócalo, o bien reforzar el revoco y las esquinas.

El mantenimiento del material de revestimiento es función de la ubicación del edificio. Factores como la polución ambiental o las solicitaciones climatológicas, marcarán el aspecto de la fachada y, por tanto, las necesidades de mantenimiento de la misma.

Para los acabados acrílicos, los fabricantes recomiendan lavados a presión cada 5 o diez años según la ubicación del edificio.

## **2.2.2. Rehabilitación de fachadas por el exterior mediante la aplicación de un sistema de fachada ventilada con lana mineral (lana de vidrio/lana de roca) MW**

### **2.2.2.1. Descripción**

Este sistema consiste en la aplicación de aislamiento mediante lana mineral (lana de vidrio o lana de roca) por la parte externa del muro, y de una protección formada, normalmente, por una lámina ligera externa, separando ambos materiales por una cámara de aire.

El sistema de aislamiento por el exterior es un medio novedoso y que se incorpora cada vez con mayor frecuencia como consecuencia de sus excelentes prestaciones de ahorro energético en los periodos cálidos del año.

Está formado por un aislamiento generalmente rígido o semirrígido de lana mineral (lana de roca o lana de vidrio) fijado al muro soporte (fachada existente), y una hoja de protección (formada por planchas, bandejas, "cassettes", etc.) separada del aislamiento, formando una cámara donde circula el aire por simple convección.

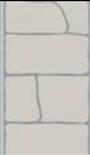
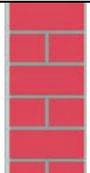
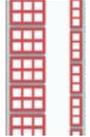
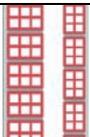
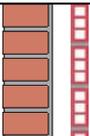
La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto.

### **2.2.2.2. Tipos de soporte**

En principio, cualquier muro de fachada puede ser utilizado como soporte de una fachada ventilada.

Para este apartado, se han seleccionado cinco muros de fachada característicos de los sistemas constructivos empleados en los últimos 70 años y, por lo tanto, susceptibles de ser rehabilitados con un sistema de fachada ventilada.

Dichos muros son los siguientes:

	Croquis	Materiales	Espesor en cm
1		Revoco de cal Piedra calcárea Enlucido de yeso	3,00 50,00 1,50
2		Revoco de cal Ladrillo macizo Enlucido de yeso	2,00 30,00 1,00
3		Revoco exterior de cemento Ladrillo perforado Cámara de aire Tabique ladrillo hueco Enlucido de yeso	2,00 14,00 8,00 4,00 1,50
4		Revoco exterior de cemento Ladrillo perforado Cámara de aire Ladrillo hueco Enlucido de yeso	2,00 14,00 10,00 7,00 1,00
5		Ladrillo visto Cámara de aire Ladrillo perforado Enlucido de yeso	14,00 10,00 7,00 1,00

### 2.2.2.3. Ventajas

Las ventajas de este tipo de sistema son las siguientes:

- ✿ La solución es "desmontable" y, por lo tanto, susceptible de rehabilitarse en diversas ocasiones.
- ✿ Acompañado de condiciones de ventilación, contribuye a la eliminación de problemas de salubridad interior, como humedades y condensaciones.
- ✿ Los materiales empleados son desmontables y reciclables/reutilizables.
- ✿ No precisa de preparaciones previas de la superficie externa del muro (decapados, saneados, etc.).
- ✿ Permite alojar opcionalmente instalaciones entre la cámara y el aislante.
- ✿ La cámara de aire ventilada exterior protege al aislante y muro soporte de las inclemencias exteriores (agua, sol, viento, etc.).

Existe una multitud de sistemas para constituir fachadas ventiladas. Éstas pueden ser parcialmente ventiladas, pueden estar constituidas por una sola lámina de aire (con aberturas en la parte inferior y superior) o pueden disponer de aberturas en su superficie (sistemas con junta abierta).

Los soportes varían en forma y disposición según sistema y fabricante. Existen perfiles de aluminio o de acero, en forma de "U", o en forma de "H" o perfiles tubulares.

Los elementos de cierre pueden ser elementos prefabricados cerámicos, vidrio, metálicos, o composites, en gran variedad de acabados, texturas y colores.

#### **2.2.2.4. Limitaciones**

La fachada incrementa su espesor hacia el exterior entre 10 y 20 cm para los acabados ligeros normalmente utilizados, pudiendo llegar a los 30 cm en el caso de revestimientos pétreos naturales.

#### **2.2.2.5. Productos recomendados**

Para este tipo de aplicación, se recomiendan productos semirrígidos de lana de vidrio o lana de roca suministrados en forma de panel o rollo.

Si la hoja externa es de vidrio u otro material transparente, es conveniente que la lana mineral esté revestida de un velo mineral negro.

### 2.2.2.6. Proceso de instalación

El proceso de instalación se puede resumir en los siguientes pasos:

- Sobre el muro soporte se instalan los elementos de sujeción de la subestructura de la hoja exterior.
- Se procede a la instalación de los paneles de lana mineral en el espesor adecuado según las necesidades de aislamiento, fijándolos al muro soporte mediante tacos autoexpandibles tipo "sombriilla" de material plástico.
- El número de fijaciones variará según el formato de los paneles pero, en ningún caso, se aplicarán menos de 4 fijaciones por m<sup>2</sup>.
- Se instala la subestructura fijada a los elementos de fijación.
- Se instala la hoja exterior.

### 2.2.2.7. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 2.

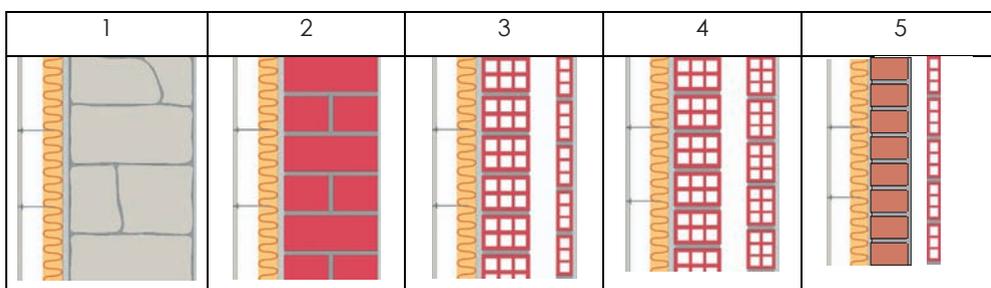


Figura 2.

### 2.2.2.8. Prestaciones térmicas de los sistemas

Las prestaciones térmicas de los diferentes sistemas se muestran en la Fig. 3.

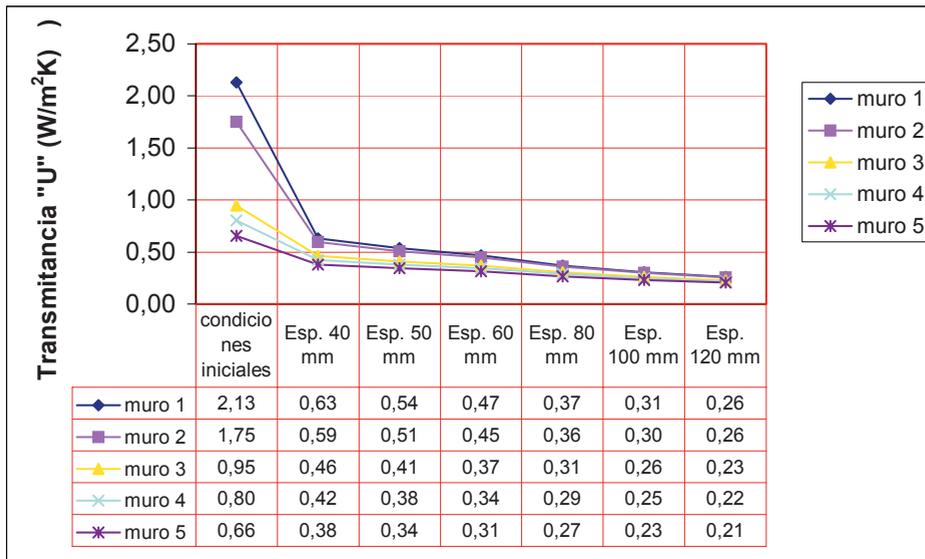


Figura 3.

### 2.2.3. Rehabilitación de fachada aislada para revestir directamente sobre la plancha de poliestireno extruido (XPS) por el exterior (ETICS)

Se trata de una solución constructiva mediante ETICS, *External Thermal Insulation Composite System*.

#### 2.2.3.1. Tipos de soporte

Existen diversos tipos de fábricas, habitualmente de ladrillo o bloques de diversos tipos. Sobre el muro soporte así formado, se procede a instalar el aislamiento de XPS que, posteriormente, se reviste con mortero para dar el acabado final visto.

#### 2.2.3.2. Ventajas y limitaciones

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en este apartado, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las

planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en fachadas con revestimiento directo sobre el aislante: el propio revestimiento).

En fachadas con aislamiento de XPS revestido directamente por el exterior del muro soporte, existen sistemas que se basan en morteros preparados a tal efecto. Se trata de los llamados morteros “monocapa”.

### 2.2.3.3. Productos recomendados

La referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164 es la siguiente:

- ✿ Producto XPS sin piel de extrusión, para permitir el agarre del revestimiento.
- ✿ CS(10\Y)200.
- ✿ Dimensiones de la plancha: 1200 mm x 600 mm.
- ✿ Junta a media madera.

### 2.2.3.4. Proceso de instalación

Consiste en la aplicación, sobre la superficie exterior de la fachada o medianera existente, de las planchas de XPS, que van después revestidas por una capa protectora y de acabado ejecutada con morteros especiales por instaladores cualificados.

Existen diversos sistemas disponibles en el mercado que suministran el conjunto de materiales y componentes necesarios para la puesta en obra, de modo que se asegure la compatibilidad entre todos ellos. Se recomienda acudir a las empresas suministradoras de dichos sistemas.

### 2.2.3.5. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se reflejan en la Fig. 4.

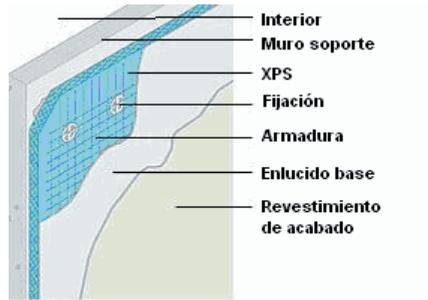


Figura 4. Detalle constructivo.

### 2.2.3.6. Prestaciones térmicas

Para el caso de fachadas, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en  $W/m^2 K$ ]:

- Fachada de dos hojas con cámara ( $R= 0.17 m^2 K/W$ ):

Tipo de fábrica exterior	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	<b>1,561</b>	<b>0,748</b>	<b>0,616</b>	<b>0,524</b>	<b>0,456</b>	<b>0,362</b>	<b>0,307</b>
1 asta L.P.	<b>1,242</b>	<b>0,666</b>	<b>0,559</b>	<b>0,482</b>	<b>0,424</b>	<b>0,341</b>	<b>0,292</b>

- Fachada de una sola hoja:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	<b>2,693</b>	<b>0,809</b>	<b>0,657</b>	<b>0,553</b>	<b>0,478</b>	<b>0,375</b>	<b>0,317</b>
1 asta L.P.	<b>1,866</b>	<b>0,714</b>	<b>0,593</b>	<b>0,507</b>	<b>0,443</b>	<b>0,354</b>	<b>0,301</b>

Del mismo modo, para el caso de medianeras, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en  $W/m^2 K$ ]:

- Doble hoja y cámara intermedia ( $R= 0.14 m^2 K/W$ ):

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	<b>1,153</b>	<b>0,631</b>	<b>0,535</b>	<b>0,464</b>	<b>0,410</b>	<b>0,332</b>	<b>0,285</b>
Hueco triple	<b>1,010</b>	<b>0,586</b>	<b>0,502</b>	<b>0,439</b>	<b>0,390</b>	<b>0,319</b>	<b>0,276</b>

En este punto conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1.000 m<sup>2</sup> y un 25%, como mínimo, de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[NOTA: Hay que tener en cuenta que el valor U límite afecta al valor U medio de transmisión térmica del cerramiento dado. Es decir, hay que introducir, en la media ponderada, los valores U de los diversos puentes térmicos, que no tienen por qué coincidir con el valor U del cerramiento-tipo. De hecho, normalmente serán valores mayores y, si no se aíslan convenientemente, habrá que compensar las mayores pérdidas energéticas a su través con un "plus" de aislamiento en el cerramiento-tipo, siempre que no aparezca ningún riesgo de condensaciones. Sin embargo, aislando la fachada por el exterior será poco probable que se produzca este efecto de los puentes térmicos, puesto que es más sencillo evitarlos].

PARAMENTOS OPACOS				U <sub>medio</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ZONA CLIMÁTICA CM	
					D	E
FACHADAS	Al exterior	UM1	AM1	$\frac{\sum(A \cdot U)}{\sum A}$	0,66	0,57
	A espacio no habitable	UM2	AM2			
	Pte.Tér.-contorno hueco	UPF1	APF1			
	Pte.Tér.-pilar	UPF2	APF2			
	Pte.Tér.-capialzado	UPF3	APF3			

Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

## **2.2.4. Rehabilitación de fachadas medianeras y fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)**

### **2.2.4.1. Rehabilitación de fachadas medianeras con espuma de poliuretano proyectado**

#### **2.2.4.1.1. Descripción**

Tanto en obra nueva como cuando, por derribo del edificio adyacente, aparece una fachada medianera, será necesaria la incorporación de aislamiento térmico.

En muchos casos, cuando existe derribo del edificio colindante, quedan al descubierto importantes deficiencias en el acabado de la fachada, oquedades, falta de sellado e impermeabilidad, inconsistencia y, por supuesto, ausencia de aislamiento térmico.

Con la solución de incorporar a estas fachadas espuma de poliuretano proyectado, se consigue una magnífica rehabilitación de la fachada medianera aportando sellado, impermeabilidad, consistencia y aislamiento térmico.

Con el fin de que la espuma no se degrade por efecto de los rayos ultravioleta, se deberá proteger mediante pintura o un elastómero de poliuretano proyectado de 1.000 kg/m<sup>3</sup> que, además, mejorará todas las prestaciones de la solución.

También se recomienda la protección mediante enfoscado o tabique de ladrillo de los 3,5 primeros metros desde su base, con el fin de proteger la solución de agresiones externas.

### 2.2.4.1.2. Elementos del sistema

Los elementos del sistema son los siguientes:



Aislamiento:

- Espuma de poliuretano proyectada.
- Capa de espesor mínimo de 30 mm.
- Densidad mínima de 35 kg/m<sup>3</sup>.



Protección:

- Elastómero de poliuretano.
- Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
- Densidad 1.000 kg/m<sup>3</sup> con coloración.
- Aporta protección UV a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad y la consistencia.



## 2.2.4.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)

### 2.2.4.2.1. Descripción

Cuando el interior de la vivienda es inaccesible y se valora cambiar la estética de la fachada, o bien su renovación por cuestiones de seguridad, se puede plantear la realización de una fachada ventilada.

Se procede inicialmente a la limpieza y acondicionamiento de la fachada que debe soportar el sistema ventilado. Lo habitual es proyectar la espuma de poliuretano una vez se ha fijado el entramado metálico y, a continuación, colocar las piezas que forman el revestimiento de la fachada.

### 2.2.4.2.2. Elementos del sistema

El sistema está formado por el siguiente elemento:



Aislamiento:

- Espuma de poliuretano proyectada
- Capa de espesor mínimo de 30 mm.
- Densidad mínima de 35 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.2.4.2.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta estanqueidad y tratamiento óptimo de los puentes térmicos.

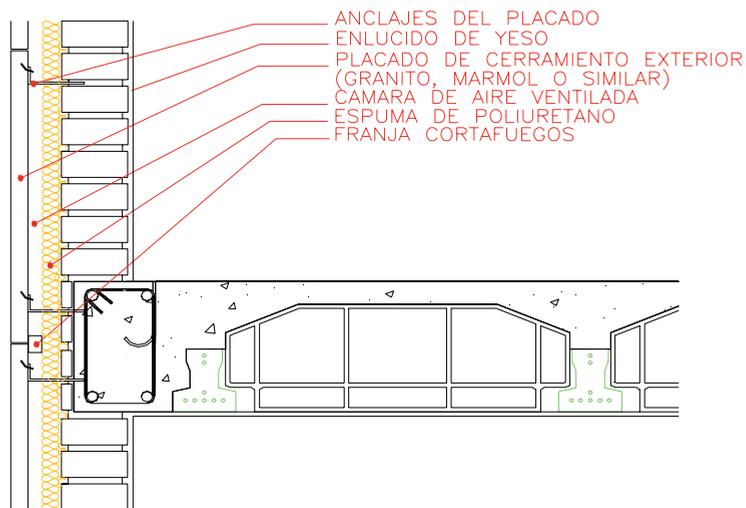


Figura 5.

## 2.3. 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 invadan la vía pública.
- ✿ En el caso de viviendas, 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 que en la rehabilitación se aproveche para demoler el tabique interior del muro que cobija la cámara de aire (espesor total del conjunto tabique + cámara  $\approx$  8-10 cm), siendo sustituido por un aislamiento con incorporación directa del acabado interior (espesor total  $\approx$  5-7 cm < 8-10 cm).
- ✿ Se vuelve muy delicada la corrección de los puentes térmicos, debido al elevado riesgo de formación de condensaciones superficiales. Destacar 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. En cualquier caso, 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, por ejemplo, los frentes de forjado.

- 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 calentarse en verano, punto muy importante de cara al acondicionamiento estival.
- 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.

### **2.3.1. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el interior**

En la Fig. 6 se muestra la rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico de EPS por el interior.

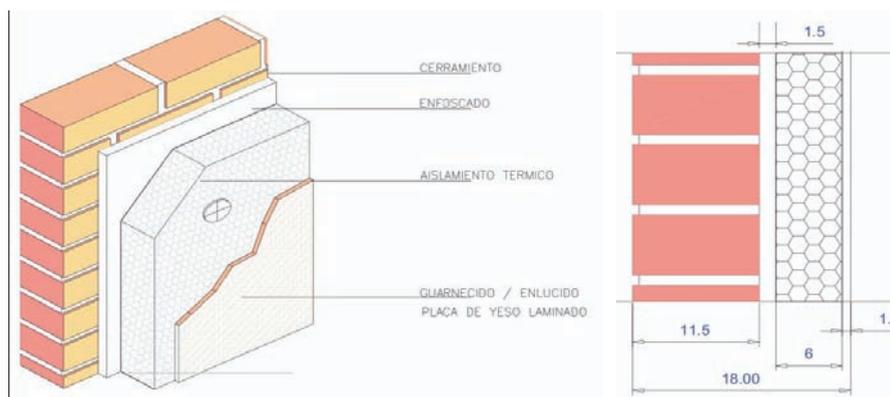


Figura 6. Esquema básico de aislamiento por el interior.

### 2.3.1.1. Descripción del sistema de aislamiento por el interior con acabado de placa de yeso laminado

En este sistema se fijan los paneles aislantes (con adhesivos o con fijaciones mecánicas) sobre la cara interior de la fachada y, a continuación, se coloca el revestimiento, que puede ser un enlucido de yeso o placa de yeso laminado. Se puede sustituir el conjunto por un complejo de aislamiento y placa de yeso laminado que, normalmente, se adhiere al muro soporte.

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser, al menos, las que aparecen en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Especificaciones mínimas del EPS para aislamiento por el interior.

AISLAMIENTO POR EL INTERIOR		NIVEL
Especificación	Norma de ensayo	Mínimo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS(N)5
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23°C 90%HR	UNE-EN-1604	< 1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS50
Transmisión al vapor de agua	UNE-EN-12086	MU 30-70

### 2.3.1.2. Ventajas del sistema de aislamiento por el interior con acabado PYL

Un factor clave para la renovación térmica de la fachada por el interior es la optimización del espacio útil.

Por ello, los sistemas recomendados tienen las máximas prestaciones con el mínimo espesor.

Es el caso de los complejos de aislamiento y placa de yeso laminado. Existen sistemas de aislamiento de EPS con materiales especiales de baja conductividad térmica ( $\lambda$  0,030 - 0,032 W/m · K), que aportan más aislamiento con menos espesor.

#### 2.3.1.3. Detalles críticos del sistema

En la rehabilitación, los detalles críticos de este sistema son los siguientes:

- ❖ La fijación de las planchas de aislamiento es la parte más crítica del sistema. Los sistemas adheridos deben emplearse en edificios sin patologías de humedades por filtraciones o condensaciones superficiales, para evitar un posible despegue del adhesivo. En ese caso, se emplearán fijaciones mecánicas, o bien se reparará la pared para asegurar una correcta protección de la misma frente a humedades.
- ❖ El adhesivo se aplicará mediante pelladas de 5 cm de diámetro separadas unos 40 cm entre sí y 5 cm de los bordes. También se aplicarán bandas de adhesivo en el perímetro cercano a puertas y ventanas, así como en la periferia de la pared.
- ❖ Se pondrá especial atención en el cálculo de condensaciones intersticiales. En caso que sea necesario, se emplearán sistemas que incluyan una barrera de control de vapor en el lado caliente del aislamiento, por ejemplo una lámina de polietileno.
- ❖ Se cuidarán los sellados y remates de la placa de yeso laminado en esquinas y encuentros con ventanas, puertas y otros elementos de la fachada.

- ✿ Se tratarán los puentes térmicos en contornos de puertas y ventanas, así como pilares y cajas de persiana, para optimizar la mejora energética de la fachada y evitar condensaciones.

## **2.3.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el interior. Trasdosados autoportantes de placas de yeso laminado sobre perfiles metálicos y aislamiento de lana mineral**

### **2.3.2.1. Descripción**

Sistema de aislamiento por el interior utilizado muy frecuentemente como sistema de mejora del aislamiento térmico y acústico de cerramientos verticales.

Está formado por placas de yeso laminado fijadas sobre perfiles metálicos independientes del muro portante, con relleno del espacio intermedio mediante lana mineral (lana de vidrio o lana de roca).

### **2.3.2.2. Tipos de soporte**

El sistema de trasdosados puede aplicarse a cualquier tipo de soporte sin requerimientos especiales, ya que el trasdosado es autoportante y no utiliza el muro como soporte.

### **2.3.2.3. Ventajas**

Además de las mencionadas anteriormente, presenta las siguientes ventajas:

- ✿ Se consigue un incremento del aislamiento acústico del muro soporte.
- ✿ Es un sistema de construcción "seco". El proceso de instalación es rápido y sin tiempos de espera para secado de morteros o yesos.
- ✿ No es imprescindible desalojar el edificio.
- ✿ Permite alojar fácilmente instalaciones entre la placa y el propio aislante.

- Resuelve los puentes térmicos integrados en la fachada (pilares, contornos de huecos, etc.).

### 2.3.2.4. Limitaciones

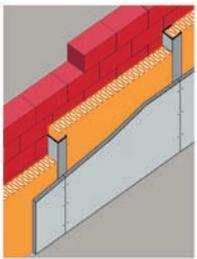
Disminuye el espacio interior en torno a 6 cm.

### 2.3.2.5. Productos recomendados

Para esta aplicación se recomiendan los paneles semirrígidos de lana de vidrio o lana de roca, ya sean suministrados en forma de panel o de panel enrollado.

### 2.3.2.6. Proceso de instalación

El proceso de instalación se resume en la siguiente tabla:

	El muro soporte debe repararse si presenta defectos importantes de estanqueidad, grietas, desconchones, mohos, etc.
	Se colocan las canales metálicas en la parte baja y alta del trasdosado, cuidando de la correcta alineación y aplomo. Es recomendable intercalar una junta estanca entre las canales y el suelo o el techo.
	Los montantes cortados a la altura requerida se alojan dentro de las canales por simple presión, cada 60 cm o 40 cm, sin atornillado o remachado. Es conveniente que no exista contacto entre los perfiles metálicos y el muro soporte. Si el espesor de aislamiento lo aconseja, pueden situarse las canales y montantes de forma que pueda colocarse una capa de aislante entre ellos y el muro soporte.
	Se coloca el aislante entre los montantes, simplemente retenido por las alas de los mismos. Es fundamental que el aislante rellene totalmente la cavidad. Puede ser aconsejable una ligera compresión de la lana de vidrio o lana de roca (del orden de 1 cm).
	Se realizan los pasos de instalaciones que sean necesarios. La elasticidad de la lana mineral permite su paso sin necesidad de efectuar rozas y debilitar el aislamiento.
	Se procede a colocar las placas de yeso mediante atornillado de las mismas a los montantes. Para finalizar el trabajo, se efectúa el tratamiento de juntas de las placas de yeso.

### 2.3.2.7. Tratamiento de puentes térmicos

El sistema de aislamiento por el interior mediante trasdosados sobre entramado metálico y relleno de lana mineral aislante (de vidrio o de roca), permite la práctica eliminación de los puentes térmicos superficiales integrados en la fachada.

Por el contrario, no resuelve los puentes térmicos lineales “de contorno” (frentes de forjado, intersección de muros de fábrica, etc.).

### 2.3.2.8. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 7.

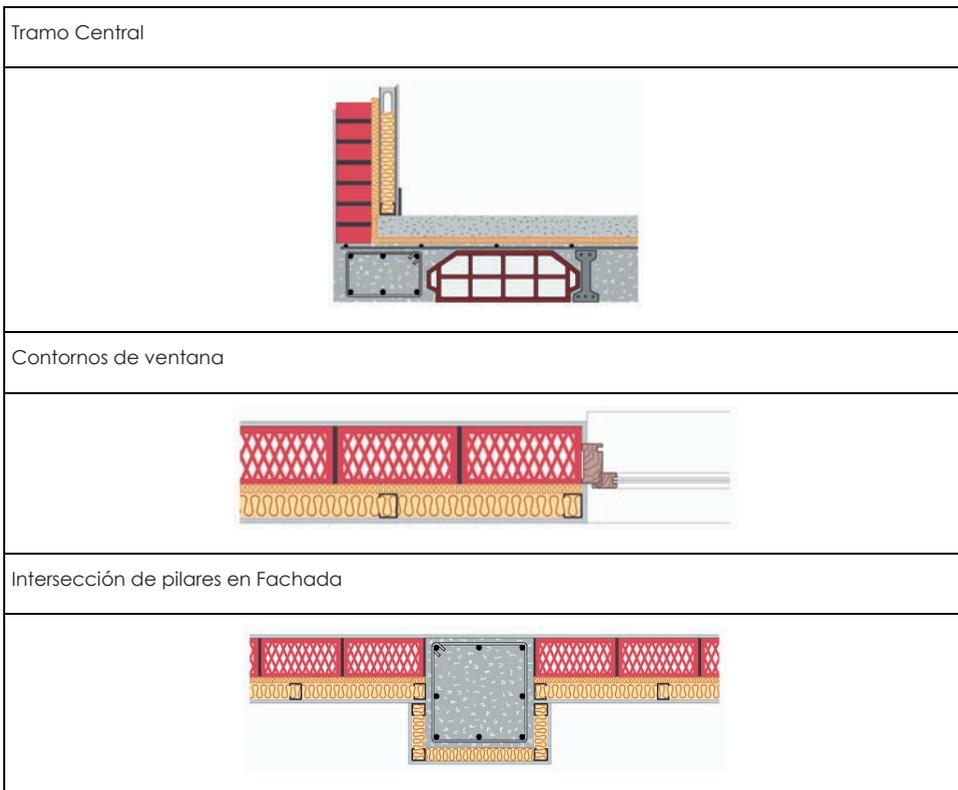


Figura 7. Detalles constructivos.

### 2.3.2.9. Prestaciones térmicas

Las prestaciones conseguidas mediante este sistema dependen de la eficacia del muro soporte antes de efectuar el trasdosado.

La eliminación de los puentes térmicos integrados en la fachada permite obtener un aislamiento uniforme (lo que evita tener que considerar estos puentes térmicos en la evaluación térmica de la parte opaca de la fachada).

La Fig. 8 permite realizar una evaluación de las prestaciones térmicas.

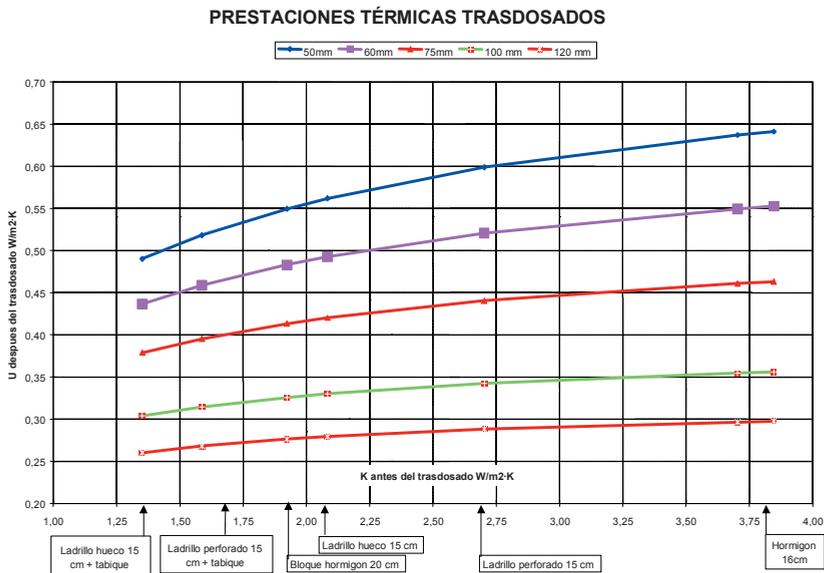


Figura 8.

### 2.3.3. Rehabilitación de fachada y fachada medianera por el interior con plancha aislante de poliestireno extruido (XPS) para revestir con yeso *in situ* o placa de yeso laminado

#### 2.3.3.1. Tipos de soporte

En estos casos, aparecen diversos tipos de fábricas, habitualmente de ladrillo o bloques de diversos tipos. Sobre el muro soporte así formado se procede a

trasdosar por el interior con el aislamiento de XPS que, posteriormente, se reviste con yeso *in situ* para dar el acabado final visto. Una alternativa al yeso *in situ* puede ser la placa de yeso laminado.

### 2.3.3.2. Ventajas y limitaciones

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en este apartado, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en este caso, enlucidos, yeso *in situ*, etc.).

### 2.3.3.3. Productos recomendados

A continuación, se presenta una referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164:

- ✿ Para aplicar yeso *in situ*:
  - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el agarre del yeso.
  - CS(10\Y)200.
  - Dimensiones de la plancha: 1250 mm x 600 mm.
  - Junta recta.
- ✿ Para laminar la placa de yeso laminado:
  - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el pegado de la placa.
  - CS(10\Y)250.
  - Dimensiones de la plancha: 2500 mm x 600 mm.
  - Junta recta.

### 2.3.3.4. Proceso de instalación

- ✿ Para aplicar yeso *in situ*:
  - En primer lugar se pegan las planchas de XPS al soporte. El adhesivo, habitualmente tipo cemento-cola, puede aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y estado del soporte, en bandas

verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm o, directamente, si el soporte presenta una buena planeidad, en toda la superficie de la plancha mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada. [NOTA: se consultará al fabricante del adhesivo que éste no contenga disolventes y sea compatible con el poliestireno].

- Cuando se opte, como complemento del adhesivo, por el uso de fijaciones mecánicas, se colocarán en cada plancha cinco anclajes (tipo taco o espiga plástica) en las esquinas (a unos 10-15 cm) y en el centro.
- Las planchas de XPS se aplican sobre el muro soporte de abajo hacia arriba, con las juntas verticales a tresbolillo, a partir de una regla nivelada adaptada al espesor de las planchas y situada en la parte inferior.
- Las planchas de XPS se presionan contra el soporte a base de pequeños golpes con ayuda de la llana o el fratás, controlando la planimetría de la superficie con una regla de nivel. Debe evitarse el relleno de las juntas a tope con el adhesivo.
- Los cortes y ajustes de las planchas sobre ángulos y aberturas se pueden practicar con sierra o cutter.
- En las uniones con carpinterías y otros encuentros, es conveniente dejar las planchas de XPS separadas alrededor de 1 cm, interponiendo una banda de espuma flexible.
- En general, a las 24 horas del recibido de las planchas sobre el muro, puede procederse al revestimiento de las mismas con yeso. Se procede, entonces, a la preparación habitual del guarnecido de yeso negro (Y-12), extendiendo una primera capa de unos milímetros de espesor para recibir la malla de revoco, llevándose a cabo

inmediatamente el recubrimiento de la misma hasta alcanzar un espesor mínimo de 15 mm. De este modo, se podrá dar luego el enlucido de yeso blanco (Y-25).

- Las bandas de la malla de revoco deben solaparse 100 mm. En las esquinas de ventanas o puertas se recomienda reforzar aquellas con bandas de malla de 100 mm x 200 mm cruzadas en diagonal.



Para aplicar placa de yeso laminado:

- Para el encolado de los laminados de yeso al XPS se usan colas vinílicas, acrílicas, vinílico-acrílicas, poliuretano de 1 o 2 componentes, o adhesivos de contacto sin disolventes, compatibles con el poliestireno.
- Posteriormente, el panel formado de placa de yeso laminado y XPS se pegará al soporte mediante adhesivos tipo cemento-cola, que puede aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y estado del soporte, en bandas verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm, o directamente en toda la superficie de la plancha, si el soporte presenta una buena planeidad, mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada.
- Para la colocación del panel de XPS con yeso laminado se seguirá el proceso habitual con placas de yeso laminado o cartón-yeso. Así, para el replanteo, conviene marcar una línea en el suelo que defina el paramento terminado (pellada + espesor de panel), y otra línea de pañeado (pellada + espesor de panel + ancho de la regla de pañear). Posteriormente, se actuará de modo que los paneles queden a tope con el techo y separados unos 15 mm del suelo. Cuando los paneles no alcancen la altura total, se alternarán las juntas a tresbolillo.

- Una vez que haya sido presentado el panel, se calzará para que no descienda, y se pañeará con la regla hasta llevarlo a su posición correcta.
- Para dejar los paneles listos para la aplicación del acabado, sólo quedará realizar el tratamiento de juntas, esquinas y rincones. El tratamiento es el habitual con las placas de yeso laminado: plastecido con pasta de juntas, colocación de cintas o vendas de juntas y capas de terminación. En caso de que se hayan empleado fijaciones mecánicas en la instalación de los paneles, deberán plastecerse las cabezas de los tornillos.
- Cuando se vaya a pintar la superficie, se preparará el paramento mediante una imprimación de tipo vinílico o sintético para igualar la absorción de todas las zonas. Si el paramento va alicatado, se sellarán con silicona todas las salidas de tubos, y los azulejos se colocarán con cemento-cola.

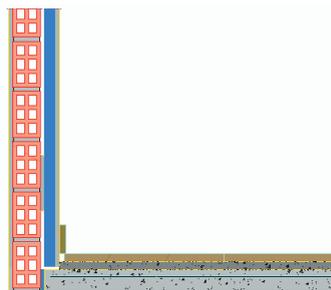
### 2.3.3.5. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 9.

Aplicación de yeso *in situ*



Aplicación de placa de yeso laminado



**Figura 9.** Detalles constructivos.

### 2.3.3.6 Prestaciones térmicas

Para el caso de fachadas, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m<sup>2</sup> K]:

✿ Fachada de dos hojas con cámara (R= 0.17 m<sup>2</sup> K/W):

Tipo de fábrica exterior	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	<b>1,561</b>	<b>0,748</b>	<b>0,616</b>	<b>0,524</b>	<b>0,456</b>	<b>0,362</b>	<b>0,307</b>
1 asta L.P.	<b>1,242</b>	<b>0,666</b>	<b>0,559</b>	<b>0,482</b>	<b>0,424</b>	<b>0,341</b>	<b>0,292</b>

✿ Fachada de una sola hoja:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	<b>2,693</b>	<b>0,809</b>	<b>0,657</b>	<b>0,553</b>	<b>0,478</b>	<b>0,375</b>	<b>0,317</b>
1 asta L.P.	<b>1,866</b>	<b>0,714</b>	<b>0,593</b>	<b>0,507</b>	<b>0,443</b>	<b>0,354</b>	<b>0,301</b>

Del mismo modo, en el caso de medianeras, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m<sup>2</sup> K]:

✿ Doble hoja y cámara intermedia (R= 0.14 m<sup>2</sup> K/W):

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	<b>1,153</b>	<b>0,631</b>	<b>0,535</b>	<b>0,464</b>	<b>0,410</b>	<b>0,332</b>	<b>0,285</b>
Hueco triple	<b>1,010</b>	<b>0,586</b>	<b>0,502</b>	<b>0,439</b>	<b>0,390</b>	<b>0,319</b>	<b>0,276</b>

✿ Hoja sencilla:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	<b>1,839</b>	<b>0,714</b>	<b>0,593</b>	<b>0,507</b>	<b>0,443</b>	<b>0,353</b>	<b>0,301</b>
Hueco triple	<b>1,653</b>	<b>0,684</b>	<b>0,572</b>	<b>0,492</b>	<b>0,431</b>	<b>0,346</b>	<b>0,296</b>

En este punto, conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1.000 m<sup>2</sup> y un 25%, como mínimo, de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[Véase NOTA correspondiente en sección relativa a "Rehabilitación de fachada aislada por el exterior para revestir directamente sobre la plancha aislante de XPS". En el caso de aislamiento por el interior será más crítico].

CERRAMIENTOS OPACOS			U <sub>medio</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ZONA CLIMÁTICA CM	
				D	E
FACHADAS	Al exterior	UM1 AM1	$\frac{\sum(A \cdot U)}{\sum A}$	0,66	0,57
	A espacio no habitable	UM2 AM2			
	Pte.Tér.- contorno hueco	UPF1 APF1			
	Pte.Tér.-pilar	UPF2 APF2			
	Pte.Tér.- capialzado	UPF3 APF3			

Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

## 2.3.4. Rehabilitación de fachada mediante espuma de poliuretano proyectado (PUR) por el interior

### 2.3.4.1. Descripción

Cuando se van a realizar obras en el interior de la vivienda y se valora la realización de un trasdós en el interior de la fachada, se tendrá en cuenta el principal condicionante, que es el espacio útil que se pierde.

En el caso de muros de una hoja en que se decida realizar un trasdosado armado, se proyectará espuma de poliuretano tratando los puentes térmicos accesibles, y se ejecutará posteriormente el trasdosado armado de placa de yeso laminado.

Si se trata de un trasdosado directo, se puede optar bien por conjuntos de plancha de poliuretano y placa de yeso laminado, o bien la ejecución *in situ* de dicho sistema constructivo.

En el caso de muros con cámara de aire en que se realiza la demolición de la hoja interior de ladrillo, se puede aprovechar el espacio disponible y tratar de forma global los puentes térmicos (pilares, contornos de ventana, etc.).

### 2.3.4.2. Elementos del sistema

El elemento que conforma el sistema es el siguiente:

-  Aislamiento:
  - Espuma de poliuretano proyectada.
  - Capa de espesor mínimo de 30 mm.
  - Densidad mínima de 35 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.3.4.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta estanqueidad y tratamiento parcial de los puentes térmicos.

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

En este apartado se describe la rehabilitación de fachadas con espuma de poliuretano (PUR) por inyección en cámaras.

### 2.4.1. Descripción

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.

### 2.4.2. Elemento del sistema

El elemento que compone el sistema es el siguiente:

- ✚ Aislamiento:
  - Espuma de poliuretano inyectada de baja densidad, 12 kg/m<sup>3</sup> inicial, pudiendo alcanzar de 18 a 25 kg/m<sup>3</sup> aplicada.
  - $\lambda = 0.038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .
  - Relleno con un espesor mínimo de 40 mm.

### 2.4.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta rigidez a la fachada.

### 2.4.4. Recomendaciones

Este tipo de solución constructiva requiere una especial atención, tanto por la valoración de su idoneidad como por la ejecución.

Se debe recurrir a este tipo de solución cuando queden descartadas otras posibilidades 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, ya que el material específico para

estos casos, de baja densidad  $12 \text{ kg/m}^3$  en expansión libre y con un período de espumación lento, debe saturar el volumen de la cámara sin crear tensiones excesivas en las fábricas colaterales, ya que éstas se pueden llegar a fisurar.

En la elección de este tipo de solución se ha de tener en cuenta que el llenado del volumen de la cámara puede verse entorpecido por elementos distorsionantes internos.

En ningún caso con este sistema se puede garantizar la impermeabilización del cerramiento.

## 3.1. Introducción

La cubierta del edificio es el elemento más sensible y expuesto a los agentes externos, tanto climatológicos como del 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 criterios térmicos o de ahorro de energía, cuyos beneficios son notorios.

En este capítulo se recogen las soluciones técnicas más comunes para rehabilitación de cubiertas.

Ya que debe actuarse en la cubierta, se puede aprovechar la reforma para realizar también su rehabilitación térmica y del aislamiento a coste muy reducido.

Por ello, se han definido 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.

Las soluciones que se recogen son las más habituales, están debidamente acreditadas y son las avaladas por ANDIMA, Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes. Esto no significa que existan otras soluciones aplicables con los materiales aquí indicados.

## 3.2. 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.

Intervenir por encima de la azotea 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.
- ✿ Destacar 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). Se debe tener en cuenta, por ejemplo, que un forjado pesa unos 300 kg/m<sup>2</sup>, lo que equivale a tener una bañera de unos 60 litros de agua por m<sup>2</sup>.
- ✿ 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 lo tanto, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.

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

- ❖ Cubierta no transitable 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 transitable. 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.

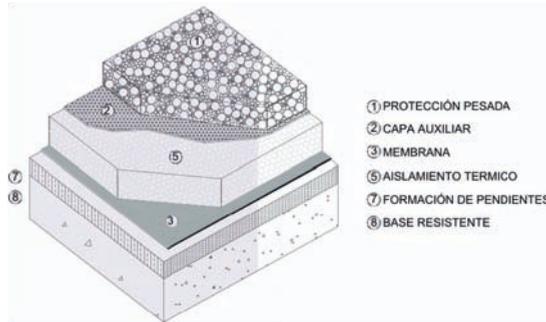
### **3.2.1. Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con poliestireno expandido (EPS-h). Caso de cubierta invertida**

Esta aplicación se recomienda especialmente cuando se aprovecha la renovación de la impermeabilización al encontrarse deteriorada y ser posible causa de goteras y otras patologías debidas a las humedades.

Las cubiertas planas se clasifican en frías o calientes en función de la posición del aislamiento con respecto al sistema de impermeabilización.

La cubierta caliente es propia de climas lluviosos y fríos, en los que la impermeabilización se coloca sobre el aislamiento para protegerlo y para mantener sus propiedades térmicas en esas condiciones climáticas.

La cubierta fría o invertida es propia de climas cálidos y secos. En este caso, el aislamiento es el que protege la impermeabilización al colocarse encima, reduciendo las sollicitaciones térmicas y, por tanto, su desgaste. Se coloca una protección sobre el aislamiento según el uso que se vaya a dar a la cubierta.



**Figura 1.** Esquema de cubierta invertida.

El poliestireno expandido (EPS) empleado en esta aplicación se denomina EPS-h (EPS hidrófobo). Es un material de baja absorción de agua específico para aplicaciones que requieran esta propiedad en el aislamiento, como es el caso de la cubierta invertida.

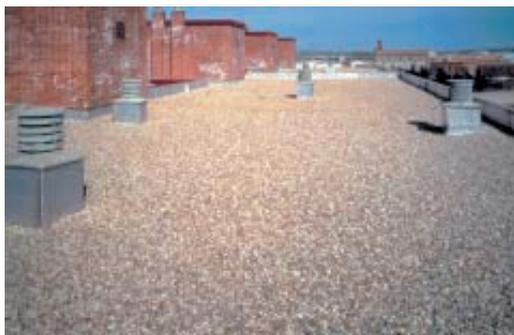
### 3.2.1.1. Descripción de la cubierta invertida con EPS-h

En la cubierta plana tradicional, la lámina de impermeabilización está expuesta a unas duras condiciones de trabajo, altas temperaturas en el caso de España, lo que provoca generalmente su deterioro con el tiempo y, finalmente, su fallo.

La cubierta invertida con EPS-h es un sistema de aislamiento que protege la lámina de impermeabilización de los cambios de temperatura y del deterioro continuo por efecto del clima y el uso o mantenimiento de la cubierta.

Por lo tanto, el producto aislante que forme parte de la cubierta invertida debe aportar una serie de prestaciones al sistema:

- ✿ Resistencia a la absorción de agua.
- ✿ Estabilidad dimensional en condiciones de temperatura y humedad.
- ✿ Resistencia mecánica en función de su uso.



**Foto 1.** Cubierta invertida no transitable.



**Foto 2.** Cubierta invertida transitable.

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser, al menos, las recogidas en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Especificaciones mínimas del EPS-h para cubierta invertida.

<b>CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON EPS-h</b>		<b>NIVEL</b>
<b>Especificación</b>	<b>Norma de ensayo</b>	<b>Mínimo</b>
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS(N)2
Estabilidad en condiciones específicas 48h 70°C 90%HR	UNE-EN-1604	< 1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS250
Reacción al fuego	UNE-EN-13501-1	E
Deformación bajo carga y temperatura	UNE-EN-1605	DLT(2)5
Tensión de compresión (10% deformación)	UNE-EN- 826	CS(10)200
Absorción de agua a largo plazo por inmersión	UNE-EN-12087	WL(T)2
Absorción de agua a largo plazo por difusión	UNE-EN-12088	WD(V)5
Fluencia a compresión	EN 1606	CC(2/1,5/25)50

### 3.2.1.2. Detalles críticos del sistema en rehabilitación

A la hora de valorar la cubierta invertida con EPS-h como opción en un proyecto de rehabilitación, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- El estado de la lámina de impermeabilización.
- Capacidad portante de la estructura original para soportar la carga adicional que supone el sistema de cubierta invertida con EPS-h.
- Los diversos aspectos de drenaje y encuentros con las heterogeneidades de la cubierta.

Las recomendaciones se centran en los siguientes aspectos:

- **Sobrecarga.** Las condiciones de carga son definitivas a la hora de diseñar la cubierta invertida con EPS-h. Tanto la solución de grava como la de losas, vienen determinadas por esta limitación. Tras confirmar que la estructura puede soportar la carga adicional que supone la cubierta invertida, ésta queda limitada por los siguientes valores mínimos:
  - 80 kg/m<sup>2</sup> (0,80 kN/m<sup>2</sup>) para cubiertas acabadas con grava.
  - 25 kg/m<sup>2</sup> (0,25 kN/m<sup>2</sup>) para cubiertas de losa (prefabricada o no).
- **Lámina de impermeabilización.** Se debe analizar previamente al estado de la impermeabilización. Aunque con el sistema de cubierta invertida con EPS-h se alargue la vida de la membrana, hay que comprobar que no existe ningún daño anterior a la instalación del aislamiento.
- **Condensaciones.** La posible aparición de condensaciones entre la lámina de impermeabilización y el soporte (forjado o capa de formación de pendientes) queda resuelta con la cubierta invertida con EPS-h al dejar de ser la membrana la cara fría del cerramiento.
- **Drenajes y capas separadoras.** La incorporación de un sistema de cubierta invertida con EPS-h da la oportunidad de mejorar el sistema de drenaje de la

cubierta. Los diseños específicos de productos moldeados con esta finalidad garantizan la evacuación del agua.

- ❖ **Detalles constructivos.** La instalación de la cubierta invertida supone la suma de una serie de capas que deben ser adecuadas al resto de la cubierta. Deben cuidarse los bordes y encuentros con los diversos elementos de la cubierta.

## 3.2.2. Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con proyección de espuma de poliuretano (PUR) y proyección con elastómero

### 3.2.2.1. Descripción

Una vez reparada la cubierta en las zonas donde se requiera, se procede a proyectar espuma de poliuretano siguiendo las especificaciones oportunas y, seguidamente, se aplica una capa de elastómero que protege al aislamiento de la radiación UV e incrementa la impermeabilización de la cubierta.



**Foto 3.** Rehabilitación de la cubierta con proyección de espuma de poliuretano.

### 3.2.2.2. Elementos del sistema

Los elementos del sistema son los siguientes:

- ✿ Aislamiento:
  - Espuma de poliuretano.
  - Capa de espesor mínimo de 30 mm.
  - Densidad mínima aplicada de 45 kg/m<sup>3</sup> en cubiertas para garantizar impermeabilidad.
- ✿ Protección:
  - Elastómero de poliuretano.
  - Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
  - Densidad 1.000 kg/m<sup>3</sup> con coloración.
  - Aporta protección UV a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

### 3.2.2.3. Prestaciones de la solución

Esta solución aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización, eliminando las juntas.

### 3.2.2.4. Recomendaciones

#### Telas asfálticas

Conviene retirar todo el material cuando se observen las siguientes situaciones:

- ✿ En caso de material no suficientemente adherido, puesto que, después de proyectado encima, puede desprenderse.
- ✿ En caso de material con bolsas o roturas, debido a las tensiones que introduce la espuma.

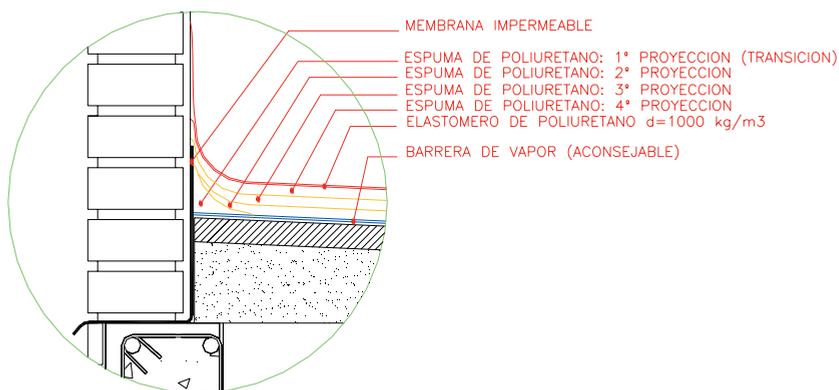


Figura 2. Tela asfáltica.

### Baldosín tipo catalán

Generalmente, este tipo de cubiertas suele presentar deterioros de la superficie embaldosada. Conviene levantar todas aquellas zonas donde los deterioros aparezcan manifiestos. En la zona levantada se realizará una capa de nivelación de forma que, una vez seca, sirva como sustrato para la proyección. Se cuidará especialmente la limpieza de toda la cubierta previa a la proyección.

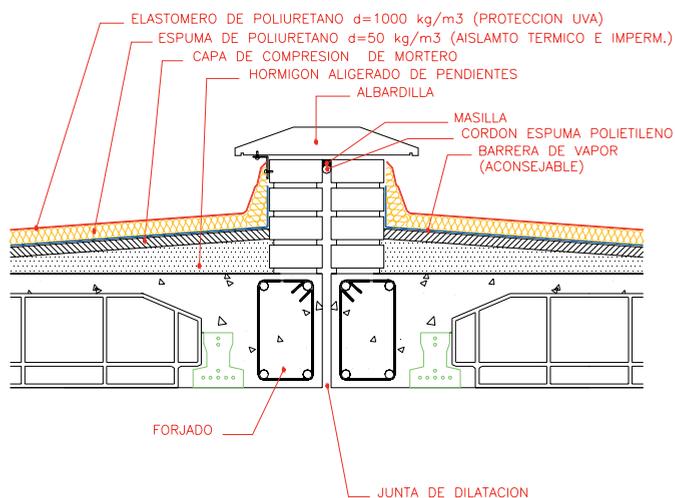


Figura 3. Baldosín tipo catalán.

### Cubierta con capa de rodadura o protección pesada

En este caso, conviene levantar las zonas superficiales dañadas (baldosas rotas, pasillos agrietados, etc.).

### Cubierta de grava

En este caso, hay que tener en cuenta que, bien desde el origen o bien con el paso del tiempo, el material de naturaleza inorgánica u orgánica suele estar presente entre la grava. Por ello, es conveniente que, como parte de la obra, se contemple efectuar un cribado y lavado de la grava antes de depositarla nuevamente encima del aislamiento de poliuretano.

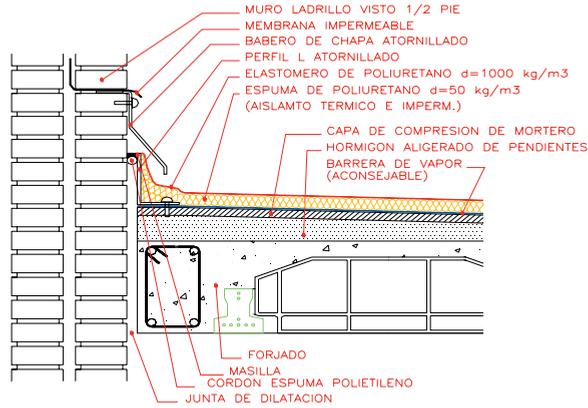
Además de las operaciones señaladas, y previamente a la proyección, es imprescindible realizar la limpieza y preparación de la superficie del sustrato. Se recomienda que, al retirar la grava, y con el fin de no cargar la estructura del forjado, se acumule en distintos puntos de la cubierta.

#### 3.2.2.5. La rehabilitación del peto de cubierta.

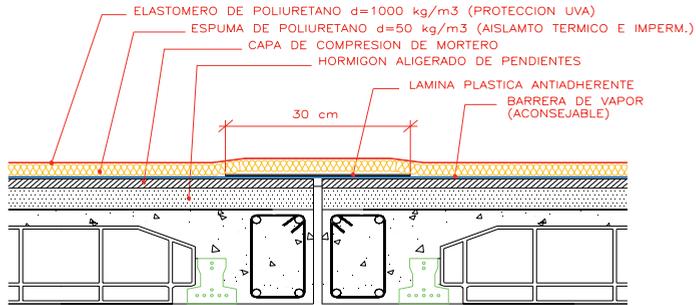
En el caso de petos enfoscados hay que tener en cuenta que, en rehabilitación, suelen ser elementos muy deteriorados por el paso del tiempo y las inclemencias meteorológicas, de tal manera que el enfoscado primitivo suele presentar desconchones y desmoronamientos por falta de cohesión y adherencia. En estos casos, se pondrá especial cuidado en picar y volver a enfoscar toda la superficie del lienzo deteriorado antes de proceder a proyección alguna.

Las albardillas suelen presentar, en general, una patología muy definida, puesto que se colocan "a hueso" y se quedan sin impermeabilizar cuando se hace la obra nueva, por lo que es conveniente precondicionar estas partes antes de proceder a realizar las proyecciones.

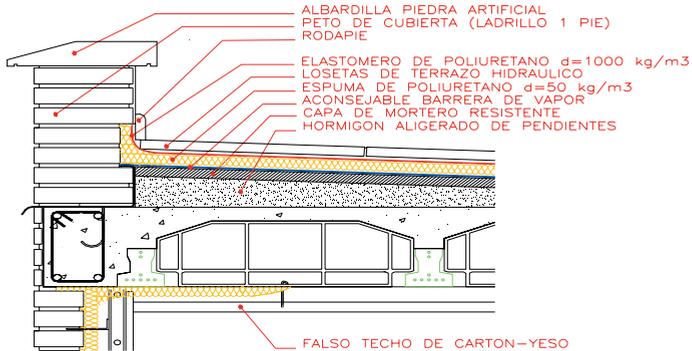
Conviene retirar los elementos rotos o corroídos con el fin de proceder, tras una limpieza, a realizar las protecciones y acabados con poliuretano.



**Figura 4.** Detalle de encuentro con elemento estructural de soporte con dilatación libre.



**Figura 5.** Detalle para salvar juntas de dilatación.



**Figura 6.** Detalle de integración de la proyección en peto de cubierta con rodapié y escuadrado de corrección de puente térmico.

### **3.2.3. Rehabilitación por el exterior de la azotea invertida no transitable y de la azotea invertida transitable con aislamiento térmico de poliestireno extruido (XPS)**

#### **3.2.3.1. Tipos de soporte**

Normalmente, se tratará de soportes de hormigón (forjados de diversos tipos) sobre los que se sitúa una capa de pendientes que, a su vez, da soporte al sistema de azotea invertida (impermeabilización + aislamiento + acabado).

#### **3.2.3.2. Ventajas y limitaciones**

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en esta solución, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en la azotea, usualmente, grava o baldosas).

En azoteas, puede ser especialmente recomendable y sencillo de instalar, pues el soporte dado por el último forjado permite trabajar con toda comodidad y seguridad. Además, con el XPS se puede proceder con seguridad y certeza sobre la durabilidad de las propiedades térmicas de las planchas aislantes a instalar sobre la impermeabilización, dándole una protección adicional dentro del conocido concepto de "cubierta invertida" (así denominado popularmente porque las posiciones "convencionales" de impermeabilización sobre aislamiento se "invierten").

Por otro lado, existen suministradores de baldosas con base aislante de XPS incorporada de fábrica. De este modo, se puede conseguir, a la vez, el aislamiento de la azotea rehabilitada y el acabado de la superficie por donde transitar.

### 3.2.3.3. Productos recomendados

A continuación se indican referencias de productos de XPS basadas en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164:

✿ Azotea invertida no transitable:

- Producto XPS con piel de extrusión.
- CS(10\Y)300, CC(2/1.5/50)90, WL(T)0.7, WD(V)3, FT2.
- Dimensiones de la plancha: 1.250 mm x 600 mm.
- Junta a media madera.

✿ Azotea invertida transitable:

- Baldosa aislante formada por base aislante XPS y acabado en hormigón o mortero tratados.
- CS(10\Y)300, CC(2/1.5/50)90, WL(T)0.7, WD(V)3, FT2.
- Dimensiones de la baldosa: (1.250, 600) mm x 600 mm.
- Junta recta, aunque algún tipo de baldosa puede ser machihembrada o a media madera.

### 3.2.3.4. Proceso de instalación

Se consideran los casos de azotea invertida no transitable y transitable.

#### 3.2.3.4.1. Azotea invertida no transitable

El proceso de instalación es el siguiente:

- ✿ Las planchas aislantes de XPS se colocan directamente encima de la impermeabilización, sueltas, con total independencia, sin adherirlas (eventualmente, cuando haya riesgo de flotación por inundación de la cubierta, podrán fijarse por puntos situados en la zona central de las planchas).

- ❖ Las planchas deben colocarse a tope entre ellas y con juntas al tresbolillo, contrapeando las filas sucesivas.
- ❖ Dada la ligereza de las planchas de XPS, se debe proceder inmediatamente, tras su colocación, al lastrado con la protección pesada de grava en un espesor de unos 5 cm para conseguir más de 80 kg/m<sup>2</sup> de lastre.
- ❖ Se recomienda el empleo de un geotextil entre la protección pesada y las planchas aislantes para evitar la formación de depósitos de carácter biológico sobre la membrana impermeabilizante.

#### 3.2.3.4.2. Azotea invertida transitable

En este caso, se pueden seguir los pasos descritos en la solución no transitable. La diferencia será que, en vez de verter grava como lastre, se dispondrá un pavimento formado o bien por baldosas hidráulicas apoyadas sobre distanciadores apoyados, a su vez, sobre las planchas de XPS, o bien por una capa continua de embaldosado (baldosín) tomado con mortero.

En este último caso, se recomienda armar la capa de mortero con un mallazo mínimo, e interponer entre planchas de XPS y mortero una capa de difusión para favorecer la transpirabilidad del sistema de cubierta y evitar un exceso indebido de agua estancada entre planchas aislantes y mortero.

En rehabilitación puede ser especialmente conveniente la instalación de baldosas que cuentan con una base aislante de XPS incorporada de fábrica.

El proceso de instalación es el siguiente:

- ❖ Las baldosas se colocan directamente encima de la impermeabilización, sueltas, con total independencia, sin adherirlas. Deben colocarse a tope entre sí y, dependiendo del tipo de baldosa, eventualmente con juntas a tresbolillo, contrapeando las filas sucesivas y cuidando de que los trozos de panel situados en los extremos de cada fila no tengan una longitud inferior a

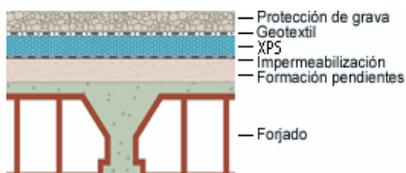
la mitad de la longitud total de la baldosa de XPS. Cuando esto no sea posible, se colocará el trozo sobrante de panel en la zona central de la cubierta.

- En las entregas a puntos singulares donde la cubierta queda perforada (lucernarios, sumideros, chimeneas, etc.), las baldosas aislantes de XPS pueden ajustarse mediante cortes y orificios practicables con sierra radial. Se dejará una junta con holgura de unos 5 mm. En los cambios de pendiente, limatesas o limahoyas, se puede practicar un corte en el mortero con sierra radial a lo largo de la línea de cambio de pendiente, a fin de acomodar mejor la baldosa al soporte.
- Para evitar una posible succión de viento, puede ser preciso instalar un lastre adicional o fijación suplementaria sobre la primera fila de baldosas aislantes situada junto al perímetro de la cubierta o cualquier elemento singular de la cubierta que perfore el forjado.

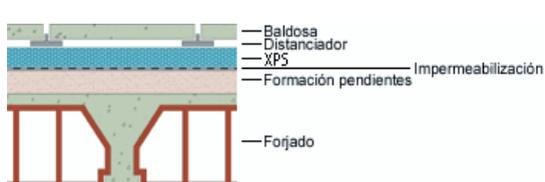
### 3.2.3.5. Detalles constructivos

En la siguiente figura se pueden observar los detalles constructivos en el caso de una azotea invertida no transitable y en el caso de una azotea invertida transitable.

Azotea invertida no transitable:



Azotea invertida transitable:



**Figura 7.** Detalles constructivos para azoteas invertidas no transitables y transitables.

### 3.2.3.6. Prestaciones térmicas

En el caso de azoteas, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m<sup>2</sup> K]:

✿ Azotea original no transitable acabada con lámina autoprottegida:

R del forjado [m <sup>2</sup> K/W]	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
0,23	<b>1,467</b>	<b>0,650</b>	<b>0,548</b>	<b>0,474</b>	<b>0,417</b>	<b>0,337</b>	<b>0,289</b>
0,30	<b>1,270</b>	<b>0,622</b>	<b>0,528</b>	<b>0,459</b>	<b>0,406</b>	<b>0,329</b>	<b>0,283</b>

✿ Azotea original transitable acabada en solado de baldosín:

R del forjado [m <sup>2</sup> K/W]	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
0,23	<b>1,376</b>	<b>0,631</b>	<b>0,535</b>	<b>0,464</b>	<b>0,410</b>	<b>0,332</b>	<b>0,285</b>
0,30	<b>1,255</b>	<b>0,605</b>	<b>0,516</b>	<b>0,449</b>	<b>0,398</b>	<b>0,324</b>	<b>0,280</b>

En este punto, conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1.000 m<sup>2</sup> y un 25%, como mínimo, de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[NOTA: Hay que tener en cuenta que el valor U *límite* afecta al valor U *medio* de transmisión térmica del cerramiento dado. Es decir, hay que introducir, en la media ponderada, los valores U de los diversos puentes térmicos (básicamente lucernarios y su contorno, si los hubiera), que no tienen por qué coincidir con el valor U del cerramiento-tipo. De hecho, normalmente serán valores mayores y, si no se aíslan convenientemente, habrá que compensar las mayores pérdidas energéticas a su través con un "plus" de aislamiento en el cerramiento-tipo, siempre que no aparezca ningún riesgo de condensaciones].

CERRAMIENTOS OPACOS				$U_{\text{medio}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	ZONA CLIMÁTICA CM		
					D	E	
CUBIERTAS	Al exterior	UC1	AC1	$\frac{\Sigma(A \cdot U)}{\Sigma A}$	0,38	0,35	
	A espacio no habitable	UC2	AC2				
	Pte. Térmico-lucernario	UPC	APC				
	Lucernario	UL	AL				
Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

### 3.2.4. Rehabilitación de la cubierta inclinada bajo teja con aislamiento por el exterior de poliestireno expandido (EPS)

Esta aplicación se recomienda en los casos en que no es accesible el bajo cubierta o cuando se pretende aprovechar la reparación del tejado para incluir aislamiento térmico al faldón que forma la cubierta.

Esta operación exige que se levante el tejado y se realice una estructura que permita la fijación del aislante térmico antes de volver a colocar el nuevo tejado.

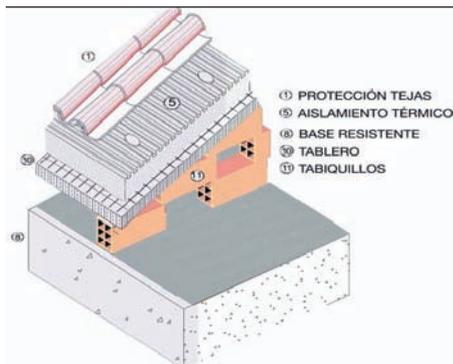


Figura 8. Esquema básico de cubierta inclinada.

### 3.2.4.1. Descripción del aislamiento de cubiertas inclinadas bajo teja

Una vez levantada la teja, sobre el soporte del faldón existente (forjado, panel de madera, metálico, etc.) se realiza una regularización para nivelar el faldón y se coloca una barrera de vapor para evitar condensaciones intersticiales.

La fijación de los paneles de aislamiento térmico se recomienda que sea mecánica.

Los productos de EPS empleados en esta aplicación llevan un rasurado para facilitar la adherencia del mortero de fijación de la teja.

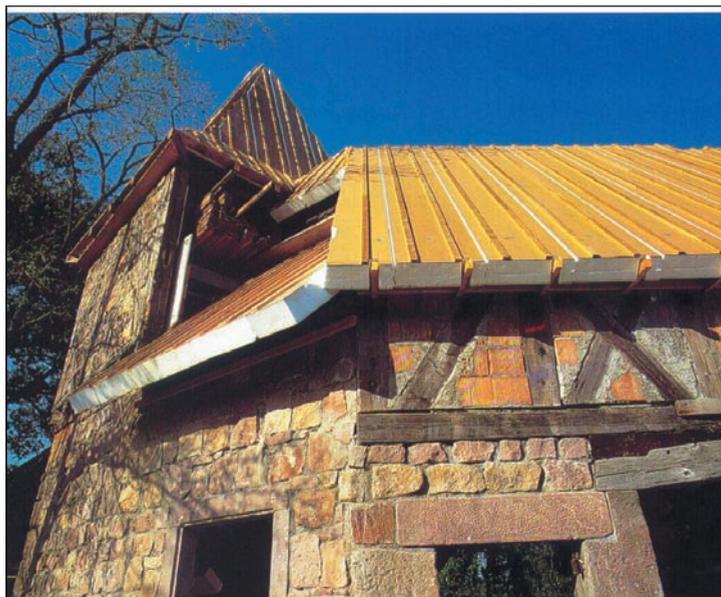
Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser, al menos, las especificadas en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Especificaciones mínimas del EPS para cubierta inclinada.

CUBIERTA INCLINADA CON EPS		NIVEL
Especificación	Norma de ensayo	Mínimo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	Ds(N)5
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23 °C 90%HR	UNE-EN-1604	<1%
Resistencia a flexión	UNE-EN-12089	BS200
Reacción a fuego	UNE-EN-13501-1	E
Tensión de compresión (10% deformación)	UNE-EN-826	CS(10)150

En caso de que la cubierta sea ventilada, se debe colocar una estructura de madera que garantice la cámara de aire.

Si se emplea una lámina bajo cobertura (propio de zonas de montaña), debe colocarse sobre el aislamiento y bajo el enrastrelado. Su misión es proteger el bajo cubierta de la penetración de nieve derretida, asegurando la recogida del agua y su conducción al canalón para garantizar la evacuación. Es una cobertura en reserva en caso de rotura o levantamiento de la cobertura (teja o pizarra).

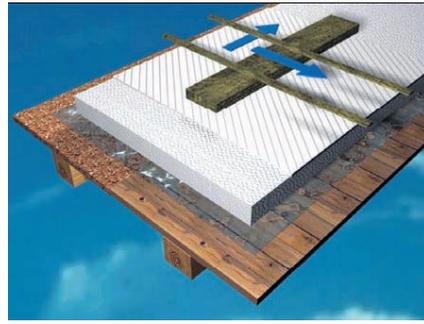
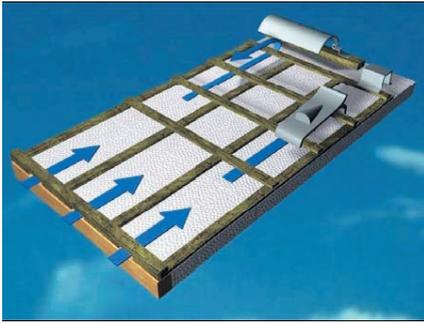


**Foto 4.** Lámina bajo cobertura.

### 3.2.4.2. Detalles críticos del sistema en rehabilitación

Los detalles críticos son los siguientes:

- ✚ Debe asegurarse la ventilación de la cubierta para evitar la formación de condensaciones intersticiales (además de colocar la barrera de control de vapor).
- ✚ El aumento del aislamiento de la cubierta requiere medios añadidos de ventilación.



- ✿ Se debe asegurar el sellado en todos los encuentros de la nueva cubierta con los elementos que se encuentran en ella (chimeneas, ventanas, mansardas, etc.).
- ✿ En el proyecto debe tenerse en cuenta el cambio de dimensión de la cubierta (aumento del espesor), y se deben adaptar los remates del faldón donde se requiera.

### 3.2.5. Rehabilitación de tejado con aislamiento de XPS colocado bajo teja

#### 3.2.5.1. Tipos de soporte

Se pueden presentar tres tipos principales de soporte:

- ✿ Faldones formados por forjado de hormigón.
- ✿ Faldones formados por tableros machihembrados cerámicos sobre tabiques palomeros, apoyados a su vez sobre forjado horizontal de hormigón.
- ✿ Faldones formados por tablazón de madera, en edificaciones rurales tradicionales.

#### 3.2.5.2. Ventajas y limitaciones

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en esta solución, tanto si van colocadas al exterior del soporte, como al interior, las planchas

de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos, deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en el tejado: la teja, el forjado, tableros diversos, etc.).

Intervenir por el exterior del cerramiento soporte presenta también las particularidades vistas en el apartado 3.3.2.3, para el caso de la azotea invertida (excepto, claro está, la relacionada con el concepto de cubierta invertida). Además, específicamente hablando del tejado, puede no ser viable la intervención por el exterior, a no ser que, en el proceso de rehabilitación se vaya a levantar la teja, momento en el que se puede aprovechar para incorporar las planchas aislantes de XPS previamente a retejar. Dependiendo del tipo de soporte, hormigón o madera, se podrán precisar las soluciones más adecuadas. Es especialmente recomendable, a la hora de retejar, hacerlo de modo que entre la teja y el aislamiento se forme una cámara ventilada.

### 3.2.5.3. Productos recomendados

A continuación se indica una referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164:

- ✿ Producto XPS con piel de extrusión.
- ✿ CS(10\Y)300.
- ✿ Dimensiones de la plancha: (2000,1250) x 600 mm; junta a media madera.
- ✿ Superficie ranurada en una de las caras, para permitir el anclaje mecánico del mortero de agarre de la teja.

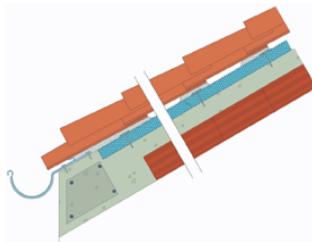
### 3.2.5.4. Proceso de instalación

- ✿ Las planchas de XPS se instalan sobre el soporte, con las acanaladuras paralelas a cumbre, mediante:
  - Fijaciones mecánicas (tipo espiga o taco plástico de expansión, de 9 cm de longitud para planchas de 40, 50 y 60 mm de espesor, de 6 cm para planchas de 35 mm), si no se va a impermeabilizar (en pendientes de hasta 45° = 100%).

- Adhesivos compatibles con el poliestireno extruido (en pendientes de hasta  $30^\circ = 57\%$ ).
- Láminas asfálticas impermeabilizantes autoadhesivas, que cubren las dos funciones de impermeabilización y fijación de las planchas (en pendientes de hasta  $30^\circ = 57\%$ ).
- ✿ Se formará un cajeadado en los encuentros del faldón con aleros y hastiales, de modo que las planchas queden retenidas por los topes que forman el cajeadado. El tope en alero estará dimensionado para retener el posible deslizamiento de las planchas aislantes y la teja montada sobre ellas.
- ✿ Como esquema para las fijaciones mecánicas se puede considerar el siguiente, en situación normal de exposición al viento (con adhesivos se mantendrá una distribución equivalente):
  - 4 fijaciones por plancha, en la primera fila de planchas a lo largo de todo el perímetro del faldón y junto a encuentros (chimeneas).
  - 2 fijaciones por plancha, el resto del faldón.

### 3.2.5.5. Detalles constructivos

En la siguiente figura se puede observar el detalle del faldón formado por forjado inclinado.



**Figura 9.** Detalle constructivo para el faldón formado por forjado inclinado.

### 3.2.5.6. Prestaciones térmicas

Para TEJADOS se tienen los siguientes valores U de transmitancia térmica [en  $W/m^2K$ ]:

- ✿ Faldón original formado por un forjado inclinado:

R del forjado [m <sup>2</sup> K/W]	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
0.23	<b>2.243</b>	<b>0.768</b>	<b>0.629</b>	<b>0.534</b>	<b>0.463</b>	<b>0.366</b>	<b>0.310</b>
0.30	<b>1.939</b>	<b>0.728</b>	<b>0.603</b>	<b>0.514</b>	<b>0.448</b>	<b>0.357</b>	<b>0.304</b>

- ✿ Faldón original de tablero machihembrado o rasillón sobre palomeros apoyados en forjado horizontal:

R del forjado [m <sup>2</sup> K/W]	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
0.23	<b>1.455</b>	<b>0.647</b>	<b>0.546</b>	<b>0.473</b>	<b>0.416</b>	<b>0.336</b>	<b>0.289</b>
0.30	<b>1.320</b>	<b>0.619</b>	<b>0.526</b>	<b>0.457</b>	<b>0.405</b>	<b>0.329</b>	<b>0.283</b>

- ✿ Faldón original formado por tablero de madera:

Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
<b>3.240</b>	<b>0.858</b>	<b>0.689</b>	<b>0.576</b>	<b>0.494</b>	<b>0.385</b>	<b>0.324</b>

[NOTA: En el caso de rehabilitar térmicamente construcciones en madera, hay que señalar, además, la necesidad de asegurar un buen control sobre las posibles infiltraciones de aire a través de los paramentos, ya que, de no hacerse, puede verse mermada grandemente su eficacia térmica, a pesar del aislamiento instalado. A tal fin se comercializan productos tipo lámina transpirable, que aseguran una hermeticidad y estanqueidad adecuadas ante las infiltraciones].

En este punto conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1000 m<sup>2</sup> y un 25% como mínimo de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[NOTA: Hay que tener en cuenta que el valor U límite afecta al valor U medio de transmisión térmica del cerramiento dado. Es decir, hay que introducir, en la media ponderada, los valores U de los diversos puentes térmicos (básicamente lucernarios y su contorno, si los hubiera), que no tienen por qué coincidir con el valor U del cerramiento-tipo. De hecho, normalmente serán valores mayores y, si no se aíslan convenientemente, habrá que compensar las mayores pérdidas energéticas a su través

con un "plus" de aislamiento en el cerramiento-tipo, siempre que no aparezca ningún riesgo de condensaciones].

CERRAMIENTOS OPACOS			$U_{\text{medio}}$ [W/m <sup>2</sup> K]		ZONA CLIMÁTICA CAM		
					D	E	
CUBIERTAS	Al exterior	UC1	AC1	$\frac{\sum(A \cdot U)}{\sum A}$	0.38	0.35	
	A espacio no habitable	UC2	AC2				
	Pte. Térmico-lucernario	UPC	APC				
	Lucernario	UL	AL				
Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

### 3.2.6. Rehabilitación de la cubierta inclinada con aislamiento por el exterior con proyección de espuma de poliuretano (PUR) sobre teja o pizarra y proyección con elastómero

#### 3.2.6.1. Descripción

El soporte inicial es la cubierta de teja original. Sobre la misma se realiza la proyección de espuma de poliuretano siguiendo las recomendaciones específicas para el tipo de soporte y, posteriormente, se proyecta el elastómero de poliuretano que protege al aislamiento de las radiaciones UV e incrementa la impermeabilización de la cubierta.

Esta forma de rehabilitar térmicamente una cubierta de teja es, sin duda, la más sencilla, económica y eficaz, porque no requiere, en la práctica, de tratamientos previos del soporte, ni de medios auxiliares especiales.



**Foto 5.** Rehabilitación de la cubierta con proyección de espuma de poliuretano sobre teja o pizarra y proyección con elastómero.

### 3.2.6.2. Elementos del sistema

Los elementos que componen el sistema son los siguientes:

- ✿ Aislamiento:
  - Espuma de poliuretano.
  - Capa de espesor mínimo de 30 mm.
  - Densidad mínima de 45 kg/m<sup>3</sup> en cubiertas para garantizar impermeabilidad.
  
- ✿ Protección:
  - Elastómero de poliuretano.
  - Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
  - Densidad 1.000 kg/m<sup>3</sup> con coloración.
  - Aporta protección UVA a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

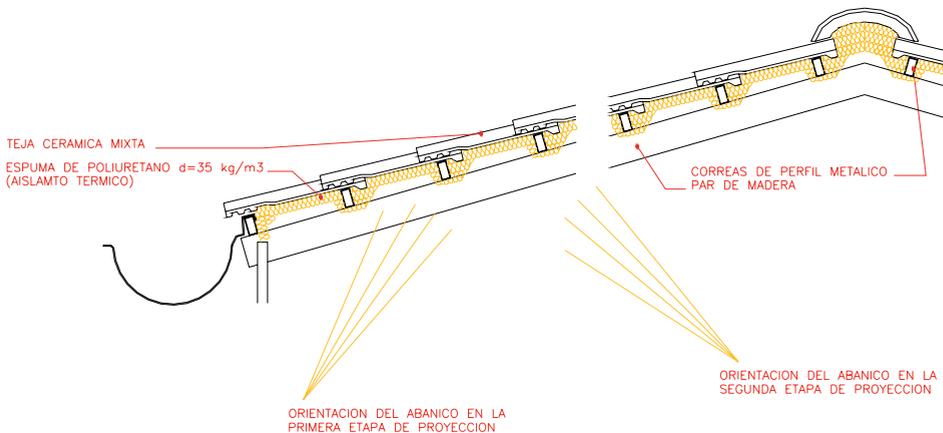
### 3.2.6.3. Prestaciones de la solución

Esta solución aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización, eliminando las juntas.

## 3.2.7. Rehabilitación de la cubierta inclinada con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano (PUR) bajo teja

### 3.2.7.1. Descripción

Cuando el bajo cubierta es accesible, se puede realizar esta solución constructiva que consiste en la proyección de espuma de poliuretano en la superficie inferior del tejado.



**Figura 10.** Rehabilitación de la cubierta inclinada con espuma de poliuretano bajo teja.

### 3.2.7.2. Elemento del sistema

El elemento que compone el sistema es el siguiente:



Aislamiento:

- Espuma de poliuretano proyectada.
- Capa de espesor mínimo de 40 mm.
- Densidad mínima de  $35 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.2.7.3. Prestaciones de la solución

Esta solución aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento.

### 3.2.7.4. Recomendaciones

En ningún caso se puede considerar esta solución constructiva como de impermeabilización de cubierta. La calidad de la teja debe quedar garantizada en el aspecto relativo a las tensiones que se producirán cuando se manifiesten ciclos de calentamiento-enfriamiento en las mismas, ya que la disipación térmica queda dificultada por el aislamiento del trasdós.

La proyección debe llevarse a efecto ejecutándola con un sentido de avance en la dirección de elevación de la cubierta, con el fin de que no penetre la fase líquida entre las tejas, ya que, si esto ocurriera, la expansión de la espuma produciría un desplazamiento entre las mismas. Una vez proyectadas así las primeras capas, y comprobando que las tejas están unidas con la espuma, se cambiará el sentido de la proyección para conseguir un sellado idóneo de las uniones.

La estabilidad dimensional de la espuma proyectada depende de la densidad de la misma. Con este fin, se recomienda que la densidad mínima sea de 35 kg/m<sup>3</sup>. Dependiendo del formato de la teja, el sellado se conseguirá con diferente espesor de proyección. Con menos de 4 cm no se consigue un sellado adecuado.

#### 3.2.7.4.1. Renovación del tejado

Cuando se va a realizar la operación de "retejado" o renovación completa de la cubrición de que se trate, es el momento óptimo para incluir el aislamiento térmico.

En esta situación, se procederá a la proyección de espuma de poliuretano sobre el soporte del faldón, o bien a la colocación de planchas de poliuretano

conformado antes de proceder a la fijación de las tejas, pizarras o cualquier otro elemento de cubrición que vaya adherido, fijado sobre rastreles, clavado, o con cualquier otro elemento de fijación.



**Foto 6.** Renovación del tejado.

### **3.2.8. Rehabilitación de la cubierta inclinada con proyección de espuma de poliuretano sobre cubierta de fibrocemento**

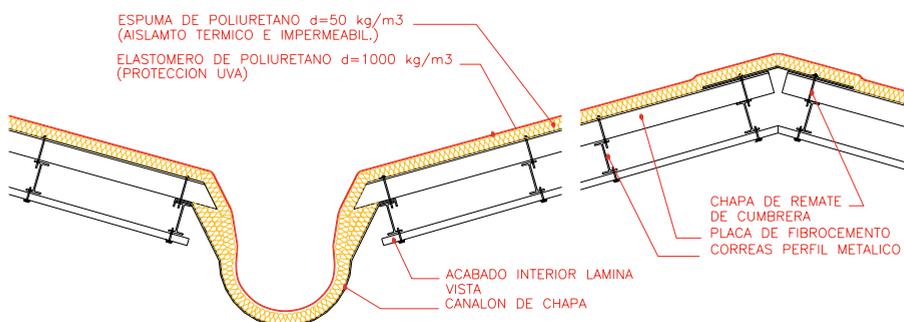
#### **3.2.8.1. Descripción**

En este caso, se recomienda el empleo de la técnica de espuma proyectada como solución de reparación.

Con el paso del tiempo, la cubierta de fibrocemento presenta unas transformaciones y alteraciones que se manifiestan en su fragilidad.

Con el fin de realizar una cubierta resistente aprovechando la cubierta de fibrocemento envejecida, es recomendable la proyección de espuma rígida de poliuretano sobre la misma para conseguir un elemento constructivo con resistencia suficiente para asegurar que tal fragilidad deje de ser un riesgo.

Además de garantizar la rehabilitación del fibrocemento de la cubierta, mediante este sistema se asegura una protección integral, así como su impermeabilidad y un magnífico aislamiento térmico, evitando la dispersión de partículas de amianto que son carcinogénicas.



**Figura 11.** Rehabilitación de la cubierta inclinada con espuma de poliuretano sobre cubierta de fibrocemento.

### 3.2.8.2. Elementos del sistema

Los elementos que componen el sistema son los siguientes:

- **Aislamiento:**
  - Espuma de poliuretano proyectada.
  - Capa de espesor mínimo de 30 mm.
  - Densidad mínima aplicada de  $45 \text{ kg/m}^3$  para garantizar impermeabilidad.



#### Protección:

- Elastómero de poliuretano.
- Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
- Densidad 1.000 kg/m<sup>3</sup> con coloración.
- Aporta protección UV a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

### 3.2.8.3. Prestaciones de la solución

Esta solución aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización.

### 3.2.8.4. Recomendaciones

Previamente a las tareas de proyección, las cubiertas de fibrocemento se deben limpiar adecuadamente mediante el empleo de productos químicos, cepillados o lavados con agua a presión, siendo a veces necesaria la combinación de ambos sistemas.

Se deben cortar mediante cizalla, radial u otra herramienta, la parte sobrante de los tornillos que sobresalgan más de 1 cm, con el fin de que la fijación quede cubierta por la capa de aislamiento.

Las tareas de rehabilitación se pueden llevar a cabo, en la mayoría de los casos, sin necesidad de desalojo de los espacios bajo cubierta, ya que todas las actuaciones se realizan por el exterior.

Con el fin de que la evacuación de agua quede garantizada y evitar su entrada entre el paramento y las ondas de la lámina de fibrocemento, se recomienda integrar la proyección con los canalones, para lo que es necesario cortar el fibrocemento sobrante, realizando un sellado previo entre la onda de la

lámina y el propio canalón para, posteriormente, efectuar la proyección integrando el canalón en la cubierta.

Las operaciones de limpieza y puesta en obra en cubiertas envejecidas requieren un estudio cuidadoso de las condiciones de seguridad, ya que, debido a la fragilidad del material, se pueden producir accidentes de consecuencias graves. A tales efectos, se pueden prever puntos de sujeción en zonas de tirantes, de elementos de la armadura, líneas de vida, etc., que garanticen suficientemente la sujeción de equipos de protección individual. Asimismo, puede ser necesario el uso de plataformas, pasarelas, etc., que garanticen el acceso, el reparto de cargas y el tránsito sobre la cubierta.

#### **3.2.8.4.1. Cubiertas de chapa**

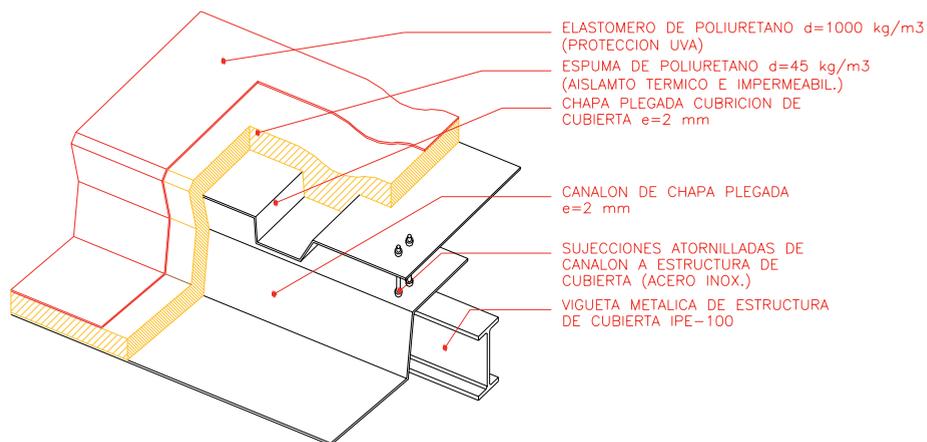
Tanto en el caso de obra nueva como en rehabilitación, las cubiertas de chapa deben ser limpiadas adecuadamente siempre que no se tengan garantías suficientes de su estado superficial.

Las cubiertas de chapa, con el paso del tiempo y sin mantenimiento, presentan deterioros y, por ello, hay que proceder a su rehabilitación, de la misma forma que en el caso de cubiertas de fibrocemento. En caso de presentar oxidación, se procederá a limpiar y a aplicar pinturas de protección o productos reactivos con el óxido.

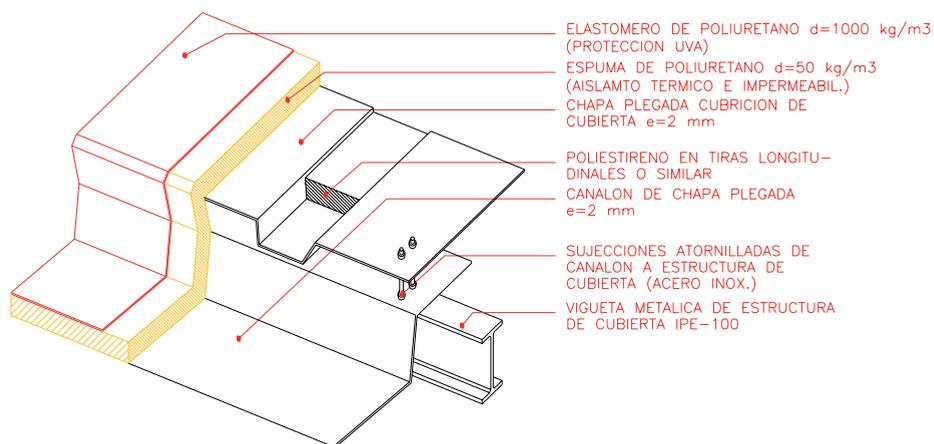
En este tipo de cubiertas será necesario realizar una prueba de adherencia y, en caso de que ésta no sea adecuada, se procederá a la aplicación de una imprimación adherente.

La proyección se debe realizar cuidando que las grecas de la chapa queden rellenas.

En las figuras siguientes se pueden observar detalles de realización.



**Figura 12.** Proyección de poliuretano integrando las grecas.



**Figura 13.** Proyección previo relleno de grecas en cubierta.

### 3.3. 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 cubrición exterior (tejas o pavimento), impermeabilización, etc.
- Posibilita la rehabilitación del interior del edificio desde el punto de vista estético, conformando una superficie plana y lisa que permite un acabado de pintura (eliminando el riesgo de fisuras) y 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.
- Es 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 es de ocupación permanente. Es el caso típico de una vivienda de fin de semana ya que, al aislar por el interior, se consigue calentar la vivienda con la mayor efectividad y rapidez, debido a 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 calorífica baja, 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 calentarse en verano, punto muy importante de cara al acondicionamiento estival.
- Al ejecutarse la intervención por el interior, puede limitarse a una parte del inmueble. 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 de las fachadas que supondría.

## **3.3.1. Rehabilitación de cubiertas con aislamiento por el interior. Revestimientos autoportantes de placas de yeso laminado y aislamiento de lana mineral (lana de vidrio/ lana de roca)**

### **3.3.1.1. Descripción**

Se trata de un sistema de aislamiento por el interior mediante un revestimiento autoportante de placas de yeso laminado, para la mejora del aislamiento térmico y acústico de la cubierta.

Está constituido por placas de yeso laminado fijadas sobre maestras metálicas y éstas, a su vez, suspendidas de la cubierta (forjado), instalando lana mineral (lana de vidrio o lana de roca) en la cavidad o cámara intermedia.

### **3.3.1.2. Tipos de soporte**

El soporte está constituido, generalmente, por un forjado inclinado u horizontal dependiendo de las características o tipología de la cubierta en cuestión.

La relación de cubiertas de acuerdo con la tipología más común, es la siguiente:

- ✿ Cubierta de teja sobre forjado inclinado.
- ✿ Cubierta de teja sobre faldón apoyado sobre tabiquillos (espacio no habitable) y forjado horizontal.
- ✿ Cubierta plana (azotea) transitable y pavimento sobre tablero cerámico apoyado sobre tabiquillos (cámara de aire).
- ✿ Cubierta plana (azotea) transitable y pavimento sobre formación de pendientes (espesor medio hormigón aligerado 15 cm).

Las tipologías de los forjados son:

- Aligerados, constituidos por viguetas y bovedillas cerámicas o de hormigón.
- Cantos de forjado de 25/30 cm.

### 3.3.1.3. Ventajas

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, aporta una mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo del cerramiento y una reducción del ruido de impactos, dato a considerar en el caso de las cubiertas planas transitables.

Es importante destacar que, de acuerdo con las características o tipología de las cubiertas, en regímenes higrotérmicos severos debe considerarse la necesidad de una barrera de vapor que debe incorporar el material aislante (papel kraft, aluminio kraft, etc.) o bien el soporte (placas de yeso laminado).

### 3.3.1.4. Limitaciones

Debe disponerse de una altura mínima de, aproximadamente, 10 cm, para facilitar el montaje de los sistemas de anclaje y su nivelación.

### 3.3.1.5. Productos recomendados

Se recomienda la aplicación de las lanas minerales en forma de paneles semirrígidos o rígidos cuando se fijan directamente sobre el forjado, o bien en forma de paneles semirrígidos o mantas cuando se aplican apoyados sobre el soporte autoportante o falso techo.

### 3.3.1.6. Proceso de instalación

El aislamiento térmico consiste en la aplicación de paneles semirrígidos o rígidos de lana mineral sobre el forjado o faldón, utilizando fijaciones mecánicas de material plástico tipo "sombriilla".

Otra opción es la aplicación de paneles semirrígidos o mantas (preferiblemente en dos capas a cubrejuntas), apoyados directamente sobre el soporte o falso techo, “cubriendo” las maestras.

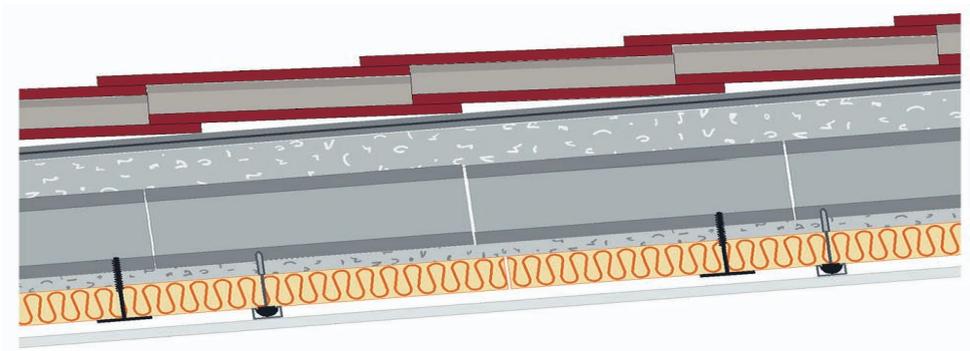
Las placas de yeso laminado se fijan a maestras distanciadas entre ejes a 600 mm.

Las maestras se suspenden del forjado o faldón mediante horquillas de presión, varillas roscadas y tacos de expansión metálicos con rosca interior (viguetas) o tacos tipo “paraguas” o de balancín para materiales huecos (bovedillas).

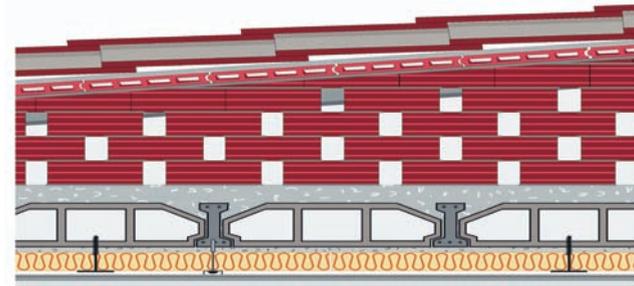
El montaje del material aislante de lana mineral de espesor acorde con los requerimientos térmicos y acústicos, el revestimiento o techo de placas de yeso laminado, la armadura soporte y el sistema de anclaje al forjado horizontal (que permite la nivelación) o al faldón, conforman una cavidad o cámara de espesor variable, con un espesor mínimo de 10 cm.

### 3.3.1.7. Detalles constructivos

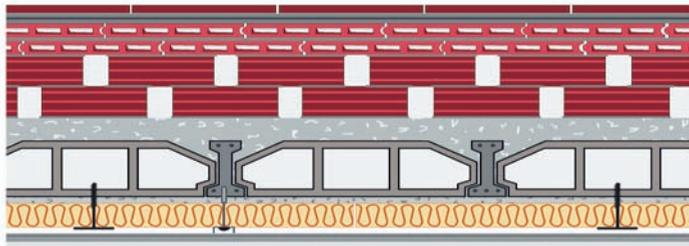
En las figuras siguientes se pueden observar detalles de realización.



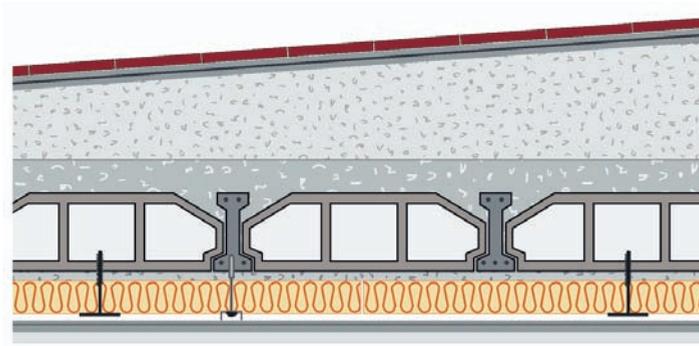
**Figura 14.** Cubierta de teja sobre forjado inclinado.



**Figura 15.** Cubierta de teja sobre faldón apoyado sobre tabiquillos (espacio no habitable) y forjado horizontal.



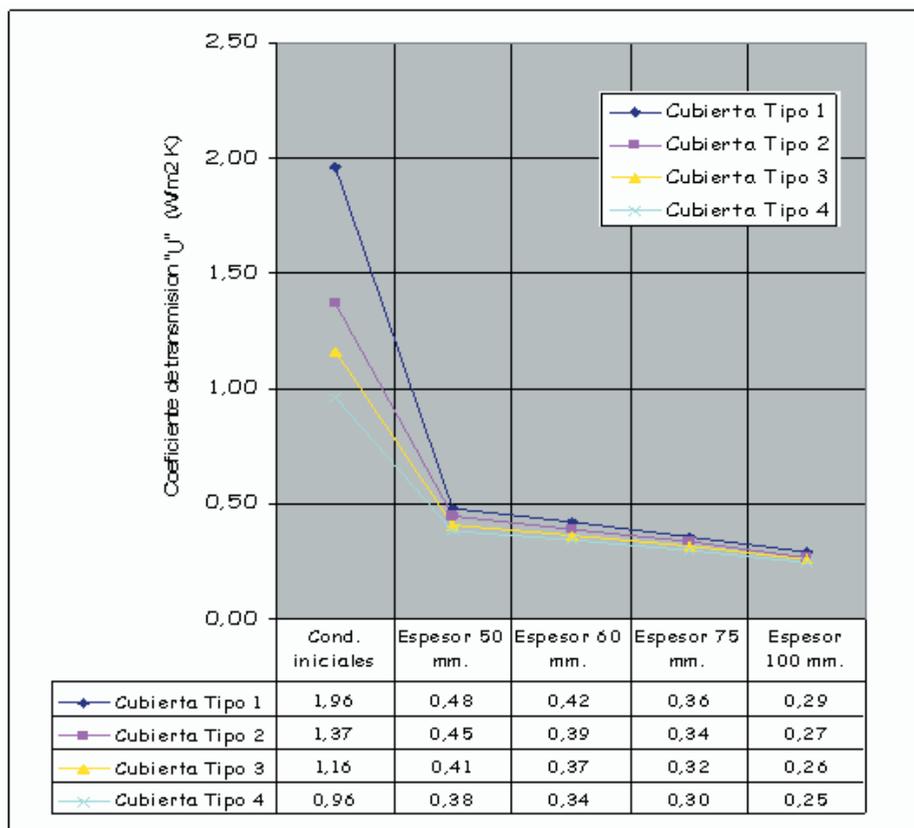
**Figura 16.** Cubierta plana (azotea) transitable y pavimento sobre tablero cerámico apoyado sobre tabiquillos (cámara de aire).



**Figura 17.** Cubierta plana (azotea) transitable y pavimento sobre formación de pendientes.

### 3.3.1.8. Prestaciones térmicas

Las prestaciones térmicas se pueden observar en el siguiente gráfico:



### 3.3.2. Rehabilitación de techos aislados por el interior con plancha aislante de poliestireno extruido XPS para revestir con yeso *in situ* o placa de yeso laminado

#### 3.3.2.1. Tipos de soporte

Aparecen diversos tipos de fábricas, habitualmente de ladrillo o bloques de diversos tipos. Sobre el muro soporte así formado, se procede a trasdosar por el interior con el aislamiento de XPS que, posteriormente, se reviste con yeso *in situ* para dar el acabado final visto. Una alternativa al yeso *in situ* puede ser la placa de yeso laminado.

### 3.3.2.2. Ventajas y limitaciones

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, en cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en este capítulo, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos, deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en este caso enlucidos, yeso *in situ*).

### 3.3.2.3. Productos recomendados

A continuación, se presenta una referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164:

- Para aplicar yeso *in situ*:
  - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el agarre del yeso.
  - CS(10\Y)200.
  - Dimensiones de la plancha: 1.250 mm x 600 mm.
  - Junta recta.
- Para laminar la placa de yeso laminado:
  - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el pegado de la placa.
  - CS(10\Y)250.
  - Dimensiones de la plancha: 2.500 mm x 600 mm.
  - Junta recta.

### 3.3.2.4. Proceso de instalación

Se van a contemplar dos alternativas: la aplicación de yeso *in situ* y la aplicación de yeso laminado.

El proceso de instalación para aplicar yeso *in situ* es el siguiente:

- Primero se pegan las planchas de XPS al soporte. El adhesivo, habitualmente tipo cemento-cola, puede aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y

estado del soporte, en bandas verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm o, directamente, si el soporte presenta una buena planeidad, en toda la superficie de la plancha mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada. [NOTA: se consultará al fabricante del adhesivo que éste no contenga disolventes y sea compatible con el poliestireno].

- ✿ Cuando se opte, como complemento del adhesivo, por el uso de fijaciones mecánicas, se colocarán en cada plancha cinco anclajes (tipo taco o espiga plástica) en las esquinas (a unos 10-15 cm) y en el centro.
- ✿ Las planchas de XPS se aplican con las juntas verticales a tresbolillo a partir de una regla nivelada adaptada al espesor de las planchas y situada en la parte inferior.
- ✿ Las planchas de XPS se presionan contra el soporte a base de pequeños golpes con ayuda de la llana o el fratás, controlando la planimetría de la superficie con una regla de nivel. Debe evitarse el relleno de las juntas a tope con el adhesivo.
- ✿ Los cortes y ajustes de las planchas sobre ángulos y aberturas se pueden realizar con sierra o cutter.
- ✿ En las uniones con carpinterías y otros encuentros, es conveniente dejar las planchas de XPS separadas alrededor de 1 cm, interponiendo una banda de espuma flexible de plástico.
- ✿ En general, a las 24 horas del recibido de las planchas sobre el techo, puede procederse a su revestimiento con yeso. Se procede entonces a la preparación habitual del guarnecido de yeso negro (Y-12), extendiendo una primera capa de unos milímetros de espesor para recibido de la malla de revoco, llevándose a cabo inmediatamente el recubrimiento de la misma hasta alcanzar un espesor mínimo de 15 mm. De este modo, se podrá dar luego el enlucido de yeso blanco (Y-25).

- Las bandas de la malla de revoco deben solaparse 100 mm.

El proceso de instalación para aplicar placa de yeso laminado es el siguiente:

- Para el encolado de los laminados de yeso al XPS se usan colas vinílicas, acrílicas, vinílico-acrílicas, poliuretano de 1 o 2 componentes, o adhesivos de contacto sin disolventes, compatibles con el poliestireno.
- Posteriormente, el panel formado de placa de yeso laminado y XPS, se pega al soporte mediante adhesivos tipo cemento-cola, que pueden aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y estado del soporte, en bandas verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm o, directamente, si el soporte presenta una buena planeidad, en toda la superficie de la plancha mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada.
- Para la colocación del panel de XPS con yeso laminado se seguirá el proceso habitual con las placas de yeso laminado o cartón-yeso. Así, para el replanteo conviene marcar una línea en el suelo que defina el paramento terminado (pellada + espesor de panel), y otra línea de pañeado (pellada + espesor de panel + ancho de la regla de pañear). De esta forma, se colocará de modo que los paneles queden a tope con el techo y separados unos 15 mm del suelo. Cuando los paneles no alcancen la altura total, se alternarán las juntas a tresbolillo.
- Una vez que haya sido presentado el panel, se calzará para que no descienda, y se pañeará con la regla hasta llevarlo a su posición correcta.
- Para dejar los paneles listos para la aplicación del acabado, sólo quedará realizar el tratamiento de juntas, esquinas y rincones. El tratamiento es el habitual con las placas de yeso laminado, es decir, plastecido con pasta de juntas, colocación de cintas o vendas de juntas y capas de terminación. En caso de que se empleen fijaciones mecánicas en la instalación de los paneles, deberán plastecerse las cabezas de los tornillos.

- Cuando se vaya a pintar la superficie, se preparará el techo mediante una imprimación de tipo vinílico o sintético para igualar la absorción de todas las zonas.

### 3.3.2.5. Detalles constructivos

En la figura siguiente se puede observar un detalle constructivo.



Figura 18. Aplicación de yeso *in situ*.

### 3.3.2.6. Prestaciones térmicas

Las prestaciones térmicas se pueden observar en la siguiente tabla:

CERRAMIENTOS OPACOS				$U_{\text{medio}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{\text{limite}}$ [W/m <sup>2</sup> K]				
					ZONA CLIMÁTICA CM				
CUBIERTAS	Al exterior	UC1	AC1	$\frac{\Sigma(A \cdot U)}{\Sigma A}$				D	E
	A espacio no habitable	UC2	AC2						
	Pte. Térmico-lucernario	UPC	APC						
								0,38	0,35

Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

# Rehabilitación térmica de cerramientos de huecos: vidrios y marcos

## 4.1. Introducción

La rehabilitación de los huecos acristalados de fachada, tanto en lo referente al acristalamiento como a los marcos o perfiles, se presenta como una vía óptima para alcanzar mejoras significativas en la demanda energética del edificio y los consiguientes ahorros en términos económicos, reducción del consumo energético y, en términos medioambientales, consecuencia de las menores emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de una menor producción de energía.



**Foto 1.** Rehabilitación total de huecos de fachada y situación inicial.

Por su propia naturaleza y por las soluciones constructivas históricamente adoptadas, el hueco es la parte térmicamente más débil de la envolvente de un edificio, y por él se producen las mayores pérdidas de energía. Además, en el caso de los huecos acristalados, es necesario considerar tanto el aislamiento térmico ofrecido por la solución adoptada como sus prestaciones en control solar, que conllevarán menores consumos de aire acondicionado o mayor confort en régimen de verano.

Todo ello en el entorno de los edificios destinados a viviendas y considerando su necesidad en iluminación generosa y estética compatible con el entorno.

La mayoría de los edificios construidos con anterioridad al año 2000 no incorporan un aislamiento térmico adecuado y la actuación más sencilla, de menor coste y más rápida que se puede realizar en la envolvente del edificio, es la reposición de las ventanas y/o cambio de los acristalamientos. Las prestaciones térmicas de todas aquellas viviendas que tengan ventanas con una única hoja de vidrio son muy limitadas, y la reposición del vidrio por un vidrio aislante (doble acristalamiento) o por vidrios de aislamiento térmico reforzado puede proporcionar grandes ahorros de energía considerando tanto el invierno como el verano. Los consumos de energía de calefacción y aire acondicionado pueden reducirse, evitando que por la ventana se escape la calefacción en invierno y que no entre calor en verano.

En general, la renovación de los vidrios y marcos es una de las acciones más eficaces para la mejora de la eficiencia energética del edificio, aumentando el confort térmico de las viviendas. Tanto es así, que podría considerarse que, en la Calificación Energética de la vivienda, sólo se alcanzarán los niveles superiores si se realizan cerramientos de altas prestaciones en los aspectos térmicos. El cumplimiento del Código Técnico de la Edificación marca los límites inferiores aceptables para cualquier rehabilitación del conjunto de la envolvente de un edificio, si bien la aplicación de mayores niveles de exigencia conllevará mejores resultados en términos de ahorro energético y confort.

Un primer paso es la sustitución de los vidrios monolíticos tradicionales por un doble acristalamiento. Esto proporcionará una mejora sustancial respecto al vidrio inicial.

Si ya existe doble acristalamiento, o ante la renovación de las ventanas, la instalación de acristalamientos con vidrios bajo emisivos o de aislamiento térmico reforzado reducirá significativamente las pérdidas de energía a través de los huecos, disminuyendo el consumo de energía necesaria para alcanzar el mismo nivel de confort.



**Foto 2.** Rehabilitación de huecos de fachada.

El presente capítulo proporciona información sobre las oportunidades de ahorrar energía mediante la reposición del vidrio de las ventanas y/o reposición de toda la ventana (vidrio + marco) teniendo en cuenta que las soluciones contempladas están presentes en el mercado como productos estándar habituales y no presentan grandes sobre-costes ni problemas de disponibilidad alguno.

La rehabilitación del acristalamiento le ofrece la posibilidad de incorporar otras prestaciones como la acústica, la seguridad o el bajo mantenimiento de los mismos, sin tener que renunciar a sus prestaciones térmicas.

Una mejora del acristalamiento debe verse como una inversión en confort, ahorro, tranquilidad y medio ambiente, y supone una revalorización real de la vivienda.

## 4.2. Propiedades térmicas de vidrios y marcos

El frío y el calor son algunos de los problemas que se cuelean por la ventana y reducen el confort de la vivienda. Tanto los marcos como los acristalamientos disponibles hoy en el mercado, ofrecen distintos grados de aislamiento térmico tanto de cara al invierno como al verano.

Las principales propiedades térmicas de marcos y vidrios se recogen a continuación, para luego combinarse en función de su participación en el conjunto del cerramiento del hueco.

### 4.2.1. Propiedades térmicas del marco

El marco representa habitualmente entre el 25% y el 35% de la superficie del hueco. Sus principales propiedades, desde el punto de vista del aislamiento térmico, son la transmitancia térmica y su absortividad. Estas dos propiedades participan en función de la fracción de superficie ocupada por el marco en la transmitancia total del hueco y el factor solar modificado del mismo.

La absortividad depende fundamentalmente del color del marco y del material del mismo. Su participación en términos energéticos está ligada a la reemisión al interior del calor absorbido al incidir el sol sobre el marco. Por tanto, tendrá una incidencia directa sobre el factor solar modificado del hueco, como se verá más adelante.

La transmitancia térmica es función de la geometría y del material con el que esté fabricado el marco. La participación sobre la transmitancia térmica del hueco será proporcional a la superficie ocupada por el mismo. Los valores comúnmente aceptados se recogen en la Tabla 1.

#### 4.2.1.1. Tipos de marcos

Los marcos pueden clasificarse siguiendo distintos criterios. Una clasificación puede realizarse en función del material con el que están fabricados y del que

dependen algunas de sus prestaciones, entre ellas sus propiedades térmicas. Así, puede establecerse la siguiente clasificación para los diferentes tipos de marcos:

**Metálico:** normalmente, están fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados: lacados en diferentes colores, anodizados, foliados imitando madera, etc. Su participación en la superficie del hueco suele ser baja, en torno al 25%, con diferentes sistemas de cierre y apertura. Como valor de la transmitancia térmica comúnmente aceptado se considera  $U = 5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Este elevado valor hace que, hoy en día, no pueda utilizarse en algunas zonas climáticas, según el CTE. Donde sí está permitido, puede compensarse con acristalamientos de aislamiento térmico reforzado o vidrio de baja emisividad.



**Foto 3.** Carpintería metálica. Sección característica.

La influencia sobre el factor solar modificado del hueco puede ser muy variable en función de los diferentes colores.

Los sistemas de apertura y cierre, así como la hermeticidad ofrecida, pueden condicionar la mayor o menor entrada de aire.

**Metálico con RPT<sup>1</sup>:** la ruptura de puente térmico consiste en la incorporación de elementos separadores de baja conductividad térmica que conectan los

---

<sup>1</sup> RPT: Ruptura de Puente Térmico.

componentes interiores y exteriores de la carpintería, logrando reducir el paso de energía a su través y mejorando el comportamiento térmico. Los valores de transmitancia térmica comúnmente aceptados para este tipo de carpinterías son de  $U = 4,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  hasta  $U = 3,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  en función de la anchura de los elementos separadores que configuran la ruptura de puente térmico. Su participación en la superficie total del cerramiento está en torno al 25-30%.



**Foto 4.** Carpintería metálica RPT. Sección característica.

La ruptura de puente térmico no tiene influencia sobre la absorción, pero sí sobre la transmisión térmica al interior y, por tanto, tiene una ligera influencia sobre el factor solar modificado del hueco.

**Madera:** se trata de perfiles macizos de madera que, por su naturaleza alveolar, proporcionan unos niveles importantes de aislamiento térmico, favorecido por su baja conductividad. Los valores de transmitancia dependen de la densidad de la madera utilizada, considerándose un intervalo de  $U = 2,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  hasta  $U = 2,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Su participación porcentual en la superficie total del hueco es muy variable, pero puede estimarse en torno al 30% y superior. Su principal inconveniente ha sido, en tiempos atrás, la exigencia de mantenimiento. Actualmente, esto se ha superado, en buena medida, por las calidades de las maderas empleadas y los tratamientos a los que son sometidas.



**Foto 5.** Carpintería madera.

Su influencia sobre el factor solar modificado es baja debido a la poca reemisión de la energía absorbida al interior del habitáculo.

**PVC:** las carpinterías están formadas, normalmente, por perfiles huecos de PVC, con dos o tres cámaras, ofreciendo un comportamiento térmico de primer orden. Los valores de transmitancia comúnmente aceptados son de  $U = 2,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  hasta  $U = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Habitualmente, son carpinterías de sección amplia y, por tanto, su participación en el hueco es elevada, del 35% al 40% en función de los tamaños de hueco.



**Foto 6.** Carpintería PVC. Sección característica.

Actualmente, existe una amplia variedad de calidades y acabados, así como de sistemas de apertura y cierre, que permiten una amplia gama de diseños del cerramiento, alcanzándose valores de  $U = 1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  en algunas series.

Su influencia sobre el factor solar modificado es función del color, no alcanzando los niveles de las carpinterías metálicas por su menor conductividad térmica.

**Otras:** Existen otras tipologías de marcos menos presentes en el mercado, cuyas prestaciones térmicas son similares a las anteriores. Entre ellas, pueden citarse las ventanas mixtas madera-aluminio, mixtas aluminio-madera, poliuretano con núcleo metálico, metálicas con ruptura de puente térmico rellenas de espuma aislante, etc.



**Foto 7.** Carpintería espuma poliuretano. Sección característica.

Independientemente de los materiales del marco, el sistema de apertura y cierre de la ventana y su mantenimiento son fundamentales en el comportamiento térmico del cerramiento. Su permeabilidad al aire, es decir, el paso de aire cuando la ventana cerrada se somete a una presión diferencial entre ambas caras, condiciona sus prestaciones finales teóricas. La clasificación de las ventanas según su permeabilidad al aire está definida en la norma UNE-EN 12207 estableciendo 5 clases (0,1, 2, 3 y 4) según aumenta esta prestación.

**TABLA 1.** Transmitancia térmica de los perfiles según UNE-EN ISO 10077-1.

Perfil	Transmitancia Térmica U (W/m <sup>2</sup> K)
Metálico	5,7
Metálico RPT (4mm ≤ d < 12 mm)	4,0
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)	2,0
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

## 4.2.2. Propiedades térmicas del vidrio

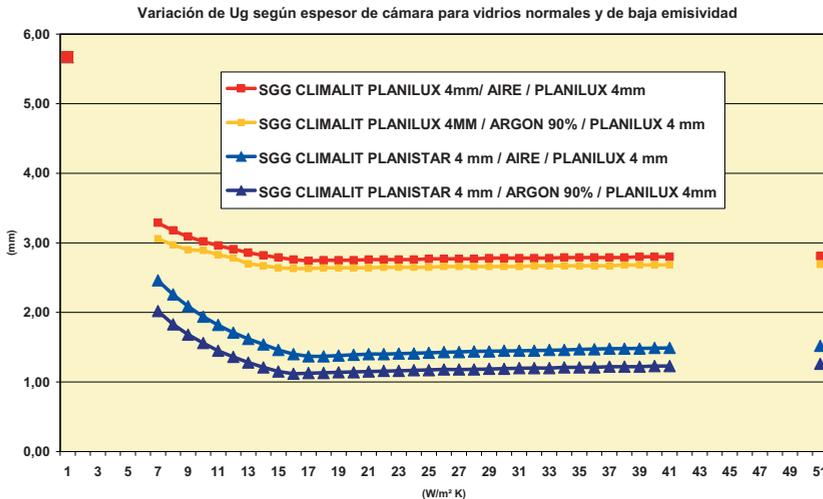
El vidrio es el elemento fundamental en el cerramiento si se atiende a la superficie ocupada. Su principal propiedad es la transparencia, permitiendo elevados aportes de luz natural que contribuyen al confort de la vivienda sin comprometer sus prestaciones de aislamiento térmico. En la actualidad se comercializan, como productos habituales, vidrios para aislamiento térmico reforzado y de protección solar que pueden combinarse con otras prestaciones, como son el aislamiento acústico, la seguridad, el bajo mantenimiento (autolimpiables) o el diseño y la decoración.

Desde la perspectiva del aislamiento térmico, las principales características a tener en cuenta del acristalamiento son su coeficiente U (W/m<sup>2</sup> K) o transmitancia térmica y su factor solar (g).

**Coefficiente U o transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup> K):** expresa la transferencia térmica a través de una pared por conducción, convección y radiación en función de la diferencia de temperaturas a ambos lados de la misma. Es decir, el coeficiente U es una medida del nivel de aislamiento térmico que ofrece un acristalamiento. Cuanto más bajo sea menor cantidad de calor atraviesa el acristalamiento y más aislamiento ofrece. Su definición puede consultarse en el glosario de términos.

Como se recoge más adelante, y se observa en la Fig. 1, la reducción de U se obtiene por la incorporación de dobles acristalamientos, hasta cierto nivel de

anchura de cámara y, muy significativamente, por la integración de vidrios de baja emisividad.

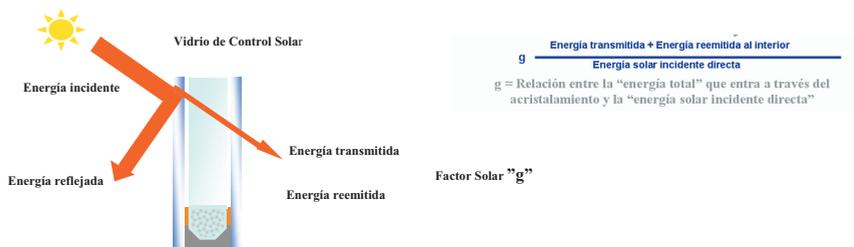


**Figura 1.** Relación entre la transmitancia y el ancho de cámara para distintos tipos de doubles acristamientos.

Al aumentar el aislamiento térmico se consigue:

- ✿ Mayor nivel de confort.
- ✿ Reducción del efecto de pared fría en las proximidades del acristamiento.
- ✿ Reducción de las condensaciones interiores.
- ✿ Reducción del coste de calefacción para alcanzar la misma temperatura.
- ✿ Protección del medio ambiente.

**Factor solar (g):** es la fracción de la energía de la radiación solar incidente que penetra en el local a través del acristamiento. Se constituye por la fracción de energía transmitida más la energía absorbida por el vidrio que es irradiada al interior. Su valor es siempre menor que la unidad, expresado en tanto por uno, aunque en ocasiones se expresa como porcentaje. Cuanto menor sea el factor solar de un acristamiento menor es la cantidad de energía de la radiación solar que atraviesa, y mayor la protección solar que ofrece.



**Figura 2.** Factor solar "g" del acristalamiento.

De forma práctica, es una medida de la energía que puede entrar a través de un vidrio cuando el sol incide directamente sobre él.

Al mejorar el control solar (reducir el factor solar) se consigue:

- Mayor nivel de confort.
- Reducción del calentamiento interior y del efecto invernadero.
- Reducción del coste de climatización para alcanzar la misma temperatura.
- Protección del medio ambiente al disminuir el consumo de energía de climatización.

Todo ello puede alcanzarse sin renunciar a los aportes de luz natural, manteniendo el aspecto neutro del acristalamiento tradicional.

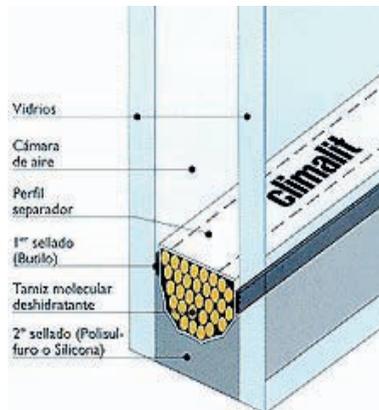
#### 4.2.2.1. Tipos de vidrio

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.

**Vidrio sencillo (monolítico) tradicional:** bajo esta denominación se agrupan aquellas tipologías formadas por una única hoja de vidrio y aquellas formadas por dos o más hojas unidas entre sí en toda su superficie por medio de plásticos intercalarios (vidrios laminares como SGG STADIP). Dentro del vidrio monolítico, se pueden encontrar vidrios incoloros, de color, impresos y de seguridad, así como distintos tratamientos que modifican las propiedades mecánicas, térmicas y espectrofotométricas de los

mismos. Las prestaciones térmicas de un vidrio monolítico pueden considerarse estables para los vidrios incoloros habituales, ya que tanto la transmitancia térmica como el factor solar se ven mínimamente reducidos al aumentar el espesor. Como valor de referencia de la transmitancia térmica se puede tomar un valor de  $U = 5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  y de 0,83 como valor del factor solar (g). No se consideran en este apartado vidrios monolíticos o laminares con capas de control solar u otros tipos<sup>2</sup>.

**Doble acristalamiento o Unidad de Vidrio Aislante (UVA):** conocido, generalmente, como doble acristalamiento, o vidrio de cámara, 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 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. La principal consecuencia es un fuerte aumento de su capacidad aislante, reflejado en la drástica reducción de su transmitancia térmica ( $U = 3,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , para la composición más básica 4-6-4<sup>3</sup>). El aumento progresivo del espesor de la cámara proporciona una reducción paulatina de la transmitancia térmica. Esta reducción deja de ser efectiva cuando se producen fenómenos de convección dentro de la misma (en torno a los 17 mm).



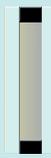
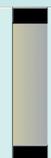
**Figura. 3.** Doble acristalamiento.

<sup>2</sup> Nota: En el caso de vidrios de color y vidrios de capa empleados como vidrios monolíticos, el factor solar puede verse fuertemente modificado. Cada producto existente en el mercado aporta sus prestaciones específicas.

<sup>3</sup> 4-6-4: Esta nomenclatura indica los espesores vidrio-cámara-vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior.

La capacidad del aislamiento térmico se ve significativamente mejorada por la incorporación de los vidrios de baja emisividad o aislamiento térmico reforzado, permitiendo alcanzar fácilmente los niveles más exigentes contemplados en el Código Técnico de la Edificación (CTE) con marcos de menores prestaciones.

**TABLA 2.** Transmitancia térmica del doble acristalamiento.

Composición <sup>4</sup>	SGG CLIMALIT			
	4-6-4	4-8-4	4-10-4	4-12-6
				
U (W/m <sup>2</sup> K)	3,3	3,1	3,0	2,9

Respecto a la prestación de control solar, los dobles acristalamientos presentan menores factores solares que los vidrios monolíticos por el simple hecho de incorporar dos vidrios. Para un doble acristalamiento SGG CLIMALIT 4-6-4, el valor g está en torno a 0,75. El factor solar (g) se puede modificar de forma importante mediante la sustitución del vidrio exterior por un vidrio de control solar. Igualmente, los vidrios de baja emisividad aportan un control solar significativo.

Los dobles acristalamientos, al estar formados por dos o más vidrios monolíticos, permiten la combinación de diferentes tipologías que aporten prestaciones complementarias.

Es necesario prever la instalación de los dobles acristalamientos sobre carpinterías dotadas de drenaje, bien selladas y que impidan el almacenamiento de agua y humedad permanente en el galce. La situación contraria puede ocasionar el deterioro de los sellantes y la pérdida de estanqueidad de la cámara.

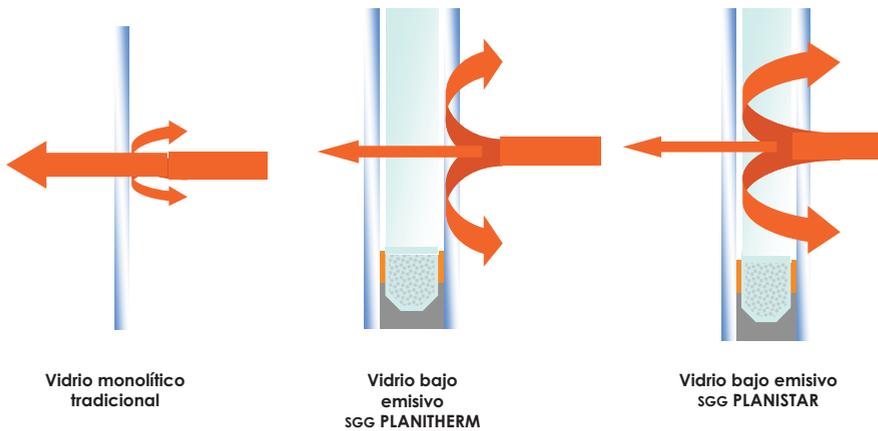
**Vidrio de baja emisividad:** se trata de vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de

<sup>4</sup> Los espesores del vidrio no afectan al valor de la transmitancia térmica.

nanómetros, proporcionando al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Normalmente, estos vidrios deben ir ensamblados en doble acristalamiento ofreciendo, así, sus máximas prestaciones de aislamiento térmico<sup>5</sup>.

Un acristalamiento Aislante Térmico Reforzado está constituido por un vidrio de baja emisividad, normalmente situado como vidrio interior. Los vidrios de baja emisividad están dotados de una capa metálica invisible que refleja hacia el interior parte de la energía de onda larga (calefacción) incidente, disminuyendo la absorción del propio vidrio y, por tanto, la energía que emite hacia el exterior.

Cuando este tipo de vidrio posee también prestaciones de control solar, entonces se sitúa como vidrio exterior a fin de optimizar su comportamiento en las distintas épocas del año.



**Figura 4.** Funcionamiento de vidrios de baja emisividad.

Esto se traduce en un mayor confort o en la reducción de los costes de energía para mantener un ambiente agradable.

<sup>5</sup> Los vidrios bajo emisivos exigen ir ensamblados en doble acristalamiento.

**TABLA 3.** Transmitancia térmica del doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo.

Composición <sup>6</sup>	SGG CLIMALIT con PLANITHERM			
	4-6-4	4-8-4	4-10-4	4-12-6
un vidrio normal y un vidrio de baja emisividad ( $\epsilon \leq 0,03$ )				
U (W/m <sup>2</sup> K)	2,5	2,1	1,8	1,7

La incorporación de vidrios de baja emisividad permite, desde un primer momento, alcanzar niveles de aislamiento imposibles de alcanzar mediante el aumento de cámara, Fig. 1 y Fig. 5.

Ejemplo:

Si se asigna el valor 100 a la energía de calefacción que se puede escapar a través de un vidrio monolítico tradicional ( $U = 5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), en la tabla siguiente se pueden comprobar las reducciones de U que se producen al mejorar el acristalamiento.

**TABLA 4.** Capacidad aislante del doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo.

Acristalamiento Vidrios bajo emisivos (capa en cara 2)	U (W/m <sup>2</sup> · K)	Pérdida de energía a través del acristalamiento respecto a un vidrio monolítico de 4 mm	Reducción de pérdidas de energía a través del acristalamiento respecto a un vidrio monolítico de 4 mm	Temperatura del vidrio interior (*)
Monolítico 4 mm	5,8	100	0	9 °C
SGG CLIMALIT 4/6/4	3,3	57	43	13 °C
SGG CLIMALIT 4/12/4	2,9	50	50	14 °C
SGG CLIMALIT con SGG PLANITHERM 4/6/4	2,5	43	57	15 °C
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 4/12/4	1,7	29	71	16 °C
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 4/16/4	1,4	24	76	17 °C

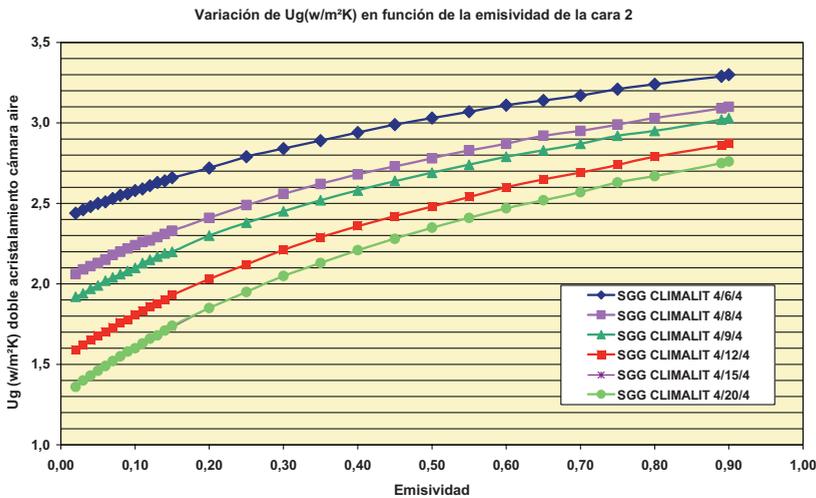
Ti = 20 °C ; Te = 0 °C ; Flujo Solar : 0 W/m<sup>2</sup> ; (\*) Estos valores son variables en función de las condiciones de viento.

Los valores de las composiciones con SGG PLANITHERM corresponden a la variante Futur N .

<sup>6</sup> La posición del vidrio bajo emisivo como vidrio interior o exterior no influye en el valor de U, pudiendo verse afectado el valor de g.

Es decir, con un doble acristalamiento SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 4/16/4, sólo se escapan 24 unidades de energía por cada 100 que se escaparían a través de un vidrio tradicional de 4 mm. Las pérdidas de energía a través del vidrio se reducen en un 76%.

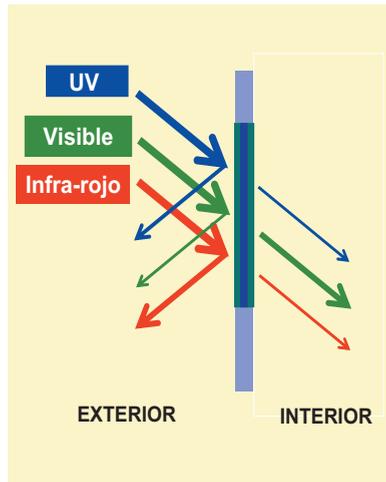
La mayor capacidad aislante para cada cámara, en función de la reducción de la emisividad de uno de los vidrios que compone el doble acristalamiento, queda reflejada en la Fig. 5.



**Figura 5.** Aumento de la capacidad de aislamiento con la reducción de la emisividad para cada cámara de SGG CLIMALIT.

**Vidrio de control solar:** pueden agruparse bajo esta denominación vidrios de muy distinta naturaleza: vidrios de color, serigrafados o de capa. Si bien es a estos últimos a los que, normalmente, se hace referencia como vidrios de control solar.

Estos vidrios poseen la propiedad de reflejar parte de la energía de la radiación solar recibida, disminuyendo la cantidad de energía que atraviesa el vidrio. Esto implica que, en las épocas de mayor soleamiento, el recalentamiento que sufren las viviendas se reduzca y las necesidades de climatización sean menores, conservando en el interior temperaturas más confortables.



**Figura 6.** Funcionamiento del vidrio de control solar.

La época de verano puede resultar tan incómoda como la de invierno. La entrada de calor solar excesivo a través del acristalamiento impide, a menudo, mantener una temperatura agradable en el interior, teniendo que recurrir a equipos de climatización que consumen gran cantidad de energía, o a la tradicional bajada de persianas renunciando a la entrada de luz natural y sustituyéndola por luz eléctrica.

SGG CLIMALIT ofrece la posibilidad de incorporar vidrios específicos que limitan la entrada de la energía solar directa a través de los mismos, sin tener que renunciar a los aportes de luz natural ni a la visibilidad a través del hueco acristalado. Son los vidrios conocidos como Vidrios de Control Solar.

Dirigidos preferentemente al sector residencial, los fabricantes cuentan con vidrios de aspecto neutro, similar al acristalamiento tradicional, como son los vidrios SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR que, junto con sus prestaciones de Aislamiento Térmico Reforzado, poseen notables propiedades de control solar, convirtiéndose en acristalamientos óptimos para conseguir altos niveles de confort tanto en invierno como en verano, permitiendo grandes aportes de luz natural.

Las distintas capas, y la posibilidad de aplicarse en distintos sustratos vítreos, permiten una amplia gama de posibilidades con diferentes estéticas y cuyas

prestaciones térmicas de control solar pueden variar desde valores de 0,10 para los más reflectantes, hasta valores de 0,60 para los vidrios incoloros de aspecto neutro.

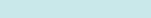
Aunque, normalmente, los vidrios de control solar se instalan integrados en doble acristalamiento para obtener una buena transmitancia térmica, en muchos casos pueden utilizarse como vidrios monolíticos y laminados monolíticos cuando la prioridad es la protección térmica frente a la radiación solar directa.

Por otra parte, los vidrios de baja emisividad o aislamiento térmico reforzado, por la propia naturaleza de la capa metálica que poseen, ofrecen interesantes prestaciones de control solar, independientemente de aquellos que han sido desarrollados específicamente para ofrecer ambas prestaciones, como son, entre otros, SGG PLANITHERM S, SGG PLANISTAR o algunos SGG COOL-LITE K.

Ejemplo:

Si se asigna el valor 100 a la energía que puede entrar a través de un vidrio monolítico tradicional ( $g = 0.85$ ), en la tabla siguiente se pueden comprobar las reducciones que se producen al mejorar el acristalamiento.

**TABLA 5.** Capacidad de protección solar del doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo neutro.

Acrisolamiento Vidrio de baja emisividad capa en cara 2	Factor Solar g (EN 410)	Entrada de energía solar directa a través del acristalamiento respecto a un vidrio monolítico de 4 mm.	Reducción de entradas de energía solar directa a través del acristalamiento respecto a un vidrio monolítico de 4 mm
Monolítico 4 mm	0,85	 100 %	0 %
SGG CLIMALIT 4/6/4	0,75	 88 %	 12 %
SGG CLIMALIT con SGG PLANITHERM 4/6/4	0,58	 68 %	 32 %
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 4/6/4	0,43	 51 %	 49 %
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 6/12/6	0,41	 48 %	 52 %

Ti = 20 °C ; Te = 35 °C ; Flujo solar = 750 W/m<sup>2</sup> ; (\*) Estos valores son variables en función de las condiciones de viento.

Los valores de las composiciones con SGG PLANITHERM corresponden a la variante Futur N.

Es decir, con un doble acristalamiento SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR 6/12/6, sólo entran 41 unidades de energía de radiación solar directa de cada 100 que entrarían con un vidrio monolítico de 4 mm. Por tanto, la entrada de este tipo de energía a través del vidrio se reduce en un 52% respecto a la que entra por un acristalamiento monolítico tradicional.

Los fabricantes disponen de vidrios que permiten realizar un control efectivo de la radiación solar incidente a la vez que ofrecen amplias posibilidades de juego con la cantidad de luz que los atraviesan, permitiendo una gran variedad de efectos estéticos por transmisión y por reflexión. Se trata de productos como son los SGG PARSOL, SGG REFLECTASOL y la gama SGG COOL-LITE que, fundamentalmente, pero no en exclusiva, están dirigidos a las fachadas acristaladas en su totalidad. Estos vidrios de control solar pueden combinarse con otros de diferentes funcionalidades y pueden reducir el factor solar a niveles de  $g = 0,10$ .



**Foto 8.** Cerramientos orientados al Este acristalados con vidrio de control solar.

### 4.2.3. Propiedades del hueco

El hueco puede considerarse como uno de los elementos más débiles desde el punto de vista del aislamiento térmico, permitiendo grandes fugas de calor en

régimen de invierno y un exceso de aportes solares en régimen de verano que son necesarios compensar con gastos energéticos, bien en calefacción o bien en refrigeración, a fin de mantener los niveles de confort adecuados.

Las prestaciones térmicas del hueco estarán limitadas tanto por los materiales empleados como por su estado de conservación. El mal estado de los marcos, las sucesivas capas de pintura, los descuadres y la presencia de ranuras comprometen de tal forma la permeabilidad, que las entradas de aire no deseado que se traducen en cargas térmicas, deben compensarse mediante consumos energéticos adicionales para evitar la pérdida de confort. Estos consumos adicionales conllevan, inevitablemente, mayores emisiones de CO<sub>2</sub> y un aumento de la factura energética.

La transmitancia térmica del hueco puede calcularse con exactitud según la norma UNE-EN-ISO 10077 considerando todos los efectos perimetrales pero, a efectos prácticos, puede considerarse que es directamente proporcional a las propiedades de los materiales y a la participación de los marcos y vidrios en el conjunto de la superficie del hueco. Así, el CTE propone para su cálculo la siguiente fórmula:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m}$$

siendo

- $U_{H,v}$  la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m<sup>2</sup>K];
- $U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [W/m<sup>2</sup> K]
- FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

Debido a la mayor participación del acristalamiento en la ventana, las ganancias producidas en la U del acristalamiento tienen mayor repercusión que aquellas alcanzadas para la misma ganancia de la U del marco. La Tabla 6 presenta los valores de transmitancia térmica global de hueco calculados para un 30% de área ocupada por el marco y un 70% de superficie acristalada:

**TABLA 6.** Capacidad aislante del cerramiento (marco + acristalamiento).

<b>U<sub>H</sub> Transmitancia térmica del hueco (W/m<sup>2</sup> K)</b>						
<b>Vidrio (70%)</b>		<b>Marco (30%)</b>				
		<b>Metálico</b>	<b>RPT[1]</b>	<b>RPT[2]</b>	<b>Madera[3]</b>	<b>PVC[4]</b>
		<b>5,7</b>	<b>4,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>	<b>1,8</b>
<b>Monolítico 4 mm</b>	<b>5,7</b>	5,7	5,2	5,0	4,7	4,5
<b>SGG CLIMALIT 4/6/4</b>	<b>3,3</b>	4,0	3,5	3,3	3,1	2,9
<b>SGG CLIMALIT 4/12/4</b>	<b>2,9</b>	3,7	3,2	3,0	2,8	2,6
<b>SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4</b>	<b>2,5</b>	3,5	3,0	2,7	2,5	2,3
<b>SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4</b>	<b>1,7</b>	2,9	2,4	2,2	1,9	1,7

[1] Rotura de puente térmico 4 mm.

[2] Rotura de puente térmico 12 mm.

[3] Los marcos de madera se considera una densidad de 700 kg/m<sup>3</sup>.

[4] Los marcos de PVC se consideran de 3 cámaras.

Respecto al factor solar del cerramiento, es necesario considerar tanto el marco, por su participación en lo que puede considerarse como zona de sombra, como el acristalamiento, con sus prestaciones de control solar. La incidencia del acristalamiento es muy superior, fundamentalmente por la superficie ocupada. La influencia del marco en este parámetro es sensiblemente menor, siendo función del material del marco y de su color.

Su cálculo puede realizarse según la siguiente expresión recogida en la CTE:

$$F = (1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha$$

siendo:

FM: Fracción de marco sobre el total del hueco.

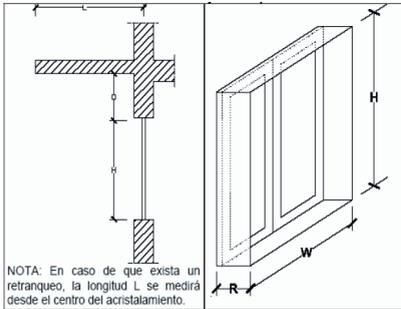
$g_{\perp}$ : Factor solar del vidrio.

U<sub>m</sub>: Transmitancia térmica del marco.

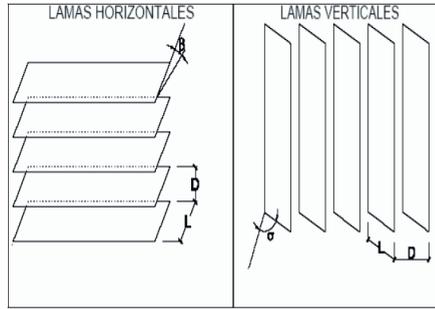
$\alpha$ : Absortividad del marco (función del color).

A efectos normativos, pueden considerarse elementos de sombreado exterior, como pueden ser retranqueos, voladizos, toldos o persianas. En estos casos, deberá aplicarse un factor corrector, factor de sombra, tal y como recoge el CTE en

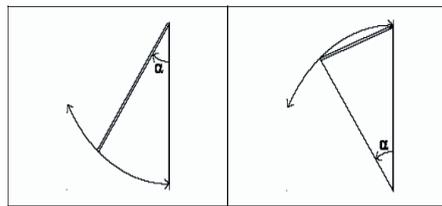
el Apéndice E del DB HE1 en sus tablas E.10 a E.14, obteniéndose así el factor solar modificado del hueco al que hacen referencia los requisitos especificados en el mismo.



**Figura 7.** Voladizos y retranqueos.



**Figura 8.** Lamas de protección solar.



**Figura 9.** Toldos de protección solar.

#### 4.2.4. Normativa

En este apartado se recoge la normativa aplicable a la edificación en los aspectos térmicos directamente relacionados con el hueco y sus prestaciones como elemento aislante, dejando aparte aquella normativa referente al producto utilizado y la medida o ensayo de sus características. Evidentemente, vidrios, marcos y ventanas en su conjunto, deberán responder a las correspondientes normas de producto vigentes en cada momento.

Como productos de la construcción, dispondrán del oportuno marcado CE cuando exista norma aplicable al efecto según la Directiva de Productos de la Construcción (Directiva nº 89/106/CEE). El marcado CE de los productos de la construcción es necesario para la comercialización de los mismos en la UE.

Centrándose en los requisitos térmicos exigidos al cerramiento del hueco en la envolvente del edificio, fundamentalmente son dos las normativas aplicables:

- El Código Técnico de la Edificación (CTE).
- La Calificación Energética de las viviendas.

#### 4.2.4.1. Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado el 17 de marzo de 2006, tiene por objeto establecer las exigencias básicas de calidad, así como los procedimientos para realizarlas con suficientes garantías técnicas, que deben cumplir los edificios para satisfacer, entre otros, los requisitos básicos de ahorro de energía y aislamiento térmico establecidos en el artículo 3 de la Ley 38/1999, de 5 de diciembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

En el ámbito de la rehabilitación, el CTE tiene su aplicación en "aquellas modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil superior a 1.000 m<sup>2</sup> donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos".

Dicho esto, hay que entender que los límites establecidos por el CTE son mínimos exigibles o a considerar. Niveles superiores supondrán mayores niveles de confort y ahorro energético, y vendrán reflejados en una mejor Calificación Energética de la vivienda.

Para el caso concreto de los acristalamientos, se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Zona climática.
- Uso previsto del edificio.
- Orientación del acristalamiento.
- Superficie de hueco en fachada.
- Tamaño de los acristalamientos.

- ✿ Tipo de carpintería.
- ✿ Factor solar.

El cumplimiento con el CTE se realizará mediante la opción simplificada, aplicable a la inmensa mayoría de los edificios de viviendas, o bien a través de la opción general y el programa informático LIDER.

A continuación se describe cómo afecta cada uno de estos factores en el caso de la Comunidad Autónoma de Madrid, tomando como referente la opción simplificada del CTE.

**Zona climática:** la Comunidad Autónoma de Madrid está afectada por una clasificación D3, que corresponde a la capital y, en función de las diferencias de cota con la altitud de referencia, se pueden encontrar las zonas D1 y E1.

Por tanto, según la tabla 2.1 del Documento Básico Ahorro de Energía del CTE, se fijan las siguientes limitaciones:

**TABLA 7.** Limitación de  $U_H$  del cerramiento (marco + acristalamiento) para las zonas climáticas existentes en la Comunidad Autónoma de Madrid.

<b>Transmitancia térmica máxima de cerramientos de la envolvente U (W/m<sup>2</sup> K)</b>			
	Zona D3	Zona D1	Zonas E1
Vidrios y Marcos	3,50	3,10	3,10

**NOTA:** El RD 1371/2007 de 19 de Octubre de 2007, y publicado en el BOE de 23 de octubre de 2007, modifica esta tabla eliminando el cumplimiento por separado de esta limitación para los vidrios y marcos. Esta modificación se traduce en el establecimiento de la limitación para el conjunto del cerramiento, permitiendo la compensación entre vidrios y marcos para alcanzar el U exigido.

Esto quiere decir que no será posible instalar aquellos tipos de marcos y vidrios que superen “conjuntamente” estos valores. En consecuencia, muchos de los cerramientos instalados hasta nuestros días no cumplirían la limitación actual.

Estos valores máximos se verán reducidos en función de las orientaciones y cantidad de huecos en fachada.

**Uso previsto:** dado el objetivo de esta Guía, el uso previsto analizado será la "vivienda" y, por ello, se centra en edificios de baja carga interna.

**Orientación del acristalamiento:** la orientación del acristalamiento es uno de los principales factores a considerar. Desde el punto de vista de la transmitancia térmica, la orientación más exigente es la N y las menos exigentes las S, SE y SO, según la definición de las mismas que contempla el CTE.

Cuando se realiza un estudio pormenorizado de cada orientación, pueden aplicarse soluciones distintas en cada fachada, si bien ello conlleva estéticas más o menos diferentes en función de las mismas (cambio de carpinterías, acristalamientos, secciones de marcos, etc.).

Cuando la solución buscada implique cierta uniformidad, o bien para simplificar el número de soluciones adoptadas, es conveniente tomar la orientación N como referencia. En el caso de Madrid, y para edificios de viviendas, la inclusión de vidrios de baja emisividad, como SGG PLANITHERM o SGG PLANISTAR con cámara adecuada, prácticamente garantiza el cumplimiento de los requisitos exigidos en la mayoría de los casos contemplados en el CTE, Tablas 3 y 4.

**Superficie de hueco en fachada:** la superficie total de hueco en fachada y el porcentaje que representa sobre el total de la misma, definirán el valor máximo de transmitancia de hueco  $U_{H \max}$  permitida en cada caso.

En las zonas D3 y D1, la orientación más desfavorable y con un porcentaje de huecos de 50%, exigirá un valor máximo de  $U_H = 1,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Este valor es fácilmente alcanzable con el uso de vidrios bajo emisivos presentes en el mercado del tipo SGG PLANITHERM o SGG PLANISTAR con la cámara adecuada, Figs. 1 y 5, y Tablas 4 y 6.

En la zona E1 es necesario instalar este tipo de acristalamientos en orientación N cuando se supera el 20% de huecos en fachada y con carpinterías cuya  $U$  no supere  $3,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

**Tipo de carpintería y tamaño de los acristalamientos:** como se ha comentado anteriormente, la zona climática condiciona, desde un primer momento, el cerramiento mínimo aceptado. Los marcos de mayor U, como son los metálicos y los metálicos de RPT, podrán satisfacer los requisitos de zonas frías incorporando acristalamientos de aislamiento térmico reforzado formados a partir de vidrios bajo emisivos.

Respecto al tamaño de los acristalamientos, es necesario señalar que influirá en el porcentaje de superficie de huecos en la fachada por una parte y, por otra, en el valor de la transmitancia térmica del hueco, ya que tendrá incidencia sobre el % de perfil y % de acristalamiento que conforman el mismo.

Cuanto mayor es el acristalamiento, más incidencia tiene su nivel de aislamiento sobre el total, permitiendo compensar el efecto de los marcos de menores prestaciones entre los admitidos.

**Factores solares:** la geometría del hueco y las condiciones de instalación del cerramiento definirán el factor de sombra que afecte al factor solar del hueco. Éstos deberán obtenerse según indica el CTE.

El factor solar modificado en la Comunidad Autónoma de Madrid para edificios de baja carga interna, sólo está limitado para aquellas ubicaciones correspondientes a Zonas D3. Es decir, en la capital y en aquellas otras zonas que no superen una diferencia de cota de más de 200 m.

En esta zona D3, y para los edificios mencionados, sólo a partir de más del 40 % de hueco en fachada existe una limitación del factor solar modificado en orientaciones E, O, SE y SO, y sólo cuando se considere entre 50% y 60% de hueco en fachada, porcentaje muy elevado para este tipo de edificios, se exige también en orientación S.

El valor de factor solar modificado del hueco más exigente para 50-60% de huecos en fachada es de 0,42. Este valor puede alcanzarse fácilmente con los

acristalamientos bajo emisivos, Tabla 5, ya que se sitúa muy cercano al propio factor solar del acristalamiento.

Cuanta mayor sea la parte de las prestaciones que se confíe al conjunto del cerramiento, mayor seguridad en el cumplimiento presente y futuro de los niveles prestacionales y del ahorro energético alcanzados.

La presencia de toldos, lamas de sombreado u otros dispositivos que requieren el accionamiento por el usuario, no siempre garantizan su correcto posicionamiento a lo largo del día. Por otra parte, son susceptibles de ser modificados o eliminados por el usuario.

El cumplimiento mínimo de los requisitos del CTE en su opción simplificada sólo permitirá alcanzar el nivel E de la Calificación Energética y mejorar hasta el nivel D en función de las instalaciones disponibles.

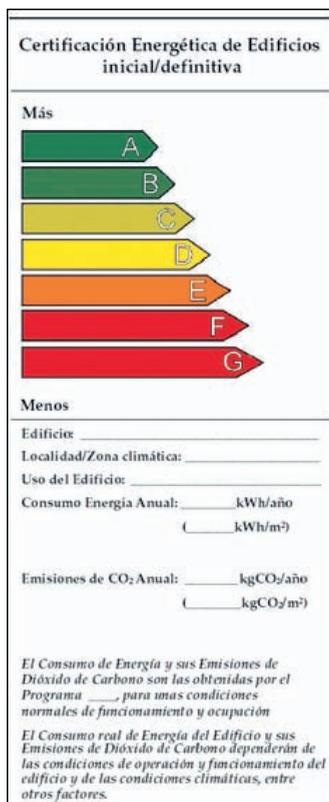
#### **4.2.4.2. Certificación energética de los edificios**

Desde el pasado 31 de enero de 2007, fecha de publicación en el BOE, los nuevos edificios deberán disponer de la correspondiente certificación energética. Es aplicable a los edificios de nueva construcción, teniendo un período de aplicación voluntario de seis meses desde la fecha de publicación en el BOE. Por tanto, es de obligado cumplimiento desde el 31/07/2007.

Para el ámbito de la rehabilitación, tiene aplicación obligatoria, al igual que el CTE, en "aquellas modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes con una superficie útil superior a 1.000 m<sup>2</sup> donde se renueve más del 25% del total de sus cerramientos", lo que puede entenderse como edificios de viviendas en su conjunto, comunidades de propietarios, etc.

En el caso de las reformas individuales, aunque no sea de obligado cumplimiento hoy en día, las mejoras que se realicen en este sentido contribuirán a una mejor calificación energética y a una revalorización de la vivienda, debido a los menores consumos y mayores niveles de confort.

Con la Calificación y Certificación Energética, el usuario dispondrá de información sobre el comportamiento térmico de cada vivienda.



**Figura 10.** Etiqueta de certificación energética.

La clasificación de las viviendas se realiza siguiendo una escala de letras (de la A a la G en orden decreciente de eficiencia energética) y de colores. Para determinar la clase que le corresponde a un edificio concreto, se valorará el CO<sub>2</sub> emitido por el consumo de energía del global de sus instalaciones.

El cumplimiento de las exigencias del CTE significará, como mínimo, una clasificación G.

El marco y el tipo de vidrio elegidos juegan un papel muy importante en la calificación energética del edificio. Sólo se alcanzarán los niveles A y B si, además de actuar sobre las instalaciones y el resto de la envolvente, se instalan marcos de altas prestaciones térmicas y acristalamientos de aislamiento térmico reforzado.

## 4.2.5. Situaciones de partida y soluciones de rehabilitación



**Foto 9.** Situaciones dispares susceptibles de intervención.

Dadas las características constructivas, su fácil intervención y la repercusión que tiene sobre el aislamiento térmico de la envolvente del edificio, el cerramiento del hueco se presenta como el primer elemento a valorar técnica y económicamente a la hora de afrontar una rehabilitación térmica del edificio.

La intervención sobre los huecos, incorporando materiales de mejores prestaciones y correctamente instalados, es una de las mejores opciones por su rapidez, las menores molestias para el usuario y el coste.

Como resumen de este apartado, la Tabla 20 recoge los porcentajes de reducción de pérdidas a través del hueco (ahorros posibles), partiendo de una situación inicial definida hasta cualquiera de las situaciones finales contempladas.

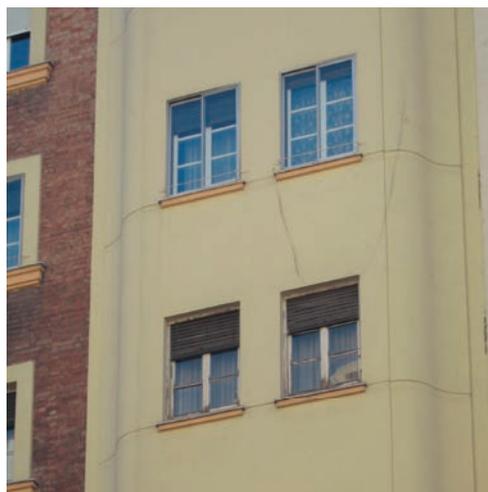
A continuación, se describen diferentes tipologías de cerramientos siguiendo un orden cronológico en su aparición aproximada en la edificación de viviendas, sin que ello quiera decir que sean más o menos eficientes térmicamente.

En cada caso descrito, se contemplan aquellas soluciones que mejorarían térmicamente el comportamiento del cerramiento. No se consideran las condiciones de mantenimiento (rendijas, descuadres, entradas de aire, etc.) en las que se pueda encontrar la situación de partida que, en cualquier caso, supondrían un peor comportamiento térmico.

No se consideran las mejoras aportadas en términos de factor solar, ya que es necesario considerar factores como el retranqueo de los cerramientos, las sombras arrojadas por otros edificios y obstáculos de sombreado. Con doble acristalamiento y 30% de marco se obtienen valores prácticamente aceptables por el CTE. En cualquier caso, siempre deberá realizarse una comprobación del cumplimiento una vez seleccionado el cerramiento (marco y vidrio) para cada uno de los huecos. La situación final sí debe analizarse mediante el correspondiente balance térmico o, al menos, mediante edificios de referencia con programas adecuados.

#### 4.2.5.1. Carpintería de madera con vidrio monolítico

Solución constructiva con gran presencia en la arquitectura de los años 50 y anteriores. Normalmente, presenta un mal estado de conservación, sobre todo cuanto más antigüedad poseen.



**Foto 10.** Ventanas tradicionales de marco de madera y vidrio monolítico.

Estas carpinterías exigen un mantenimiento de pintura, así como revisión y renovación de las juntas de estanqueidad (burlletes). Es habitual que, debido al paso del tiempo, presenten una permeabilidad al aire excesiva, permitiendo entradas no deseadas. Suele tratarse de ventanas abatibles, aunque existan otros

modelos (guillotina). El acristalamiento habitual es con vidrio monolítico de poco espesor. En las horas más frías es normal que aparezcan condensaciones sobre el vidrio debido a su alta conductividad.

Puede considerarse un elemento muy sensible a la intervención y con grandes posibilidades de mejora debido, fundamentalmente, a las entradas de aire y a la escasa contribución de este acristalamiento al conjunto del hueco.

Actualmente, existen carpinterías de madera de muy altas prestaciones en cuanto a permeabilidad al aire, y que permiten la instalación de doble acristalamiento con vidrios de baja emisividad. En estas carpinterías, el mantenimiento suele reducirse ya que, hoy en día, se utilizan maderas laminadas y tratadas que reducen significativamente las exigencias de mantenimiento.



**Foto 11.** Carpintería de madera.

En estas carpinterías es muy importante verificar que cuentan con los correspondientes drenajes de galce y marco, de forma que no se produzcan acumulaciones de agua que pueda ser absorbida por la madera, ocasionando el deterioro de carpintería y acristalamiento.

A continuación, se muestran las mejoras que pueden aportar algunas intervenciones.

**TABLA 8.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

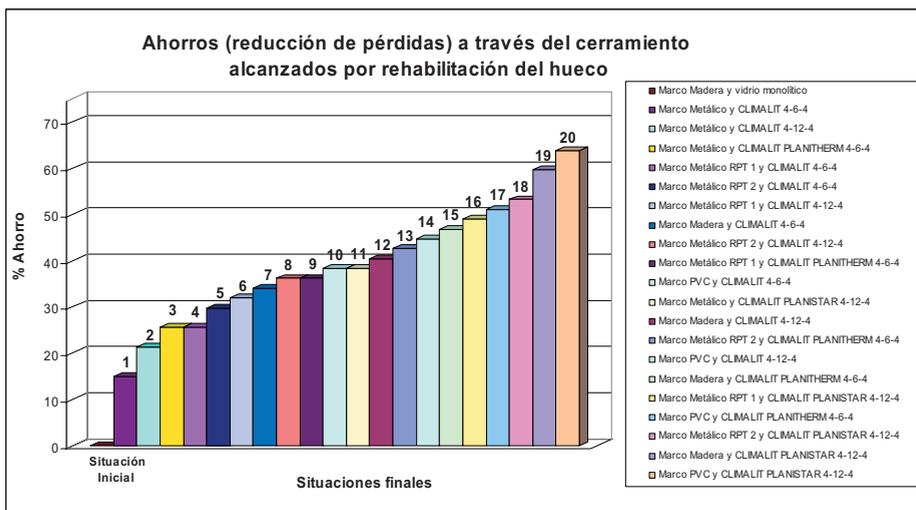
Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	18	Madera	Vidrio monolítico	100	0
1	17	Metálica	SGG CLIMALIT 4/6/4	85	15
2	16	Metálica	SGG CLIMALIT 4/12/4	79	21
3	15	Metálica	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	74	26
4	15	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	74	26
5	14	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/6/4	70	30
6	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	68	32
7	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	66	34
8	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	64	36
9	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	64	36
10	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	62	38
11	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	62	38
12	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	60	40
13	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	57	43
14	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	55	45
15	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	53	47
16	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	51	49
17	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	49	51
18	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	47	53
19	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	40	60
20	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	36	64

NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Figura 11.** Ahorro/ Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.2. Carpintería metálica con vidrio monolítico

Este tipo de carpintería ha sido ampliamente utilizada en los años 50 a 80 bajo diversas formas, que van desde la carpintería de acero “Mondragón” hasta las ventanas correderas de aluminio en bruto, lacado o anodizado. El acristalamiento instalado sobre este tipo de carpintería continuó siendo el vidrio monolítico, por lo que no aportaron mejoras en términos de aislamiento térmico. En estas carpinterías, el sistema de apertura utilizado se reparte entre abatibles y correderas, con una gran presencia de éstas últimas cuando se hace referencia al aluminio, debido a su menor peso. Normalmente, cuentan con perfiles estrechos y alta superficie acristalada.



**Foto 12.** Carpintería metálica “acero Mondragón” con vidrio monolítico.

Su comportamiento, poco aislante térmicamente, se debe a la propia conductividad del material metálico y, en el caso de las correderas, a los cierres y mecanismos de deslizamiento, que permiten la entrada de aire y las fugas de calor. En la actualidad, existen carpinterías correderas de alta gama que minimizan este efecto. Por otra parte, la alta conductividad del marco y vidrio favorece las condensaciones superficiales en la cara interior, con las consecuentes patologías ligadas a humedades en metales y enlucidos interiores.

El uso reiterado, así como la facilidad de deformación del aluminio empleado, normalmente, en los mecanismos de las ventanas correderas, reducen significativamente el aislamiento. En estas carpinterías, es importante vigilar su correcta ejecución, tanto en las uniones de los perfiles como en los sistemas de drenaje de las posibles infiltraciones de agua.

Considerando la situación de las carpinterías descritas, típicas de los años 50 a 80, puede decirse que es el caso en el que mayores ventajas pueden obtenerse mediante la sustitución de la ventana en su conjunto por otra cuyo marco presente menor U, y dotándola de doble acristalamiento con vidrio de baja emisividad. La situación de partida es la térmicamente más desfavorable y, por tanto, cualquier intervención supone mejora. Algunas carpinterías metálicas, cuya permeabilidad al aire es buena, permiten la sustitución de vidrios monolíticos por doble acristalamiento con vidrio de baja emisividad. El impacto económico de esta intervención es muy reducido y, en algunos casos, permite alcanzar mejoras considerables.



**Foto 13.** Carpintería metálica de aluminio con vidrio monolítico.

La Tabla 9 muestra las ventajas alcanzables por la rehabilitación de este tipo de cerramientos, sin considerar el estado de juntas y cierres que permiten la entrada de aire exterior.

**TABLA 9.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

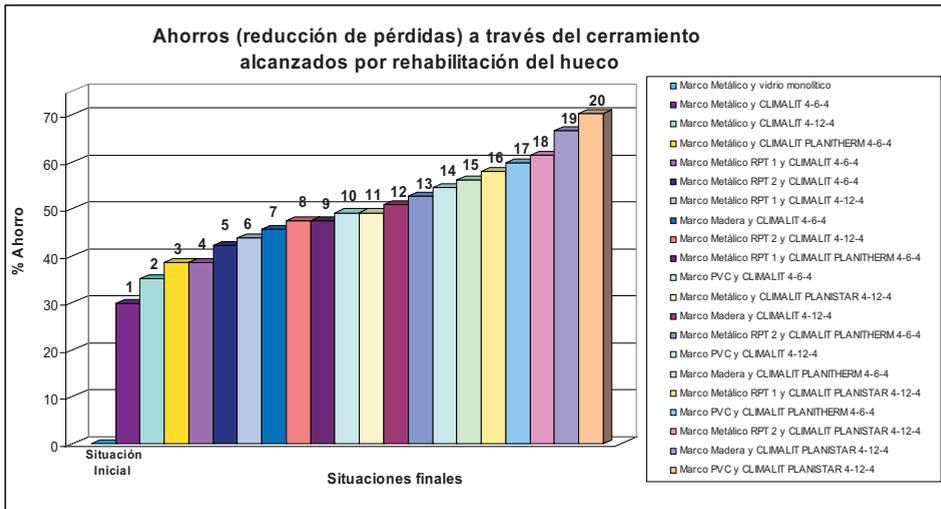
Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	18	Metálica	Vidrio monolítico	100	0
1	17	Metálica	SGG CLIMALIT 4/6/4	70	30
2	16	Metálica	SGG CLIMALIT 4/12/4	65	35
3	15	Metálica	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	61	39
4	15	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	61	39
5	14	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/6/4	58	42
6	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	56	44
7	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	54	46
8	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	53	47
9	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	53	47
10	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	51	49
11	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	51	49
12	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	49	51
13	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	47	53
14	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	46	54
15	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	44	56
16	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	42	58
17	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	40	60
18	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	39	61
19	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	33	67
20	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	30	70

NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

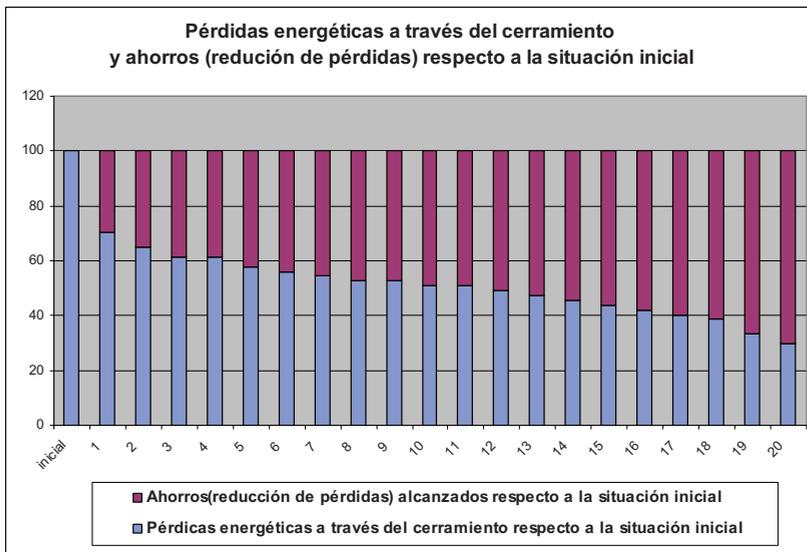
(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Figura 12.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

En la Fig. 13 se muestra una interpretación de estas actuaciones, en términos comparativos, respecto a la situación inicial.



**Figura 13.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

### 4.2.5.3. Carpintería metálica con doble acristalamiento

Este tipo de cerramiento aparece como una variante del anterior y, según su época, puede corresponder con distintos niveles de prestaciones. En este grupo no se consideran aquellas carpinterías, que pueden considerarse de gama más alta, que están dotadas de Rotura de Puente Térmico (RPT). Al igual que en el caso anterior, los sistemas de apertura (abatibles o correderas) pueden condicionar fuertemente las prestaciones térmicas.

Se consideran dos situaciones de partida en función del acristalamiento instalado: doble acristalamiento banal o doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo.

#### 4.2.5.3.1. Carpintería metálica con doble acristalamiento banal

El acristalamiento considerado es el doble acristalamiento más básico, formado por vidrios incoloros separados por una cámara de aire. Su capacidad de aislamiento varía entre 3,3 y 2,9 W/m<sup>2</sup> K para cámaras de 6 y 12 mm, respectivamente. Valores menores de transmitancia térmica pueden obtenerse con este tipo de doble acristalamiento hasta alcanzar valores de 2,7 W/m<sup>2</sup> K, ampliando la cámara hasta los 16 mm, aproximadamente. El inconveniente que pueden presentar las cámaras muy amplias es la doble reflexión de las imágenes, con lo que puede producirse un efecto de doble visión. Por encima de valores de 16-17 mm de la cámara, se encuentran ligeras pérdidas de aislamiento térmico por efecto de convección entre los dos vidrios. Los dobles acristalamientos compuestos por vidrios incoloros no aportan ninguna prestación significativa en términos de control solar, siendo su factor solar de  $g = 0,75-0,70$  para espesores habituales de vidrio.

La primera y más fácil mejora que puede introducirse sobre este tipo de cerramientos, es la sustitución de los acristalamientos por otros de igual espesor total y de mayores prestaciones térmicas. Es decir, sustituir un doble acristalamiento tradicional por otro de igual composición de espesores, pero dotado de vidrio

neutro de baja emisividad. La reducción en la transmitancia del vidrio oscilará entre un 25% para una cámara de 6 mm y un 40% para la de 12 mm. El límite se alcanzará para cámaras rellenas de aire en torno a los 16 mm con una  $U = 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , teniendo en cuenta el efecto óptico mencionado.



**Foto 14.** Carpintería metálica de aluminio con doble acristalamiento bandal.

La incorporación del vidrio bajo emisivo aporta, complementariamente, una reducción del factor solar del acristalamiento, que puede variar sensiblemente con el producto instalado, llegando a alcanzar valores próximos al 0,4, con los consiguientes ahorros en régimen de verano.

Ésta es la medida más lógica y de menor coste, tanto económico como en facilidad y rapidez de ejecución, siempre que el estado de los marcos no requiera intervención. Si fuese necesario proceder a la renovación de los marcos, resulta aconsejable la instalación de vidrios de aislamiento térmico reforzado, ya que el sobrecoste se ve compensado con las mejoras aportadas.

A continuación, se muestran las mejoras alcanzadas en el aislamiento del hueco por intervención sobre esta situación de partida.

**TABLA 10.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

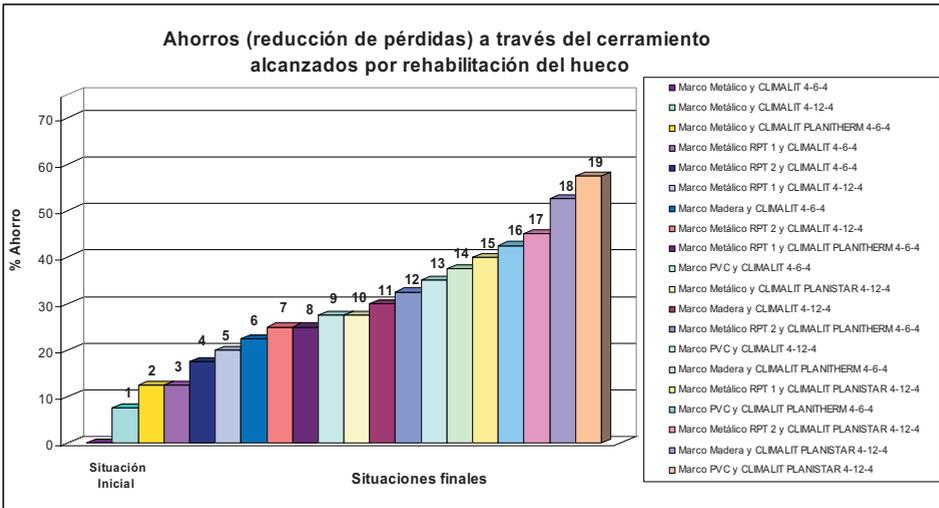
Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	17	Metálica	SGG CLIMALIT 4/6/4	100	0
1	16	Metálica	SGG CLIMALIT 4/12/4	93	8
2	15	Metálica	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	88	13
3	15	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	88	13
4	14	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/6/4	83	18
5	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	80	20
6	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	78	23
7	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	75	25
8	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	75	25
9	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	73	28
10	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	73	28
11	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	70	30
12	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	68	33
13	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	65	35
14	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	63	38
15	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	60	40
16	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	58	43
17	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	55	45
18	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	48	53
19	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	43	58

**NOTAS:** Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Figura 14.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.3.2. Carpintería metálica con doble acristalamiento bajo emisivo

Cuando el acristalamiento instalado ya es un vidrio de baja emisividad, es necesario analizar si el marco permite la instalación de acristalamientos con mayor cámara y, si fuese así, proceder al cambio del doble acristalamiento de baja emisividad por otro de mayor espesor en la cámara y manteniendo la incorporación al mismo de un vidrio de baja emisividad. Esta actuación es igual de sencilla, rápida y, prácticamente, igual de económica que la del apartado anterior.

Las mejoras alcanzables en la U del acristalamiento quedan reflejadas en la Tabla 11.

**TABLA 11.** Variación del valor de U respecto al espesor de cámara.

Composición: SGG CLIMALIT PLANITHERM	U (W/m <sup>2</sup> K)
4-6-4	2,5
4-8-4	2,1
4-10-4	1,8
4-12-4	1,7
4-16-4	1,4

Nota: Cálculo de los valores de U para vidrio bajo emisivo con emisividad  $\epsilon \leq 0,03$ .

Estas mejoras tienen que integrarse en el cálculo total de la U del hueco, que será función del porcentaje de participación de vidrio y marco. Si el objetivo es alcanzar mayores reducciones, será necesario intervenir sobre el marco.

Si no fuese posible la intervención sobre el marco para lograr la sustitución del acristalamiento con vidrio bajo emisivo por otro de similar producto y mayor cámara, la rehabilitación deberá contemplar el cambio del conjunto del cerramiento, sustituyendo el marco por otro de mejores prestaciones. Normalmente, el acristalamiento no será reutilizable, y será precisa su sustitución por otro de iguales o mejores prestaciones. Igualmente, debe valorarse la instalación de un marco de mejores prestaciones que el existente (metálico con RPT, madera, PVC, etc.), teniendo en cuenta su sistema de apertura y su estanqueidad, así como prever un acristalamiento con vidrio bajo emisivo y cámara generosa.



**Foto 15.** Carpintería exterior metálica de aluminio con doble acristalamiento bajo emisivo SGG CLIMALIT con PLANISTAR.

Las mejoras posibles en las prestaciones térmicas del hueco por rehabilitación del cerramiento en huecos dotados de carpintería metálica sin rotura de puente térmico y de doble acristalamiento con vidrio de baja emisividad, se recogen en la Tabla 12.

**TABLA 12.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	14	Metálica	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	100	0
1	14	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	100	0
2	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	91	9
3	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	89	11
4	13	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	86	14
5	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	86	14
6	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	83	17
7	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	83	17
8	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	80	20
9	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	77	23
10	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	74	26
11	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	71	29
12	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	69	31
13	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	66	34
14	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	63	37
15	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	54	46
16	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	49	51

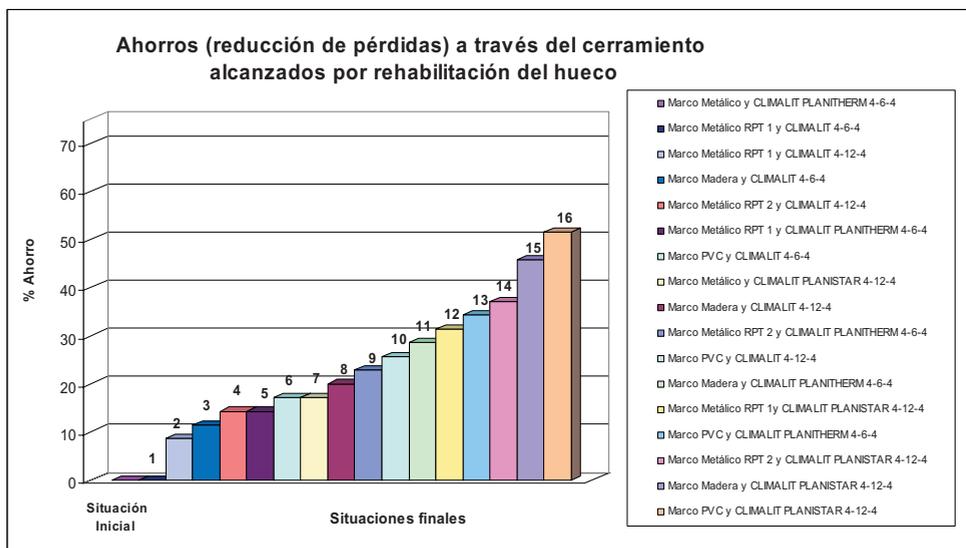
NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.

A la vista de los datos de la Tabla 12, no tiene sentido proceder a la renovación de los marcos sin instalar vidrios de baja emisividad (situaciones 1, 2, 3, 4, 6, 8 y 10). Las situaciones de igual marco y dotadas de vidrio de baja emisividad (SGG PLANITHERM o SGG PLANISTAR) ofrecen incrementos significativos en su capacidad de aislamiento.



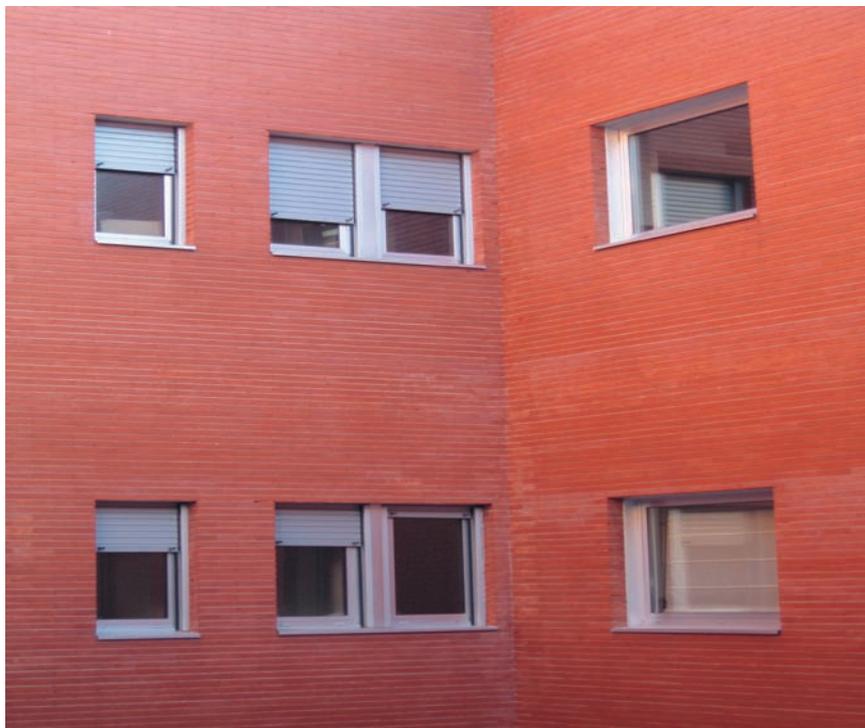
**Figura 15.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

En estos casos, parece evidente que siempre debe optarse por la instalación de vidrios de baja emisividad como solución final a adoptar.

#### 4.2.5.4. Carpintería metálica RPT y doble acristalamiento

Esta tipología de cerramiento aparece en la edificación hacia los años 90, como mejora en el comportamiento térmico de las carpinterías metálicas. Suelen ser carpinterías de mayor espesor y dotadas de buenos sistemas de apertura y cierre, no siendo habitual el sistema de corredera. Su comportamiento frente a la permeabilidad puede considerarse como de elevadas prestaciones.

Normalmente, siempre están acristaladas con doble acristalamiento, en su mayor parte banal, aunque es cierto que, dado que normalmente se trata de carpinterías de un cierto nivel prestacional, existe un porcentaje importante que están dotadas de vidrio bajo emisivo.



**Foto 16.** Carpintería metálica de aluminio RPT con acristalamiento banal.

La posible intervención estará condicionada a poder modificar el espesor de la cámara del vidrio o su sustitución.

#### **4.2.5.4.1. Carpintería metálica RPT con doble acristalamiento banal**

En este caso, la actuación de rehabilitación térmica en aquellas ubicaciones que lo aconsejen, supone exclusivamente, como en el apartado 4.2.5.3.1, reemplazar el doble acristalamiento existente por uno de igual cámara dotado de

vidrio de baja emisividad. Las ganancias pueden ser significativas, dado el alto porcentaje de participación del acristalamiento en el hueco.

Mejoras superiores requerirán el cambio de la carpintería. En estos casos, debe valorarse la ganancia producida por los vidrios de baja emisividad, sus aportes en el control solar cuando los huecos reciban soleamiento, y la oportunidad de instalar un cerramiento de elevadas prestaciones térmicas con un sobrecoste reducido.

A continuación, se muestran las mejoras que pueden suponer algunas de las posibles intervenciones.



**Foto 17.** Carpintería metálica de aluminio RPT con doble acristalamiento banal.

**TABLA 13.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	15	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	100	0
1	14	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/6/4	94	6
2	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	91	9
3	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	89	11
4	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	86	14
5	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	86	14
6	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	83	17
7	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	83	17
8	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	80	20
9	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	77	23
10	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	74	26
11	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	71	29
12	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	69	31
13	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	66	34
14	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	63	37
15	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	54	46
16	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	49	51

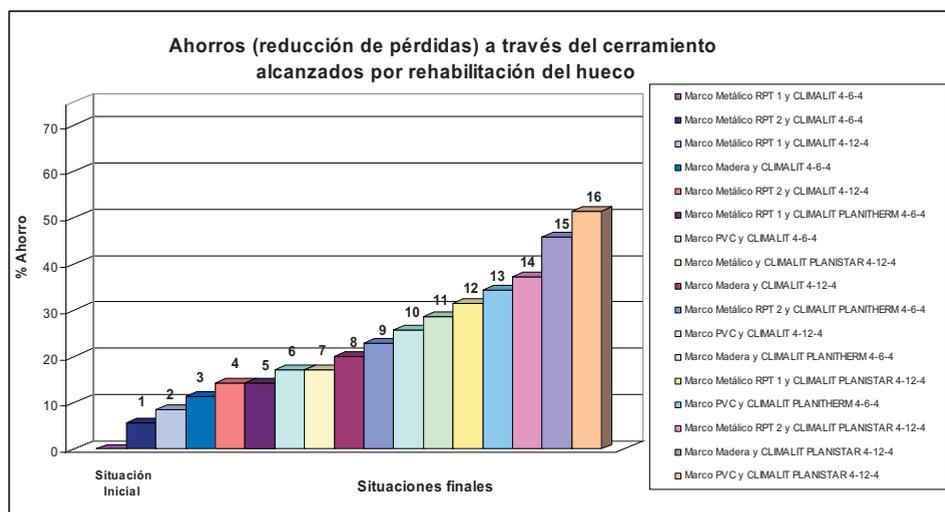
NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.

Nuevamente, a la vista de los datos de la Tabla 13, no tiene sentido proceder a la renovación de los marcos y no intervenir sobre el acristalamiento, cuando representa un alto porcentaje de la superficie (situaciones 1, 2, 3, 4, 6, 8, y 10). El tratamiento lógico de esta rehabilitación pasa, como en situaciones anteriores, por incluir los vidrios de baja emisividad.



**Figura 16.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.4.2. Carpintería metálica RPT con doble acristalamiento bajo emisivo

Las carpinterías metálicas de RPT dotadas con doble acristalamiento bajo emisivo, corresponden a una tipología de alta gama, normalmente presentes en edificaciones de vivienda modernas, de menos de 10 años, y en las que ya se ha considerado la incorporación de elementos térmicamente adecuados. Su acristalamiento, además de incorporar vidrios de baja emisividad, posee espesores de cámara medios y altos. Las mejoras posibles que en ellas pueden realizarse son limitadas y suelen conllevar un coste que es necesario analizar en cada situación. Su mejora sólo estará justificada en aquellas regiones donde la climatología, en régimen de invierno, así lo aconseje y, en cualquier caso, siempre deberán incorporarse vidrios bajo emisivos para mejorar la situación de partida.

**TABLA 14.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acrisolamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	100	0
1	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	97	3
2	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	97	3
3	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	93	7
4	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	90	10
5	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	87	13
6	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	83	17
7	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	80	20
8	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	77	23
9	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	73	27
10	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	63	37
11	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	57	43

NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

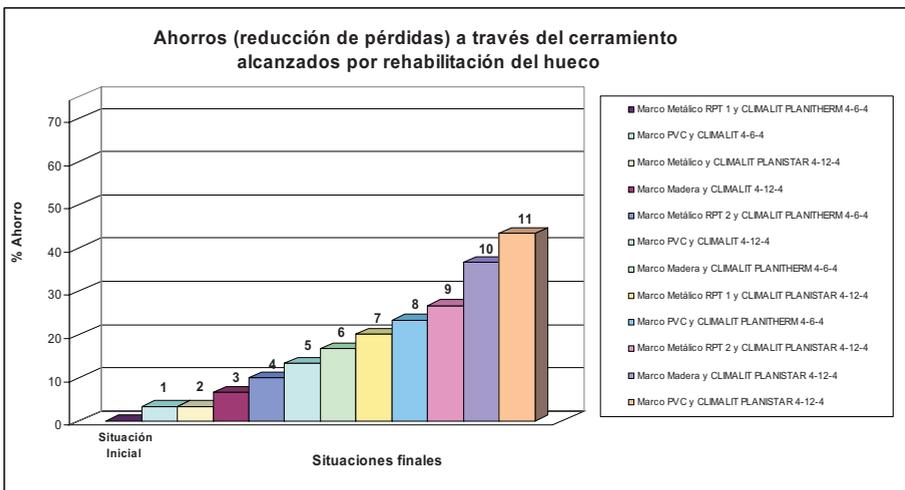
SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Foto 18.** Carpintería madera con doble acristalamiento banal en mal estado de conservación.



**Figura 17.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.5. Carpintería de madera con doble acristalamiento

La carpintería de madera dotada de doble acristalamiento existente hoy en día en el parque edificatorio, suele corresponder con marcos de media y de alta calidad, salvo intervenciones realizadas sobre marcos antiguos que corresponderían con la situación presentada en el apartado 4.2.5.1.

Normalmente, corresponden con sistemas de apertura abatibles y/o oscilobatientes, dotados de buenos sistemas de cierre que permiten altas prestaciones en términos de permeabilidad.

La situación más corriente que se puede encontrar es la de marcos de madera dotados de doble acristalamiento banal, si bien, como en el caso anterior, cada vez la presencia de estos marcos, conjuntamente con acristalamientos bajo emisivos, es mayor. Estas dos situaciones de partida diferencian las posibilidades de intervención que permiten mejoras en el aislamiento del hueco.

#### 4.2.5.5.1. Carpintería de madera con doble acristalamiento banal

Como en los apartados 4.2.5.3.1 y 4.2.5.4.1, la intervención más sencilla, fácil, rápida y económica es la renovación de los acristalamientos, procediendo a su cambio por otros dotados de vidrio bajo emisivo. Esta operación puede aprovecharse para instalar, dentro de los límites mencionados, el doble acristalamiento con la mayor cámara que permita el alojamiento en el marco.



**Foto 19.** Carpintería de madera con doble acristalamiento banal.

Las ganancias aportadas por el cambio de acristalamiento son las mismas que están recogidas en las Tablas 2, 3 y 11, entre otras, si bien su influencia sobre el conjunto del aislamiento del hueco es diferente en función del % de marco y de la U del material del mismo.

Es importante señalar que la mejora obtenida por la incorporación de vidrio de baja emisividad es notablemente superior a la alcanzada por aumento de la cámara, Fig. 1.

Como en casos anteriores, las intervenciones posibles para aportar mejoras térmicas se muestran en la Tabla 15.

**TABLA 15.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	100	0
1	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	97	3
2	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	97	3
3	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	94	6
4	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	94	6
5	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	90	10
6	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	87	13
7	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	84	16
8	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	81	19
9	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	77	23
10	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	74	26
11	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	71	29
12	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	61	39
13	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	55	45

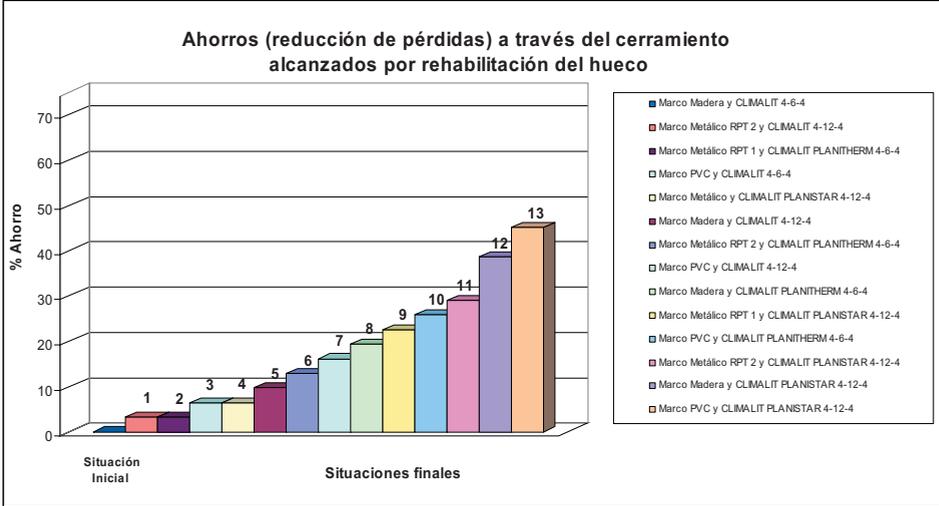
**NOTAS:** Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.

Si los marcos están en buenas condiciones, la sustitución de los dobles acristalamientos banales por otros de aislamiento térmico reforzado supone mejoras entre un 10% y un 20% en su capacidad aislante, en función de la cámara.



**Figura 18.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.5.2. Carpintería de madera con doble acristalamiento bajo emisivo

La situación presentada en este apartado es paralela a la de los apartados 4.2.5.3.1 y 4.2.5.4.1, si bien es cierto que, normalmente, los marcos de madera ofrecen mayores posibilidades a la hora de aumentar la capacidad del galce. Si esto es posible, la intervención es económica, limpia y rápida, procediendo a la instalación de un doble acristalamiento con vidrio bajo emisivo de mejores prestaciones que el instalado.

Dadas las prestaciones de este tipo de carpinterías cuando se encuentran en buen estado, será necesario valorar muy finamente los beneficios logrados por la intervención. Puede decirse que, para un estado normal de conservación de los marcos, es una situación térmicamente buena. Su mejora estará justificada en aquellas regiones donde la climatología, en régimen de invierno, así lo aconseje.

Aunque los valores genéricos de la transmitancia térmica de los marcos de madera se ven mejorados por los valores genéricos del PVC, los productos existentes en el mercado pueden superponerse para diferentes series de estos dos materiales.



**Foto 20.** Carpintería de madera con doble acristalamiento bajo emisivo. SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR.

Por otra parte, las soluciones finales que se adopten deberán contemplar la instalación de vidrio bajo emisivo tipo SGG PLANITHERM o SGG PLANISTAR para alcanzar mejoras en el resultado final.

A continuación, se recogen algunas de las intervenciones y las mejoras térmicas que aportan en las prestaciones del hueco.

**TABLA 16.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

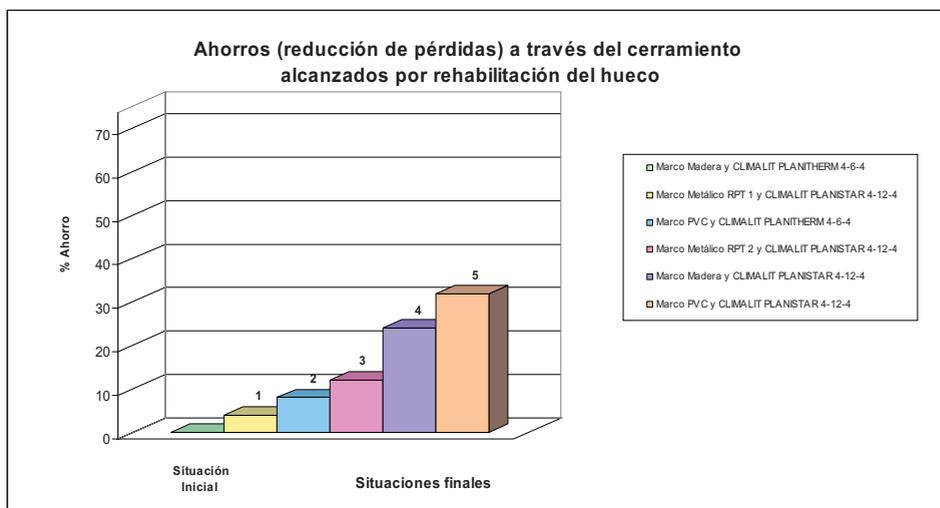
Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	100	0
1	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	96	4
2	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	92	8
3	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	88	12
4	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	76	24
5	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	68	32

NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Figura 19.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.6. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento

Las carpinterías de PVC, aunque están presentes en el mercado desde hace muchos años, han evolucionado significativamente y, hoy en día, ofrecen prestaciones y calidades muy superiores a las de sus inicios. En el mercado coexisten diferentes sistemas, entre los que se pueden diferenciar los de dos y tres cámaras. Como solución de rehabilitación térmica se consideran únicamente las últimas, ya que presentan un mejor comportamiento térmico.



**Foto 21.** Carpintería PVC con doble acristalamiento banal.

Independientemente de las variantes estéticas, suelen corresponder, como en el caso de las metálicas con RPT, a cerramientos dotados de doble acristalamiento banal o dotados de vidrios de baja emisividad.

Dentro de los valores genéricos de transmitancia térmica, según UNE-EN 10077 de los marcos de PVC, son los más reducidos. En consecuencia, en la solución con este tipo de cerramientos sólo tiene sentido considerar la posible mejora del acristalamiento instalado.

#### **4.2.5.6.1. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento banal**

La única posibilidad de mejora real en este tipo de cerramiento pasa por la sustitución del doble acristalamiento banal por otro que incorpore el vidrio de baja emisividad, Fig. 1. Vuelve a presentarse en este caso una solución económica, rápida y eficiente.

El aumento de la cámara no suele ser fácil, pero tampoco imposible, ya que determinados sistemas permiten la modificación de la anchura del galce mediante cambio de los junquillos. Sin embargo, la ganancia proporcionada por este tipo de intervención se ve muy limitada, lográndose mejoras en torno al 10% en la transmitancia térmica del hueco.

Las mejoras aportadas serán función del acristalamiento de partida y de la situación final, pudiendo tomarse los valores de referencia indicados en el apartado 4.2.5.3. y, posteriormente, aplicarlos al marco en estudio.

A continuación, se muestran algunas de las intervenciones que aportan mejoras en las prestaciones térmicas. Queda de manifiesto que el cambio de marco con vidrios de alto aislamiento, aunque produce mejoras, no es adecuado. La sustitución de un doble acristalamiento banal por un doble acristalameinto dotado de vidrio de baja emisividad y la misma cámara, puede llegar a suponer una mejora entre el 21% y el 30% en la U del hueco respecto a la situación de partida.

**TABLA 17.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	100	0
1	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	100	0
2	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	97	3
3	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	93	7
4	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	90	10
5	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	86	14
6	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	83	17
7	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	79	21
8	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	76	24
9	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	66	34
10	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	59	41

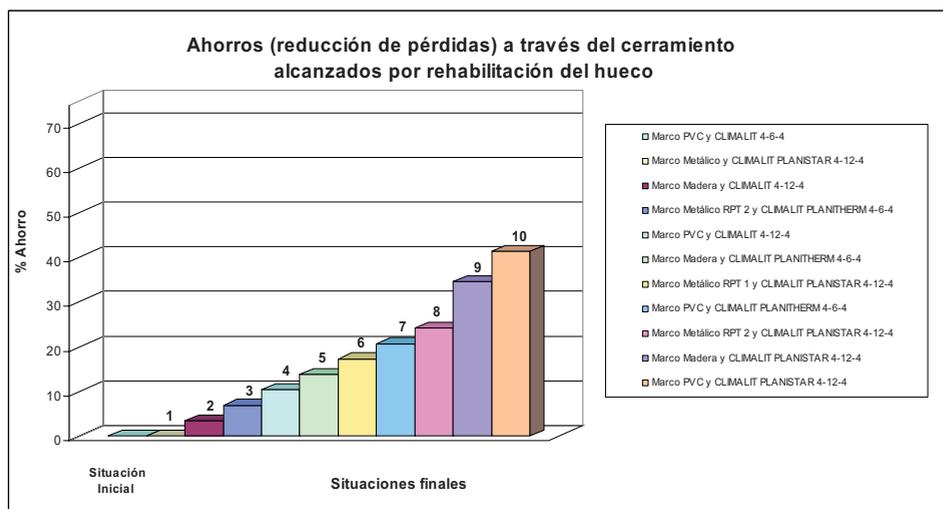
**NOTAS:** Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.

Sólo el paso de la situación inicial a la situación 7, o de la situación 1 a la situación 12 tienen sentido. No es necesario proceder a ninguna modificación, salvo el cambio del acristalamiento. Cuando sea posible modificar el espesor total del acristalamiento, la intervención que maximiza la reducción de U del hueco es el paso de la situación inicial a la situación 12. El resto de mejoras que conllevan el cambio de marco y proporcionan mejoras intermedias, se exponen a título informativo pero carecen de sentido.



**Figura 20.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

#### 4.2.5.6.2. Carpintería de PVC de 3 cámaras y doble acristalamiento bajo emisivo

Hoy por hoy, y dados los valores de transmitancia térmica de los marcos y su capacidad para alojar espesores elevados de cámara, las carpinterías de PVC de tres cámaras dotadas de doble acristalamiento que incluya vidrio de baja emisividad, constituyen los cerramientos con mejor comportamiento térmico, sin descartar series de perfiles de otros materiales que presenten igual o mejor U.

Por tanto, no son objeto de esta Guía en términos de punto de partida de la rehabilitación, sino como una de las posibles situaciones finales.

Únicamente es posible analizar la mejora obtenida por aumento de la cámara en el doble acristalamiento bajo emisivo. Como referencia, se presenta el caso de pasar de un cerramiento de PVC con acristalamiento SGG CLIMALIT con PLANITHERM 4/6/4, al mismo marco con un acristalamiento SGG CLIMALIT con PLANISTAR 4/12/4, obteniendo una reducción de la transmitancia térmica del hueco del 32%.



Foto 22. Carpintería PVC con doble acristalamiento bajo emisivo.

**TABLA 18.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

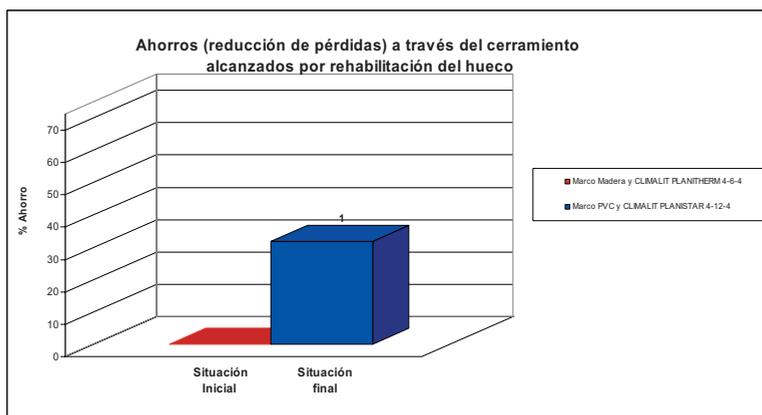
Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	(*) Pérdidas Energéticas Relativas (%)	(**) Ahorro (%)
Inicial	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	100	0
1	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	68	32

**NOTAS:** Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

(\*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

(\*\*) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas a través del cerramiento) logrados respecto a la situación inicial.



**Figura 21.** Ahorro / Reducción de pérdidas a través del hueco respecto a la situación inicial.

A modo de resumen de lo indicado, se muestran las Tablas 19 y 20.

La Tabla 19 recoge todas las situaciones tratadas, variando marco y acristalamiento, estableciendo, para cada una de ellas, el valor de transmitancia térmica del hueco  $U_H$ , siempre para un porcentaje de carpintería del 30% y un 70% de acristalamiento. Las diferentes situaciones están ordenadas en función de las pérdidas posibles a través del hueco y numeradas según la eficiencia que ofrecen desde el punto de vista del aislamiento térmico.

La Tabla 20 resume los ahorros que, como reducción de pérdidas posibles a través del hueco, pueden obtenerse al mejorar el aislamiento térmico mediante rehabilitación de los cerramientos. Desde una situación de partida dada, se obtiene el % de ahorro, entendiendo como tal la reducción de la transmitancia térmica del hueco, es decir, las pérdidas potenciales a través del mismo. Todas las situaciones finales son posibles y mejoran la eficiencia térmica de la situación de partida, si bien existen casos en los que la sustitución del cerramiento completo se realiza por otro en el que alguno de los elementos empeora y el otro mejora significativamente, logrando un conjunto con menor transmitancia térmica. Esto sólo puede verse justificado por restricciones económicas a la hora de la ejecución de la rehabilitación.

**TABLA 19.** Porcentajes de ahorro, reducción de pérdidas, a través del hueco respecto al cerramiento de marco metálico y vidrio monolítico.

Situación	Posición de Eficiencia	Marco	Acristalamiento	Cámara (mm)	U <sub>H</sub>
1	21	Metálica	Vidrio monolítico	-	5,7
2	20	Metálica RPT 1	Vidrio monolítico	-	5,2
3	19	Metálica RPT 2	Vidrio monolítico	-	5
4	18	Madera	Vidrio monolítico	-	4,7
5	17	Metálica	SGG CLIMALIT 4/6/4	6	4
6	16	Metálica	SGG CLIMALIT 4/12/4	12	3,7
7	15	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/6/4	6	3,5
8	15	Metálica	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	6	3,5
9	14	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/6/4	6	3,3
10	13	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT 4/12/4	12	3,2
11	12	Madera	SGG CLIMALIT 4/6/4	6	3,1
12	11	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT 4/12/4	12	3
13	11	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	6	3
14	10	Metálica	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	12	2,9
15	10	PVC	SGG CLIMALIT 4/6/4	6	2,9
16	9	Madera	SGG CLIMALIT 4/12/4	12	2,8
17	8	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	6	2,7
18	7	PVC	SGG CLIMALIT 4/12/4	12	2,6
19	6	Madera	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	6	2,5
20	5	Metálica RPT 1	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	12	2,4
21	4	PVC	SGG CLIMALIT PLANITHERM 4/6/4	6	2,3
22	3	Metálica RPT 2	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	12	2,2
23	2	Madera	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	12	1,9
24	1	PVC	SGG CLIMALIT PLANISTAR 4/12/4	12	1,7

NOTAS: Cálculos realizados para cerramientos constituidos por 30% de marco y 70% de acristalamiento.

SGG PLANITHERM y SGG PLANISTAR son vidrios de baja emisividad. Carpinterías según Tabla 1.

**TABLA 20.** Porcentaje de ahorros (reducción de pérdidas) a través del hueco al pasar de una situación inicial a una situación final de hueco.

		Situación final																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Situación inicial	1	0	9	12	18	30	35	39	39	42	44	46	47	47	49	49	51	53	54	56	58	60	61	67	70
	2		0	4	10	23	29	33	33	37	38	40	42	42	44	44	46	48	50	52	54	56	58	63	67
	3			0	6	20	26	30	30	34	36	38	40	40	42	42	44	46	48	50	52	54	56	62	66
	4				0	15	21	26	26	30	32	34	36	36	38	38	40	43	45	47	49	51	53	60	64
	5					0	8	13	13	18	20	23	25	25	28	28	30	33	35	38	40	43	45	53	58
	6						0	5	5	11	14	16	19	19	22	22	24	27	30	32	35	38	41	49	54
	7							0	0	6	9	11	14	14	17	17	20	23	26	29	31	34	37	46	51
	8								0	6	9	11	14	14	17	17	20	23	26	29	31	34	37	46	51
	9									0	3	6	9	9	12	12	15	18	21	24	27	30	33	42	48
	10										0	3	6	6	9	9	13	16	19	22	25	28	31	41	47
	11											0	3	3	6	6	10	13	16	19	23	26	29	39	45
	12												0	0	3	3	7	10	13	17	20	23	27	37	43
	13													0	3	3	7	10	13	17	20	23	27	37	43
	14														0	0	3	7	10	14	17	21	24	34	41
	15															0	3	7	10	14	17	21	24	34	41
	16																0	4	7	11	14	18	21	32	39
	17																	0	4	7	11	15	19	30	37
	18																		0	4	8	12	15	27	35
	19																			0	4	8	12	24	32
	20																				0	4	8	21	29
	21																					0	4	17	26
	22																						0	14	23
	23																							0	11
	24																								0

Ejemplo:  
 Situación inicial 6:  
 Carpintería metálica con CLAAMLIT 4/12/4  
 Situación final 14:  
 Carpintería metálica con CLIMALIT con PLANISTAR 4/12/4  
 Solo se modifica el acristalamiento  
 Reducción de pérdidas por el hueco (reducción de  $U_{ij}$ ) 21,6 %

## 4.2.6. Elección del acristalamiento

Para elegir correctamente el acristalamiento más adecuado, es necesario valorar las necesidades tanto en régimen de invierno como en régimen de verano. Hay que tener en cuenta que, en verano, con aire acondicionado en el interior y calor en el exterior, el valor de la transmitancia térmica juega un papel muy importante.

Del mismo modo, el factor solar es fundamental para limitar las entradas de energía no deseada en aquellos cerramientos expuestos al sol.

Se debe tener en cuenta que, al incorporar doble acristalamiento con dos vidrios como mínimo, siempre es posible combinar vidrios de distintas funcionalidades y prestaciones: seguridad, acústica, térmica, bajo mantenimiento, etc. Existen composiciones de SGG CLIMALIT para dar solución a múltiples situaciones combinando las funciones anteriores en distintos grados.

En el cerramiento de todo hueco acristalado, hay que tener en cuenta parámetros específicos que determinan la instalación y que permiten establecer las características térmicas. Algunos de estos parámetros son: el vidrio, la orientación,

las dimensiones, los espesores mínimos, la partición de huecos, formas, carpintería a instalar, los sistemas de apertura y cierre, la ventilación interior, la presencia de sombras arrojadas, los requisitos normativos (en particular los requisitos de seguridad de uso), etc.

Una vez se han definido las necesidades, es conveniente que un profesional de la ventana visite la instalación para estudiar las posibilidades reales de acristalamiento. A fin de cuentas, será el instalador quien realice el montaje de la carpintería y el vidrio.

#### 4.2.6.1. Composiciones recomendadas

En la Tabla 21, cuando se indica el nivel de satisfacción de una prestación con los símbolos “-“ o “\*”, no indica que no cumpla en un grado aceptable la función correspondiente, sino una escala comparativa con respecto a otras composiciones en las que también se valora el espesor total del vidrio instalado.

**TABLA 21.** Principales prestaciones de los acristalamientos.

ACRISTALAMIENTO	AISLAMIENTO TÉRMICO	CONTROL SOLAR	ESPESOR (mm)
SGG PLANILUX 4 mm Vidrio básico tradicional	-	-	4
SGG CLIMALIT Composición 4/6/4	*	-	14
SGG CLIMALIT con SGG PLANITHERM Composición 4/6/4	**	**	14
SGG CLIMALIT con SGG PLANITHERM Composición 6/6/6	**	**	18
SGG CLIMALIT con SGG PLANITHERM Composición 6/12/6	***	**	24
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR Composición 4/12/4	***	***	20
SGG CLIMALIT con SGG PLANISTAR Composición 6/12/6	***	***	24

**NOTAS:** Para acristalamientos que incorporen SGG PLANITHERM o SGG PLANISTAR se considera la capa en cara 2.

El posicionamiento de la capa en cara 3, cuando no existe contraindicación, conlleva una reducción de las prestaciones de Control Solar. Esta modificación puede ser aconsejable en ubicaciones de veranos frescos y con inviernos soleados.

Otras combinaciones, con niveles intermedios y más exigentes que \*\*\* en las prestaciones recogidas en la tabla, pueden alcanzarse combinando algunas composiciones y vidrios específicos. Las posibilidades de combinación de diferentes vidrios son muy amplias.

Los espesores y composiciones mínimos deberán determinarse por un profesional en cada caso, en función de las características de la instalación: dimensiones del hueco, carpintería, cargas de viento y nieve, etc.

#### **4.2.6.2. Recomendaciones para instalar un acristalamiento sin problemas**

Para la instalación de un acristalamiento, se recomienda seguir las siguientes pautas:

1. Dirigirse al instalador, plantearle sus necesidades y las posibilidades que usted ha seleccionado en función de las informaciones de esta Guía. Un cliente informado sabe lo que quiere y facilita el trabajo del profesional.
2. Solicitar al instalador folletos informativos del producto a instalar. El fabricante de SGG CLIMALIT los proporcionará gustosamente al instalador si éste no dispone de ellos.
3. Dejarse aconsejar por el instalador y preguntar por otras posibilidades. Hay múltiples composiciones que pueden ser aconsejables en cada caso. Consultar a varios suministradores.
4. Solicitar varios presupuestos formales que recojan el tipo de instalación a realizar, especificando los materiales y sus calidades.
5. Si ha depositado su confianza en SGG CLIMALIT, solicitar que conste en presupuesto "doble acristalamiento SGG CLIMALIT" especificando la composición solicitada.
6. Antes de la instalación, verificar que los materiales que se van a instalar son los solicitados conforme al presupuesto. Solicitar la documentación y certificados de marcos y acristalamientos.
7. Estar presente durante la instalación y preguntar cualquier aspecto que le llame la atención. Verificar la ejecución del cerramiento, los sellados del

acristalamiento y las regulaciones de los herrajes. Verificar los sistemas de cierre y apertura, así como el aplomado de las hojas practicables.

8. Las etiquetas adheridas a los vidrios suelen indicar el fabricante y la composición. Normalmente, son necesarias a la hora de realizar reclamaciones o reposiciones en virtud de las garantías. Conservar todas o, en su defecto, algunas.
9. Solicitar que se limpien los cristales y se inspeccionen antes de ser instalados. Cuanto más tarde se ataca un problema, más dificultad plantea su solución. A nadie le gusta trabajar dos veces, y esto puede encarecer la instalación.
10. En los días siguientes a la instalación, inspeccionar los cerramientos y, ante cualquier problema, dirijase al instalador para solucionarlos cuanto antes.

### 4.3. Ventajas de la rehabilitación de huecos y recomendaciones

Cualquier ocasión puede aprovecharse para mejorar el aislamiento térmico de los huecos, siendo una de las soluciones más eficaces, tanto por los beneficios alcanzados como por la facilidad y rapidez de la actuación.

El coste de la operación de rehabilitación es muy variable en función de los elementos que se vean afectados. Aquellos casos en los que, únicamente, se procede a la sustitución de un acristalamiento por otro de mayores prestaciones, son soluciones muy económicas y de aplicación muy sencilla. Tanto como lo es reponer un acristalamiento roto.

Las principales ventajas de mejora de la eficiencia energética de la envolvente a través de la rehabilitación de huecos mediante las soluciones aportadas pueden ser, entre otras, las siguientes:

- 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.

- ✿ Reducción del consumo energético del edificio en verano al reducir el factor solar del cerramiento.
- ✿ Mejora del confort térmico a igualdad de consumo.
- ✿ Ayuda a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente.
- ✿ Reducción de las entradas no deseadas de aire a través del cerramiento.
- ✿ En viviendas pueden realizarse intervenciones parciales, aplicándose exclusivamente a huecos y orientaciones más desfavorables (orientación N).
- ✿ No es imprescindible el consentimiento de toda la comunidad.
- ✿ 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 fraccionarse.
- ✿ Esta intervención puede ser limpia y rápida en función de los elementos afectados. No es imprescindible desalojar el edificio, permitiendo la habitabilidad durante la ejecución de los trabajos.
- ✿ La 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 aprovecharse para recuperar la uniformidad de estética de las fachadas de un edificio, así como posibilitar el cambio de aspecto de la fachada, "rejuveneciendo" su aspecto y contribuyendo a la mejora del entorno.
- ✿ No se precisan sistemas de andamiaje que invadan la vía pública.
- ✿ Es aplicable a cualquier tipo de fachada (incluso fachadas de ladrillo visto o históricas).
- ✿ Los materiales empleados son reciclables.

Cuando se proyecta una rehabilitación térmica de los huecos de una edificación se recomienda:

- Informarse en los correspondientes organismos sobre ayudas y subvenciones que la Administración pone a disposición de los usuarios para la rehabilitación (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid o IDAE).
- Instalar vidrios bajo emisivos antes que aumentar el espesor de la cámara, ya que la reducción de U es mucho mayor y se evitan dobles imágenes por reflexión. Los vidrios de baja emisividad son siempre favorables en términos de reducción de transmitancia térmica, ofreciendo mayor aislamiento frente a diferencia de temperaturas. La orientación N es siempre favorable a este tipo de acristalamiento, ya que no recibe radiación solar directa.
- En la instalación de la doble ventana es importante prever el mantenimiento de la misma y, en consecuencia, las dimensiones y sistemas instalados (CTE DB-SU: Documento Básico de Seguridad de uso).
- Aprovechar la ocasión para valorar otras prestaciones de los cerramientos, como son: acústica, control solar, seguridad, mantenimiento, etc.
- La instalación de una doble ventana puede ser una solución tan válida como la equivalente de las mencionadas en esta Guía, permitiendo acometer la mejora sin necesidad de modificar los paramentos. En este caso, deben valorarse las necesidades de acristalamientos específicos en función de la orientación de los mismos y la presencia de persianas entre las dos ventanas.
- Cuando esté previsto realizar mejoras de mantenimiento en la vivienda, tales como renovación de alicatados, enlucidos o pinturas, valorar la oportunidad de proceder al cambio de los cerramientos de los huecos con ocasión de los trabajos.
- Cualquier actuación de rehabilitación térmica sobre la parte ciega de la envolvente del edificio (muros de fachada) debe considerar la actuación simultánea sobre los huecos.
- Si se considera la actuación de incorporar terrazas a la vivienda, es una ocasión inmejorable para dotarlas del aislamiento térmico oportuno, tanto en los marcos y en los paneles opacos como en los acristalamientos. El sobrecoste será, únicamente, el debido a la mejora de materiales, mientras que posteriores actuaciones de mejora conllevarán costes de derribo y nuevas instalaciones adicionales a las ya realizadas.

- ✿ Asesorarse con profesionales especializados, comparar distintas soluciones de marco y acristalamiento, y solicitar la documentación y certificados oportunos.
- ✿ Las soluciones contenidas en esta Guía (vidrios bajo emisivos, carpinterías de RPT, diferentes sistemas de apertura, etc.) son soluciones habituales en el mercado y disponibles en los plazos normales de suministro. Solicitar información a diferentes proveedores. En caso de duda, contactar con los fabricantes.
- ✿ Siempre es aconsejable optar por productos con marcas de calidad voluntarias que avalan la calidad del producto por terceras partes, así como ensayos sobre el producto y procedimientos de fabricación conforme con la normativa vigente.

## 4.4. Glosario

**Coefficiente U o Transmitancia térmica ( $W/m^2 K$ ):** expresa la transferencia térmica o flujo de calor por conducción, convección y radiación, a través de una pared que separa dos ambientes a diferente temperatura. Representa la cantidad de energía o calor que atraviesa un metro cuadrado de vidrio en la unidad de tiempo, en unas condiciones de temperaturas interior y exterior definidas. En el rango de temperaturas climatológicas normales, puede considerarse constante.

**Emisividad:** es una característica de la superficie de los cuerpos. Cuanto más baja es la emisividad, menor es la transferencia de calor por radiación. La emisividad normal del vidrio es de 0,89 y, para algunos vidrios que están recubiertos de una capa bajo emisiva, el valor puede ser inferior a 0,10.

**Factor Solar g:** se define como la relación entre la energía total que entra en el local a través de dicho acristalamiento y la energía solar incidente. Esta energía total es la suma de la energía solar que entra por transmisión directa y la energía cedida por el acristalamiento al espacio interior, tras su calentamiento por absorción energética.

**Galce:** espacio de los perfiles destinado al alojamiento de los paneles ciegos o acristalados. Sus dimensiones deben permitir el correcto sellado del acristalamiento con la carpintería por ambas caras del mismo y la correcta instalación de calzos.

**Calzos:** elementos de apoyo y sujeción que garantizan y mantienen el correcto posicionamiento del panel en el marco o bastidor.

**Sellado:** pueden considerarse dos tipos de sellado: el sellado perimetral de los dobles acristalamientos y el sellado de marco-acristalamiento. El primero hace referencia a la barrera de estanqueidad de la cámara de aire y puede estar ejecutado con diferentes materiales. El sellado de marco-acristalamiento debe realizarse tanto por el interior como por el exterior del cerramiento, y es fundamental para una buena durabilidad de los dobles acristalamientos.

## Bibliografía

- ✿ Código Técnico de la Edificación.
- ✿ Manual del Vidrio (2001), Saint-Gobain Cristalería, S.A.
- ✿ Manual de producto Ventanas (2005) (AENOR).
- ✿ Manual de producto Fachadas Ligeras (2006) (AENOR).
- ✿ UNE-EN-ISO 10077 Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Parte 1: Método simplificado. (ISO 10077-1:2000).
- ✿ Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, BOE nº 254 de 23 de octubre 2007.

# Láminas de ventana para mejorar la eficiencia energética en edificios

## 5.1. Introducción

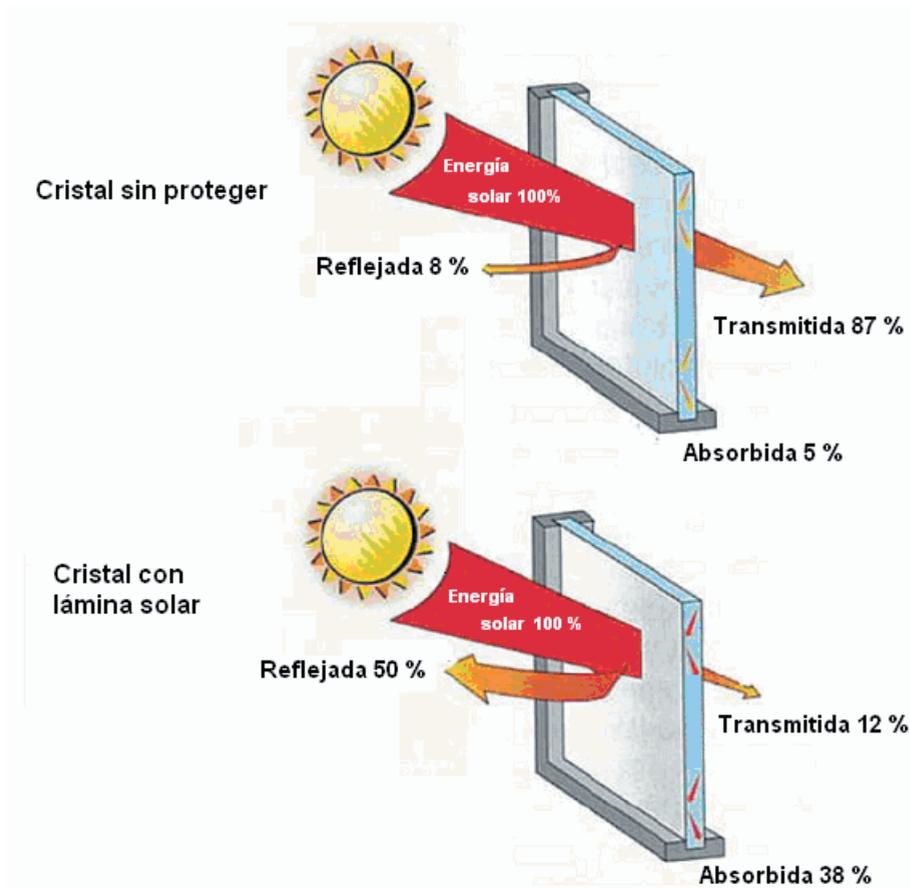
Las láminas de ventana se caracterizan por ser una fina lámina transparente y adhesiva aplicable a ventanas y vidrios en edificios existentes, cuya finalidad es modificar y mejorar las propiedades del vidrio/cristal sin necesidad de cambiar la ventana o la estructura del edificio. Las propiedades que se pueden modificar son el control solar, la seguridad, la privacidad, el aislamiento, el filtrado UV, la reducción de la intensidad y el envejecimiento de materiales.

Las láminas de ventana pueden absorber y reflejar el 80% del calor que viene del exterior, produciendo ahorros energéticos significativos en edificios con sistemas de refrigeración.

Asimismo, pueden reducir alternativamente las pérdidas de calor del edificio a través del vidrio.



Foto 1. Lámina de ventana.



**Figura 5.1.** Principio de funcionamiento de una lámina de ventana.

## 5.2. Principios de funcionamiento de las láminas de ventana

Las láminas de ventana pueden considerarse como una tecnología, estando compuestas por diferentes capas que les permiten transformarse en productos de alta calidad y gran durabilidad.

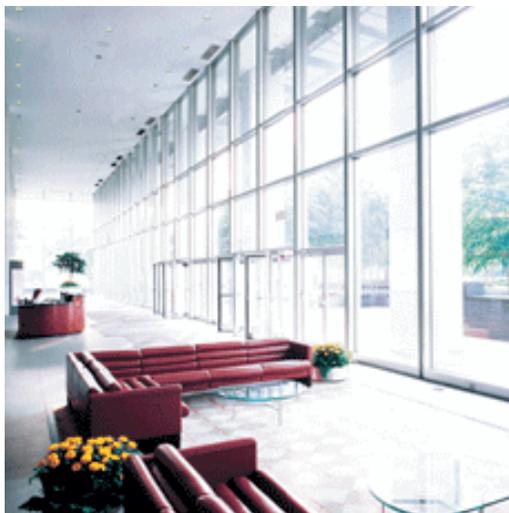
Las láminas de ventana reflejan, absorben y transmiten diferentes partes del espectro solar tales como el color, la transmisión UV, la transmisión de infrarrojos, el deslumbramiento, la reflectividad y la emisividad de manera que pueden controlar el aspecto y el rendimiento del vidrio.

Los componentes de las láminas de ventana son: capa de protección desechable, adhesivos de alta calidad y baja distorsión, poliéster laminado de alta calidad, recubrimiento protector antiarañazos, así como tintes, partículas metálicas, aleaciones e inhibidores de radiación UV.



**Foto 2.** Protector antiarañazos.

Todos los componentes son de alta calidad óptica para poder permitir que la visión a través del cristal y la lámina no esté distorsionada.



**Foto 3.** Instalación de láminas de ventana.

## 5.3. Beneficios más importantes de las láminas de ventana

### **Aumentar el confort y la eficiencia energética en los edificios**

Determinadas láminas de ventana se fabrican con la intención de complementar distintos sistemas de vidrio en diferentes puntos geográficos, de manera que permiten un uso más racionalizado de los sistemas de refrigeración y calefacción en edificios, mediante la reducción del calor solar o la reducción de la pérdida de calor a través de las ventanas.

Mediante el uso de esta tecnología de control solar, se puede conseguir una uniformidad de la temperatura en edificios, mejorando la eficiencia de la energía utilizada y el confort de los ocupantes, mediante la reducción de las puntas de la demanda energética.

### **Seguridad**

Las láminas de ventana han sido muy utilizadas para protegerse de los cristales rotos durante los vendavales y contra los ataques deliberados al vidrio. Además, Gobiernos y Organizaciones Comerciales los recomiendan contra el destrozo del vidrio tras una explosión.

Las láminas de ventana también se utilizan para proteger a la gente contra lesiones producidas por roturas accidentales en viviendas, escuelas y edificios públicos.

### **Protección, privacidad y apariencia**

Las láminas de ventana pueden proporcionar una reducción de hasta un 99,9% en la transmisión de radiaciones UV dañinas, reduciendo el envejecimiento de los componentes de muebles, de la pintura, etc. Las láminas de ventana pueden proporcionar una reducción del deslumbramiento en un 95% a través del vidrio, así como mejorar la privacidad.

Además, esta tecnología se puede aplicar a los edificios por motivos decorativos. También pueden contribuir a reducir los daños causados por la luz ultravioleta, la luz visible y la energía infrarroja.

## 5.4. Papel de las láminas de ventana en el Plan de Acción sobre Eficiencia Energética de la Comisión Europea

El sector de la edificación representa el 40% del consumo de energía en la UE y, al mismo tiempo, ofrece los mayores potenciales de ahorro energético. Además, el número de edificios existentes es mayor que el de nueva construcción con lo que el potencial de ahorro energético es mayor en el sector de rehabilitación, que modificar los requisitos para edificaciones de nueva construcción.

La reforma de la fachada de vidrio a través de las láminas de ventana, es una solución energéticamente eficiente además de económica, destinada a mejorar el rendimiento energético de edificaciones existentes, contribuyendo a reducir energía de conformidad con el Plan de Acción sobre Eficiencia Energética presentado por la Comisión Europea y debatido en el Parlamento europeo.



Foto 4. Aplicación de las láminas de ventana.

## 5.5. Mejora de la eficiencia energética de un edificio y contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante las láminas de ventana

Las láminas de ventana pueden reducir la intensidad energética de los sistemas de refrigeración y calefacción mediante la reducción del calor solar excesivo, así como la reducción de pérdidas de calor a través del sistema de vidrio, manteniendo la temperatura de los edificios estables.

A medida que el número de edificios con sistemas de refrigeración continúa creciendo a lo largo de Europa<sup>1</sup>, la demanda de energía en edificios sigue aumentando. Los edificios con sistemas de refrigeración aparecen como fuente de crecimiento dentro de este aumento de demanda energética, ya que normalmente, consumen más energía que los sistemas de calefacción.

Las cargas térmicas que presentan los edificios poseedores de sistemas de aire acondicionado, pueden reducirse mediante el uso de esta tecnología, reduciéndose en paralelo los costes energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, cuando se necesite que se reemplace el sistema de refrigeración en un edificio, el tamaño del sistema de refrigeración se podría disminuir, generando una menor demanda energética cuando este último esté operativo.

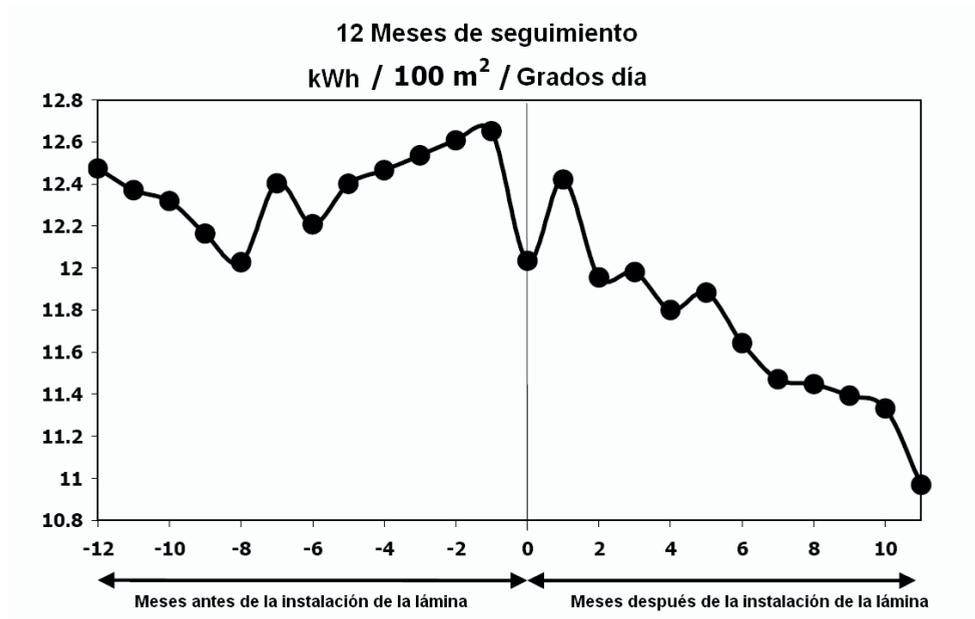
Hay programas informáticos que analizan la demanda y que determinan el rendimiento de las láminas, el vidrio, la localización y pueden predecir de manera razonable el rendimiento esperado sobre energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

El siguiente ejemplo, representa los resultados tras la reforma de un edificio comercial de tamaño medio en el Norte de los Estados Unidos, utilizando el "enfoque de edificio entero" y llevado a cabo por una compañía de servicios energéticos independiente. El enfoque de edificio entero, utiliza el consumo de energía para todo el edificio antes y después de instalar láminas y tiene en cuenta

---

<sup>1</sup> De 1990 a 2000, Alemania tuvo un aumento del 250% en área construida acondicionada e incluso el Reino Unido tuvo un aumento del 60%.

el efecto sobre el uso de la energía mediante variaciones en el tiempo y la ocupación del edificio.



Resultados del estudio	
<b>Sin lámina de ventana</b>	2 153 000 kWh
<b>Con lámina de ventana</b>	1 963 540 kWh
<b>Ahorros energéticos</b>	189 460 kWh = 8,8%
<b>Recuperación de la inversión</b>	2,65 años

## 5.6. Tiempo de recuperación de la inversión en las láminas de ventana

Los resultados actuales dependen no sólo del tipo de lámina seleccionada, sino también del tipo de vidrio, de las características del edificio, de las sombras que existan en las ventanas generadas por edificios adyacentes y de la localización geográfica. Sin embargo, es posible ahorrar miles de euros al año en costes

energéticos, incluso en climas moderados. El tiempo de recuperación de la inversión puede conseguirse entre 3 y 5 años.

*La Asociación Europea de Láminas de Ventana, EWFA, se creó en el año 2000 y sus miembros son 3M, Bekaert, CP Films, FTI, Madico y Johnson Laminating. Además, cuenta con 18 miembros asociados establecidos en diferentes países europeos. El objetivo de la organización es representar fabricantes y distribuidores con el objetivo de promocionar las láminas de ventana en la UE.*

(Fuente: EWFA, Asociación Europea de Láminas de Ventana).

## 6.1. Introducción

Desde siempre, en la construcción, en general, uno de los conceptos más importantes y a tener en cuenta es la impermeabilización. Sobre la impermeabilización descansa el éxito de cualquier proyecto constructivo en la edificación. A efectos de costes, sólo supone un 2% de cualquier edificio, pero la distribución de los daños de las reparaciones muestran que el 26% del importe total se atribuye a la estanqueidad de la cubierta.

Por otro lado, es también evidente que existe mayor conciencia tanto desde el punto de vista de diseño, haciendo las cosas bien, como de la evolutiva de los materiales que se utilizan, desde el tradicional sistema con membranas asfálticas, hasta las membranas preconformadas con materiales sintéticos, PVC-p o FPO, los sistemas de aplicación manual tipo estireno-acrílicos o las membranas técnicas de proyección *in situ* a base de poliuretanos, poliureas o híbridos.

Asimismo, la evolutiva de la construcción y el empleo de materiales tradicionales y no tradicionales que intervienen en los procesos constructivos, está requiriendo, cada vez más, un control y una aceptación conforme a parámetros de no contaminación y respeto con el medio ambiente. Este comportamiento de los materiales se tiene que vislumbrar en los procesos de fabricación, en la vida útil y en la posibilidad de reciclaje. Por supuesto, esto también afecta al diseño, apareciendo conceptos como cubiertas vegetales, verdes, ecológicas, con lámina de agua, con aislamiento térmico o con aprovechamiento fotovoltaico integrado en la misma membrana preconformada.

Este capítulo intenta dar unas pinceladas sobre la importancia de la impermeabilización y cuáles son los parámetros a tener en cuenta, desde la realización de un proyecto de edificación hasta la puesta en marcha del sistema

constructivo y la entrega de los trabajos, aclarando qué ventajas e inconvenientes tiene cada uno de los sistemas mencionados anteriormente.

Al iniciar un estudio sobre la resolución de problemas de impermeabilización de cubiertas, conviene abordar una serie de cuestiones tales como:

- A) Cualidades de una buena impermeabilización.
- B) Sistemas de impermeabilización.
- C) Normativa.
- D) Cualidades de los materiales.
- E) Mano de obra.

## 6.2. Cualidades de una buena impermeabilización

La primera cualidad que ha de cumplir una buena impermeabilización es, evidentemente, que el material a utilizar tenga capacidad suficiente para impedir que un líquido o un gas lo atraviesen.



Pero, además de dichas funciones, existen otras distintas que, en algunas ocasiones, pueden ser requeridas:

- ✿ Resistencia a atmósferas agresivas.
- ✿ Resistencia al envejecimiento.

- ✿ Resistencia a la fisuración del soporte.
- ✿ Resistencia a los rayos ultravioleta.
- ✿ Resistencia a las algas y a la putrefacción.
- ✿ Resistencia a las raíces.
- ✿ Aislamiento Térmico. Capacidad de ahorro energético.
- ✿ Producción de energía fotovoltaica.

La impermeabilidad es una cualidad intrínseca de un material, mientras que la estanqueidad es una función y el resultado de una o varias operaciones que tienden a oponerse al paso de los líquidos a través de una obra.

Por ello, es importante definir inicialmente los distintos elementos o diferentes capas que componen el sistema, así como su ubicación, además de establecer las condiciones necesarias para llevar a cabo una correcta aplicación.

En un estudio, diseño o proyecto, hay que tener presente la compatibilidad o no entre las diferentes capas o elementos que componen el sistema, además de que cada una de ellas sea la idónea, en cada caso, para la función que tiene asignada o que debe cumplir.

### 6.3. Sistemas de impermeabilización

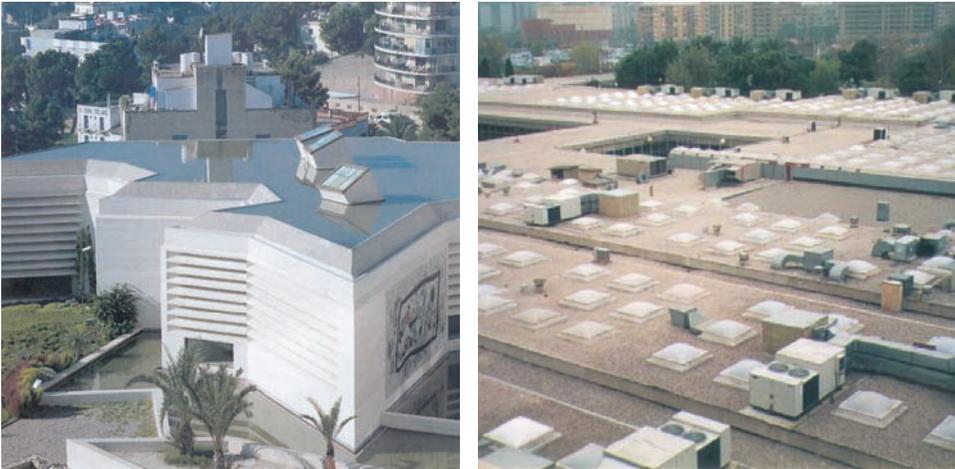
Los sistemas de impermeabilización de cubiertas se pueden dividir, a grandes rasgos, en cuatro partes bien diferenciadas:

- ✿ Cubiertas con protección pesada.
- ✿ Cubiertas con fijación mecánica.
- ✿ Cubiertas con sistema adherido.
- ✿ Cubiertas ajardinadas.

## Cubiertas con protección pesada

Sistema de impermeabilización para cubiertas planas, tanto de nueva construcción como en renovación de cubiertas ya existentes, a utilizar siempre y cuando los elementos de la estructura sobre los que descarga la protección sean capaces de soportar dichas cargas.

Una variante de este tipo de impermeabilización es la cubierta invertida o la conocida con lámina de agua.



**Foto 1.** Cubiertas con protección pesada.

## Cubiertas con fijación mecánica

Sistema de impermeabilización para cubiertas ligeras planas o inclinadas en edificios industriales, pabellones deportivos, depósitos, etc., y, en general, para edificios diseñados con grandes luces. El sistema debe ser estructurado y calculado previamente para obtener la máxima seguridad y confianza en su diseño.



**Foto 2.** Cubiertas con fijación mecánica.

### Cubiertas con sistema adherido

Sistema de impermeabilización para cubiertas que permitan una determinada libertad de diseño, ya que, al ser un sistema liviano, transmite poca carga al soporte, requiriendo, únicamente, que todos los componentes (capas) estén correctamente adheridos a la estructura del soporte.



**Foto 3.** Cubiertas con sistema adherido.

### Cubiertas ajardinadas

Sistema de impermeabilización para cubiertas planas, altamente estéticas, vivas y agradables a la vista, especialmente indicadas para la creación de espacios verdes en zonas residenciales.

También se conocen como cubiertas vegetales, verdes o, incluso, ecológicas (aunque este concepto es discutible, especialmente en ambientes con climatología cálida, por el mantenimiento que exigen).



### 6.4.1. Normativa existente

MÉTODOS DE ENSAYO	DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
Espesor	Anchura
Doblado a bajas temperaturas	Resistencia a la tracción y alargamiento
Envejecimiento artificial acelerado	Resistencia a los productos químicos
Resistencia mecánica a la perc.	Resistencia al desgarró
Comportamiento al calor	Envejecimiento térmico
Comportamiento al fuego	Resistencia a los microorganismos
Adherencia entre capas	Coefficiente de transmisión del vapor de agua

### 6.4.2. Normas

En la actualidad, como norma de obligado cumplimiento existe el Código Técnico de la Edificación con aplicación específica para cubiertas en el Documento Básico HS (Salubridad).

Deberán cumplirse, según lo indicado en este Documento Básico, las directrices generales para cubierta y las instrucciones específicas para puntos singulares, así como las condiciones de dimensionamiento de los elementos de evacuación.

Para el diseño, deben tenerse en cuenta los parámetros especificados en los demás Documentos Básicos de aplicación, como el de Ahorro de Energía.

La Directiva de Productos de la Construcción (89/106/CE) introducirá el cumplimiento de la norma de caracterización de las membranas EN 13956 como preceptiva para el Mercado CE desde el año 2007. Esto modificará los métodos de ensayo y la medición de las propiedades.

### 6.4.3. Normas de apoyo

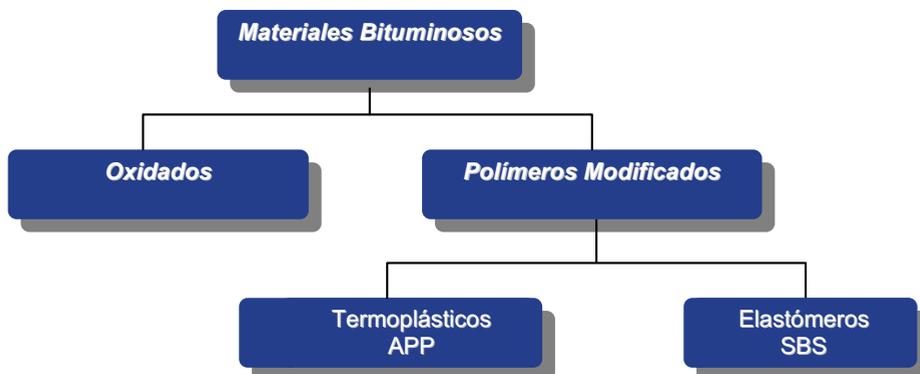
Las normas de apoyo serán las siguientes:

- Documentos básicos del Código Técnico de la Edificación referentes a la Seguridad Estructural “Acciones en la Edificación” y Ahorro Energético.
- Certificado de Calidad Sistemas de Fabricación ISO 9001.
- Certificado de Gestión Medioambiental ISO 14001.
- Ensayos de CEDEX de Caracterización de Membrana.
- Cumplimiento de Normativa Nacional e Internacional (UNE, DIN, SIA, etc.).

## 6.5. Cualidades de los materiales

Como ya se ha mencionado, hoy en día existen multitud de productos de impermeabilización, aunque no siempre se eligen los más adecuados para cada caso. Los productos más tradicionales son los siguientes:

### 1. Las membranas bituminosas



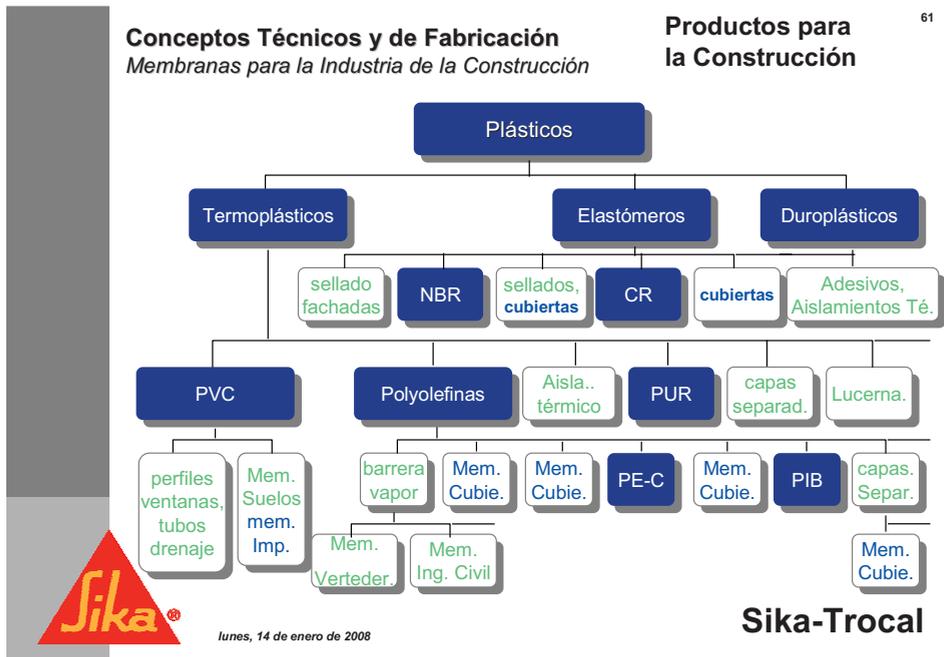
**Figura 2.** Membranas bituminosas.

Es el sistema más empleado por la tradición existente y por volumen de mercado.

Algunas características de las mismas son:

- ✿ Envejecimiento de los materiales asfálticos:
  - ✓ Sin superficie modificada (pizarra, metálica) no resisten UV.
  - ✓ Desaparición de fracciones volátiles.
  - ✓ Ciclos frío- calor.
  - ✓ Ambiente salinos.
  
- ✿ Impermeable al vapor de agua:
  - ✓ No permite "respirar a la cubierta":
    - barrera de vapor:  $\mu > 30.000$
    - $\mu > 16.000 - 17.000$  (PVC)
    - $\mu > 100.000$  (asfalto)
  
- ✿ No resiste a la perforación de raíces.
  
- ✿ Fluencia del material hacia los extremos de la cubierta:
  - ✓ Pérdida de impermeabilización en las limatesas.
  
- ✿ Características mecánicas limitadas:
  - ✓ Resistencia a flexotracción.
  - ✓ Resistencia al punzonamiento.
  
- ✿ Aplicación:
  - ✓ Sistemas multicapa. Aumento de los costes de aplicación.
  - ✓ Aplicación con llama. Peligro de incendio.
  - ✓ Baja resistencia al fuego de las membranas.

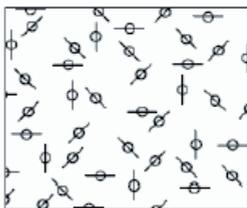
## 2. Membranas preconformadas



**Figura 3.** Membranas preconformadas.

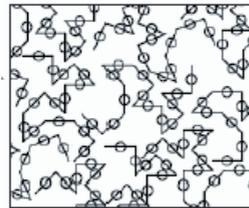
Cuando se habla de membranas sintéticas, o de sintéticos, se pueden clasificar en función de su método de fabricación, de sus aplicaciones, o en función de su estructura molecular.

Teniendo en cuenta esta última clasificación, se entiende por sintéticos aquellos compuestos macromoleculares formados por monómeros. Estos monómeros se enlazan mediante procesos de polimerización, ya sea mediante policondensación o poliadición.



**Figura 4.** Monómero.

→  
**Polimerización**



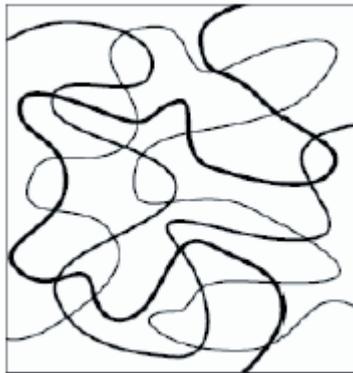
**Figura 5.** Macromolécula.

Según su estructura molecular se clasifican en:

- ✿ Termoplásticos.
- ✿ Elastómeros.
- ✿ Duroplásticos.

### Termoplásticos

Consiste en filamentos de hilos, sin estar realmente enlazada la estructura molecular. Cuando se aplica una fuente de calor, se pueden fundir y moldear. También se pueden reciclar. Dentro de los termoplásticos se encuentran materiales tales como: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS).



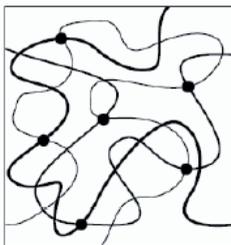
**Figura 6.** Termoplásticos.

Los termoplásticos poseen ventajas como:

1. Fácil de moldear tras la aplicación de calor.
2. Soldadura eficaz y segura, ya que se produce por fusión del propio material (soldadura por aire caliente y soldadura con adhesivo).
3. Amplia gama de tecnologías y productos en función de qué aditivos se incorporen a la formulación.
4. Puede ser reciclado (limpieza, separación y molienda).
5. Excelente comportamiento al envejecimiento y durabilidad en el tiempo.

## Elastómeros

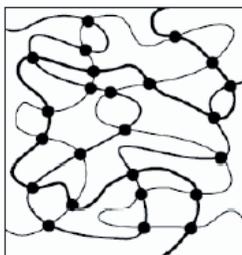
Consiste en una estructura tridimensional cruzada. Cuando se le aplica calor, la cadena molecular se vuelve más blanda, pero no se funde ni se suelda, debido a la existencia de puntos entrelazados. Los elastómeros se unen mediante un proceso de vulcanización o adhesión. Debido a que no se pueden fundir, son estructuras muy difíciles de reciclar. Pertenecen a este grupo el EPDM, caucho-butilo, etc.



**Figura 7.** Elastómeros.

## Duroplásticos

Consiste en una estructura tridimensional cruzada, en rejilla cerrada. Debido a la multitud de puntos de entrecruzamiento, la estructura no permite movimiento. Por lo tanto, es una estructura rígida que no puede moldearse (ni incluso a altas temperaturas). No se puede fundir, ni moldear ni soldar, se une con adhesivo. Son difíciles de reciclar (previa trituración de la estructura). Dentro de este grupo se encuentran el poliéster insaturado (UP) y la espuma rígida de poliuretano (PU).



**Figura 8.** Duroplásticos.

Centrándose en los termoplásticos, y dentro de éstos en los dos más utilizados en la fabricación de membranas sintéticas, se pueden encontrar diferencias tanto

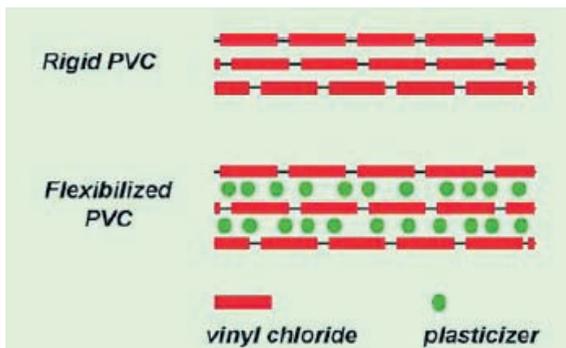
en la fabricación, como en la utilización de las membranas, y en la ecología de las mismas.

Uno de los aspectos ambientales más importantes y beneficiosos de las membranas sintéticas de PVC, radica en el origen de sus principales materias primas e insumos: cloro, eteno (también conocido como etileno) y agua.

El PVC es el único polímero que no procede en su totalidad del petróleo. El cloruro de vinilo, el monómero base del PVC, se obtiene a partir de la sal común en un 57% en peso, y del petróleo en un 43%.

Desde un punto de vista de utilización de recursos, dado que el petróleo es un recurso escaso, el balance del PVC es altamente favorable, apenas corresponde a un 0,3% del petróleo extraído en el mundo (índice muy pequeño, ya que es uno de los 3 plásticos más utilizados).

Se incorporan en la formulación del PVC un 35% de plastificantes (generalmente líquidos), para impartirle propiedades elastoméricas de flexibilidad, elongación y elasticidad. Pueden ser ésteres dibásicos, alifáticos o aromáticos, diésteres glicólicos derivados de ácidos monobásicos, poliésteres lineales, glicéridos epoxidados e hidrocarburos aromáticos de monoésteres, así como hidrocarburos alifáticos clorados. Añadido el plastificante de esta manera, se enlaza a la cadena molecular por los extremos, pero la fuerza del enlace puede ir disminuyendo en presencia de agentes externos tales como betún, poliestireno, etc., que son sustancias incompatibles con el PVC.



**Figura 9.** Incorporación del plastificante en el PVC.

Los plastificantes se clasifican en función de su eficacia, permanencia, flexibilidad a baja temperatura, compatibilidad y poder de solvatación en plastisoles. A mayor polaridad o grado de ramificación, mayor será el poder de solvatación y compatibilidad del plastificante. Para que un plastificante sea efectivo, es muy importante que el plastificante y el polímero posean parámetros de solubilidad similares.

Cuando los plastificantes se formulan con homopolímeros de suspensión, se obtienen compuestos para producción de materiales flexibles. Cuando se combinan con resinas de pasta, dan plastisoles para producción de otros materiales también flexibles, como son las membranas sintéticas.

El proceso de fabricación de las láminas de PVC es un proceso que se realiza en varios pasos:

- ❖ Se introducen los componentes en una mezcladora y se obtiene plastisol, en forma de pasta en estado frío.
- ❖ Se fabrica una prelámina de poco espesor que sirve de soporte para poder realizar la dispersión.
- ❖ Se dispone de una armadura preimpregnada junto con la lámina base, y se aplica el plastisol en varias capas y en estado frío.
- ❖ La lámina formada pasa por un canal de aire caliente donde gelatifica y toma cuerpo.
- ❖ El revestimiento acrílico se aplica en el color deseado y en caliente, sobre la cara externa.
- ❖ Pasa por un proceso de prensado y enfriamiento para, posteriormente, ser empaquetada y paletizada.

Se trata de un método lento pero seguro y de gran calidad, puesto que no se somete a la mezcla al paso de calandras, y, por tanto, la lámina resultante está libre de tensión interna y se obtiene un producto dimensionalmente estable.

Cuando la fabricación de la lámina tiene lugar con calandras, se produce tensión interna, y esto afecta a su memoria plástica, provocando retracciones del 1% de su volumen.

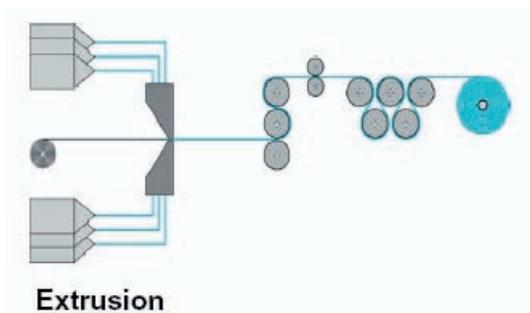


Figura 10. Proceso de fabricación.

Los plastificantes más ampliamente utilizados en la fabricación de membranas sintéticas, son el DINP (ftalato de diisononilo) y el DIDP (ftalato de diisodécilo), que están clasificados por la UE como no peligrosos y su uso actual no plantea ningún riesgo ni para la salud humana, ni para el medio ambiente.

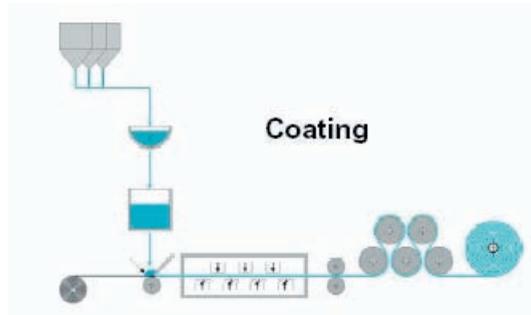
Además, a esta fórmula se le añaden los siguientes componentes, en distintas proporciones:

1. Estabilizadores de calor.
2. Estabilizadores ultravioletas.
3. Estabilizadores de oxidación.
4. Pigmentos resistentes a la radiación ultravioleta.
5. Cargas minerales a base de filler de granulometría controlada.

En lo que respecta a las membranas de poliolefina, la materia prima es propileno (PP) 100%, que se modifica con un monómero de caucho de etileno-propileno-dieno (EPDM) que, junto con un catalizador de última generación,

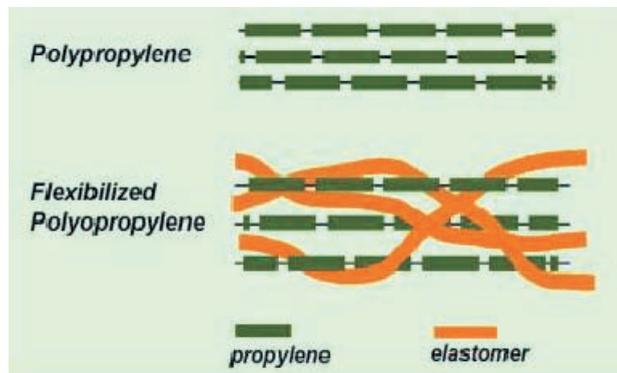
transforma el monómero en un polímero de cadena larga. Su estado inicial es una granza granulada.

Se fabrican con un proceso patentado por extrusión. Los componentes sintéticos y los aditivos se funden, se mezclan y se aplican uniformemente sobre ambos lados de la armadura. Este proceso genera una lámina sin tensión interna.



**Figura 11.** Proceso de fabricación de FPO.

En la fabricación de las membranas sintéticas de poliolefina no se añaden plastificantes, como ocurre en el caso de la fabricación del PVC, sino que el plastificante se incorpora en forma de co-monómero y se une químicamente a la cadena molecular, siendo imposible la migración del plastificante.



**Figura 12.** Incorporación del plastificante en el FPO.

Además de lo anteriormente comentado, hay que indicar que estas membranas poseen muy buenas características químicas, resistiendo a sustancias

líquidas biológicas, sustancias orgánicas, sustancias líquidas inorgánicas y distintos materiales de la construcción, como mortero u hormigón, distintos materiales aislantes, etc.

Pero, ¿cuáles son los puntos más importantes a tener en cuenta, desde el punto de vista de la ecología, de estos dos termoplásticos?

1. Peligrosidad de las materias primas.
2. Declaración de seguridad del producto.
3. Influencia sobre el ser humano y el medio ambiente.
4. Comportamiento frente al fuego.
5. Reciclaje.
6. Ecología-eficiencia.

Con respecto a las materias primas y su peligrosidad, se puede decir que no contienen metales pesados tales como cadmio y plomo, como estabilizadores. En su lugar, emplean mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. De los plastificantes que se incorporan a la membrana durante el proceso de fabricación, ninguno es tóxico como el DEHP/DOP (Bis (2-etilhexil ftalato)). El DEHP/DOP está clasificado como sustancia peligrosa, con el riesgo para la salud humana y para el medioambiente.

La información acerca de la composición y propiedades de los materiales es crucial por razones de seguridad, para poder aumentar la seguridad durante la aplicación y una vez aplicado.

Las membranas sintéticas de Sika, no contienen biocidas. Los biocidas se utilizan en el sector de la construcción para aumentar la resistencia a las raíces. Son sustancias tóxicas, que pasan al medioambiente y al ser humano.

Con respecto al fuego, se puede decir que el PVC es un material autoextinguible por su naturaleza química. En caso de incendio impide la propagación del mismo en la cubierta, pero, en el caso de las poliolefinas, para hacerlos autoextinguibles hay que añadirle aditivos retardadores del fuego. Aún así,

conviene recordar que, en cualquier fuego, se genera gran cantidad de gases tóxicos, que dependen de la condiciones del fuego y del material que se esté quemando. Cuando se quema cualquier material se genera una elevada concentración de monóxido de carbono (CO) y una pequeña cantidad de dioxinas, policloruro de bifenilo y policloruros aromáticos. Por lo tanto, los efectos tóxicos de los humos y los gases generados ante el fuego por cualquier material sintético, se determinan por la concentración de CO.

De esta manera, una buena prevención contra el fuego parte de una buena elección del material y un buen diseño constructivo.

En lo que respecta al reciclaje, se puede decir que el material se recicla para volver a utilizarlo como materia prima en el proceso de fabricación de las láminas sintéticas.

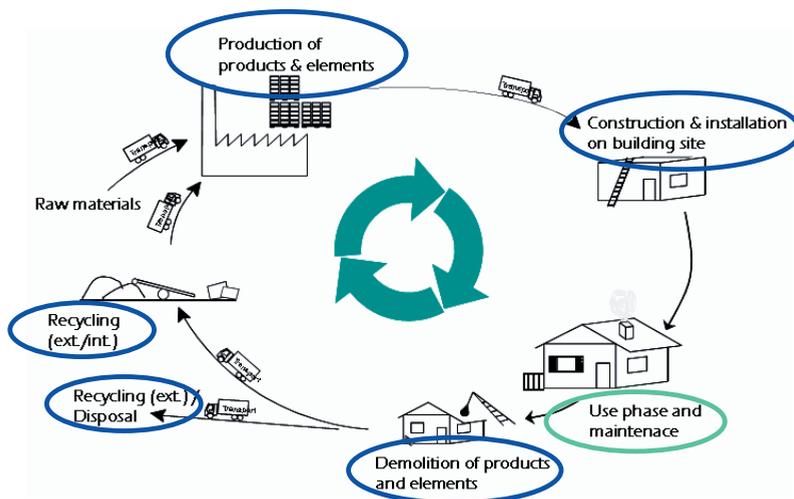


Figura 13. Proceso de fabricación y reciclaje.

Un requisito básico en los sistemas/productos de Sika es la responsabilidad ecológica, siendo una premisa principal más que como un simple eslogan. La protección del medio ambiente es una prioridad que comienza durante el proceso de fabricación con la recuperación de la energía térmica eliminada, continua con la eliminación de humos y del polvo por medio de filtros especiales y acaba con un

sistema completo de reciclaje de las membranas sintéticas. A continuación se hace un resumen de las propiedades de algunos materiales, Tabla 1.

**TABLA 1.** Resumen de propiedades.

Material	Espesor recomendado	Resistencias mecánicas (Desgarro, Tracción, Alargamiento a rotura)	Resistencia al punzamiento	Resistencia a la intemperie	Reología, Envejecimiento	Puesta en obra	Coste de instalación
PVC-p	1,2/1,5 mm	Buenas	Buena	Buena	Según fabricación (3)	Fiabilidad. Resistencia en las soldaduras. Facilidad en las entregas.	Bajo
PEAD	1,5/2 mm	Buenas. Alto coeficiente de dilatación térmica (0)	Limitadas (1)	Buena	Según fabricación (4)	Maquinaria importante. Resistencia en las soldaduras. Dificultad en las entregas. (5) Posibilidad de rollos industriales.	Medio
EPDM	1,2/1,5 mm	Excelentes	Limitadas (2)	Buena	Cristalizado en zonas a tracción	Adhesivos. (6) Gran dificultad de vulcanizado. Posibilidad de rollos industriales.	Alto
CSM	1,0/1,5 mm	Excelentes	Buena	Buena	Excelente	Difícil. Necesidad de activador según los casos. Resistencia en las soldaduras. Facilidad en las entregas.	Alto

(0) Coeficiente de dilatación térmica a PEAD = 0,20 frente a PVC = 0,08

Ejemplo:  $\Delta L = L \alpha \Delta T$

$$L = 10 \text{ m.}$$

$$T_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta L_{\text{PEAD}} = 10 \times 0,2 \times 50 = 100 \text{ mm.}$$

$$\Delta L_{\text{PVC}} = 10 \times 0,08 \times 50 = 40 \text{ mm.}$$

Esto implica:

- o Agrietamientos por tensión en zonas que trabajan a tracción (taludes). Efecto tambor.
- o Límite en las temperaturas de puesta en obra (5 °C y 30 °C).

- (0) En el ensayo de punzonamiento de la pirámide, los resultados obtenidos del PEAD (1,5 mm) son un 30% inferior a los del PVC-p (1,2 mm).
- (1) Ataque por ozono en zonas de punzonamiento (envejecimiento).
- (2) La reología del material depende de la composición de la membrana y de dos parámetros fundamentales:
- Migración de plastificantes. Debe ser inferior al 2%, inicialmente.
  - Envejecimiento artificial acelerado. Variación del alargamiento a rotura <10%.

Controlando estos parámetros se puede asegurar una alta durabilidad, tanto en zonas emergidas como en zonas sumergidas.

- (4) Existen dos problemas generalizados en la fabricación de las membranas de PEAD:
- Utilización de material reciclado, que acorta de forma alarmante la vida útil de la membrana.
  - Fabricación por soplado, que da lugar a falta de uniformidad en los espesores de la membrana.
- (5) Una de las causas principales de las patologías en las balsas realizadas con PEAD, son las entregas con elementos de hormigón, ya que no existe posibilidad alguna (adhesivo, etc.) para favorecer la adherencia entre ambos materiales. Es necesario encastrar piezas rígidas de PEAD en el propio hormigón para realizar la entrega.
- (6) Todas las patologías de las obras realizadas con EPDM van ligadas al envejecimiento de los adhesivos utilizados en las juntas y al proceso de fabricación del mismo. Actualmente ya se están haciendo las primeras experiencias con láminas soldables.

### **3. Membranas líquidas de aplicación "in situ"**

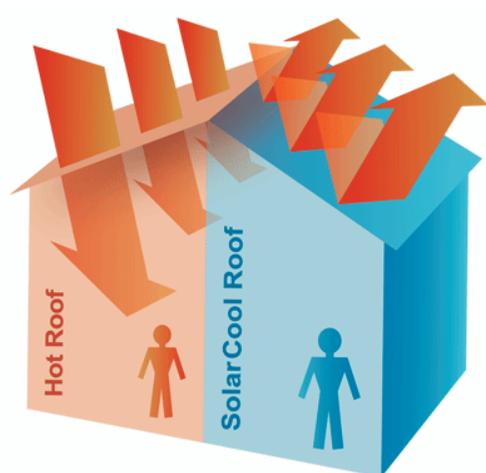
Son las que se espera una mayor evolución en los próximos años. Se diferencian en dos grandes grupos:

- ❖ **Membranas de secado físico**, son polímeros o copolímeros (estireno-acrílicos, clorocaucho, silicatos, siliconas, etc.) generalmente de un componente. Endurecen por un mecanismo de evaporación del disolvente (ya sea agua o compuesto orgánico volátil) aplicándose en capa fina sobre la superficie que se quiere impermeabilizar.



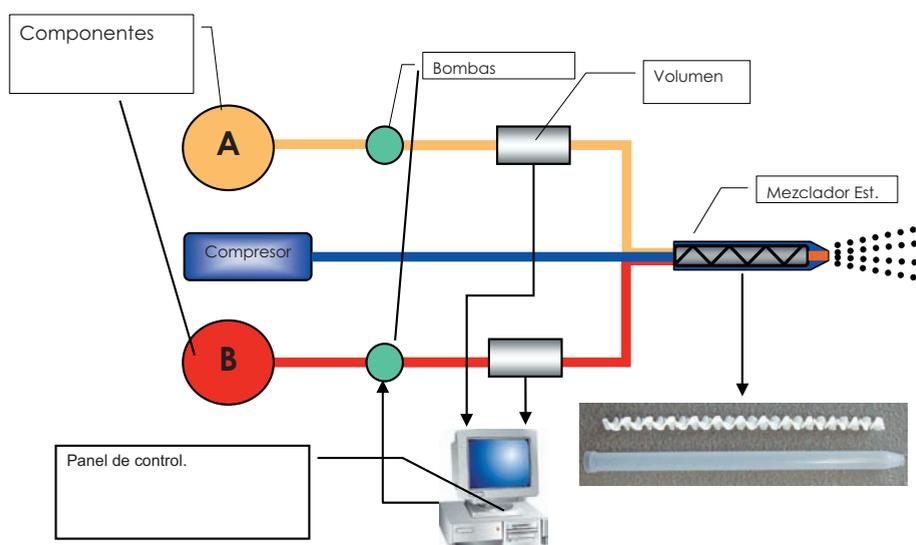
**Foto 4.** Membranas líquidas de aplicación *in situ*.

Estos materiales llevan en el mercado bastante tiempo, y se están imponiendo claramente las soluciones exentas de disolventes orgánicos, es decir, base agua. El desarrollo de estos productos, especialmente los compuestos estireno-acrílicos, han sufrido unas mejoras pensando en su capacidad, adicionándoles determinadas cargas de aislar térmica o acústicamente (microesferas de vidrio huecas) una cubierta. Es muy interesante el desarrollo de la capacidad de aislamiento térmico.



Esta propiedad se prueba por su alta capacidad de reflexión en la cámara de envejecimiento acelerado mediante UV. Los resultados demuestran eficacias de reflexión del 85% de la radiación UV y del 90% de la luz infrarroja. Este aspecto, traducido en mediciones en habitaciones donde la cubierta ha sido protegida con este tipo de membranas, supone una reducción de la temperatura, en muchos casos, entre 15-20 °C (reducción del 47% entre el interior y el exterior) respecto del exterior, y la factura de los equipos de climatización se reduce entre un 47%-55% (un 61% de reducción en el uso del aire acondicionado).

- ❁ **Membranas de secado por reacción química de aplicación *in situ*.** Son polímeros que se presentan en uno o dos componentes (poliuretanos, poliureas, híbridos, etc.) que pueden reaccionar con la humedad ambiente y evaporar el disolvente, o que, cuando se combinan los componentes, reaccionan químicamente formando una membrana continua e impermeable. Estos últimos, en la mayoría de los casos, se recomienda su aplicación por medios mecánicos con máquinas especialmente diseñadas.



**Figura 14.** Elaboración de membranas de secado por reacción química de aplicación "in situ".

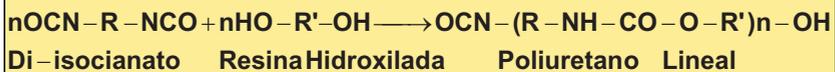


**Foto 5.** Membranas de secado por reacción química de aplicación *in situ*.

Todos los sistemas basados en poliuretanos presentan como cadena principal de reticulación la siguiente:

- NHCOO- (CADENAS · URETANO)
- NHCONH- (GRUPOS · UREA)
- NHCONRCONH- (CADENA · DIUREA)

La reacción para la formación de un poliuretano lineal se consigue simplificando el mecanismo de la siguiente manera:



Para explicar este mecanismo, en especial en los poliuretanos monocomponentes, hay que pensar que la forma original de estos productos se

basa en que existe un prepolímero en estado latente que se activa en contacto con la humedad. Si este mecanismo se plantea como las resinas bicomponentes que se han analizado en el ejemplo anterior, es como si el prepolímero sea el isocianato (o diisocianato), es decir, el componente B, mientras que la parte hidroxilada es el componente A (que puede ser la humedad, para los monocomponentes). Las reacciones quedarían en sus fases iniciales, como se indica a continuación, para luego lanzarse la reacción hasta tener la urea disustituida, etc.



Teniendo en cuenta los efectos de la humedad, se deben considerar las contraindicaciones señaladas en el siguiente gráfico:

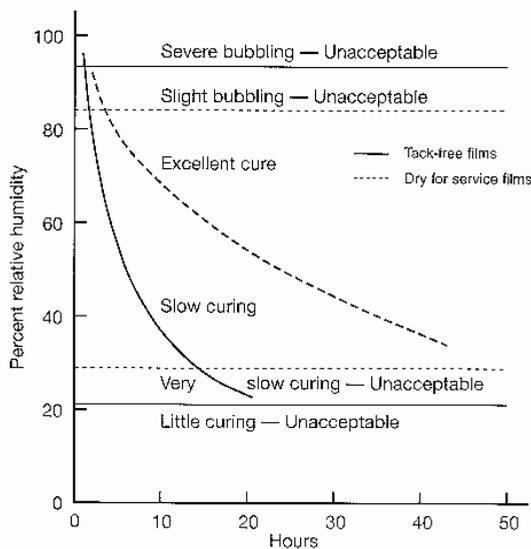


Figura 15. Gráfico humedad vs. Tiempo.

La base real de la eficacia de un poliuretano es el prepolímero con el que se ha fabricado y que les puede hacer más sensibles a la humedad o a la alcalinidad. Algunos se basan en la tecnología IPDI, una tecnología que proporciona poliuretano alifático con unas excelentes propiedades mecánicas, de impermeabilidad y de resistencia a los UV, y otros se basan en tecnología MDI que proporciona poliuretanos aromáticos de altas propiedades de cara a la impermeabilización.

En la siguiente tabla se realiza una comparación entre ambos tipos.

**TABLA 2.** Comparativa entre poliuretano aromático y poliuretano alifático.

	<b>PUR 2 Comp. aromático</b>	<b>PUR 1 Comp. alifático</b>
Densidad	1,2	1,35
Elongación a rotura	300%	320%
Resistencia a tracción	6,5 N/mm <sup>2</sup>	8 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a T°	De -20°C a +80°C	De -20°C (250%) a +80°C
Endurecimiento	1 mm/día	14 horas transitable
Dureza Shore A	75	75
Dureza Shore D		45
Resistencia a la abrasión		30 mg (Taber)
Punteo estático de fisuras		A -10°C 2.5 mm
Resistencia a UV	NO	SÍ
Contenido en sólidos	100%	77%
Envejecimiento Artificial	NO	75 ciclos sin amarillamiento ni pérdida de propiedades.
Viscosidad	2000 mPas	2435 Poise
Resistencia al punzonamiento dinámico		Bola de acero de 100 g y de 30 mm de diámetro Altura 0,8 m sin desprendimiento Altura 1,6 m sin desprendimiento

Todos estos ensayos están soportados por normas NF o DIN, como es la norma de aptitud para su empleo como revestimiento de impermeabilización transitable NF P 84-402, de los cuales existen copias de los resultados elaborados por laboratorios externos.

## 6.6. Puesta en obra. Mano de obra

Como se ha tratado de explicar en este capítulo, existen multitud de sistemas de impermeabilización para cada parte del edificio, siendo unos de aplicación más sencilla que otros, pero, en todo caso, es necesario que el aplicador de estos sistemas esté lo suficientemente formado en el uso de estos materiales para garantizar un sistema totalmente seguro.

## 6.7. Conclusiones

La ejecución de los trabajos de impermeabilización están basados en:

- Las recomendaciones de ejecución del fabricante, aplicables para las membranas de cubiertas.
- Las instrucciones de aplicación publicadas de fabricantes de materiales auxiliares.
- Los diseños y planos del arquitecto.

La ejecución de los trabajos de impermeabilización debe ser realizada por una empresa de reconocido nivel, capaz de demostrar que ha sido formada para las técnicas de aplicación, colocación y puesta en obra de las membranas sintéticas o líquidas, y estar catalogada como un Aplicador Reconocido.

La Empresa Aplicadora estará obligada, al finalizar los trabajos, a presentar una garantía de ejecución y estanqueidad durante un período de 10 años.

Se recuerda el mensaje lanzado en el sumario: los costes de una buena impermeabilización no llegan a suponer un 2% de la construcción de un edificio, sin embargo las consecuencias de malas prácticas o soluciones inadecuadas provocan un aumento de costes por falta de estanqueidad del 26%. Estas son cifras que deben llevar a los interlocutores: profesionales, propietarios y empresas fabricantes a una fuerte conciencia para medir las consecuencias futuras de cualquier actuación de este tipo.

Por otro lado, se observa cómo las empresas punteras fabricantes de materiales para la impermeabilización desarrollan nuevos productos/sistemas que se adaptan a la conciencia social sobre protección del medio ambiente, innovando y proporcionando herramientas que también contribuyen a la calidad de vida.

# Sistemas de captación de energía con módulos fotovoltaicos integrados en membrana para impermeabilización de cubiertas

## 7.1. Introducción

Hoy en día, uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de la construcción de un edificio, es una buena impermeabilización del mismo. Hasta ahora, se han venido utilizando sistemas convencionales de impermeabilización que, mediante láminas asfálticas o sintéticas, preconformadas y con distintos acabados o con sistemas líquidos de aplicación *in situ*, necesitan para su colocación la realización de soldaduras, remates, proyección mecánica, etc. Las últimas tecnologías apuestan por ofrecer un valor añadido al sistema de impermeabilización mediante membranas preconformadas, que consiste en la integración de una célula de captación fotovoltaica en la propia membrana impermeabilizante, logrando con ello dos funciones, la de impermeabilizar y la de producir energía eléctrica.

El sistema de producción eléctrica mediante módulos fotovoltaicos flexibles consiste en el embebido de éstos en una membrana de FPO completamente ecológica, con lo que, además de captar energía, se está colaborando con el medio ambiente, ya que se estima que, con la producción de 100 kWp, se evita la emisión a la atmósfera de 100 t de CO<sub>2</sub> al año.

Otra de las características de este sistema innovador es su facilidad de instalación (por aire caliente), su fácil mantenimiento y que, al tratarse de células flexibles e irrompibles, se puede adaptar a cualquier tipo de soporte. Sin olvidar, asimismo, el bajo peso que aporta a la cubierta.

Sin duda, el sistema de captación fotovoltaico *Solar Roof* es, actualmente, la tecnología más innovadora, haciendo posible evolucionar el, hasta ahora,

meramente, concepto constructivo de cubierta hacia un sistema rentable y de colaboración con el medio ambiente.



**Foto 1.** Cubierta solar terminada.

## 7.2. Características del sistema

El sistema *Solar Roof* ha sido diseñado por dos especialistas mundialmente reconocidos, Solar Integrated, proveedor líder de sistemas fotovoltaicos flexibles, y Sika, colaborador exclusivo para cubiertas impermeabilizadas de alta calidad realizadas en materiales sintéticos. Actúan conjuntamente en calidad de socios en el diseño, desarrollo y distribución de sistemas de captación de energía fotovoltaica integrados en la cubierta de cualquier edificio. Con el desarrollo de la cubierta solar flexible, estos dos socios unen sus dos áreas especializadas, aportando para tal fin toda su experiencia. La ventaja para el cliente es que se trata de un sistema perfeccionado de alta calidad, así como un asesoramiento personalizado y competente, que asegura la máxima seguridad y funcionamiento de la impermeabilización de la cubierta y el óptimo rendimiento de los módulos solares.

La combinación de elementos fotovoltaicos y sistemas de impermeabilización Sika Sarnafil ha dado como resultado una posibilidad de aplicación completamente nueva para generar energía de forma rentable.

### 7.3. Materiales

Sika AG, empresa fabricante de láminas sintéticas de impermeabilización y suministrador líder a nivel mundial de productos químicos para la construcción, con más de 100 años de historia, se encarga de fabricar la membrana base que actúa de soporte del módulo PV. Se trata de una membrana a base de poliolefinas flexibles de alta calidad FPO de 2.0 mm de espesor Sarnafil TS 77-20, fabricadas mediante un proceso de extrusión patentado, en el que los componentes sintéticos y los aditivos son fundidos, mezclados y aplicados uniformemente sobre ambos lados de la armadura, no generando ningún tipo de tensión interna.

El resultado es una membrana doblemente reforzada con una armadura de fibra de vidrio y otra de poliéster para dotar a la membrana de una gran resistencia al punzonamiento y un bajo alargamiento a rotura.

El grupo Sika dispone de cuatro fábricas destinadas a la fabricación de láminas sintéticas para impermeabilización.



**Sarnen (CH)  Düringen (CH)  Pfäffikon (CH)  Troisdorf (D)**

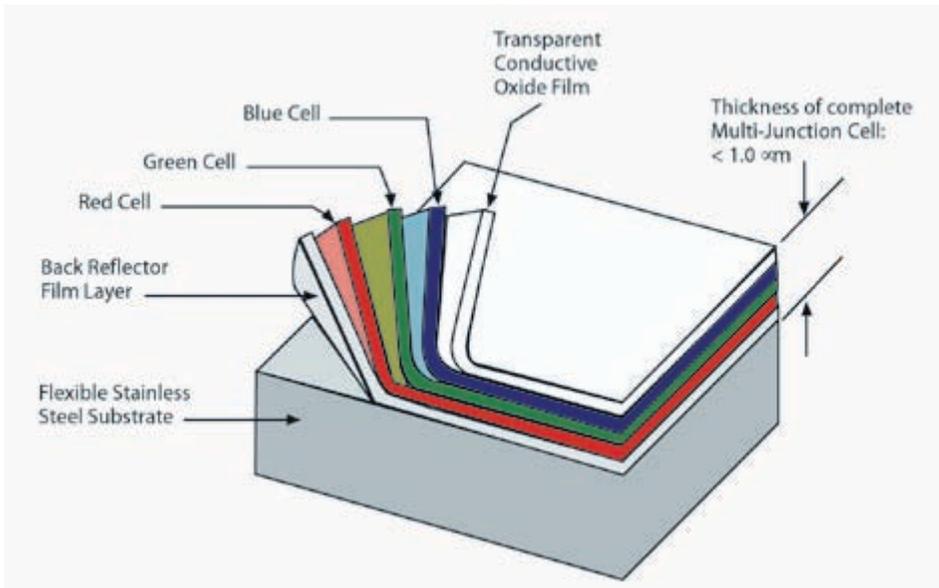
**Foto 2.** Instalaciones de Sika.

Solar Integrated, con sede en Los Ángeles (Estados Unidos), desarrolla y fabrica, desde hace años, instalaciones solares para aplicaciones profesionales, industriales y móviles.

Solar Integrated fabrica y suministra sistemas flexibles de captación de energía solar de gran eficacia. Las células fotovoltaicas de capa fina de Uni-Solar se integran directamente en una membrana polimérica (F.P.O.) de impermeabilización fabricada por Sika-Sarnafil de gran calidad. Solar Integrated asiste a sus clientes en la planificación, en el cálculo de rentabilidad y, mediante asesoramiento técnico, durante la realización de los trabajos. La empresa concede una garantía de hasta 20 años sobre sus sistemas de cubierta solar, que son especialmente idóneos para su aplicación en cubiertas planas, por ejemplo, en naves de almacenes, plantas de producción, escuelas, edificios públicos, centros comerciales y edificios residenciales y de oficinas.

Solar Integrated dispone en la actualidad del módulo de mayor tamaño y de más captación de potencia del mundo.

Las células solares se colocan sobre una lámina de acero fino, encapsuladas para garantizar una alta durabilidad, conectadas entre sí e integradas directamente en la membrana Sarnafil TS, Fig. 1.



**Figura 1.** Célula de captación.

El Módulo-PV fotovoltaico destaca por;

1. Alta eficiencia incluso con luz difusa. Posee un rendimiento por encima de la media, en particular con radiación solar baja.
2. Insensibilidad frente al ensombrecimiento parcial gracias al diodo de derivación que posee cada célula. El rendimiento con ensombrecimiento parcial es sustancialmente mas alto que en los módulos tradicionales, Fig. 2.

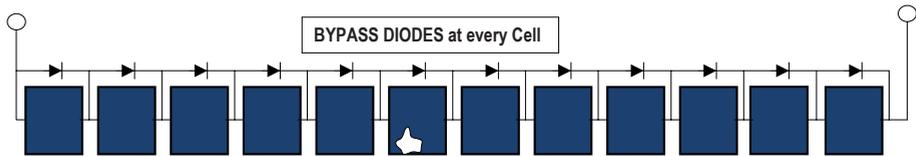


Figura 2. Interconexión entre células solares.

3. Mayor grado de rendimiento en verano a temperaturas más altas. Gracias al proceso autorregenerativo a temperaturas de módulo de más de 40 °C, aumenta el grado de eficiencia de la tecnología Triple Junction, especialmente, en los meses cálidos. La instalación del sistema de captación de energía fotovoltaica integrado en una cubierta sin ventilación trasera refuerza este efecto positivo, Fig. 3.

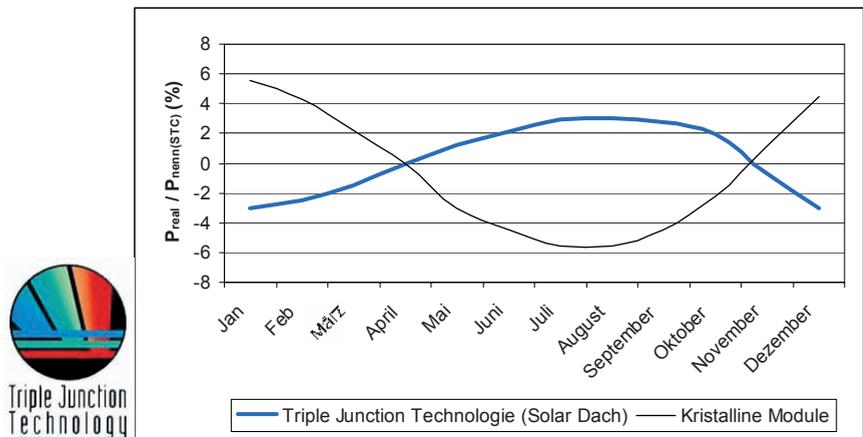


Figura 3. Comparativa cristal amorfo vs. Cristalino, y su eficiencia a alta temperatura.

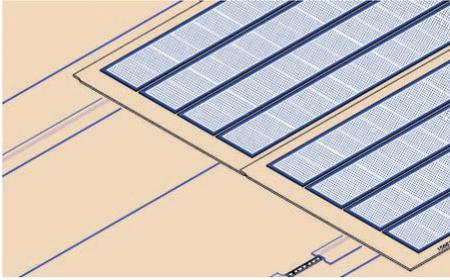
4. El Módulo PV es un sistema ligero ( $4,9 \text{ kg/m}^2$ ), evitando sobrecargar la cubierta, además de ser flexible, permitiendo adaptarse a cualquier tipo de soporte, e irrompible, Fig. 4.



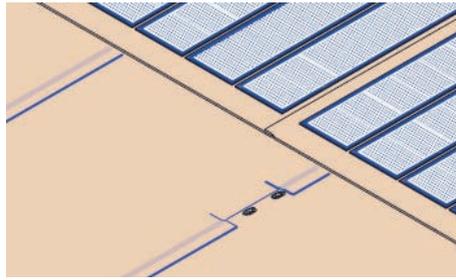
**Figura 4.** Flexibilidad del sistema.

## 7.4. Instalación

El sistema de instalación Solar Roof, es un sistema sencillo, rápido y de muy fácil mantenimiento. Consiste en una primera capa de impermeabilización sobre el aislamiento térmico mediante lámina de FPO Sarnafil TS 77-18 fijada mecánicamente al soporte mediante los sistemas de fijación lineales Sarnabar, Fig. 5, y Sarnafast, Fig. 6, garantizando tanto la resistencia a la succión del viento como la durabilidad de los materiales durante 20 años.



**Figura 5.** Sistema Sarnabar



**Figura 6.** Sistema Sarnafast

La colocación de la membrana se realiza mediante soldadura por aire caliente en unos parámetros de temperatura y velocidad estrictos. Para ello, se deben utilizar unos robots especiales automáticos Sarnamatic 661, a fin de conseguir unas soldaduras perfectas.

Una vez realizada la impermeabilización, se colocarán los módulos-PV mediante la máquina automática de aire caliente Sarnamatic 661.

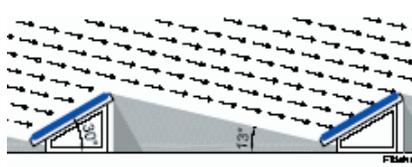
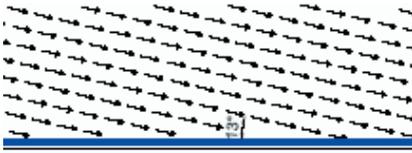
La flexibilidad de los módulos-PV permite transitar sin ningún problema sobre la instalación solar durante su montaje, Fig. 7.



**Figura 7.** Montaje de los módulos-PV.

La colocación de las membranas en posición plana impide que los módulos-PV tapen el sol a sí mismos. Las pérdidas ocasionadas por la disposición plana de los módulos-PV se reducen considerablemente gracias a la Tecnología Triple Junction. La mayor ventaja de una instalación con Módulos-PV, es el aprovechar toda la superficie de la cubierta, Fig. 8.

No son necesarias otras estructuras portantes metálicas, de costosa instalación, y que hacen necesaria la comprobación del cálculo de cargas.



**Sistema Solar Módulos PV**

Grado aprov. teórico: 100%  
 Pérdida por sombreado: 0%  
 Orientación mód-PV: cualquiera  
 Rend. orient Sur: 92%  
 Rend. orient. Suroeste: 92%

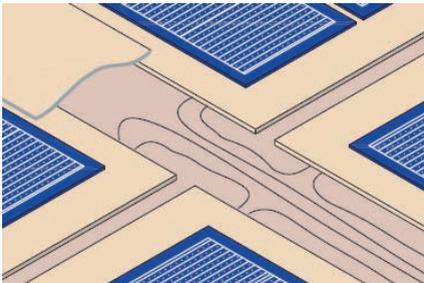
**Sistema tradicional sobre soportes metálicos**

Grado aprov. teórico: 33%  
 Pérdida por sombreado: 9%  
 Orientación mód-PV: Sur  
 Rend. orient Sur: 91%  
 Rend. orient. Suroeste: 87%

**Figura 8.** Disposición de las membranas.

Los cables de corriente continua que unen los distintos Módulos-PV de alta eficiencia de captación, se distribuyen por encima de la membrana impermeabilizante, cubriéndolos con bandas de la misma membrana, Fig. 9.

Los cables de corriente continua llegan a un convertidor, el cual transforma la corriente continua de las células solares en corriente alterna.



**Figura 9.** Situación de los cables de corriente continua.

El cableado de interconexión de los módulos de un campo fotovoltaico, así como el que conecta el campo fotovoltaico con la red eléctrica, ha de reunir las

condiciones adecuadas de aislamiento y protección. Finalmente, se encuentra el contador de la electricidad generada y los sistemas de monitorización remota, Fig. 10.



**Figura 10.** Contador y sistemas de monitorización.

## 7.5. Respeto medioambiental

Aprovechar la energía solar es sostenible, sensato y seguro. La técnica para beneficiarse de todo su rendimiento es moderna y eficaz, cumpliendo las exigencias de un abastecimiento duradero y, a la vez, respetuoso con el medio ambiente.

Los sistemas para la impermeabilización de la cubierta con módulos fotovoltaicos integrados (módulos-PV) son respetuosos con el medio ambiente, duraderos, sólidos y extraordinariamente resistentes a la intemperie.

El sistema con Módulos-PV puede instalarse en cualquier tipo de cubierta, sea plana o inclinada, pudiéndose adaptar a cualquier forma de construcción de un

edificio industrial, comercial, residencial, etc. La única condición recomendable es que la cubierta tenga un mínimo de pendiente, suficiente para que la escorrentía del agua de lluvia proceda a su auto-eliminación.

Debido a su escaso peso, esta tecnología no supone un aumento considerable para la carga estática de la construcción de la cubierta ni del edificio, ya que no se necesita instalar una subestructura especial para la sustentación del sistema, como ocurre con los paneles solares convencionales. Asimismo, las ráfagas de vientos fuertes no suponen ningún problema, no siendo necesaria tampoco una instalación de pararrayos independiente.

La aplicación del sistema con Módulos-PV repercute positivamente en los aspectos económicos y funcionales de la impermeabilización de la cubierta.

### 7.5.1. Ejemplo de ahorro

- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en una instalación de 100 kWp en Palma de Mallorca:

Generación de corriente anual: 100 kWp x 1163 kWh / kWp año = 116.300 kWh / año

- Ahorro anual de CO<sub>2</sub>:

$$0,886 \text{ kg / kWh} \times 116.300 \text{ kWh / año} = 103.042 \text{ kg/año}$$

- Superficie de bosque equivalente:

$$1 \text{ kg/m}^2 \text{ año} \times 103.042 \text{ kg / año} = 103.042 \text{ m}^2$$

- Superficie de cubierta solar:

$$100.000 \text{ Wp} / 46,5 \text{ Wp /m}^2 = 2.150 \text{ m}^2$$

## 7.6. Cumplimiento del Código Técnico de la Edificación

El nuevo CTE establece la obligatoriedad de instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos dependiendo de diferentes parámetros, uso de las naves y localización, entre otros. Convertir esta norma en oportunidad de inversión de un sistema solar fotovoltaico integrado en cubierta, puede ser un beneficio adicional para estrategias empresariales avanzadas.

### 7.6.1. Política corporativa medioambiental responsable

Uno de los principales beneficios que *SOLAR ROOF* aporta es la preservación del medio ambiente gracias a la energía "limpia" generada, que evita las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas a través de sistemas tradicionales. Asimismo, los módulos de silicio amorfo tienen un retorno energético de menos de un año. Además, las membranas poliméricas no contienen plastificantes ni aditivos, son reciclables y no emiten dioxinas a la atmósfera durante su vida útil. Las cubiertas con captación de energía solar fotovoltaica permiten adoptar políticas corporativas responsables, siguiendo los criterios del Protocolo de Kyoto, en referencia a la reducción de emisiones de los principales gases contaminantes.

## 7.7. Beneficios para las empresas

Entre los múltiples beneficios que la energía solar fotovoltaica aporta a las empresas, destaca la generación de unos ingresos de forma pasiva, la sencillez del sistema, su fiabilidad y la garantía de la estanqueidad total de la cubierta.

Las cubiertas solares fotovoltaicas conectadas a la red generan unos ingresos anuales de unos 55.000 € sobre una potencia instalada de unos 88 kWp. El marco legal existente da una garantía de estabilidad a largo plazo, garantizados a lo largo de la vida útil de los equipos. Esta estabilidad, se ve acompañada con una garantía

de producción del 80% de la producción de los módulos solares fotovoltaicos durante 20 años.

A su vez, aquellas empresas que apuesten por este sistema energético y que instalen la cubierta solar, se beneficiarán de una bonificación fiscal directa de un 8% del total de la inversión. Además, la inversión a realizar se minimiza debido a que existen diversos instrumentos de financiación especialmente diseñados para este fin.

La rentabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos integrados en cubierta es, en definitiva, una opción que se debe de evaluar y que permite rentabilizar el uso de la cubierta de la nave, normalmente, complementario al uso de la misma.

## **Bibliografía**

1 - Sika Technology AG.

# La energía solar térmica: agua caliente sanitaria, calefacción y climatización

## 8.1. Introducción

El Sol nos regala su energía en forma de luz y calor. Hoy, una tecnología establecida, eficiente y no contaminante, nos permite utilizarla para iluminar y calentar nuestras casas y negocios, reduciendo los consumos energéticos para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción, calentamiento de piscinas y climatización. Su utilización se justifica no sólo en el ahorro energético y la rentabilidad del usuario, sino que, además, contribuye al bien común: la mejora de la calidad del aire de las ciudades y del país, la rentabilidad macroeconómica por el uso de recursos propios, la generación de riqueza interna y de empleos, y la reducción de la dependencia energética externa.

Hace algunas décadas era lógico que la energía obtenida de la radiación solar no sustituyera a la obtenida de los combustibles convencionales debido a la ausencia de recursos técnicos y de interés en la investigación de métodos capaces de hacer competente la energía solar y, probablemente, por la falta de mentalidad social sostenible, comprometida con el medio ambiente y los recursos naturales.

En la actualidad, el Sol es una gran fuente de energía no aprovechada en su totalidad, si bien se han conseguido desarrollar tecnologías capaces de aprovechar la radiación solar de forma que ésta puede competir con los combustibles convencionales. Para la obtención de energía térmica, sobre todo cuando se trata de producir agua caliente sanitaria con temperaturas de preparación entre 45 °C y 60 °C, la fiabilidad de las instalaciones (y de sus componentes), los ahorros conseguidos y, en definitiva, su amortización, han sido probadas en múltiples ocasiones.

A lo largo de los últimos años, se ha iniciado el despertar del mercado solar térmico en España, con crecimientos muy significativos. Los principales mecanismos

que explican este despertar solar están ligados tanto al crecimiento del interés social por la protección del medio ambiente, como a una actitud mucho más activa por parte de las Administraciones, tanto Ayuntamientos, como Comunidades Autónomas y Administración Central, que han abierto líneas de subvención mucho más generosas y que están introduciendo elementos de obligatoriedad solar dentro de las regulaciones de su competencia: las Ordenanzas Solares de los Ayuntamientos de Barcelona, Madrid, Sevilla, Burgos, etc., obligan a la instalación de sistemas de aprovechamiento solar para la producción del agua caliente en las nuevas edificaciones y reformas integrales de las ciudades, en las que habitan más del 30% de la población española (viviendas, hoteles, polideportivos, etc.).

Con todo ello, el impulso de los sistemas de producción de agua caliente sanitaria con energía solar térmica, genera la necesidad de definir nuevas condiciones para el diseño, ejecución y mantenimiento de las instalaciones, principalmente en el actual escenario, en el que no se encuentra una recomendación, sino una obligación, por medio de las Ordenanzas Solares y el recientemente aprobado Código Técnico de la Edificación.

El sector residencial tiene uno de sus pilares en la utilización del Sol que realizan sus ocupantes para el desarrollo de sus actividades diarias. Estos usuarios cada vez exigen unos niveles de calidad y de servicios superiores y, entre las nuevas muestras de calidad que valoran, destaca el compromiso del edificio con la protección del medio ambiente. La utilización del Sol para reducir los consumos de combustible en los edificios representa, desde este punto de vista, no sólo una buena oportunidad de reducir la factura energética con rentabilidades atractivas, sino que, además, sirve de muestra del compromiso de esta tipología de instalaciones con la protección del medio ambiente. Cuando se combinan las aplicaciones solares con otras medidas de ahorro energético (sustitución de generadores convencionales de calor, aislamiento, etc.), se consiguen unas rentabilidades especialmente interesantes.

## 8.2. Posibilidades de ahorro solar en edificios de viviendas

Los gastos energéticos en los edificios de viviendas son uno de los gastos corrientes más significativos. Sin embargo, todavía hay un gran desconocimiento de

las posibilidades de ahorro energético y económico, ya que, normalmente, las partidas energéticas no se gestionan ni se miden separadamente. El criterio usual de selección de los equipos e instalaciones suele ser el de minimizar la inversión inicial, siempre garantizando la seguridad de suministro de calor, sin tener muy en cuenta los consumos energéticos a posteriori.

Del análisis de las necesidades energéticas de los edificios de viviendas en España, se puede afirmar que las opciones más claras, por orden de importancia, que se prevé en la utilización del Sol para reducir los consumos energéticos son:

1. Producción solar de agua caliente sanitaria.
2. Climatización solar de piscinas cubiertas y descubiertas.
3. Calefacción y refrigeración solar.

## 8.3. Funcionamiento de las instalaciones solares térmicas. Componentes

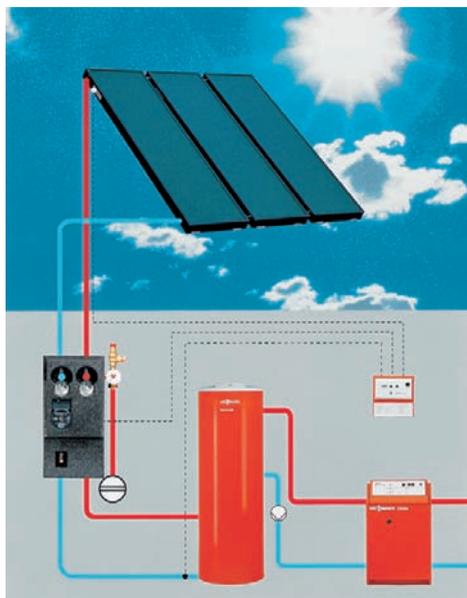
Un sistema solar está constituido por el colector solar, el subsistema de almacenamiento, el de transporte de energía (tuberías, bombas, intercambiadores) y el de utilización o consumidor de la energía solar captada.

En su diseño hay que tener en cuenta que, tan importante como la correcta selección de los elementos integrantes de cada subsistema, es la correcta integración de todos ellos y la selección de las estrategias de regulación, control y operación.

Con todo ello, el rendimiento anual del sistema, que será función de la tecnología empleada, dependerá, principalmente, de los siguientes factores:

- Colector: parámetros de funcionamiento  $\eta_0$  (Eficiencia Óptica, ganancia de energía solar) y  $U_L$  (Pérdidas Térmicas).
- Caudal de diseño: bajo flujo y estratificación.
- Intercambiador: eficiencia.

- ✿ Tuberías: longitud, diámetro y aislamiento.
- ✿ Almacenamiento: volumen y estratificación.
- ✿ Control: diferencial de temperaturas, radiación, caudal variable, etc.
- ✿ Operación y seguridad: expansión, purgadores, válvula de seguridad, etc.
- ✿ Criterios de diseño.



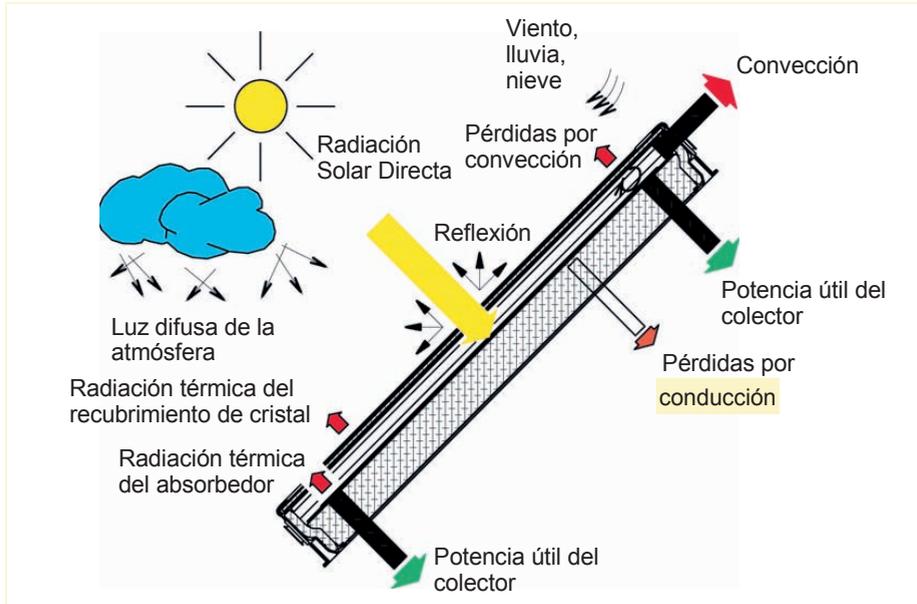
**Figura 1.** Componentes de una instalación solar.

### 8.3.1. Subsistema de captación

El colector solar térmico es el encargado de captar la radiación solar y convertir su energía en energía térmica, de manera que se caliente el fluido de trabajo que contiene.

Toda la energía que incide sobre el colector solar no puede ser considerada como energía útil, de manera que, al mismo tiempo que se produce el calentamiento del fluido de trabajo, una parte de esta energía se pierde por conducción, convección y radiación, generándose un balance energético entre la energía incidente (en forma de radiación solar) y las pérdidas térmicas, obteniendo como resultado una potencia útil del colector solar.

Estas pérdidas de calor crecen con la temperatura del fluido de trabajo, hasta que llega un momento de equilibrio en el que se cumple que la energía captada es igual a las pérdidas, alcanzándose en ese momento la temperatura de estancamiento del colector. En la mayoría de los colectores, esta temperatura de estancamiento o de equilibrio se alcanza a unos 150 - 200 °C.



**Figura 2.** Balance energético en un colector solar.

Con todo ello, y teniendo en cuenta la ecuación de la curva que define el rendimiento de un colector solar, Fig. 3, se deduce que interesa hacer trabajar el colector a la temperatura más baja posible, siempre que ésta sea suficiente para la utilización específica en cada caso.

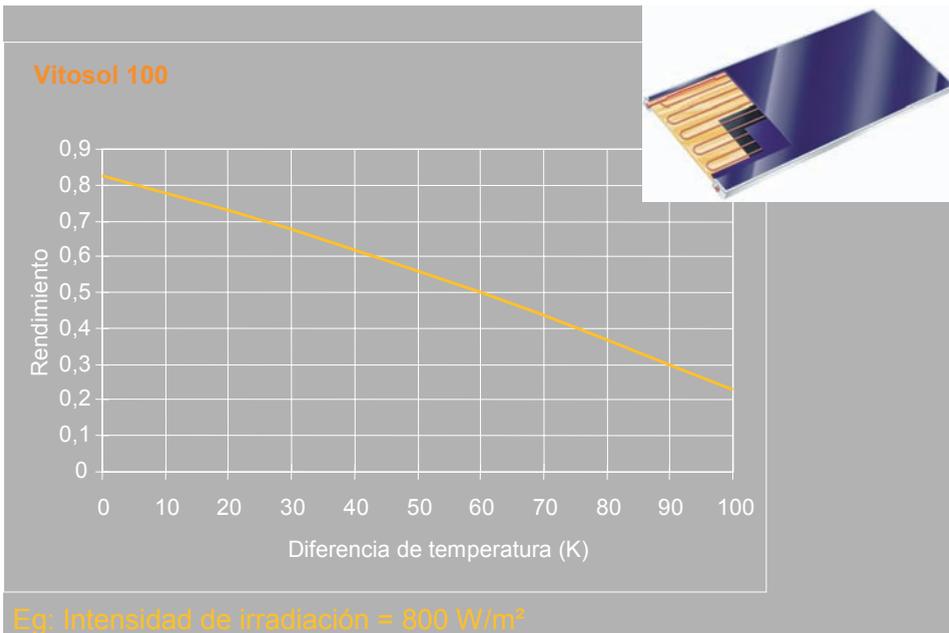
$$\eta = \eta_o - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_g}$$

$\eta$  = Rendimiento (Eficiencia).  
 $\eta_o$  = Rendimiento Óptico (eficiencia óptica).  
 $k_1, k_2$  = Pérdidas Térmicas: engloba pérdidas por conducción, convección y radiación.  
 $\Delta T$  = Diferencial de Temperaturas (entre la temperatura media de trabajo del colector y la temperatura ambiente, °C)  
 $E_g$  = Radiación solar, W/m<sup>2</sup>.

**Figura 3.** Ecuación de la curva de rendimiento de un colector solar.

Los colectores solares son el corazón de cualquier sistema de utilización de energía solar. Absorben la luz solar y la transforman en calor. Los criterios básicos para seleccionarlos son:

- Productividad energética a la temperatura de trabajo y coste.
- Durabilidad y calidad.
- Posibilidades de integración arquitectónica.
- Fabricación y reciclado no contaminante.



**Figura 4.** Curva de rendimiento de un colector solar de alta eficiencia.

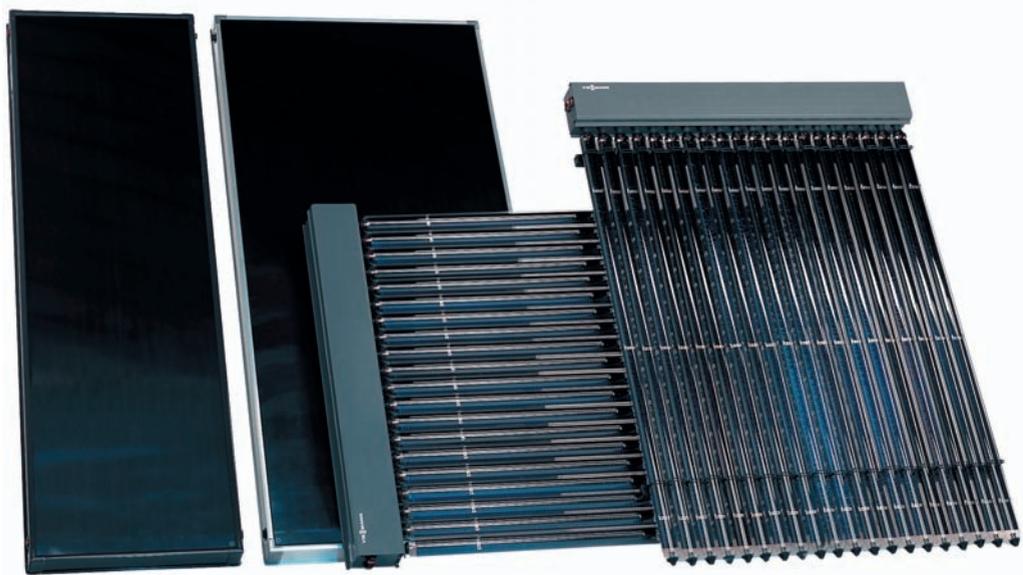
Dependiendo de la aplicación, el tipo de colector solar que hay que utilizar varía. Para aplicaciones que requieren un fluido a baja temperatura (<100 °C) los sistemas con colectores de placa plana son los más utilizados, seguidos por los tubos de vacío, Fig. 5.

Los colectores de tubos de vacío se distinguen de los colectores planos por sus menores pérdidas térmicas (mayor rendimiento), al encerrarse el absorbente solar en una cápsula de vidrio de la que se extrae el aire, y sus mayores posibilidades de integración arquitectónica.

La diferencia de productividad energética entre los diferentes tipos de colectores planos viene dada por las diferencias en las propiedades ópticas de los recubrimientos de sus absorbentes, y por las características y espesores de los aislamientos térmicos. Las diferencias en durabilidad y calidad surgen de los materiales empleados y, en especial, de la junta de estanqueidad que une la cubierta de vidrio del colector con el marco, y de la resistencia del material de aislamiento térmico al apelmazamiento por las condensaciones internas del colector.

Colectores planos Vitosol 100

Colectores de vacío Vitosol 200 y Vitosol 300



**Figura 5.** Ejemplos de tecnología.

Al igual que ocurre con las calderas, la utilización de colectores más eficientes tiene una influencia mucho más significativa en la productividad anual que la que se puede deducir de la comparación directa de los rendimientos instantáneos (relación entre el calor extraído del colector en un momento dado y la radiación solar disponible en ese momento). Además, se pueden encontrar reducciones significativas en los costes del resto de los elementos del sistema solar, ya que, para un mismo aporte solar, hacen falta instalar menos m<sup>2</sup> de colectores y

se puede trabajar a temperaturas más altas sin repercusión en el rendimiento (bombas, tuberías, almacenamiento, intercambiadores, etc., más pequeños).

Desde el punto de vista de la integración arquitectónica, una ventaja que tienen los colectores de vacío de absorbente plano, es que permiten una mayor flexibilidad de montaje. Así, los tubos de vacío con absorbente plano se pueden instalar en una superficie horizontal o vertical, y girar los tubos para que su absorbente esté a la inclinación adecuada.

### 8.3.2. Subsistema de acumulación

El Sol es una fuente de energía que no se puede controlar, su producción llega de forma continuada durante una media de 12 horas al día, a razón de 1.400-1.800 kWh/m<sup>2</sup>/año, lo que equivale a que, por cada m<sup>2</sup>, se recibe la energía obtenida de quemar unos 165-200 litros de gasóleo. Es decir, con la energía solar que llega en 5 m<sup>2</sup> se podría suplir las necesidades térmicas anuales para acondicionar una casa de 100 m<sup>2</sup>.

Pero esta energía no llega en el preciso momento en que se necesita, sino repartida durante todas las horas de sol. Opuesta a esta producción, se encuentran los perfiles de consumo de las instalaciones, que variarán en función de su uso. Por ejemplo, en las instalaciones de ACS en viviendas, se tienen dos o tres picos de consumo al día, en las instalaciones de calefacción el horario de funcionamiento, normalmente, comenzará después de las 12 del mediodía y sólo durante el invierno, etc.

Para conseguir acoplar la producción del sistema solar con el consumo de la instalación, siempre se necesitará una acumulación de energía solar. Esta acumulación tendrá mayor o menor volumen en función de dos factores principales:

- El nivel de cobertura con energía solar de la demanda de la instalación.
- El perfil de consumo de la instalación.

Cuanto mayor sea el nivel de cobertura, mayor tendrá que ser esta acumulación. La mayor heterogeneidad del perfil de consumo también hará que sea necesaria una acumulación mayor.

El cálculo del volumen de acumulación solar adecuado para cada instalación tiene una gran importancia, porque de este volumen va a depender, en gran medida, el rendimiento de todo el sistema solar. Para calcular el volumen exacto de acumulación solar en una instalación, habrá que hacer un análisis de sensibilidad, analizando el rendimiento del sistema solar con diferentes volúmenes de acumulación, y comparando el beneficio de su utilización con la inversión inicial necesaria.

Otro factor de gran influencia en el rendimiento del sistema solar será la estratificación térmica de la acumulación solar. A mayor estratificación, mayor será el rendimiento de la instalación solar. La estratificación térmica de la acumulación hace posible que la temperatura de entrada al colector solar sea lo más baja posible, lo que mejora su rendimiento. Esta estratificación se puede conseguir, en mayor o en menor grado, en función de las medidas de diseño que se tomen. Como medidas básicas se deben adoptar las siguientes:

- Utilización de depósitos verticales.
- Conexión en serie de las baterías de los depósitos.

Una estratificación mayor se puede conseguir mediante diseños más sofisticados, mediante funcionamiento a bajo flujo del circuito primario solar con caudal variable o con depósitos especialmente diseñados para favorecer la estratificación térmica.

Una de las consecuencias más importantes de la necesidad de acumulación de energía con los sistemas solares, es que el cálculo del sistema solar siempre se tiene que hacer en función de la energía demandada y no de la potencia. Esto implica un cambio en el cálculo clásico de las instalaciones que, normalmente, se

hace basándose en potencias y demandas máximas (el peor día del invierno, etc.), y no basándose en consumos medios diarios, como es el caso del diseño solar.

### 8.3.3. Subsistema de intercambio

La mayoría de los sistemas solares térmicos son de circuito indirecto, por lo que existe un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.

Los circuitos indirectos, es decir, las instalaciones con dos circuitos, uno primario (captadores solares, que funcionan como un generador de calor; el sistema de bombeo; el sistema de intercambio, que transmite la energía producida al almacenamiento; y el sistema de expansión y seguridad) y otro secundario (acumulador solar y sistema de bombeo), son de obligada utilización en zonas con riesgo de heladas (el circuito primario se llena con un líquido anticongelante) o zonas en las que la calidad del agua sea baja, aguas duras, con riesgo de incrustaciones calcáreas.

### 8.3.4. Subsistema de regulación y control

Se encarga de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación solar. Las estrategias de regulación y control no son complejas, de manera que suelen consistir en un sistema de marcha-paro de una bomba en función de un diferencial de temperatura establecido en la regulación, y en el de control de la temperatura de un acumulador (termostato de seguridad o máxima). En instalaciones complejas, mediante el sistema de regulación y control se pueden realizar múltiples operaciones, mejorando el rendimiento de éstas.



**Figura 6.** Regulación solar Vitosolic 100 y 200.

### 8.3.5. Subsistema de energía auxiliar o convencional

Todas las instalaciones solares térmicas han de incluir un sistema de apoyo convencional para cubrir las necesidades de los usuarios durante los períodos en que el sistema solar no pueda cubrir toda la demanda por causas climáticas (menor radiación) por aumento de consumo sobre el previsto inicialmente, es decir, que la demanda media anual calculada no coincida con la diaria.

Es muy importante que la instalación solar trabaje en sintonía con el resto de la instalación del edificio para garantizar el correcto funcionamiento y el máximo aprovechamiento (ahorro energético) del sistema en su conjunto.

El sistema de apoyo siempre tiene que estar dimensionado como si el sistema solar no existiese, ya que la función principal del sistema auxiliar será la de cubrir los picos de demanda, incluso en los momentos en los que la aportación del sistema solar sea insuficiente.

En la mayor parte de los casos, el método más sencillo y eficiente para realizar la integración, es conectar en serie la producción de dos generadores diferentes, por un lado se tendrá el sistema solar y, por otro, el sistema de apoyo convencional.

Independientemente de la tipología de sistema convencional utilizado, es muy importante la posición relativa de éste. Las distintas opciones que se pueden encontrar son:

- ✿ **Inmerso en el acumulador solar:** para esta configuración existen dos posibilidades en función del tipo de energía convencional utilizada, es decir, resistencia eléctrica (de menor eficiencia en tanques monovalentes) o gas natural, GLP, gasóleo, etc., mediante otro serpentín sumergido en la parte superior del acumulador (mayor eficiencia en tanques bivalentes esbeltos, en los que la estratificación se mantenga, de manera que la caldera sólo debe actuar sobre el 50% del volumen del tanque).
- ✿ **En serie con el acumulador solar:** con esta configuración, el sistema de energía convencional ha de ser modulante por temperatura y resistir entradas de agua precalentada entre 60-70 °C. El rendimiento es el más alto, ya que no afecta a la temperatura de entrada a los colectores, además de poder modular el consumo de energía convencional en función de la temperatura de entrada a la caldera mural, por lo que presenta mayor eficiencia.
- ✿ **En paralelo con el acumulador solar:** es la tipología más usual en sistemas domésticos termosifónicos. El conexionado es menos eficiente, ya que no se aprovecha el agua precalentada solar, sería un todo-nada. Estas calderas no aceptan agua precalentada.
- ✿ **Inmerso en un acumulador en serie con el acumulador solar:** con esta configuración, se puede aprovechar el precalentamiento del agua solar (aún no a la temperatura de consumo) con el consiguiente ahorro energético. El conexionado es más eficiente. El acondicionamiento del acumulador convencional se realizará con caldera de gas, gasóleo, GLP o incluso con resistencia eléctrica (menor eficiencia).

## 8.4. Principales aplicaciones de la energía solar térmica

El objetivo básico del diseño de un sistema de aprovechamiento solar ha de ser el de suministrar al usuario una instalación solar que, dentro de las restricciones de costes, pueda:

- Maximizar el ahorro energético global de la instalación en combinación con el resto de equipos térmicos del edificio.
- Garantizar una durabilidad y calidad suficientes.
- Garantizar un uso seguro de la instalación.

Para maximizar el ahorro energético, y dado que los colectores solares tienen mejor rendimiento trabajando a bajas temperaturas, es recomendable la conexión entre el sistema solar y el sistema de apoyo convencional de tal manera que el sistema solar siempre trabaje a la temperatura más baja posible. Esto llevará a conectar la instalación solar en serie con el sistema de apoyo y siempre por delante de éste.

### 8.4.1. Producción de ACS con energía solar térmica

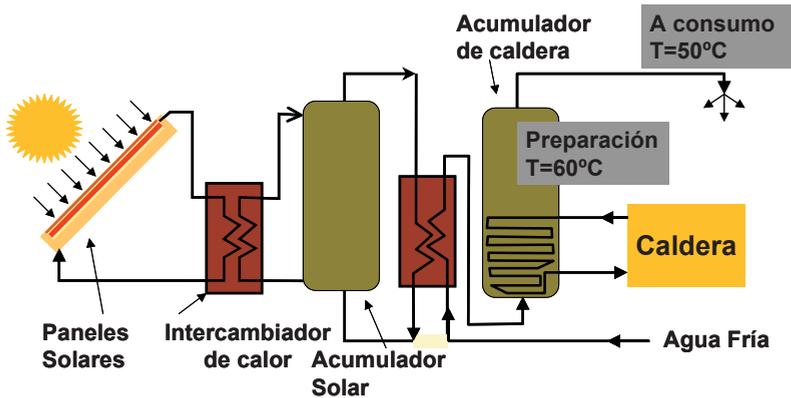
En instalaciones compartidas por varios usuarios, la producción de ACS solar será, preferiblemente, centralizada, es decir, un único sistema de captación, intercambio y acumulación solar.

En instalaciones de producción de ACS, esto significará que la acumulación de agua calentada por el sistema solar se conectará a la entrada de agua fría de la instalación. El agua precalentada por el sistema solar pasará después, según se produzca el consumo, al sistema de calentamiento convencional (interacumulador calentado con caldera, calentador instantáneo modulante, termo eléctrico, etc.).

En este tipo de esquema existe un primer depósito en el que entra directamente el agua de red, y que es calentado por el sistema solar. El depósito calentado por caldera es colocado en serie, siendo su entrada la salida del depósito solar. Para instalaciones con consumos de 1.000 a 3.000 l/día, el esquema se suele resolver mediante interacumuladores, tanto para el sistema solar como para el convencional. En sistemas con consumos mayores de 5.000 l/día, la acumulación solar se resuelve, normalmente, mediante acumuladores e intercambiador de placas externo. Para consumos mayores, suele ser interesante realizar la acumulación solar en circuito cerrado mediante dos intercambiadores de

placas. De este modo, se economiza sensiblemente la inversión inicial en acumulación solar al poder utilizar tanques de acero al carbono sin recubrimiento.

En la Fig. 7 se muestra un esquema tipo de ACS solar, si bien en este caso se han separado los circuitos de agua de consumo y de extracción de agua caliente solar mediante un intercambiador, para evitar la necesidad del tratamiento anti-legionella en el acumulador solar.



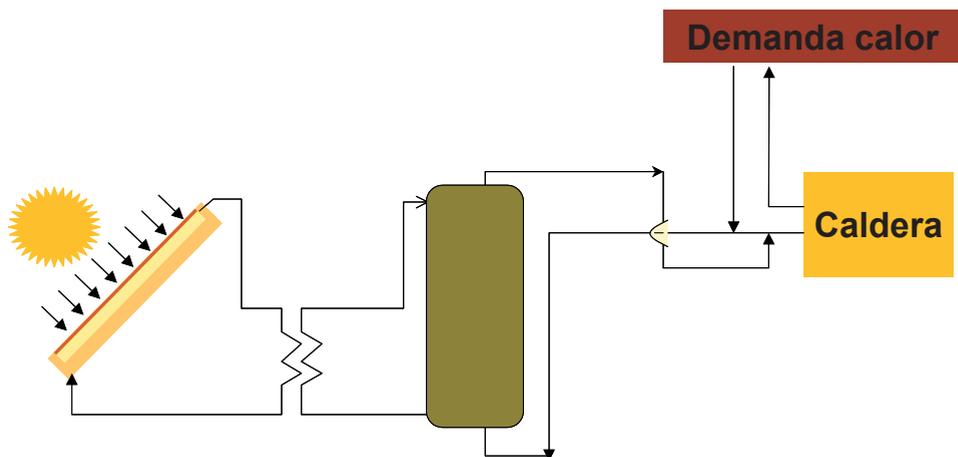
**Figura 7.** Sistemas de ACS con intercambiadores separados e intercambiador entre el acumulador solar y el de caldera.

A continuación se analizan algunas de las configuraciones básicas que se pueden aplicar para la conexión del sistema solar con la instalación convencional.

### 8.4.2. Producción de ACS y climatización de piscinas con energía solar térmica

Una de las aplicaciones más interesantes y eficientes de utilización de la energía solar es el calentamiento de piscinas, ya que las temperaturas requeridas son bajas y las demandas energéticas muy grandes. En el caso de piscinas cubiertas, es usual el instalar como sistema de calentamiento una combinación de bomba de calor y caldera. La bomba de calor sirve como mecanismo de control





**Figura 9.** Esquema tipo de aplicación solar para Calefacción y ACS.

Si bien está bastante claro que el punto de conexión del sistema solar debe ser siempre el punto más frío de la instalación de calefacción, en ocasiones hay que hacer un análisis cuidadoso de la instalación para poder determinar cuál es este punto. En instalaciones clásicas, en las que existe un único colector de impulsión y otro de retorno, el punto de conexión del sistema solar será siempre entre el colector de retorno y la caldera. Para hacer la conexión, la solución más sencilla es colocar una válvula de tres vías diversora que, cuando el retorno esté más frío que los tanques solares, obligue al agua de retorno de la calefacción a circular por el acumulador solar, donde será precalentado con la energía acumulada para, a continuación, volver a entrar en la caldera.

En instalaciones de calefacción más complejas, decidir el punto exacto de conexión del sistema solar a calefacción puede ser menos inmediato. Por ejemplo, si existe un distribuidor menor formado por colector de impulsión y colector de retorno conectados a un colector corrido, el lugar más indicado para conectar la instalación solar no sería entre el colector corrido y el retorno de caldera, ya que este punto del retorno puede llegar a estar a una temperatura elevada. En este

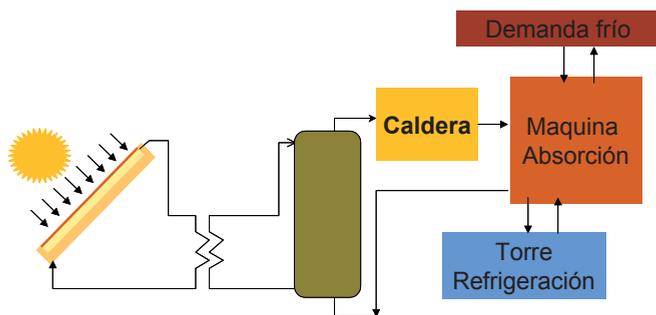
caso, habría que conectar el sistema solar entre el colector menor de retorno y el colector corrido.

Además del correcto conexionado de los dos sistemas de producción, otro elemento muy importante para un buen rendimiento de los sistemas de calefacción con energía solar es el elemento de distribución del calor. Los sistemas solares tendrán mejor rendimiento con aquellos sistemas que trabajan con temperaturas de retorno más bajas, suelo radiante, *fan-coils*, sistemas de radiadores dimensionados para temperatura de impulsión de 60 °C o inferior, etc. En ese sentido, el trabajar con calderas que puedan trabajar con temperaturas de retorno más bajas (calderas de baja temperatura o condensación), siempre simplifica el funcionamiento de la instalación en su conjunto, aparte de, por supuesto, conseguir un ahorro energético global mucho mayor.

## 8.5. Conexión al retorno en sistemas de absorción con energía solar térmica

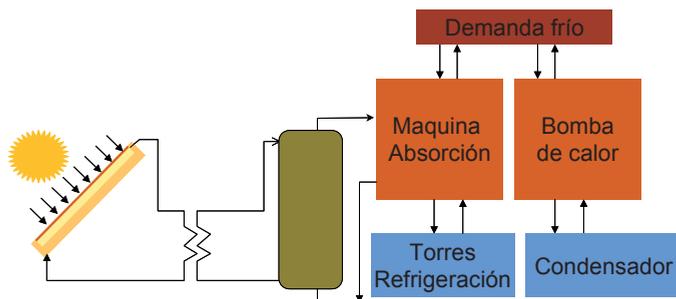
Para la aplicación del sistema solar a la producción de frío, se utilizan máquinas de absorción con unas temperaturas de trabajo de 80-90 °C. Para suministrar energía a estas temperaturas a la máquina de absorción, se puede conectar el equipo al distribuidor de caldera como un consumidor más en la instalación. Conectando la máquina al distribuidor de calefacción, el apoyo del sistema solar se podrá aplicar tanto a la producción de frío como al apoyo de calefacción de forma sencilla y natural. La única diferencia entre la temporada de calefacción y la de refrigeración para el sistema solar, será la temperatura de retorno en cada época.

Este sistema de conexión de la máquina de absorción con el sistema solar, es especialmente aconsejable en instalaciones en el que el único generador de frío es la máquina de absorción, Fig. 10.



**Figura 10.** Esquema tipo de aplicación solar para refrigeración con sólo máquina de absorción.

Teniendo en cuenta que las máquinas de absorción utilizables con energía solar presentan COP bajos, del orden de 0,65, y a pesar de las diferencias de coste entre el kWh térmico producido por gas o gasóleo para alimentar la máquina de absorción y el kWh eléctrico (de 2 a 3 veces más caro) para alimentar la bomba de calor, como el COP en frío de las bombas de calor suele ser superior a 3 y las inversiones iniciales suelen ser bastante inferiores, en la mayoría de locales se suelen elegir bombas de calor para cubrir las necesidades de frío. Desde ese punto de vista, cuando se decide realizar una instalación solar para climatización mediante máquina de absorción, los consumos suelen ser lo suficientemente altos para que, además de la máquina de absorción, se instalen bombas de calor (enfriadoras) para la producción de frío. En este caso, la producción de frío con energía solar se realiza mediante la conexión directa del sistema solar a una máquina de absorción que solamente trabaja con energía solar, Fig. 11, ya que no es interesante, ni desde un punto de vista económico, ni medioambiental, el utilizar combustible en la máquina menos eficiente.



**Figura 11.** Esquema tipo de aplicación solar para refrigeración con máquina de absorción y apoyo de bomba de calor: modo frío.

## 8.6. Caso práctico: ACS con energía solar en edificio de viviendas

Para el cálculo de la demanda de ACS se ha partido de los siguientes datos:

- Consumo máximo diario 5.940 l/día a 60 °C.
- Según el nuevo Código Técnico de la Edificación, Madrid se encuentra en Zona Climática IV. Este consumo deberá dar, como mínimo, un 70% de aporte solar para ACS.
- Los paneles están sobre cubierta plana, siendo el caso general en el que las pérdidas máximas por orientación e inclinación serán del 10%.

	Nº Viviendas	Nº personas	Consumo
1 dormitorio	12	18	396
2 dormitorios	84	252	5544
3 dormitorios	0	0	0
4 dormitorios	0	0	0
5 dormitorios	0	0	0
6 dormitorios	0	0	0
7 dormitorios	0	0	0
<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>270</b>	<b>5940</b>

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

El balance energético de la instalación sería el siguiente:

### Balance energético de la instalación solar en 96 viviendas en Coslada. Aplicación solar para ACS

Mes	Radiación Disponible kWh	Energía solar útil aportada al ACS kWh	Demanda de ACS y distribución kWh	Consumo de ACS a 60 °C m <sup>3</sup>	Extracción del tanque auxiliar Sin mezcla m <sup>3</sup>	Grado de cobertura solar de la demanda de ACS %
Enero	9664	5009	11410	184,1	176,2	43,9%
Febrero	12082	6005	10336	166,3	159,1	58,1%
Marzo	16572	7956	11415	184,1	175,6	69,7%
Abril	18606	8926	10767	178,2	168,6	82,9%
Mayo	18090	8357	10839	184,1	175,5	77,1%
Junio	18452	8646	10172	178,2	165,3	85,0%
Julio	21442	9747	10369	184,1	156,0	94,0%
Agosto	21638	9906	10276	184,1	151,4	96,4%
Septiembre	16684	8060	9938	178,2	158,0	81,1%
Octubre	13545	6796	10569	184,1	174,4	64,3%
Noviembre	10717	5589	10525	178,2	170,8	53,1%
Diciembre	10408	5550	11167	184,1	176,3	49,7%
<b>Anual</b>	<b>187900</b>	<b>90547</b>	<b>127783</b>	<b>2168,1</b>	<b>2006,9</b>	<b>70,9%</b>
Nº Paneles	Vitrosol 100=	48	Consumo medio de ACS (m <sup>3</sup> /día)	5,94		
m <sup>2</sup> totales=		111,84	V acumulación solar(L) =	6000		
Orientación=		14,51º suroeste	Potencia de Intercambio (kW)=	78,288		
Inclinación=		45	Temp. Agua de red Feb/Ago =	7/13 °C		

Captación solar por m <sup>2</sup> de colector	810	kWh/m <sup>2</sup> año
CO <sub>2</sub> evitados	20101	kg/año

\* Fuente kg/año CO<sub>2</sub> evitados: EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (SNAP-97)

La instalación de un sistema solar, además de ahorro energético, producirá una gran reducción de las emisiones producidas al entorno. En la siguiente tabla se presenta el cálculo de los kg de CO<sub>2</sub> que se dejarán de emitir gracias al sistema solar.

#### Instalación solar en 96 viviendas en Coslada Equivalencias de Ahorro Energético y de Reducción de Emisiones (Cobertura solar del ACS=70,9%)

Combustible	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> * (kg/GJ)	CO <sub>2</sub> evitados kg/año
Gas Natural	55,5	20101,434
<b>Área de colectores = 111,84 m<sup>2</sup> ; V acumulación solar(L) = 6000 L ; Orientación= 14,51º suroeste; Inclinación= 45</b>		
Ahorro energético anual - Energía (kWh/año)		90547 kWh/año
Ahorro de emisiones - kg de CO <sub>2</sub> en 20 años *		402028,68 kg CO <sub>2</sub>
Reducción Emisiones en millones de km equivalentes de coches nuevos (CO <sub>2</sub> evitado en 20 años) **		3,35 Millones de km
Número de árboles equivalentes (CO <sub>2</sub> acumulado en 20 años) ***		7310 árboles
Hectáreas de bosques equivalentes (CO <sub>2</sub> acumulado en 20 años) ***		1,74 hectáreas

\* EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (SNAP-97)

\*\* Comisión Europea. Objetivo 2005

\*\*\* ECCM Edinburgh Centre for Carbon Management

## 8.7. Resumen de los beneficios de solarizar los edificios de viviendas

Los principales beneficios son:

- Reducir la factura energética.
- Pagar las inversiones con parte de los ahorros.
- Mejorar el medio ambiente urbano.
- Mejorar la imagen del edificio como promotor del uso racional de la energía y de la innovación.

El principal factor que está limitando su desarrollo es:

- Falta de contabilidad de costes energéticos.

Y los que lo están favoreciendo:

- Preocupación medioambiental.
- Las demandas energéticas son grandes y en fase con la disponibilidad del Sol, lo que conduce a instalaciones solares eficientes y con rentabilidades muy interesantes, especialmente al contabilizar los beneficios ambientales y de imagen pública.

## 9.1. 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 impedía 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 período 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 éstas son más benignas, las necesidades de calor de los edificios son, evidentemente, menores.

- Para elevar la temperatura ambiente de un edificio en  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 - 28 °C, y por qué el consumo de combustible era, igualmente, tan alto. Si se considera una temperatura ambiente de confort entre 20 y 22 °C como adecuada, mantener los 27 ó 28 °C descritos, implica un despilfarro de combustible de un 50 %, e incluso superior, a todas luces una absoluta aberración.

## 9.2. Primeras medidas para el ahorro y la eficiencia energética

Semejante despilfarro 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 9.1, 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, *fancoils*, suelo radiante, etc.), hasta adecuarla a las necesidades reales del edificio, todo dentro de unas consignas de temperatura ambiente de unos 20 - 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 productos 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 sola, 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. 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.

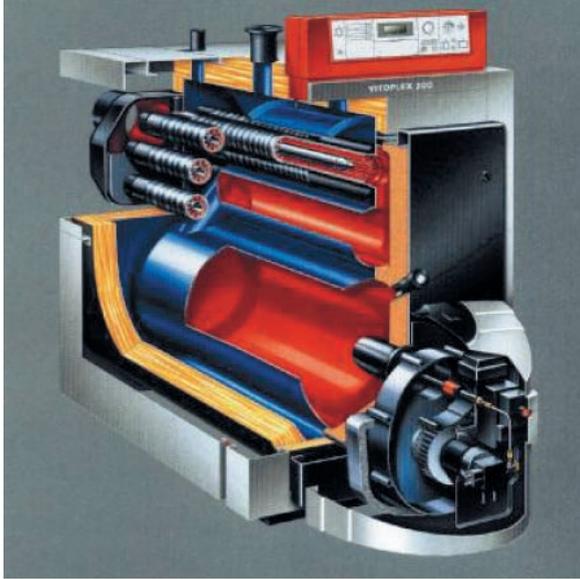
Por otro lado, conviene no olvidar que, en el proceso de cambio de estado del vapor de agua producido durante la combustión, se desprende una apreciable cantidad de calor, denominado calor latente que, de poder utilizarse, representa un aprovechamiento adicional de la energía. Acerca de este principio se desarrollarán más adelante las calderas de gas de Condensación.

### 9.3. Calderas de baja temperatura

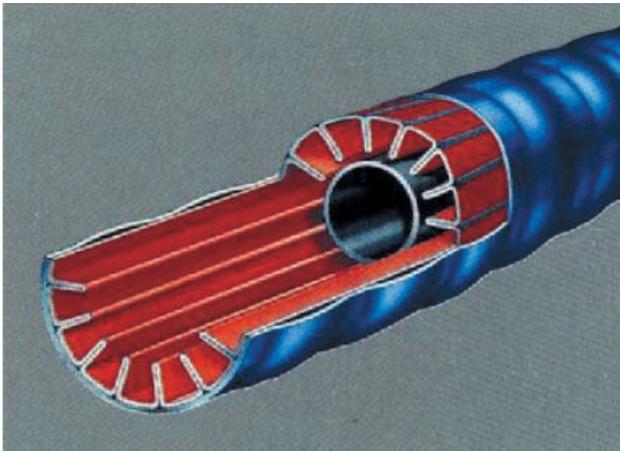
La definición oficial de este tipo de calderas, según la Directiva Europea de Rendimientos 92/42/CEE es la siguiente: “Una caldera que puede funcionar continuamente con una temperatura del agua de alimentación de entre 35 y 40 °C y que, en determinadas condiciones, puede producir condensación”.

Para que estas calderas puedan trabajar 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

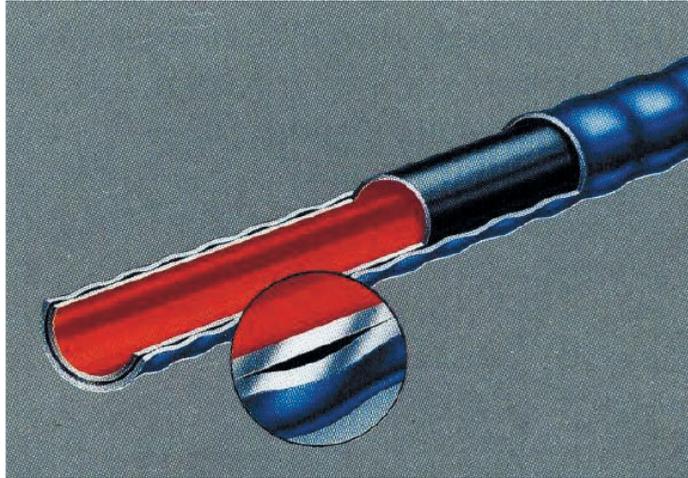
para este fin. A título de ejemplo, el fabricante alemán Viessmann utiliza superficies de intercambio de pared múltiple, con cámaras de aire para la dosificación de la transmisión del calor al agua de calefacción. Los detalles constructivos de estas superficies de intercambio pueden observarse en las Figs. 1, 2 y 3.



**Figura 1.** Vista seccionada de una caldera de Baja Temperatura de Viessmann, modelo Vitoplex 300.



**Figura 2.** Tubo Triples. Superficie de calefacción por convección de pared múltiple de la caldera Vitoplex 300.



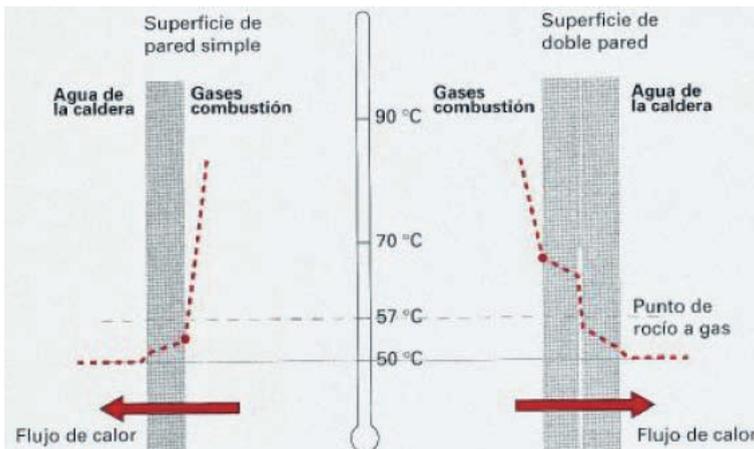
**Figura 3.** Tubo Duplex de la caldera Vitomax 300.

### 9.3.1. 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.

### 9.3.2. 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 según 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 temperatura exterior aumentase, bajaría progresivamente la temperatura de impulsión hasta alcanzar los 30 o 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 (A.C.S.), 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 de 80 °C.

La utilización de calderas de Baja Temperatura con respecto a las calderas Estándar, aporta un ahorro energético de en torno a un 15%, o incluso superior, en función de la marca y modelo de caldera con la que se realice la comparativa.

## 9.4. 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 despilfarra 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 para condensar permanentemente una parte importante del vapor de agua contenido en los gases procedentes de la combustión". Cabe destacar la importancia, por lo tanto, 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.

### 9.4.1. Técnica de condensación

Con el empleo de esta técnica, el rendimiento estacional puede verse aumentado en unos 14 - 15 puntos con respecto a una moderna caldera de Baja Temperatura.

Durante la combustión, los componentes combustibles, principalmente carbono (C) e hidrógeno (H), reaccionan con el oxígeno del aire, generando, además de calor, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>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 se 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 CO<sub>2</sub>,

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 (P.C.I.).

#### **9.4.1.1. El Poder Calorífico Inferior y el Poder Calorífico Superior**

El Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) 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 (P.C.S.) 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 P.C.I., 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 (P.C.S.) y el Poder Calorífico Inferior (P.C.I.). 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 también, de este modo, el calor sensible de los humos en mucha mayor cuantía que las calderas de Baja Temperatura y las calderas Estándar. En el balance total de rendimiento adicional obtenido por esta técnica, habrá que considerar las dos ganancias: calor latente y calor sensible.

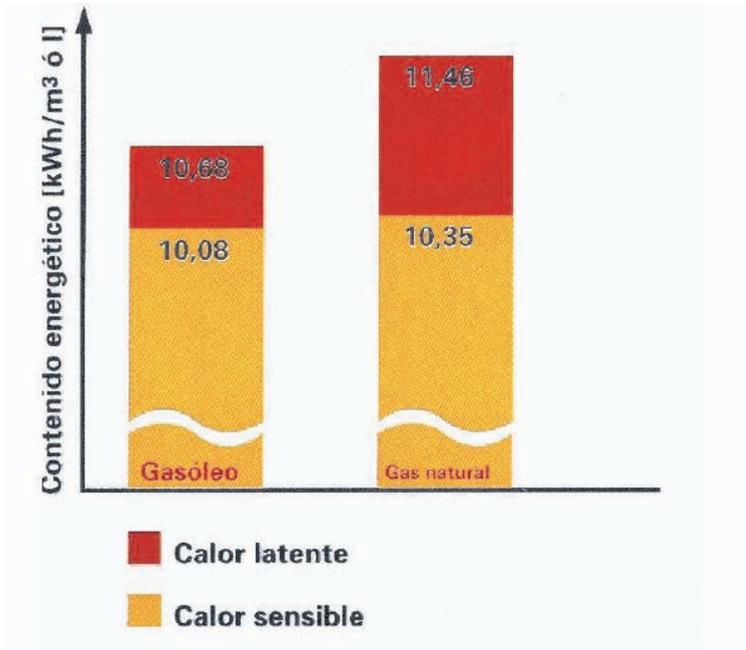


Figura 5. Contenido energético del gasóleo y el gas natural.

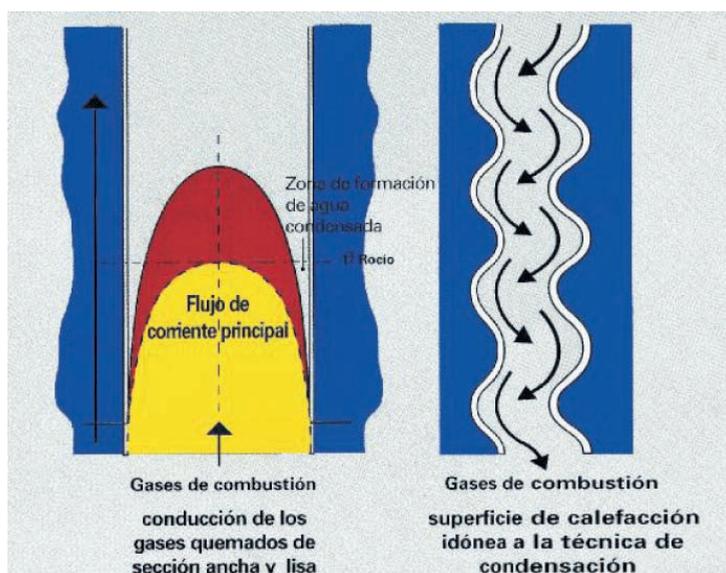
## 9.4.2. Diseño de las calderas de Condensación

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.

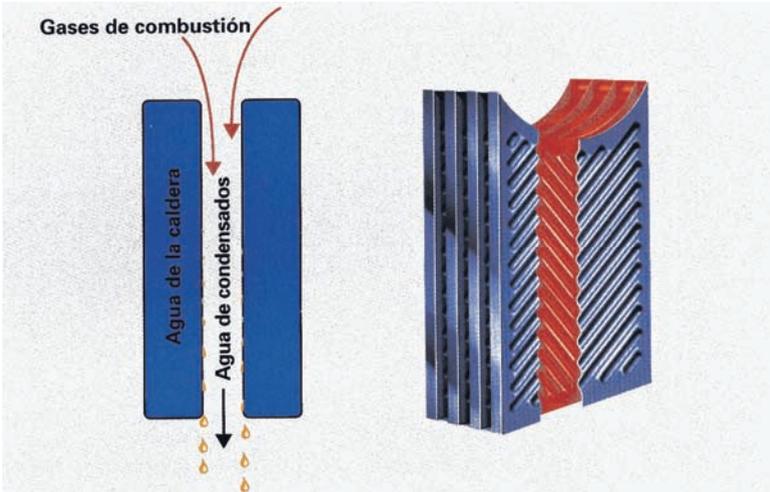
Las superficies de calefacción pueden concebirse de forma tal que los gases de combustión se arremolinen continuamente, evitando así la creación de un flujo de corriente principal de mayores temperaturas. Por otro lado, los tubos lisos no son adecuados para este fin. Deben crearse puntos de desvío y variaciones en su sección transversal.



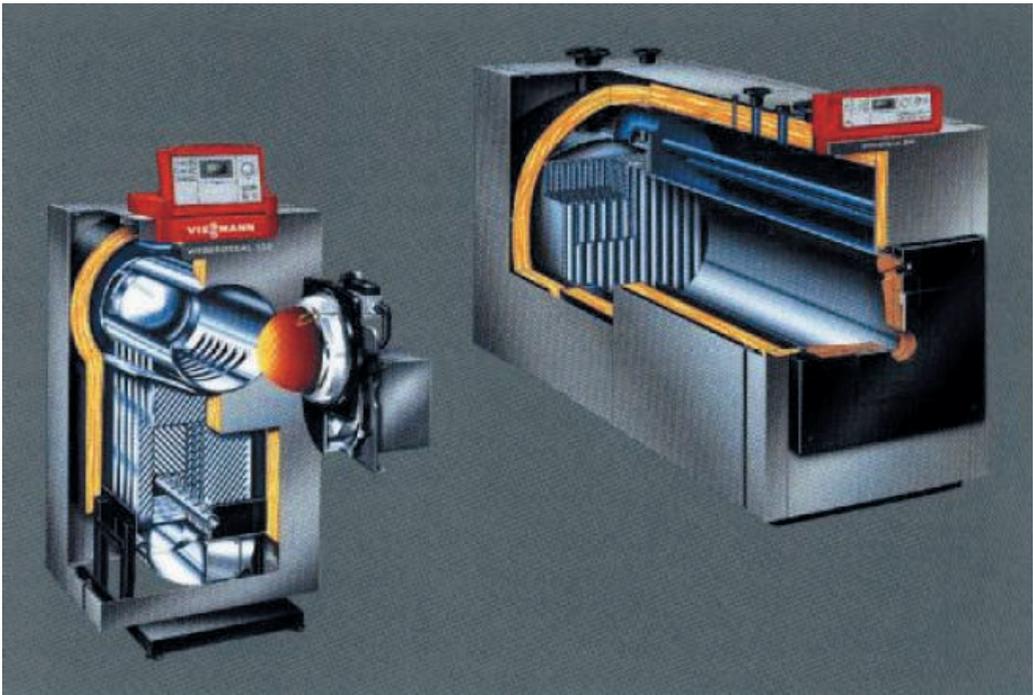
**Figura 6.** Requisitos físicos para los pasos de humos de mayor diámetro-superficie de calefacción Inox-Crossal.

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 7.** Conducción de los gases de combustión y agua condensados.



**Figura 8.** Vista seccionada de calderas de Condensación a gas de Viessmann, modelo Vitocrossal 300.

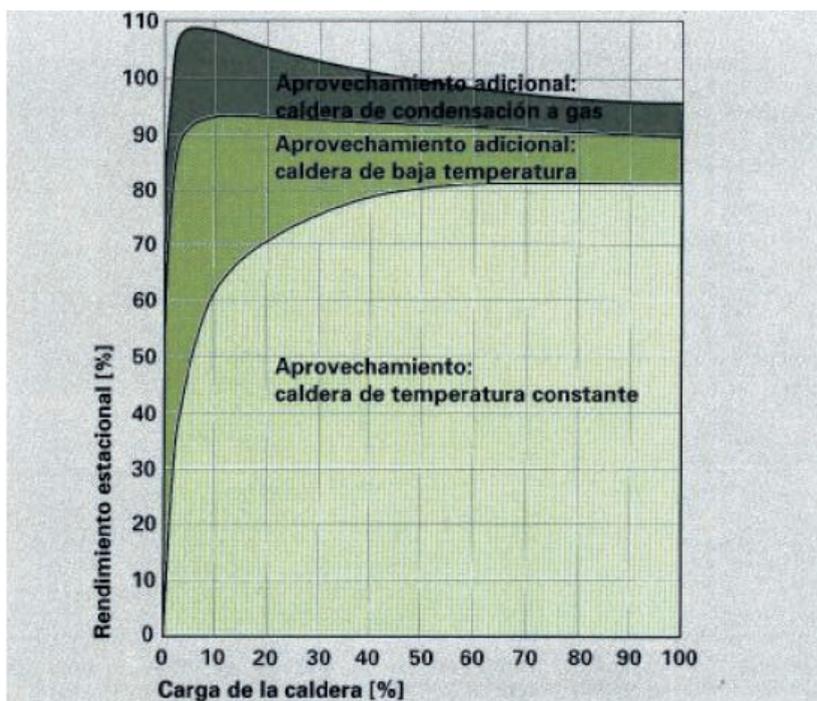
Para evitar la concentración excesiva del agua condensada e impedir que fluya hacia la cámara de combustión, los gases quemados y el agua condensada deben fluir de forma descendente y en el mismo sentido. Así, la gravedad ayuda a la formación del flujo de las gotas de condensación. Por esta razón, la salida de los gases quemados está dispuesta, generalmente, en la parte inferior del intercambiador de calor.

## 9.5. Comparativa de valores de rendimiento estacional

Las calderas Estándar que funcionan con temperatura constante del agua de la caldera, alcanzan el máximo rendimiento estacional bajo plena carga de funcionamiento (100%). Con funcionamiento a baja carga, el rendimiento estacional se reduce considerablemente, siendo la carga media anual habitual en una instalación de calefacción del 30%.

Las modernas calderas de Baja Temperatura y Condensación, por el contrario, muestran un comportamiento del rendimiento estacional muy diferente. Funcionan con descenso progresivo de la temperatura del agua de caldera, que se adapta, en cada momento, a la demanda real de calor del edificio. Gracias a la reducción de las pérdidas por radiación y convección y, en consecuencia, de las pérdidas por disposición de servicio, el rendimiento estacional aumenta cuanto menor es la carga media anual de funcionamiento. Esto puede ser especialmente provechoso cuando se trata de instalaciones sobredimensionadas. También se hace especialmente interesante el uso de un único generador para los servicios de calefacción y de agua caliente sanitaria.

En la Fig. 9 se aprecia claramente como 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.



**Figura 9.** Comportamiento del rendimiento estacional de calderas de Baja Temperatura y de Condensación con respecto a las calderas Estándar.

## 9.6. 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 produzcan en su interior condensaciones ácidas perjudiciales para la caldera.

Las calderas de condensación producen una importante cantidad adicional de calor mediante el aprovechamiento, precisamente, de la condensación

En ambos casos, el funcionamiento según 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 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 se relacionan al Poder Calorífico Inferior (P.C.I.).

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%.

## 10.1. Introducción

### 10.1.1. Antecedentes

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 se utiliza 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 tan sólo el 6% de la energía utilizada en España proviene de fuentes renovables.

Resulta prioritario, pues, reducir esta dependencia económica del petróleo y de combustibles fósiles, ya que se trata de fuentes que, poco a poco, se agotan 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 hay muchos adelantos tecnológicos orientados a este fin que han obtenido buenos resultados. Se calcula

que desde 1970 hasta la actualidad, 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 la emisión de CO<sub>2</sub>, todos ellos problemas clave de nuestros días, se ha considerado necesario marcar unos objetivos por países dentro del protocolo de Kyoto.

La industria del alumbrado posee la tecnología necesaria para conseguir ahorros energéticos y reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> muy significativos.

Cambiando a sistemas de alumbrado energéticamente más eficientes, se pueden obtener importantes ahorros en los costes de mantenimiento de las instalaciones.

## 10.2. Directivas, códigos, leyes y reglamentos sobre la eficiencia energética

Debido a la creciente preocupación por el medioambiente y su futuro, los gobiernos de la mayor parte de los países y, en concreto, la Unión Europea, ha 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 la calidad y prestaciones de sus productos.

No debe olvidarse nunca 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 lugares de concurrencia pública.

## 10.2.1. Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Consejo de Ministros, mediante el Real Decreto 314/2006, del 17 de Marzo de 2006, aprobó el Código Técnico de la Edificación (CTE), marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad, seguridad y habitabilidad de los edificios y sus instalaciones.

El auge de la construcción en los últimos años y en décadas anteriores, no siempre ha alcanzado unos parámetros de calidad adaptados a las nuevas demandas. El punto de inflexión que significó la firma del Protocolo de Kyoto en 1999 y los compromisos más exigentes de la Unión Europea con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, marcan el desarrollo de una serie de normativas que salen ahora a la luz y que cambiarán los parámetros básicos de construcción.

El CTE se aprueba con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación y de promover la innovación y la sostenibilidad, aumentando la calidad básica de la construcción según se recogía en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE). Además, se han incorporado criterios de eficiencia energética para cumplir las exigencias derivadas de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre, relativas a la eficiencia energética de edificios.

A través de esta normativa, se da satisfacción a ciertos requisitos básicos de la edificación relacionados con la seguridad y el bienestar de las personas, que se refieren tanto a la seguridad estructural y de protección contra incendios, como a la salubridad, la protección contra el ruido, el ahorro energético o la accesibilidad a las personas con movilidad reducida.

Esta nueva norma regulará la construcción de todos los edificios nuevos y la rehabilitación de los existentes, tanto los destinados a viviendas como los de uso comercial, docente, sanitario, deportivo, industrial o sociocultural.

### 10.2.1.1. Sección SU 4 - Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada

Dentro de esta sección se recogen los niveles de alumbrado normal en zonas de circulación, medidos a nivel del suelo. Sin ser éstos especialmente elevados, sí suponen un incremento respecto de la práctica habitual.

Destacan las actuaciones en zonas de uso común de vehículos y personas (parkings y zonas de carga y descarga) y en las escaleras (tanto interiores como exteriores al edificio). Para estas zonas, se exigirán unos niveles mínimos (Véase Tabla 1.1 Niveles mínimos de iluminación).

Respecto a las características de la instalación de iluminación de emergencia, los requerimientos son, básicamente, los que ya se recogen en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, dentro de la ICT-BT-28, incluyendo la consideración de que los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse asumiendo como nulo el factor de reflexión sobre paredes y techos, teniendo en cuenta, además, el factor de mantenimiento por envejecimiento de la lámpara y suciedad en la luminaria.

#### TEXTO OFICIAL BOE

##### 1. Alumbrado normal en zonas de circulación

1.1. En cada zona se dispondrá una instalación de alumbrado capaz de proporcionar, como mínimo, el nivel de iluminación que se establece en la tabla siguiente, medido a nivel de suelo.

**Tabla 1.1 Niveles mínimos de iluminación**

Zona	Iluminación mínima lux.		
Exterior	Exclusiva para personas	Escaleras	10
		Resto de zonas	5
	Para vehículos o mixtas		10
Interior	Exclusiva para personas	Escaleras	75
		Resto de zonas	50
	Para vehículos o mixtas		50

El factor de uniformidad media será del 40% como mínimo.

1.2. En las zonas de los establecimientos de Pública Concurrencia, en las que la actividad se desarrolla con un nivel bajo de iluminación, se dispondrá una iluminación de balizamiento en las rampas y en cada uno de los peldaños de las escaleras.

## **2. Alumbrado de emergencia**

### 2.1 Dotación

Los edificios dispondrán de un alumbrado de emergencia que, en caso de fallo del alumbrado normal, suministre la iluminación necesaria para facilitar la visibilidad a los usuarios, de manera que puedan abandonar el edificio, evite las situaciones de pánico y permita la visión de las señales indicativas de las salidas, y la situación de los equipos y medios de protección existentes.

Contarán con alumbrado de emergencia las zonas y los elementos siguientes:

- a) Todo recinto cuya ocupación sea mayor que 100 personas.
- b) Todo recorrido de evacuación, conforme éstos se definen en el Anejo A de BD SI (Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio, recogido en el CTE).
- c) Los aparcamientos cerrados o cubiertos cuya superficie construida exceda de 100 m<sup>2</sup>, incluidos los pasillos y las escaleras que conduzcan hasta el exterior o hasta las zonas generales del edificio.
- d) Los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección contra incendios y los de riesgo especial indicados en el DB-SI 1.
- e) Los aseos generales de planta en edificios de uso público.
- f) Los lugares en los que se ubican cuadros de distribución o de accionamiento de la instalación de alumbrado de las zonas antes citadas.
- g) Las señales de seguridad.

## 2.2 Posición y características de las luminarias.

Con el fin de proporcionar una iluminación adecuada, las luminarias cumplirán las siguientes condiciones:

- a) Se situarán, al menos, a 2 m por encima del nivel del suelo.
- b) Se dispondrá de una en cada puerta de salida y en posiciones en las que sea necesario destacar un peligro potencial o el emplazamiento de un equipo de seguridad. Como mínimo, se dispondrán en los siguientes puntos:
  - En las puertas existentes en los recorridos de evacuación.
  - En las escaleras, de modo que cada tramo de escalera reciba iluminación directa.
  - En cualquier otro cambio de nivel.
  - En los cambios de dirección y en las intersecciones de pasillos.

## 2.3 Características de la instalación.

La instalación será fija, estará provista de fuente propia de energía y deberá entrar automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo de alimentación en la instalación de alumbrado normal en las zonas cubiertas por el alumbrado de emergencia. Se considera como fallo de alimentación el descenso de la tensión de alimentación por debajo del 70% de su valor nominal.

El alumbrado de emergencia de las vías de evacuación debe alcanzar, al menos, el 50% del nivel de iluminación requerido al cabo de los 5 s y el 100% a los 60 s.

La instalación cumplirá las condiciones de servicio que se indican a continuación durante una hora, como mínimo, a partir del instante en que tenga lugar el fallo:

- a) En las vías de evacuación cuya anchura no exceda de 2 m, la iluminancia horizontal en el suelo debe ser, como mínimo, de 1 lux a lo largo del eje central y de 0,5 lux en la banda central que comprenda,

al menos, la mitad de la anchura de la vía. Las vías de evacuación con anchura superior a 2 m pueden ser tratadas como varias bandas de 2 m de anchura, como máximo.

- b) En los puntos en los que estén situados los equipos de seguridad, las instalaciones de protección contra incendios de utilización manual y los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia horizontal será de 5 lux, como mínimo.
- c) A lo largo de la línea central de una vía de evacuación, la relación entre la iluminancia máxima y la mínima no debe ser mayor de 40:1.
- d) Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión sobre paredes y techos, y contemplando un factor de mantenimiento que englobe la reducción del rendimiento luminoso debido a la suciedad de las luminarias y al envejecimiento de las lámparas.
- e) Con el fin de identificar los colores de seguridad de las señales, el valor mínimo del índice de rendimiento cromático Ra de las lámparas será de 40.

#### 2.4 Iluminación de las señales de seguridad.

La iluminación de las señales de evacuación indicativas de las salidas y de las señales indicativas de los medios manuales de protección contra incendios y primeros auxilios, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) La luminancia de cualquier área de color de seguridad de la señal debe ser, al menos, 2 cd/m<sup>2</sup> en todas las direcciones de visión importantes.
- b) La relación de la luminancia máxima a la mínima dentro del color blanco o de seguridad, no debe ser mayor de 10:1, debiéndose evitar variaciones importantes entre puntos adyacentes.
- c) La relación entre la luminancia Lblanca, y la luminancia Lcolor >10, no será menor que 5:1, ni mayor que 15:1.
- d) Las señales de seguridad deben estar iluminadas, al menos, al 50% de la iluminancia requerida al cabo de 5 s, y al 100% al cabo de 60 s.

### 10.2.1.2 Sección HE3. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

Este es, sin duda, el documento que supondrá un mayor avance en materia de iluminación de las edificaciones. Su ámbito de aplicación son las instalaciones de iluminación de interior en:

- Edificios de nueva construcción.
- Rehabilitación de edificios existentes con una superficie útil de más de 1.000 m<sup>2</sup>, donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada.
- Reformas de locales comerciales y edificios de uso administrativo donde se renueve la instalación de alumbrado.

Se excluyen, específicamente:

- Edificios y monumentos de valor histórico, cuando la aplicación de estas exigencias supongan alteraciones inaceptables para ellos.
- Construcciones provisionales para menos de 2 años.
- Instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales.
- Edificios independientes de menos de 50 m<sup>2</sup>.
- Interiores de viviendas.

Aún en estos casos, se deben adoptar soluciones, debidamente justificadas en el proyecto, para el ahorro de energía en la iluminación.

Los apartados principales de esta sección son:

- Valores de eficiencia energética mínima para cada tipo de edificio y utilización. El parámetro utilizado para medir esta eficiencia es el **VEE (Valor de Eficiencia Energética)**:

$$\text{VEE} = \text{W/m}^2 \text{ por cada } 100 \text{ Lux}$$

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un edificio se establecen en la Tabla 2.1. Estos valores incluyen la iluminación general y la iluminación de acento, pero no las instalaciones de iluminación de escaparates y zonas expositivas.

La zona de no representación son espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios, como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.

**Tabla 2.1. Valores límite de eficiencia energética de la instalación**

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
1 Zonas de no representación	Administrativo en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico (4)	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios (2)	4,0
	Habitaciones de hospital (3)	4,5
	Zonas comunes (1)	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Aparcamientos	5
	Espacios deportivos (5)	5
Recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5	
2 Zonas de representación	Administrativo en general	6
	Estaciones de transporte (6)	6
	Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros Comerciales (excluidas tiendas) (9)	8
	Hostelería y restauración (8)	10
	Religioso en general	10
	Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias (7)	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes (1)	10
	Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12
	Recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10

- Sistemas de control y regulación:** hace obligatorio el uso de sistemas de control básicos (prohíbe explícitamente el que el encendido y apagado se haga en exclusiva desde los cuadros eléctricos), detección de presencia en zonas de uso esporádico y regulación en las luminarias más cercanas a las ventanas, en función de la luz natural.
- Diseño y dimensionado de la instalación:** con objeto de garantizar la calidad de la instalación de alumbrado, se detallan los datos mínimos que deben

incluir los proyectos, y los parámetros de iluminación se confían a la norma **UNE 12464-1**, con lo que **se convierte en norma de obligado cumplimiento**.

- ✿ **Características de los productos de la construcción:** en este apartado se establecen los valores máximos de consumo para cada tipo de punto de luz. Para las lámparas fluorescentes, se confirman los valores recogidos en el Real Decreto 838/2002, que establece que, a partir del mes de Agosto 2007, no se podrán comercializar balastos que no sean de bajas o muy bajas pérdidas. Todas las luminarias deberán contar con un certificado del fabricante que acredite la potencia total consumida.
- ✿ **Mantenimiento y conservación:** se hace obligatorio el que todas las instalaciones cuenten con un plan de mantenimiento que garantice los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación. Este documento incluirá, entre otra información, el período de reposición de las lámparas y la limpieza de las luminarias.

Además, es importante tener en cuenta que el CTE (HE 5) prevé que, en aquellos edificios donde no se pueda instalar un sistema de captación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos, se debe proveer al edificio de un modo alternativo de ahorro eléctrico equivalente a la potencia fotovoltaica que se debería instalar. Entre los modos indicados en el CTE para conseguir este ahorro suplementario está la iluminación.

### 10.2.2. Norma UNE 12464-1

Afortunadamente, en Septiembre de 2002, se aprobó la redacción, por parte de la Comisión de Normalización Europea, de la Norma UNE 12464-1 relativa a "Iluminación de los lugares de trabajo en interior", por lo que, a finales de Mayo de 2003, han tenido que ser retiradas todas aquellas normas nacionales que pudieran entrar en conflicto con la nueva norma.

Aunque dicha norma hace referencia a la iluminación en lugares de trabajo de interior, su estudio es muy útil también para el caso que nos ocupa, y se puede

utilizar como referencia para definir los niveles de alumbrado en pasillos, descansillos, portales y aparcamientos.

Esta nueva norma, a la que debe acudir en el origen de todos los proyectos de iluminación para lugares de trabajo en interiores, recomienda el cumplimiento no sólo cuantitativo, sino cualitativo, de dos aspectos de la tarea visual que se resumen brevemente:

- ✿ Confort visual.
- ✿ Rendimiento de colores.

Dentro del confort visual, estarán englobados parámetros tales como la relación de luminancias entre tarea y entorno, o el control estricto del deslumbramiento producido por las fuentes de luz.

Pero lo que de verdad introduce una novedad notable, por lo que significa de mejora para el usuario de las instalaciones, es el aspecto relativo al rendimiento de colores. Como todo el mundo probablemente conoce, existen una serie de fuentes de luz, masivamente empleadas en la iluminación de interiores, por razones exclusivamente crematísticas, que no cumplen con unos índices mínimos de reproducción cromática, y lo que esta norma plantea es la prohibición de dichas fuentes de luz en iluminación de tareas visuales.

Así, por ejemplo, se exige un índice de rendimiento en color superior a 80 ( $R_a > 80$ ) en la conocida escala de 0 a 100 para iluminar cualquier tarea visual en salas o recintos en los que la ocupación sea de gran duración o permanente, y no ocasional como podría suceder en corredores o pasillos.

Estas prescripciones recogidas convenientemente en esta nueva norma, contribuirán a diseñar y ejecutar instalaciones de iluminación en interiores mucho más "humanas" y protectoras de la calidad de vida y condiciones de trabajo en el quehacer cotidiano.

Seguir estas pautas es cumplir con las recomendaciones de calidad y confort visual y, al mismo tiempo, crear ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones.

En un gran número de espacios, genéricamente englobados bajo el epígrafe “Lugares de pública concurrencia”, la Norma Europea detalla, para la parte de Aparcamientos públicos de vehículos (interior), los siguientes requisitos, tanto para la iluminancia mantenida como para el índice de reproducción cromática y la temperatura de color:

7. Aparcamientos públicos de vehículos (interior)					
		$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
7.1	Rampas de acceso o salida (de día)	300	25	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminancias a nivel de suelo</li> <li>- Se deben reconocer los colores de seguridad</li> </ul>
7.2	Rampas de acceso o salida (de noche)	75	25	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminancias a nivel de suelo</li> <li>- Se deben reconocer los colores de seguridad</li> </ul>
7.3	Calles de circulación	75	25	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminancias a nivel de suelo</li> <li>- Se deben reconocer los colores de seguridad</li> </ul>
7.4	Áreas de aparcamiento	75	-	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminancias a nivel de suelo</li> <li>- Se deben reconocer los colores de seguridad</li> <li>- Una mayor iluminancia vertical aumenta el reconocimiento de las caras y por ellos la sensación de seguridad</li> </ul>
7.5	Caja	300	19	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar reflejos en las ventanas</li> <li>- Impedir el deslumbramiento</li> </ul>

Es interesante tomar como referencia la tabla correspondiente a zonas de tráfico y áreas comunes de edificios que, a continuación, se reproduce parcialmente:

I. Zonas de tráfico					
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	$E_m$ lux	UGR <sub>L</sub>	R <sub>a</sub>	Observaciones
I.1	Áreas de circulación y pasillos	100	28	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminancia al nivel del suelo.</li> <li>- Ra y UGR similares a áreas adyacentes.</li> <li>- 150 lux si hay vehículos en el recorrido.</li> <li>- El alumbrado de salidas y entradas debe proporcionar una zona de transición para evitar cambios repentinos en iluminancia entre interior y exterior de día o de noche.</li> <li>- Debería tenerse cuidado para evitar el deslumbramiento de conductor y peatones</li> </ul>
I.2	Escaleras, cintas transportadoras, rampas/tramos de carga	150	25	40	

### 10.2.3. Real Decreto 208/2005, relativo a la Directiva RAEE sobre aparatos eléctricos y electrónicos, y la gestión de sus residuos

La aplicación de la Directiva Europea 2002/96/CE, de 27 de enero de 2003 y la Directiva 2003/108/CE de 8 de diciembre de 2003 mediante el Real Decreto 208/2005 de 25 de Febrero de 2005, tiene como objetivo reducir la cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), y la peligrosidad de sus componentes, fomentar su reutilización y valorización, mejorando así el comportamiento medioambiental de todos los agentes implicados en el ciclo de vida del producto, es decir, desde el productor hasta el propio usuario final.

Los productos de lámparas que se ven afectados en esta Directiva en la categoría 5, aparatos de alumbrado, del Anexo I B, son los siguientes:

- Lámparas fluorescentes rectas.
- Lámparas fluorescentes compactas.

- ✿ Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de alta presión y las lámparas de halogenuros metálicos.
- ✿ Lámparas de sodio de baja presión.

El coste externalizado de la recogida, reciclado y valorización del residuo histórico es responsabilidad de los fabricantes desde el 13 de agosto de 2005.

### 10.2.4. RoHS. Directiva sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos

A partir del 1 de julio de 2006, serán de aplicación las medidas previstas en la Directiva 2002/95/CE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, también conocida como Directiva RoHS (transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero), medidas que tendrán un impacto significativo en las cantidades de sustancias peligrosas emitidas al medio ambiente. Complementa la Directiva RAEE reduciendo las cantidades de materiales potencialmente peligrosos contenidos en productos eléctricos y electrónicos.

Una de las principales consecuencias de la Directiva RoHS deberá ser la restricción de aquellos productos que no cumplan con las cantidades de sustancias contaminantes que en esta Directiva se especifican, así como reducir los riesgos en la manipulación de los productos en su ciclo de reciclaje.

Se prohibirán las siguientes sustancias en lámparas y equipos:

- ✿ Plomo (Pb).
- ✿ Mercurio (Hg).
- ✿ Cromo hexavalente (Cr VI).
- ✿ Cadmio (Cd).
- ✿ Bifenilos polibromados (PBB).

La Directiva RoHS afecta tanto a las lámparas y luminarias como a los equipos y, conjuntamente con la Directiva RAEE, tendrá un impacto significativo en las cantidades de sustancias peligrosas emitidas al medio ambiente. Se ha de tener en cuenta que las lámparas incandescentes y halógenas, a diferencia de la Directiva RAEE, sí están incluidas en RoHS.

La normativa sobre el mercurio y el plomo contempla algunas exenciones en iluminación, basadas en los niveles que se utilizan actualmente en el sector. La razón es que se requiere algo de mercurio para que las lámparas de descarga en gas funcionen eficientemente, así como la ausencia de alternativas técnicas industriales al plomo en determinadas categorías de producto.

### **10.2.5. Real Decreto 838/2002. Requisitos de eficiencia energética de los balastos para lámparas fluorescentes**

El Real Decreto 838/2002 del 2 de agosto, traspone la Directiva 2000/55/CE que fue aprobada en el Parlamento Europeo el 18 de septiembre. Esta Directiva regula los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.

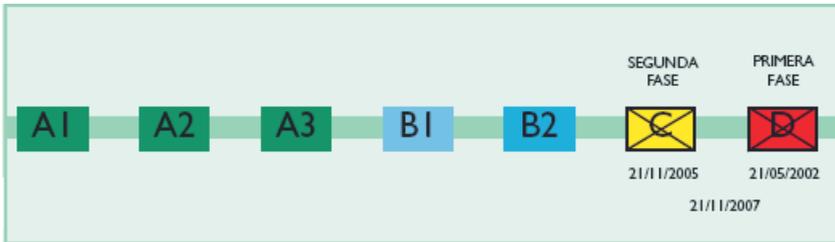
La presente Directiva tiene como objeto reducir el consumo de energía de los balastos para lámparas fluorescentes, abandonando poco a poco aquellos que sean menos eficientes a favor de balastos más eficientes que permitan, además, un importante ahorro energético.

Esta Directiva se debe de aplicar a los balastos de fluorescencia alimentados a través de la red eléctrica. Están excluidos los balastos integrados en lámparas, los balastos que, estando destinados a luminarias, han de instalarse en muebles y los balastos destinados a la exportación fuera de la Comunidad.

Los balastos deber de ir con el marcado "CE". El marcado "CE" habrá de colocarse de manera visible, legible e indeleble en los balastos y en sus embalajes. Es decisión del fabricante incorporar en el balasto una etiqueta indicando el Índice de Eficiencia Energética.

Se define como Índice de Eficiencia Energética, la potencia máxima de entrada del circuito balasto-lámpara. Existen siete niveles de eficiencia que, clasificados de mejor a peor, son:

- ✿ A1, electrónicos regulables.
- ✿ A2, electrónicos de bajas pérdidas.
- ✿ A3, electrónicos estándar.
- ✿ B1, electromagnéticos de muy bajas pérdidas.
- ✿ B2, electromagnéticos de bajas pérdidas.
- ✿ C, electromagnéticos de pérdidas moderadas.
- ✿ D, electromagnéticos de altas pérdidas.



Esta última es función de la potencia de la lámpara y del tipo de balasto. Por lo tanto, la potencia máxima de entrada de los circuitos balasto-lámpara para un tipo de balasto determinado, se define como la potencia máxima del circuito balasto-lámpara con distintos niveles para cada potencia de lámpara y para cada tipo de balasto.

Para calcular la potencia máxima de entrada de los circuitos balasto-lámpara de un tipo determinado de balasto, habrá que situarlo en la categoría adecuada de la lista siguiente:

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>
1	Balasto para lámpara tubular
2	Balasto para lámpara compacta de 2 tubos
3	Balasto para lámpara compacta plana de 4 tubos
4	Balasto para lámpara compacta de 4 tubos
5	Balasto para lámpara compacta de 6 tubos
6	Balasto para lámpara de tipo 2 D

En el siguiente cuadro se establece la potencia máxima de entrada de los circuitos balasto-lámpara expresada en W:

Potencia de lámpara (W)			CLASE							
	50 Hz.	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D	
GRUPO I	15	13,5	9	16	18	21	23	25	>25	
	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28	
	30	24	16,5	31	33	36	38	40	>40	
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45	
	38	32	20	38	40	43	45	47	>47	
	58	50	29,5	55	59	64	67	70	>70	
	70	60	36	68	72	77	80	83	>83	
GRUPO 4	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28	
	24	22	13,5	25	27	30	32	34	>34	
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45	
GRUPO 4	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28	
	24	22	13,5	25	27	30	32	34	>34	
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45	
GRUPO 4	10	9,5	6,5	11	13	14	16	18	>18	
	13	12,5	8	14	16	17	19	21	>21	
	18	16,5	10,5	19	21	24	26	28	>28	
	26	24	14,5	27	29	32	34	36	>36	
GRUPO 4	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28	
	26	24	14,5	27	29	32	34	36	>36	
GRUPO 4	10	9	6,5	11	13	14	16	18	>18	
	16	14	8,5	17	19	21	23	25	>25	
	21	19	12	22	24	27	29	31	>31	
	28	25	15,5	29	31	34	36	38	>38	
	38	34	20	38	40	43	45	47	>47	

En las tablas anexas se encuentra de forma rápida y sencilla cómo comprobar la potencia total del sistema (lámpara + balasto). La primera columna indica el tipo de lámpara. Las dos siguientes columnas indican el consumo de la lámpara, bien trabajando a 50 Hz o bien trabajando con balasto de alta frecuencia. Las columnas con las distintas clases de balastos indican el consumo total del sistema (lámpara + balasto). Para los balastos de clase A1, A2 y A3 se toma como potencia de la lámpara los datos de la columna HF y, para el resto, los de la columna 50 Hz.

Potencia de lámpara (W)			CLASE						
	50 Hz	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
TL-D	15	13,5	9	16	18	21	23	25	>25
	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28
	30	24	16,5	31	33	36	38	40	>40
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45
	38	32	20	38	40	43	45	47	>47
	58	50	29,5	55	59	64	67	70	>70
	70	60	36	68	72	77	80	83	>83
PL-L	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28
	24	22	13,5	25	27	30	32	34	>34
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45
PL-F	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28
	24	22	13,5	25	27	30	32	34	>34
	36	32	19	36	38	41	43	45	>45
PL-C	10	9,5	6,5	11	13	14	16	18	>18
	13	12,5	8	14	16	17	19	21	>21
	18	16,5	10,5	19	21	24	26	28	>28
	26	24	14,5	27	29	32	34	36	>36
PL-T	18	16	10,5	19	21	24	26	28	>28
	26	24	14,5	27	29	32	34	36	>36
PL-Q	10	9	6,5	11	13	14	16	18	>18
	16	14	8,5	17	19	21	23	25	>25
	21	19	12	22	24	27	29	31	>31
	28	25	15,5	29	31	34	36	38	>38
	38	34	20	38	40	43	45	47	>47
PL-S	5	4,5	4	7	8	10	12	14	>14
	7	6,5	5	9	10	12	14	16	>16
	9	8	6	11	12	14	16	18	>18
	11	11	7,5	14	15	16	18	20	>20
TL-MINI	4	3,4	3,5	6	7	9	11	13	>13
	6	5,1	4	8	9	11	13	15	>15
	8	6,7	5	11	12	13	15	17	>17
	13	11,8	8	15	16	17	19	21	>21
TL-E	22	19	12	22	24	28	30	32	>32
	32	30	18,5	35	37	38	40	42	>42
	42	32	19,5	37	39	46	48	50	>50

Para las lámparas que trabajan únicamente con balastos electrónicos de alta frecuencia, se utiliza la siguiente tabla:

	Potencia de lámpara (W)	CLASE						
	HF	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
TL-S	14	9,5	17	19				
	21	13	24	26				
	24	14	26	28				
	28	17	32	34				
	35	21	39	42				
	39	23	43	46				
	49	29	55	58				
	54	31,5	60	63				
	80	47,5	88	92				
TL-S CIRCULA	22	14	26	28				
	40	24	45	48				
	55	32,5	61	65				

## 10.3. 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 las zonas comunes de los edificios debe servir a dos objetivos fundamentales:

- Garantizar las óptimas condiciones para desarrollar distintas actividades
- Contribuir a crear una atmósfera en la que el inquilino se sienta seguro y confortable.



Todo ello garantizando la máxima eficiencia energética posible.

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

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias 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, se obtendrán los resultados de confort visual requeridos, todo esto garantizando los mínimos costes de explotación.

En los edificios, se pueden 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, y adecuados a las necesidades del espacio a iluminar, lo que permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

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 equipos convencionales.

Está demostrado que muchos tipos de accidentes se podrían evitar si se mejorara la visibilidad aumentando el nivel de iluminación, mejorando la uniformidad, evitando deslumbramientos o 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 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.

### 10.3.1. Fase de 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.

#### 10.3.1.1. Predeterminación de los niveles de iluminación

Deben tenerse muy en cuenta las necesidades visuales del observador tipo, convenientemente recogidas en las recomendaciones y normas 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. Se tendrán que sustituir las lámparas justo antes de alcanzar este nivel mínimo,

asegurando, así, que la tarea se pueda realizar según las necesidades visuales.

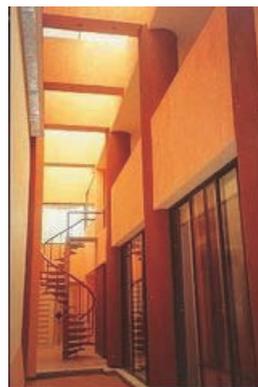
Por supuesto, se satisfarán otros criterios cualitativos simultáneamente, tales como la reproducción de colores, el color aparente de la luz, el ambiente en que se encuentren las personas en su interior, el control del deslumbramiento, la simultaneidad con la luz natural, etc.

## **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.



Quizás el elemento ambiental más relevante en las zonas comunes de los edificios sea la existencia o no de luz. Los aparcamientos subterráneos y trasteros apenas reciben luz solar y, por lo general, tienen que conformarse con una cantidad limitada de luz artificial. De esta forma, se crean zonas oscuras que, a veces, se agravan por culpa de la arquitectura. Un rincón oscuro puede incitar al miedo por la imposibilidad de ver lo que sucede o por si habrá alguien merodeando por allí con intenciones delictivas.

### 10.3.1.2. 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 y las luminarias.

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 (en lúmenes) dividida por la potencia eléctrica consumida (en vatios). Nada mejor que una gráfica como la de la

Fig. 1 para representar de una forma simple y rápida la diferencia entre las distintas fuentes de luz artificial.



Figura 1. 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 los objetos y de la piel humana se reproduzcan 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, siendo resultado de la comparación de 8 ó 14 colores muestra. Un 100 significa que todos los colores se reproducen perfectamente, y conforme nos vamos alejando de 100, se puede esperar una menor definición sobre todos los colores.

<b>Ra &lt; 60</b>	<b>Pobre</b>
<b>60 &lt; Ra &lt; 80</b>	<b>Bueno</b>
<b>80 &lt; Ra &lt; 90</b>	<b>Muy Bueno</b>
<b>Ra &gt; 90</b>	<b>Excelente</b>

Las lámparas con un índice de rendimiento en color menor de 80 no deberían usarse 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 producen.

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

<b>Blanco Cálido</b>	<b>Tc &lt; 3300 K</b>
<b>Blanco Neutro</b>	<b>3300 K &lt; Tc &lt; 5300 K</b>
<b>Blanco Frío</b>	<b>Tc &gt; 5300 K</b>

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 de su 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.

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

- ❖ Las pérdidas de potencia en los balastos tradicionales (electromagnéticos) oscilan entre un 6-7% hasta un 20%, mientras que en los balastos electrónicos puros son de 0 vatios.
- ❖ Ahorros de coste debidos a la reducción del consumo de energía en, aproximadamente, un 25%, por la duración de la lámpara considerablemente mayor y por la reducción notable de los costes de mantenimiento.
- ❖ Al confort general de la iluminación se añade que no producen parpadeos y que 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.
- ❖ 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.
- ❖ Mayor 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.
- ❖ Las unidades de balasto electrónico son más ligeras y, relativamente, sencillas de instalar, comparadas con los balastos electromagnéticos, y requieren menos cableado y componentes de circuito (no hay cebadores).
- ❖ El funcionamiento de los balastos electrónicos a alta frecuencia, por encima de 16 kHz, hace aumentar la eficacia del tubo en un 10%.

Los balastos 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 2. 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 contribuye 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 su conservación el mayor tiempo posible, ya sea evitando el ensuciamiento interno del sistema óptico, o evitando la degradación de las superficies reflectoras, transmisoras o refractoras.

Los deslumbramientos pueden provocar cansancio y dolores oculares, pudiendo llegar a producir irritación de ojos y dolores de cabeza. Se debe prestar 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 determinar 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, y 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.

### 10.3.1.3. 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.

Un sistema muy utilizado en los edificios de viviendas en diversas zonas, como pueden ser el garaje, las escaleras, la caja, los descansillos, etc., son los detectores de presencia. Ejemplo: Occuswitch.

Las principales ventajas de los detectores de presencia son:

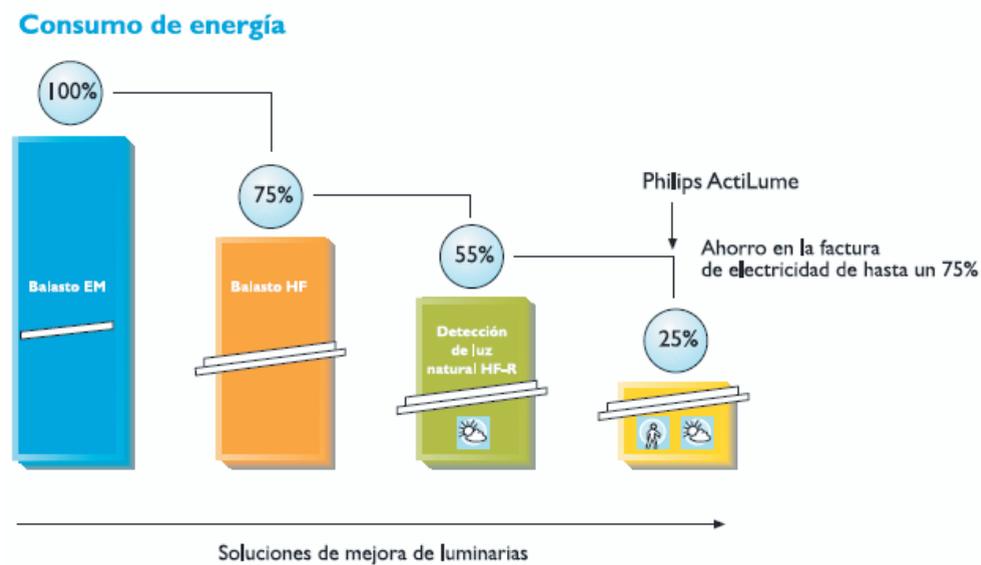
- **Ahorro de energía.** Mediante este tipo de detectores, se puede maximizar el confort y ahorrar energía. Con un detector de presencia integrado (en función del modelo detectará presencia o ausencia) y/o una fotocélula, se asegura que las luminarias sólo estén encendidas cuando sea necesario.
- **Fácil de instalar.** Suelen tener un concepto de cableado sencillo, sin cableado vertical, permitiendo el cableado directo o en cascada y opción de regleta con tornillos o conexión *wireland*.
- **Fácil de usar y configurar.** Los equipos suelen venir precableados con las funcionalidades más comunes.
- **Adecuado para diversas aplicaciones.**
- **Control automático o manual.**



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, se debe tratar que nunca se quede en completa oscuridad, sino regulada al mínimo.

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. Este puede ser el caso de un aparcamiento multinivel. Ejemplo: Actilume.

El consumo de energía supone entre el 50% y el 80% del coste total de un sistema de alumbrado. Según la aplicación, Actilume permitirá 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 Kyoto.



Se trata de un sistema de atenuación automático que se ha diseñado para obtener el máximo confort y ahorro de energía. Consiste en un sensor y una unidad de control incorporada en la luminaria, que funciona con el nuevo balasto HF (regulador II). Es el primer sistema de control de alumbrado listo para conectar y usar. Se puede presionar el selector de modo para configurar el sistema. Además, la compensación de luz se preprograma dependiendo del lugar donde se coloca la luminaria (zona cercana a la luz o zona sin aporte de luz).



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.

#### 10.3.1.4. Factores a tener en cuenta en las instalaciones de exterior (zonas comunes de edificios)

##### A) Integración de alumbrado de áreas en el entorno urbano y rural

El alumbrado de algunas urbanizaciones y zonas comunes de edificios, suele considerarse por separado, sin apenas prestar atención al efecto que produce sobre el entorno inmediato. El resultado puede ser una mezcla



de fuentes de luz distintas y una imagen global carente de estética.

## B) Comprensión de la terminología sobre contaminación lumínica

A continuación, se describen algunos conceptos:

- ✿ Resplandor luminoso nocturno. Halo de luz que suele verse sobre las ciudades o las grandes instalaciones de iluminación. Consta de dos componentes: la luz directa de los proyectores emitida hacia el hemisferio superior y la luz reflejada en el suelo.
- ✿ Luz dispersa. Es la luz que traspasa los límites físicos establecidos en el diseño de la instalación de alumbrado.
- ✿ Deslumbramiento. Tiene su origen en un sistema óptico mal diseñado que no apantalla eficazmente la luz de la lámpara o el reflector.

## C) Máxima contaminación lumínica permitida en instalaciones de alumbrado exterior

En la siguiente tabla se indica los límites de contaminación lumínica para las instalaciones de alumbrado exterior, establecidos para minimizar los problemas causados a personas, flora y fauna.

Zona ambiental	Luz sobre inmuebles		Intensidad de lumina-		Luz ascendente	Luminancia	
	$E_v$ lx		$I$			$L_b$ cd/m <sup>2</sup>	$L_s$ cd/m <sup>2</sup>
	Antes de la hora de restricción <sup>a)</sup>	Después de la hora de restricción	Antes de la hora de restricción	Después de la hora de restricción	ULR	Edificio fachada	Señales
E1	2	0 <sup>b)</sup>	2.5	0	0	0	50
E2	5	1	7.5	0.5	0.05	5	400
E3	10	2	10	1.0	0.15	10	800
E4	25	5	25	2.5	0.25	25	1000

a) Si no hay horario restringido, los valores más altos no deberán superarse, y los más bajos se considerarán límites preferibles.

b) Si la luminaria es de alumbrado público (vial), este valor puede elevarse hasta 1 lx.

### donde:

E1 representa las áreas intrínsecamente oscuras, como parques nacionales o enclaves protegidos;  
 E2 representa las áreas de luminosidad baja, por ejemplo, zonas industriales o residenciales de ámbito rural;  
 E3 representa las áreas de luminosidad media, por ejemplo, zonas industriales o residenciales en las afueras de la ciudad;  
 E4 representa las áreas de luminosidad alta, tales como centros urbanos y zonas comerciales.

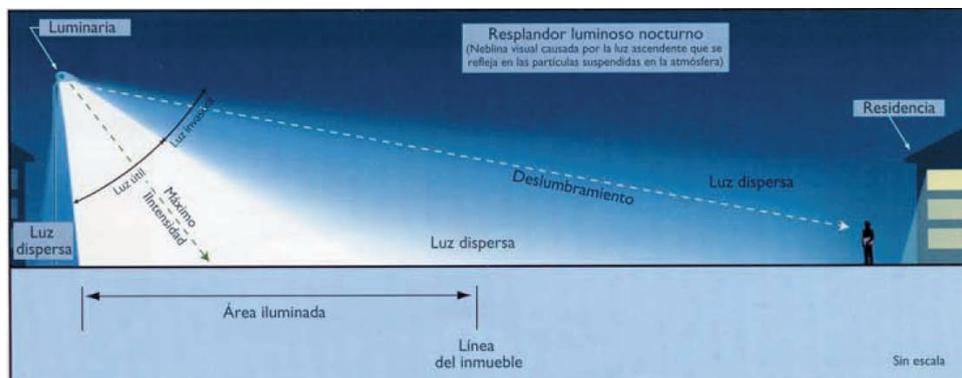
### y:

$E_v$  es el valor máximo de iluminancia vertical sobre los inmuebles, en lx;  
 $I$  es la intensidad de luz de cada fuente en la dirección potencialmente contaminante, en Kcd;  
 ULR es la proporción del flujo de la(s) luminaria(s) que se emite por encima de la horizontal, cuando las luminarias se encuentran instaladas en su posición;  
 $L_b$  es la luminancia media máxima de la fachada de un edificio, en cd/m<sup>2</sup>;  
 $L_s$  es la luminancia media máxima de las señales, en cd/m<sup>2</sup>.

## D) Posibles soluciones para combatir la contaminación lumínica

Los proyectores con un control preciso de la distribución pueden contrarrestar debidamente la contaminación lumínica aplicando un corte drástico por encima

de la horizontal, y una intensidad máxima del haz en los ángulos más abiertos. Los proyectores dirigen la luz hacia abajo para garantizar el apantallamiento total de la luz por encima de la luminaria, evitando la intrusión lumínica en las viviendas cercanas.



### 10.3.2. 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 en los siguientes apartados.

#### 10.3.2.1. 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  $\pm 7\%$  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.

### **10.3.2.2. 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.

### **10.3.2.3. 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, ocasionalmente, pueden involucrar incluso la renovación de la instalación en un plazo de tiempo inferior al de su amortización.

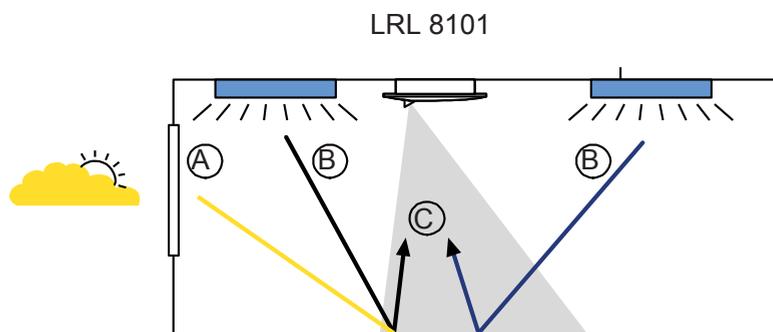
### **10.3.2.4. Establecimiento de los encendidos y apagados**

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%.

### **10.3.2.5. 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 un aparcamiento, por ejemplo, multinivel, Fig. 3, 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 al Código Técnico de la Edificación.



**Figura 3.** Combinación de luz natural y luz artificial mediante control por célula.

### 10.3.3. Mantenimiento

No por ser la última fase es la menos importante. El capítulo de mantenimiento es el conjunto de todos aquellos trabajos, programados u ocasionales, que sirven para conservar el funcionamiento de la instalación y las prestaciones de la misma dentro de los límites que se consideraron convenientes en la fase de Proyecto, y que se tratan de respetar en la fase de Ejecución y Explotación. Así pues, habrá que prestar una atención especial a los siguientes métodos operativos.

#### 10.3.3.1. 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. Así 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 certeza 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.

### **10.3.3.2. 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 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.

### **10.3.3.3. 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 unos elementos por otros que no son los correctos y den origen a fallos en la instalación. Obviamente, 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.

### **10.3.3.4. 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.

Como conclusiones de 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.

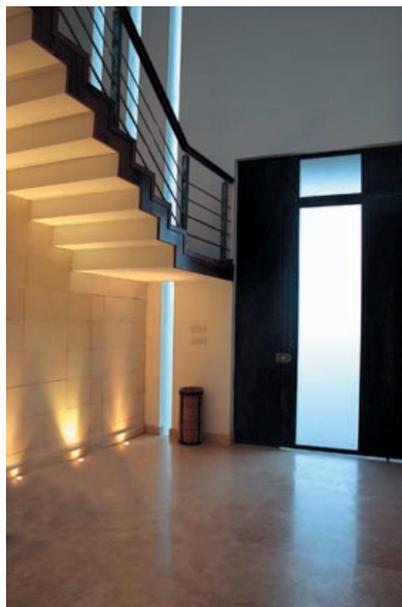
### 10.3.4. Coste Total de Propiedad (CTP) a la hora de elegir las lámparas

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

- ❖ Costes de reemplazo de las lámparas (mano de obra y precio de la lámpara).
- ❖ Costes energéticos. Precio del kWh. Consumo energético del sistema.
- ❖ Costes de mantenimiento. Suma de costes laborales, costes operacionales y costes por alteración o interrupción producida.

Los CTP se pueden reducir:

- ❖ Reduciendo el coste de la instalación.



- 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<sup>2</sup>). La unidad de medida es el lux (lúmen/m<sup>2</sup>). Existen varios tipos de iluminancia según la superficie en la que se mida: iluminancia horizontal (Ehor) e iluminancia vertical (Evert).
- **Illuminancia media:** valores medios de la iluminancia en una superficie determinada (Em).
- **Uniformidad:** relación entre las iluminancias mínima y máxima sobre una superficie (Emín/Emáx). Lo que 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 será función del trabajo que se realice en el espacio a iluminar y de la altura a la que se deban colocar.

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

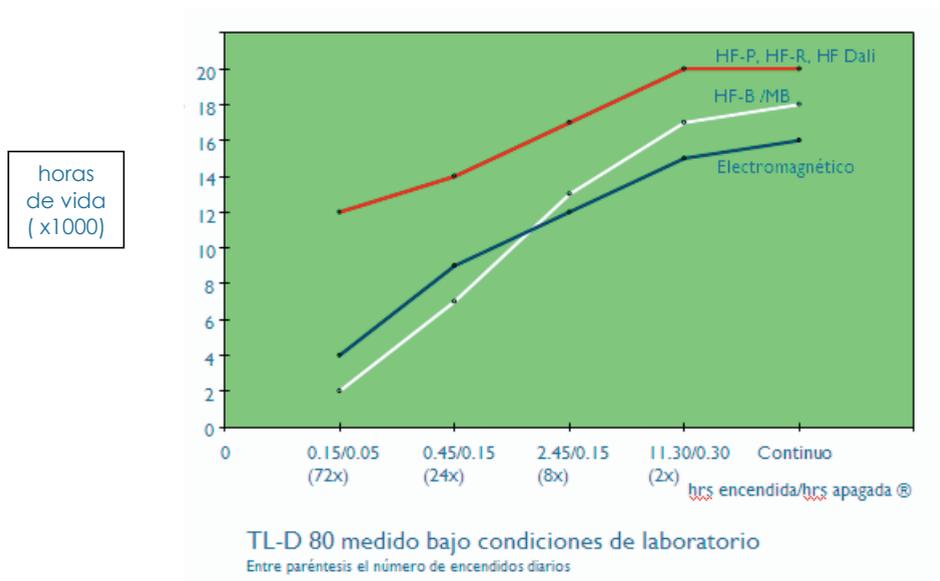
Tal y como se ha hecho referencia a lo largo del capítulo, son múltiples los procedimientos y sistemas de los que se dispone para alcanzar la eficiencia energética en edificios, en lo referente a las instalaciones de alumbrado. No sólo contribuyen a cumplir con la normativa vigente, sino que, además, ayudan a conseguir grandes ahorros en la explotación y mantenimiento a lo largo de toda la vida de la instalación. Algunas de ellas serán de obligado cumplimiento basándose en el Código Técnico de la Edificación.

Como norma general, se recomienda el uso de lámparas fluorescentes en combinación con sistemas de detección de presencia (anteriormente explicados) 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, se puede 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 gráfica 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 cómo los balastos electrónicos de precaldeo (HF-P) o los balastos electrónicos regulables (HF-R ó HF Dali) son los que dan 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).

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.

## Vidas de las lámparas fluorescentes en función número de encendidos



En referencia a la reposición de los tubos fluorescentes, la gama TLD-ECO de Philips permite la sustitución directa de los tubos TL-D por tubos TLD-ECO (sin necesidad de cambiar también la luminaria), facilitando unos 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. La tecnología EcoBoost de Philips se basa en la utilización de un revestimiento especial que funciona como un espejo, y que utiliza el propio calor producido por la lámpara para generar más luz.



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. Un ejemplo de aplicación práctica de dichas fuentes sería el siguiente:

## Ejemplo práctico: equivalencia LEDs - Halógena



### PRODUCTO SPOTLED

3 LEDs K2 DE 3W = 9W

CONSUMO DRIVER = 3W

---

12W



Equivalente a una halógena accentline de 20W, es decir:

- Ahorros de energía del 45%

- 16 veces más de vida útil

El tipo de luminarias utilizadas es importante también en términos de eficiencia. Usar luminarias de alto rendimiento 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 la 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 continuación, se recogen unos estudios económicos donde se compara el coste total de propiedad de instalar una lámpara estándar respecto a una lámpara MASTER de Philips, manteniendo los mismos niveles de iluminación o aumentándolos en muchos casos.

### A) Fluorescentes estándar vs. fluorescentes trifósforo

Las lámparas fluorescentes son las más utilizadas debido a su bajo coste, su versatilidad y su simplicidad de uso. Los ahorros obtenidos por la utilización de uno u otro tipo difieren considerablemente en función del balasto con el que trabajan. A

parte del ahorro económico, la utilización de un tubo trifósforo frente a un tubo estándar otorga una mejor reproducción cromática y un mayor flujo lumínico, además de una vida más larga.

Tipo de fluorescente	Ra	Eficacia	Contenido en mercurio
Tubo estándar	50-60	67-79	8 mg
Tubo trifósforo	>80	75-93	2 mg

En los siguientes supuestos se muestran cuáles son los verdaderos costes totales de propiedad anuales, teniendo en cuenta un ciclo de encendido de 12 horas (dos encendidos diarios). Se entiende por coste total de propiedad la suma de los costes de las lámparas, costes de electricidad y costes de mantenimiento.

**A.1** Tubo fluorescente trifósforo 36 W vs. tubo fluorescente estándar 36 W trabajando con **equipo electromagnético**:

Coste de la energía (kWh)	0.08 €
Tiempo de utilización anual	12h / día - 3600h / año

Tipo de fluorescente	Estándar T8	Trifósforo
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	12000
Precio medio (€)	3	6
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	2,79 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>0,23 €</b>

**A.2** Tubo fluorescente trifósforo 36 W vs. tubo fluorescente estándar 36 W trabajando con **equipo electrónico**:

<b>Coste de la energía (kWh)</b>	<b>0.08 €</b>
<b>Tiempo de utilización anual</b>	<b>12h / día - 3600h / año</b>

<b>Tipo de fluorescente</b>	<b>Estándar T8</b>	<b>Trifósforo</b>
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	19000
Precio medio (€)	3	6
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	1,76 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>1,26 €</b>

Tanto si se dispone de un balasto electromagnético como electrónico, los ahorros en mantenimiento por lámpara instalada son considerables. A este beneficio económico, hay que añadir la mejor reproducción cromática de la gama trifósforo (cumplimiento de la Normativa UNE 12464-1), una disminución del contenido en mercurio de la lámpara, siendo de este modo más respetuoso con el medio ambiente, y una mejora de la eficacia de las lámparas, permitiendo, incluso, la disminución del número de lámparas instaladas manteniendo el mismo flujo lumínico.

### **B) Fluorescentes estándar vs. fluorescentes trifósforo de larga vida**

Para lograr un mayor ahorro en CTP, en los últimos años han aparecido lámparas fluorescentes trifósforos de larga vida. Los ahorros al utilizar estas lámparas son considerables si se comparan con lámparas estándar o convencionales.

Tipo de fluorescente	Ra	Eficacia	Contenido en mercurio
Tubo estándar	50-60	75-93	8 mg
Tubo trifósforo	>80	70-90	2 mg

En función de los ciclos de encendido y del tipo de balasto, las lámparas de larga vida pueden durar desde 24.000 hasta 79.000 horas de vida útil.

A continuación, se muestran dos ejemplos comparativos en función del balasto utilizado en la instalación:

**B.1** Tubo fluorescente trifósforo de larga duración 36 W vs. tubo fluorescente estándar 36 W trabajando con **equipo electromagnético**:

Coste de la energía (kWh)	0.08 €
Tiempo de utilización anual	12h / día - 3600h / año

Tipo de fluorescente	Estándar T8	Trifósforo Larga Vida MASTER TLD - Xtreme
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	58000
Precio medio (€)	3	18
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	1,32 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>1,70 €</b>

<b>Tipo de fluorescente</b>	<b>Estándar T8</b>	<b>Trifósforo Larga Vida MASTER TLD - Xtra</b>
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	40000
Precio medio (€)	3	10
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	1,20 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>1,83 €</b>

Tanto con la utilización de tubos de larga vida Xtra o Xtreme, los ahorros anuales por tubo fluorescente instalado son considerables. A este beneficio económico, hay que añadir la mejor reproducción cromática de la gama trifósforo (cumplimiento de la Normativa UNE 12464-1), la disminución del contenido en mercurio de la lámpara, siendo de este modo más respetuoso con el medio ambiente, y una mejora de la eficacia de las lámparas, permitiendo, incluso, la disminución del número de lámparas instaladas manteniendo el mismo flujo lumínico.

Estos ahorros anuales varían, principalmente, por el número de horas de encendido, equipos de funcionamiento, etc.

**B.2** Tubo fluorescente trifósforo de larga vida 36 W vs. tubo fluorescente estándar 36 W trabajando con **equipo electrónico**:

<b>Coste de la energía (kWh)</b>	<b>0.08 €</b>
<b>Tiempo de utilización anual</b>	<b>12h / día - 3600h / año</b>

Tipo de fluorescente	Estándar T8	Trifósforo Larga Vida MASTER TLD - Xtra
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	55000
Precio medio (€)	3	10
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	0,87 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>2,15 €</b>

Tipo de fluorescente	Estándar T8	Trifósforo Larga Vida MASTER TLD - Xtreme
Número de tubos	1	1
Potencia (vatios)	36	36
Vida útil (horas)	7500	79000
Precio medio (€)	3	18
Tasa RAEE (€)	0,3	0,3
Coste de reemplazo (€)	3	3
Costes Energía / año	10,37 €	10,37 €
Costes de Mant. /año	3,02 €	0,97 €
<b>Ahorro anual</b>		<b>2,05 €</b>

Al igual que en el caso anterior, se logran ahorros en mantenimiento mayores al trabajar con equipos electrónicos.

## Bibliografía

1. Código técnico de la edificación de "Código Técnico de la Edificación y otras normas relacionadas con el alumbrado".

2. "Introducción al alumbrado". Philips Ibérica.
3. "Luz sobre la Norma Europea". Philips Ibérica.
4. "Manual de Iluminación". Philips Ibérica.
5. "Revista internacional de luminotecnia". Philips Ibérica.

## 11.1. Ascensores de última generación: ¿en qué consisten?

Dentro del consumo energético general, el realizado dentro de los edificios es, sin duda, uno de los más importantes y, dentro de él, puede también serlo el correspondiente a mover a las personas en el interior de los edificios: los ascensores, que desde su aprobación para el uso por personas en 1853, han pasado de ser sólo utilizados en los edificios más representativos, a un uso general y popularizado.

El ascensor "convencional" que ha llegado hasta nuestros días siempre ha tenido unas consideraciones de diseño tendentes a lograr la mayor seguridad y las prestaciones más elevadas posibles. Sin embargo, en los últimos años, y debido a la economía de mercado y a la proliferación de la competencia, los objetivos cambiaron, sin detrimento de lo anterior, a reducir los costes de fabricación, instalación y mantenimiento, lo que condujo, por optimización y reducciones de pesos, pero sólo indirectamente, a una mejora en la eficiencia energética. Todo ello mediante la drástica reducción del consumo eléctrico, el uso únicamente de materiales no contaminantes y su completo reciclaje.

Los principios básicos en los que se asientan estos ascensores son:

- La menor utilización posible de tipos poco eficientes (hidráulicos, piñón-cremallera, husillo, etc.).
- El uso masivo de las últimas tecnologías.
- La drástica reducción en el número de componentes y sus pesos, lo que ha posibilitado una revolución en los elementos mecánicos motrices (cintas o cables de material sintético, máquinas de tracción directa más pequeñas sin engranajes ni aceites y de alta eficiencia mecánica, y motores siempre controlados y de potencia nominal muy reducida).

Todo esto, complementado con la prolija utilización de la electrónica y la informática, el control de movimiento regenerativo y la reducción en el consumo de la iluminación de la cabina.

### 11.1.1. Tipos básicos de ascensores

Básicamente hay dos tipos de ascensores:

#### **Hidráulicos**

La cabina se mueve impulsada directa o indirectamente por un émbolo o pistón que, a su vez, asciende por presión de aceite. Esta presión se obtiene por el bombeo de un motor eléctrico.

Estos ascensores, al carecer normalmente de contrapeso, consumen una elevada cantidad de energía al subir. En cambio, no consumen prácticamente nada al bajar. Aún así, la ausencia de consumo en bajada no compensa el gran consumo en subida.

#### **Eléctricos de tracción**

Se mueven por adherencia entre los cables de suspensión y la polea tractora de una máquina situada normalmente en la parte alta del hueco, y mediante la actuación de un motor eléctrico ayudado por un contrapeso.

El motor consume energía mientras el desequilibrio entre cabina y contrapeso sea desfavorable, pero no la consume cuando es favorable. De hecho, en algunos casos es capaz de generar energía que devuelve al edificio.

### 11.1.2. Modos más utilizados de controlar el movimiento

En los ascensores eléctricos de tracción hay dos maneras de controlar el movimiento de la cabina:

### ❁ **Mediante un motor de una o dos velocidades**

Los ascensores más antiguos de una sola velocidad, al conectarse el motor, aceleran hasta la velocidad de viaje, frenando bruscamente desde ella hasta detenerse al llegar a la parada.

Los ascensores de dos velocidades realizan la maniobra de aproximación al piso de parada pasando de la velocidad normal de viaje a una velocidad reducida (normalmente la cuarta parte), accionándose posteriormente el freno.

En ambos casos, el motor no se controla, y sus revoluciones dependen del desequilibrio y de la dirección de viaje.

### ❁ **Mediante motores alimentados a frecuencia y tensión variables**

Los ascensores con frecuencia y tensión variables realizan siempre el mismo diagrama velocidad-tiempo, independientemente del desequilibrio y de la dirección de 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 el cambio de frecuencia, la velocidad.

## **11.1.3. Máquinas de ascensor con engranajes**

Las máquinas de los ascensores para viviendas que se han comercializado hasta ahora, y que se siguen comercializando todavía en su mayor parte, tienen un sistema de engranajes llamado reductor.

El reductor se hace necesario por el gran diámetro que deben tener las poleas para lograr la adherencia con los cables de acero que suspenden el

ascensor, y para, a igualdad de potencia, cambiar la alta velocidad y el bajo par en el eje rápido, por la menor velocidad y mayor par requeridos en el eje de salida.

Por eso, estas máquinas son de gran tamaño, tienen una eficiencia energética baja debido a las pérdidas que se producen en los engranajes, y son susceptibles de generar ruidos y vibraciones por la fricción entre los elementos metálicos.

#### **11.1.4. Los ascensores de última generación. Máquinas de tracción directa**

Los ascensores de última generación son eléctricos, movidos por máquinas de tracción directa y con motores alimentados a frecuencia y tensión variables, por lo que ya no necesitan reductor.

Además, en estos ascensores, se han sustituido los tradicionales cables de tracción de hilos trenzados de acero, por cables o cintas planas de material plástico y acero de alta resistencia, Foto 1. Estos nuevos elementos de suspensión son mucho más flexibles que los antiguos cables de hilo de acero trenzado, lo que ha permitido reducir drásticamente el tamaño de las poleas de tracción, del motor y de la máquina, aparte de eliminar, por tanto, el reductor, lo que ha supuesto la desaparición de los engranajes, principales responsables de las pérdidas energéticas.

De poleas de diámetro medio de unos 650 cm, se ha pasado a otras de sólo 7 a 10 cm. Esto permite reducir, de forma espectacular, el tamaño y el peso de la máquina, obteniéndose reducciones de escala del orden de hasta 12 veces.

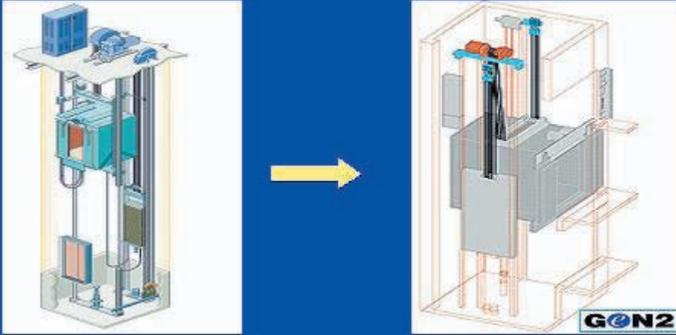
El motor requiere menos potencia y, por tanto, consume menos que uno convencional, además de ser energéticamente más eficiente.



**Foto 1.** Cinta plana de alta resistencia.

La reducción del tamaño de la máquina favorece también el que no haya necesidad de tener un cuarto de máquinas, pudiéndose ubicar los diferentes elementos que antes se situaban en él, dentro del propio hueco del ascensor, con el ahorro de espacio que esto significa. En las figuras siguientes, se muestra el paso de un ascensor convencional a otro de última generación, y la diferencia de escala en su elemento tractor.

PASO DEL ASCENSOR CONVENCIONAL AL DE ÚLTIMA GENERACIÓN.



*Máquina tradicional  
(con reductor de engranajes)  
Tracción por cable de acero*

*Máquina de última generación  
(sin reductor de engranajes)  
Tracción por cinta plana*

**Foto 2.** Máquina tradicional comparada con una de última generación.

En definitiva, un ascensor de última generación es un ascensor eléctrico con cables o cintas planas de nuevos materiales como elementos de suspensión, con motores alimentados a frecuencia y tensión variables, sin reductor y sin cuarto de máquinas.

## 11.2. Ahorro en el consumo de energía y disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera

### 11.2.1. Ahorro en el consumo de energía

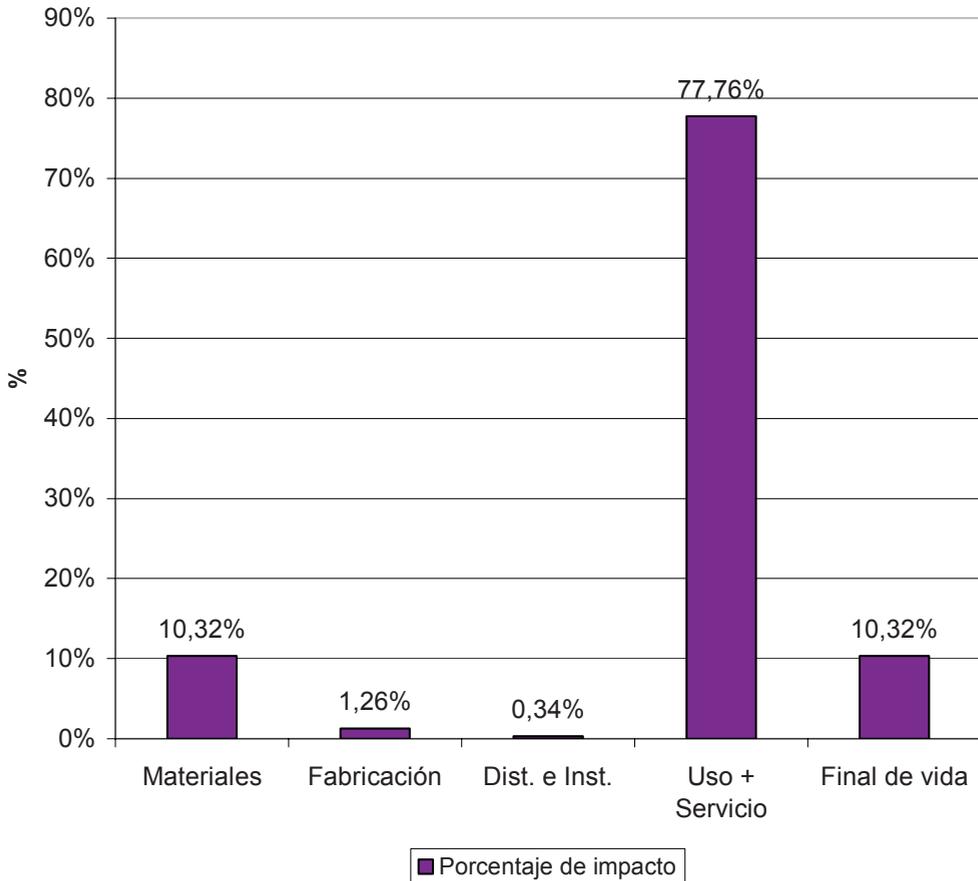
El empleo de un ascensor de última generación puede dar lugar, entre otros, a los ahorros en el consumo de energía eléctrica que, a continuación, se relacionan:

- Durante los procesos de fabricación, transporte y montaje de un ascensor medio de última generación, se ahorran unos 350 kg de materias primas y unos 1.000 kWh de energía eléctrica.
- El ascensor eléctrico eficiente consume hasta un 40% menos que el eléctrico y un 55% menos que el hidráulico convencional equivalente.
- Una comunidad de propietarios con dos ascensores eléctricos convencionales podría ahorrar 1.900 kWh anuales en la factura de la compañía eléctrica si los cambiase a otros de última generación.
- En un ascensor de tipo medio, la elección de la iluminación de la cabina y su encendido inteligente puede ahorrar hasta 400 kWh anuales.

Estos ahorros han sido obtenidos al comparar los tipos convencionales no eficientes y los de última generación con alta eficiencia, sin considerar la inclusión de un control regenerativo del movimiento.

Aunque la mayor parte del ahorro de energía y de la reducción de las emisiones contaminantes se obtiene durante la vida útil del ascensor de última generación, también durante su proceso de fabricación, montaje y mantenimiento se ahorran materias primas, energía y se reduce la emisión de residuos contaminantes.

En cualquier caso, como se puede comprobar en la Fig. 1, el mayor impacto para el medio ambiente se produce en la fase de uso y servicio del ascensor, debido al consumo de energía necesaria para su funcionamiento.



**Figura 1.** Impacto de un ascensor sobre el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida.

El control de movimiento regenerativo aprovecha el comportamiento de la máquina como motor (impulsando) o como generador (frenando). La energía sobrante, en vez de perderse en forma de calor nocivo, puede utilizarse para mover otro ascensor o para iluminar otras partes del edificio.

Respecto al consumo total de energía eléctrica, puede conseguirse un ahorro de hasta del 70% en un ascensor con este control, respecto a otro que no lo disponga.

Los consumos anuales medios aproximados de los distintos tipos de ascensores se pueden observar en la Tabla 1.

**TABLA 1.**

ASCENSOR	ULT.GEN.	2 Velocidades	Hidráulico
<b>4P</b>	720 kWh	1.000 kWh	1.450 kWh
<b>6P</b>	770 kWh	1.320 kWh	1.680 kWh

Pero, además, hay que tener en cuenta el consumo que supone la iluminación de la cabina. La mayoría de los ascensores están equipados con elementos de iluminación de potencias entre 20 y 40 W. Por lo tanto, se puede calcular una media de 60 W por ascensor.

Tradicionalmente, la iluminación de cabina está permanentemente encendida 24 horas al día y 365 días al año, lo que supone un consumo medio anual por ascensor de 525 kWh.

Con un sistema temporizador de apagado de esta iluminación cuando no haya presencia en la misma, el ahorro puede aumentar considerablemente.

Teniendo en cuenta que un ascensor medio puede ser utilizado durante 6 horas diarias, el consumo por iluminación de cabina, si está equipado con este dispositivo de ahorro, puede bajar hasta unos 130 kWh, es decir, un ahorro anual por ascensor de casi 400 kWh.

En la Tabla 2, se pueden observar los ahorros energéticos que se pueden conseguir con el cambio de ascensor, teniendo en cuenta también al ahorro en la luz de cabina.

**TABLA 2.**

ASCENSOR	ULT. GEN./2V		ULT. GEN./H	
	kWh/año	%	kWh/año	%
4P	280	30%	730	50%
6P	550	40%	910	55%
LUZ CABINA	400	75%	400	75%
AHORRO MÁX.		50%		60%

## 11.2.2. Ahorro potencial teniendo en cuenta el parque de ascensores de Madrid instalados en edificios de viviendas

A medida que el parque de ascensores de la Comunidad de Madrid vaya migrando a esta nueva y eficiente tecnología, el impacto del ahorro energético irá siendo mayor. Para cuantificar el impacto potencial de la introducción de los ascensores de última generación en el mercado, se ha analizado el parque de ascensores de Madrid.

Según estimaciones de la FEEDA (Federación Española de Empresas de Ascensores), el parque total de ascensores de la Comunidad de Madrid es de 133.000 unidades, de los cuales, el 70% se encuentra en edificios antiguos, es decir, unas 93.000 unidades.

De estos 93.000 ascensores, 63.240 tienen capacidad para 4 personas (el 68%) y los 29.760 restantes son de 6 personas (el 32%).

Se puede considerar que, de todos estos ascensores, el 15% son hidráulicos y el 85% restante son de dos velocidades.

Con todo lo anterior, se puede calcular el consumo actual del parque de ascensores convencionales (hidráulicos y eléctricos de 2 velocidades), y el consumo si fueran todos de última generación.

### ✿ Ascensores convencionales

- ✓ Consumo de los ascensores convencionales: 110 millones de kWh al año.
- ✓ Consumo de la cabina de los ascensores convencionales: 50 millones de kWh al año.
- ✓ Consumo anual total de los 93.000 ascensores convencionales: **160 millones de kWh al año.**

### ✿ Ascensores de última generación

- ✓ Consumo de los ascensores de última generación: 70 millones de kWh al año.
- ✓ Consumo de la cabina de los ascensores convencionales: 12 millones de kWh al año.
- ✓ Consumo anual total de los 93.000 ascensores convencionales: **82 millones de kWh al año.**

El ahorro de energía potencial anual que puede resultar de la introducción de los ascensores de última generación en la rehabilitación de edificios es, aproximadamente, de 40 millones de kWh al año.

El ahorro de energía anual que puede resultar de la introducción del temporizador de apagado de la iluminación de cabina es de unos 38 millones de kWh al año.

En el cómputo total, el ahorro de energía potencial anual que puede resultar de la utilización de ascensores de última generación en la Comunidad de Madrid en la rehabilitación de edificios es de 78 millones de kWh, lo que equivaldría a un ahorro de casi el 50%, es decir, el consumo medio anual de una población de,

aproximadamente, 13.000 habitantes. Dicho de otra forma, sería la energía eléctrica que consume una localidad como Guadarrama o El Escorial.

Si todos estos cálculos se extrapolan al parque de ascensores de España, el ahorro sería de unos 480 millones de kWh al año, que sería equivalente a la energía eléctrica consumida por 80.000 habitantes, por ejemplo, la energía consumida en Coslada.

### 11.2.3. Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera

Como punto de partida, se considera que, para generar 1 kWh, se emiten, como media, 0,65 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Rafael Méndez. El País, 22 de febrero de 2007).

Potencialmente el ahorro de energía y la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que se puede conseguir con la utilización de ascensores de última generación en la rehabilitación de edificios en la Comunidad de Madrid, es de 50 millones kg de CO<sub>2</sub> menos que se emitirían a la atmósfera.

A nivel nacional, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reducirían en 312 millones de kg.

## 11.3. Reducción de la generación de residuos contaminantes durante la vida útil del ascensor

### 11.3.1. Desglose de consumo de aceite de un ascensor con máquina convencional con engranajes

✿ Máquina 140 VAT (con engranajes)

Aceite LO33 (CEPSA ENGRANAJES HP 460)

Capacidad del reductor:

3 litros

Mantenimiento: Sustitución tras los primeros dos meses	3 litros
Sustitución cada 3 años (6 cambios)	18 litros
(vida estimada de máquina = 20 años)	

Volumen total de aceite en la vida de la máquina 24 litros

✿ Lubricante para guías de cabina

Aceite LO33 (CEPSA ENGRANAJES HP 460)

Volumen útil de las aceiteras (dos unidades):	150 cm <sup>3</sup>
Reposición anual en mantenimiento (dos rellenos / año):	600 cm <sup>3</sup>
Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años):	12 litros

✿ Lubricante para raíles de contrapeso

Aceite HIDROLIFT 46 (CEPSA)

Volumen útil de las aceiteras (dos unidades):	150 cm <sup>3</sup>
Reposición anual en mantenimiento (dos rellenos / año):	600 cm <sup>3</sup>
Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años)	12 litros

✿ Lubricante de cables de tracción

Aceite VITALUBE CABLE LUBRICANT VP-419750  
(AMERICAN OIL & SUPPLY CO)

Volumen estimado en cada lubricación:	50 cm <sup>3</sup>
Operaciones estimadas:	lubricación anual
Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años)	1 litro

**TOTAL:**..... **49 litros**

### 11.3.2. Desglose de consumo de un ascensor hidráulico

✿	Grupo hidráulico	500 litros
✿	Lubricante para guías de cabina	
	Aceite LO33 (CEPSA ENGRANAJES HP 460)	
	Volumen útil de las aceiteras (dos unidades):	150 cm <sup>3</sup>
	Reposición anual en mantenimiento (dos rellenos / año):	600 cm <sup>3</sup>
	Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años)	12 litros
	<b>TOTAL.....</b>	<b>512 litros</b>

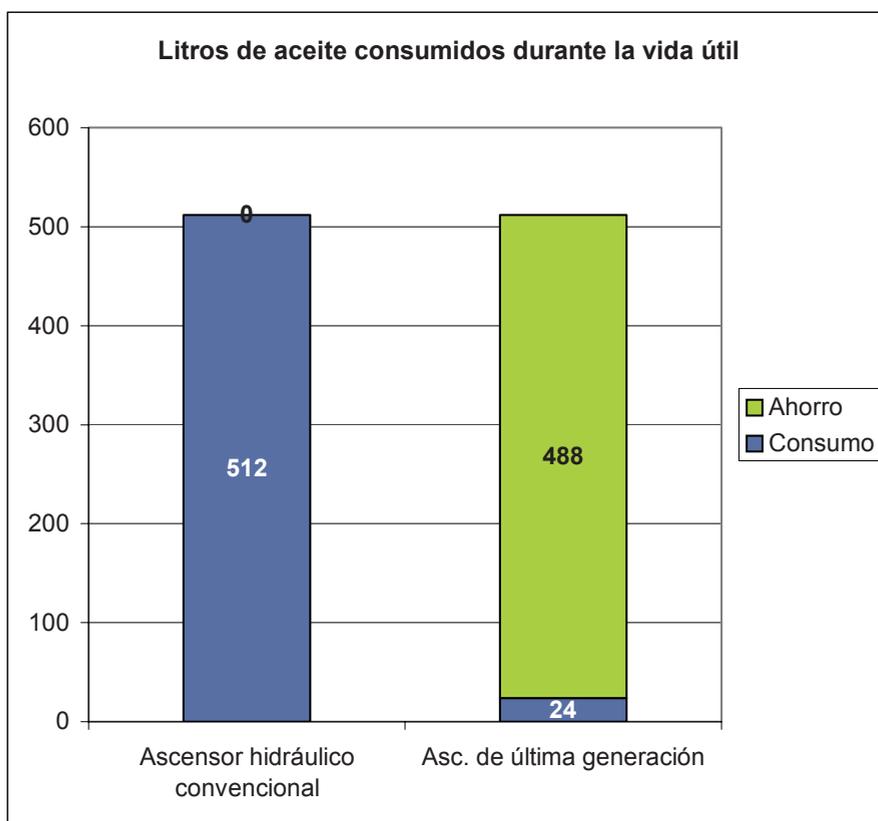
### 11.3.3. Desglose de consumo de aceite de un ascensor de última generación

✿	Máquina sin reductor	No necesita lubricación
✿	Lubricante para guías de cabina	
	Aceite LO33 (CEPSA ENGRANAJES HP 460)	
	Volumen útil de las aceiteras (dos unidades):	150 cm <sup>3</sup>
	Reposición anual en mantenimiento (dos rellenos / año):	600 cm <sup>3</sup>
	Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años)	12 litros
✿	Lubricante para raíles de contrapeso	
	Aceite LO33 (CEPSA ENGRANAJES HP 460)	
	Volumen útil de las aceiteras (dos unidades):	150 cm <sup>3</sup>
	Reposición anual en mantenimiento (dos rellenos / año):	600 cm <sup>3</sup>
	Consumo en la vida del ascensor (estimada en 20 años)	12 litros
	<b>TOTAL.....</b>	<b>24 litros</b>

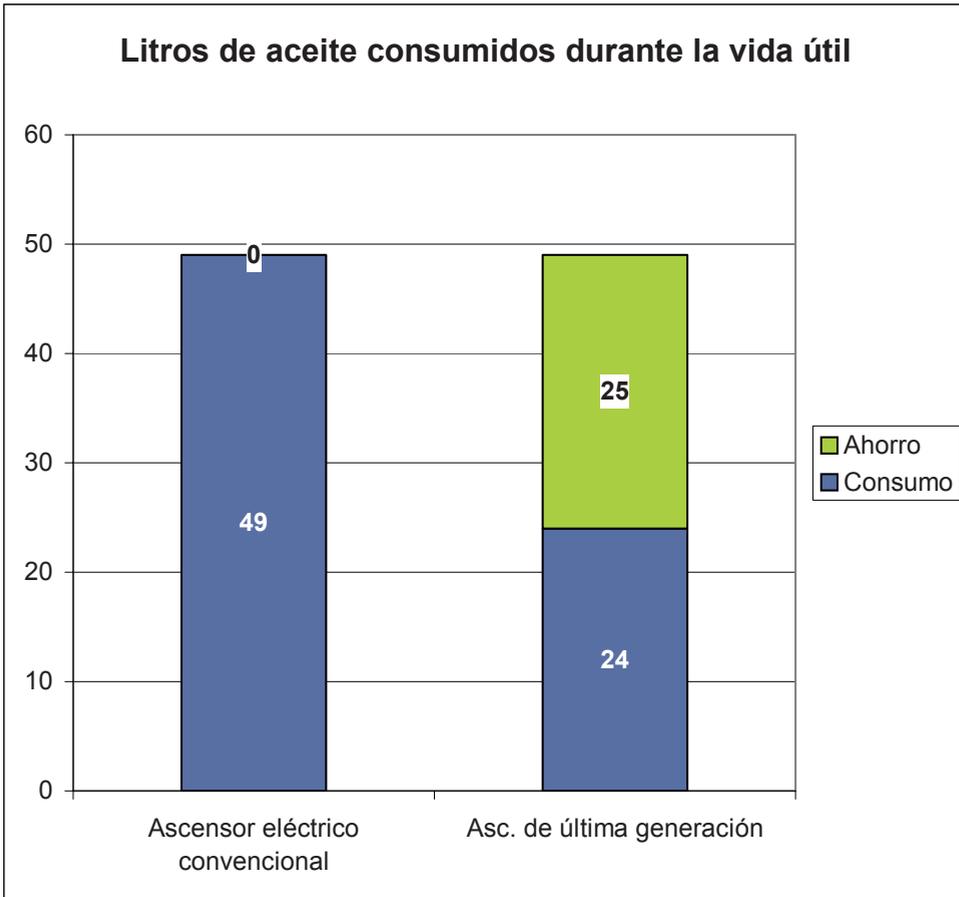
### 11.3.4. Reducción de residuos contaminantes

Los ascensores de última generación no necesitan que los cables de suspensión y tracción sean lubricados, ya que no utilizan cables, sino cintas planas de acero recubiertas y protegidas de la corrosión por poliuretano.

Además, su máquina está dotada de rodamientos sellados que tampoco precisan ser lubricados, lo que, junto con la falta de necesidad de lubricación de los cables, supone una reducción en la generación de residuos contaminantes del 51% con respecto a un ascensor eléctrico convencional, y más del 95% respecto a un ascensor hidráulico, como se aprecia en las Figs. 2 y 3.



**Figura 2.** Consumo de aceite comparado con ascensores hidráulicos.



**Figura 3.** Consumo de aceite comparado con ascensores eléctricos.

## 11.4. Conclusión

Los ascensores de última generación, además de ser más silenciosos, confortables y fiables que los ascensores convencionales, son más eficientes desde el punto de vista energético y generan menos residuos contaminantes.

Ahorran hasta un 50% de energía con respecto a los ascensores convencionales, y reducen el consumo de aceite y grasa entre un 50 y un 95%.

Por estos motivos, cuanto mayor sea su implementación, tanto en ascensores de nueva creación como en sustitución del parque existente, mayor será el impacto positivo en el ahorro global de energía y la protección al medio ambiente.

## 12.1. Fomento del ahorro y la eficiencia energética

- ✿ Orden 1063/2007, de 20 de septiembre, del Consejero de Economía y Consumo (BOCM de 4.10.07).
- ✿ Convocatoria anual.
- ✿ Gestionada a través de IMADE.
- ✿ Todo tipo de beneficiarios.
- ✿ Actuaciones subvencionables y cuantía de las ayudas:
  - Auditorías energéticas en sectores industriales:
    - ✓ 75% de la inversión subvencionable.
    - ✓ Máximos:

Consumo energía final (tep/año) por establecimiento	Valor máximo neto de ayuda (€)
> 60.000	22.500
> 40.000 – 60.000	18.000
> 20.000 – 40.000	15.000
>10.000 – 20.000	12.750
> 6.000 – 10.000	10.500
> 4.000 – 6.000	9.000
< 4.000	7.500

- Mejora de la eficiencia energética de instalaciones térmicas de edificios existentes del sector residencial o terciario:
  - ✓ 22% a 30% de la inversión subvencionable.

- Mejora de la eficiencia energética de instalaciones de iluminación interior de edificios existentes del sector residencial o terciario:
  - ✓ 22% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Máximo: 10.000 €.
  
- Renovación de instalaciones de alumbrado público exterior existentes:
  - ✓ 40% de la inversión subvencionable.
  
- Estudios, análisis de viabilidad y auditorias de instalaciones de alumbrado exterior existentes:
  - ✓ 50% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Máximo: 25.000 €.
  
- Estudios de viabilidad de cogeneraciones en los sectores industrial, servicios y de tratamiento de residuos industriales:
  - ✓ 75% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Máximo: 11.250 €.
  
- Auditorias energéticas en cogeneraciones existentes en empresas industriales o de sector terciario:
  - ✓ 75% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Máximo: 9.000 €.
  
- Plantas de cogeneración de alta eficiencia en los sectores no industriales:
  - ✓ 10% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Máximo: 200.000 €.



Cuantías máximas:

- Personas físicas: 200.000 €.

- Empresas, empresarios autónomos, instituciones sin ánimo de lucro y otras entidades que desarrollen una actividad económica: 200.000 € en tres años (regla de mínimos).
- Resto de beneficiarios: 300.000 €.

✿ Dotación presupuestaria 2007:

- 6.428.120 €.

✿ Plazo de solicitudes:

- 2 meses a partir de la publicación en el BOCM.

✿ Plazo de ejecución:

- Del 1 de enero del año en curso al 30 de septiembre del año siguiente.

## 12.2. Fomento de las energías renovables

✿ Orden 2580/2007, de 14 de junio, del Consejero de Economía y Consumo (BOCM de 29.06.07).

✿ Convocatoria anual.

✿ Beneficiarios:

- Corporaciones locales.
- Otras entidades públicas.
- Instituciones sin ánimo de lucro.
- Comunidades de propietarios.
- Sociedades cooperativas.
- Empresas, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.

- Personas físicas, salvo para instalaciones de producción de energía eléctrica en Régimen Especial.



Actuaciones subvencionables y cuantía de las ayudas:

- Energías renovables:
  - ✓ Solar térmica (excepto piscinas privadas, instalaciones obligatorias por Ordenanzas Municipales o instalaciones de superficie inferior a 6 m<sup>2</sup>, salvo que tengan carácter demostrativo): 250 €/m<sup>2</sup> para refrigeración y 175 €/m<sup>2</sup> para el resto.
  - ✓ Solar fotovoltaica (sistemas aislados o sistemas conectados a red de más de 5 kWp, o de potencia inferior, que tengan carácter demostrativo, salvo que sean obligatorios por Ordenanzas Municipales): 1,8 €/Wp sistemas conectados a red, 2,5 €/Wp aislados con acumulación y 1,9 €/Wp sin acumulación.
  - ✓ Eólica (hasta 50 kW): 30% de la inversión subvencionable.
  - ✓ Biomasa y residuos: 30%.
  - ✓ Hidráulica (instalaciones nuevas o rehabilitación, hasta 10 MW): 30%.
  - ✓ Geotérmica: 40%.
  - ✓ Instalaciones mixtas: cuantía proporcional.
- Proyectos de investigación, desarrollo y demostración: 40% de la inversión subvencionable.

- Estudios, consultorías, actividades divulgativas y actuaciones de carácter general (ayuntamientos e instituciones sin ánimo de lucro): 40% de la inversión subvencionable.

Tienen prioridad las instalaciones de energía solar térmica, fotovoltaica aislada y biomasa térmica.

✿ Cuantía máxima de las ayudas:

- 70% de la inversión en todos los casos, y:
  - ✓ 200.000 € para personas físicas.
  - ✓ 200.000 € en tres años para empresas.
  - ✓ 300.000 € para resto de beneficiarios.

✿ Dotación presupuestaria 2007:

- 4.414.460 €.

✿ Plazo de presentación de solicitudes:

- Dos meses a partir de la publicación en el BOCM.

✿ Período de realización de la inversión:

- Desde el 15 de octubre del año anterior a la convocatoria hasta el 15 de octubre del año correspondiente.

## 12.2.1. Línea de apoyo financiero a proyectos de energías renovables

✿ Beneficiarios:

- Pequeñas y medianas empresas.

- Empresarios autónomos.
- Particulares que vendan la energía producida, convirtiéndose en empresarios autónomos.

✿ Actuaciones subvencionables:

- Instalaciones de energía solar fotovoltaica conectada a red (más de 5 kWp).
- Otras instalaciones de aprovechamiento de energías renovables para producción de energía eléctrica en Régimen Especial.

✿ Cuantía de las ayudas:

- Dos puntos de interés de las operaciones financieras, que se realizan a Euribor + 0,5.
- Comisiones de apertura, aval y estudio.

✿ Gestión: A través de Avalmadrid, S.G.R.:

c/ Jorge Juan, 30, 28001 Madrid  
Tfnos 902.400.209 – 91.577.72.70  
avalmadrid@avalmadrid.es  
www.avalmadrid.es

## 12.3. Plan Renove de Instalaciones Eléctricas Comunes en Edificios de Viviendas

- ✿ Órdenes 1235/2007 y 1236/2007, de 7 de mayo, del Consejero de Economía de Innovación Tecnológica.

- ✿ Beneficiarios:
  - Propietarios o comunidades de propietarios de edificios de viviendas.
  
- ✿ Actuaciones subvencionables:
  - Reformas de instalaciones eléctricas de enlace ejecutadas hasta el año 1973 en edificios de viviendas, desde la entrada de la Caja General de Protección del edificio hasta los cuadros de distribución de las viviendas, incluidos éstos.
  - La aplicación de los incentivos del Plan está condicionada a que los sistemas de iluminación de las zonas comunes del edificio sean energéticamente eficientes, cumpliendo las prescripciones del Código Técnico de la Edificación.
  
- ✿ Cuantía:
  - 10% del presupuesto, sin IVA, con un máximo de 1.000 € por instalación para edificios de hasta 20 suministros, 2.000 € entre 21 y 40 suministros y 3.000 € para más de 40 suministros.
  
- ✿ Solicitudes:
  - En Iberdrola. Tfno. 901.20.20.20
  - En Unión Fenosa. Tfno. 901.40.40.40
  
- ✿ Plazo:
  - Hasta el 15 de noviembre o hasta el agotamiento de los fondos presupuestarios disponibles.

## 12.4. Ayudas para instalación de ascensores

- ✿ Orden 679/2007, de 2 de marzo, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (BOCM de 3.04.07), modificada por la Orden 96/2007, de 8 de octubre, de la Consejería de Vivienda (BOCM de 17.10.07).
  
- ✿ Beneficiarios:
  - Propietarios o comunidades de propietarios de edificios de vivienda colectiva en altura.
  
- ✿ Actuaciones subvencionables:
  - Instalación de ascensores en edificios de vivienda colectiva de más de tres plantas, con más de 15 años de antigüedad, que carezcan de ascensor.
  
- ✿ Cuantía de las ayudas:
  - 70% del coste.
  - Máximo 50.000 €.

## 12.5. Ayudas para rehabilitación de edificios

- ✿ Decretos 11/2005 y 12/2005, de 27 de enero, BOCM de 14.02.05 (Consejería de Vivienda).
  
- ✿ Beneficiarios:
  - Propietarios de los inmuebles.



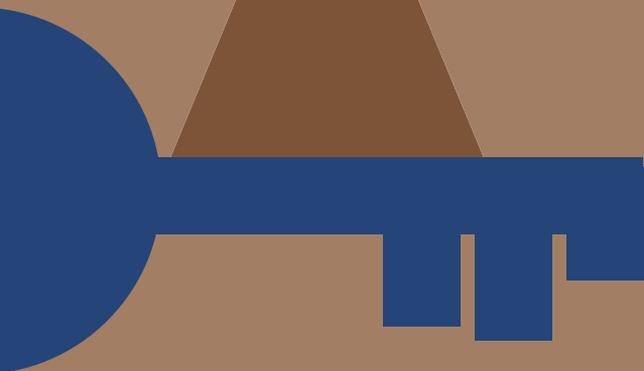
Cuantía de las ayudas:

- 20% del presupuesto.
- Límites máximos entre 3.000 y 6.500 € por vivienda.



Vigencia:

- Febrero de 2005 a diciembre de 2008.



Fundación de la Energía  
de la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy



Europe