

The logo consists of a red square with the letters 'KLH' in white, bold, sans-serif font. A small registered trademark symbol (®) is located to the upper right of the 'H'.

KLH[®]

**CATÁLOGO DE ELEMENTOS DE
CONSTRUCCIÓN PARA CASA PASIVA**

CONTENIDO

01	FUNDAMENTOS DE LA CASA PASIVA	04
02	ELEMENTOS EXTERIORES CON FUERTE AISLAMIENTO TÉRMICO	06
03	AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS EN LA CONSTRUCCIÓN	10
04	ESTANQUEIDAD AL AIRE	14
05	RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL AIRE EXHAUSTO DEL INTERIOR	18
06	RECUPERACIÓN DEL CALOR SOLAR, VENTANAS	24
07	ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN	26
08	JUNTAS ENTRE ELEMENTOS	36

CASA PASIVA

Cuando, hace más de 20 años, se construyó en Kranichstein, Alemania, la primera vivienda bajo criterios de casa pasiva, pocos podían imaginar que ese concepto iba a convertirse en un futuro no muy lejano en un estándar mínimo estipulado por la Ley. Comentarios como «¡Es como vivir en una bolsa de plástico!» o «El esfuerzo, los costes... ¡no puede ser rentable!», no eran una excepción, sino más bien la norma.

No obstante, los crecientes costes energéticos, la escasez de materia prima y el calentamiento climático global han operado un cambio de mentalidad, y los planteamientos que antes eran rechazados son ahora utilizados por algunos promotores para dar respuestas y soluciones a las necesidades actuales. La política tampoco ha sido ajena a esta situación. La Oficina de Información del Parlamento Europeo publicó la siguiente nota el 18 de mayo de 2010:

«El Parlamento Europeo aprobó el martes la nueva directiva sobre eficiencia energética de las viviendas. Los Estados miembros deben adaptar su normativa de

construcción de manera que todos los edificios construidos a partir de finales de 2020 se ajusten a los nuevos requerimientos en materia de energía. Los edificios ya construidos deben adaptarse, siempre que sea posible, a las nuevas normas.

Para los consumidores, la nueva directiva significa un notable ahorro energético.»

En resumen, esto significa que a partir del 2020 el sistema de casa pasiva será una realidad prescrita por la Ley. Razón suficiente para comenzar ya a aplicar estas medidas, sobre todo si tenemos en cuenta que la vida útil de un edificio libre de defectos es de unos 100 años..

En las siguientes páginas encontrará información sobre las posibilidades de uso y el potencial de las placas de madera maciza KLH combinadas con el concepto de casa pasiva. Podrá aplicar de forma sencilla los detalles de probada eficacia en la construcción en ladrillo y hormigón sabiendo que, al mismo tiempo, está utilizando un material de construcción ecológicamente incomparable.

PRÓLOGO



Complejo de casas pasivas «Am Mühlweg», Viena, Dietrich Untertrifaller Architekten

PARA FINALIZAR ESTA INTRODUCCIÓN, LE OFRECEMOS TAMBIÉN LAS OPINIONES DE CINCO EXPERTOS:

»Hoy en día, quien construye de forma convencional, en 10 años vivirá en una casa anticuada y superada por el progreso tecnológico.« DI Othmar Hum, periodista suizo especializado

»Quien todavía hoy construye al estilo fósil (= convencional), deja a los promotores una enorme hipoteca ya que los precios de la energía fósil dejarán de poder pagarse en poco tiempo.« Hermann Scheer, ganador del Premio Nobel Alternativo

»Los elevados costes de calefacción no son sino la reparación permanente de los defectos de construcción.« Dr. Peter Tusch

»Una casa pasiva puede construirse sin coste adicional. Los costes totales no son mayores que los de un edificio nuevo convencional.« (Inversiones durante un periodo de amortización de 30 años) Arqit. Krapmeier, Energieinstitut Vorarlberg

»... un desarrollo que ahora es el estándar (...) la denominada casa pasiva (...) que impulsaré y fomentaré con todas mis fuerzas desde mi ministerio (...)« Dr. Peter Ramsauer, 11 de noviembre de 2009, en su discurso inaugural como ministro de Construcción alemán

01 FUNDAMENTOS

¿QUÉ ES EN REALIDAD UNA CASA PASIVA?

Esta pregunta también podría formularse de otro modo: «¿Qué no es una casa pasiva?» La casa pasiva no es una forma de construcción ligada a un determinado material de construcción; se trata más bien de un concepto cuyo objetivo se alcanza a través de diferentes caminos. El resultado final es una vivienda nueva con una demanda energética mínima y un confort térmico máximo.

Este planteamiento sugiere que una casa pasiva no es más que la evolución consecuente de una casa de bajo consumo energético, en la que se suprime el sistema de calefacción activo.

EL CONCEPTO SE APOYA EN LOS SIGUIENTES PILARES:

1. Elementos de construcción exteriores con fuerte aislamiento térmico
2. Ausencia de puentes térmicos en la construcción
3. Estanqueidad al aire
4. Recuperación del calor del aire exhausto del interior
5. Recuperación del calor solar

PARA EUROPA CENTRAL, ESTO SE TRADUCE EN LAS SIGUIENTES CIFRAS:

1. Consumo calorífico para calefacción $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
2. Velocidad de renovación del aire $\leq 0,6 \text{ l/h}$
3. Transmitancia térmica (o valor U) del elemento de construcción exterior $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4. Transmitancia térmica de las ventanas $\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
5. Consumo de energía primaria $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
6. Carga térmica $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$

El concepto «casa pasiva» es la denominación utilizada en Alemania. En Austria se corresponde con la norma A+ o A++. En Suiza este concepto de construcción lleva el nombre de «Minergie». Los requisitos de los componentes de los edificios, no obstante, se mantienen al margen de las distintas denominaciones. Los factores clave como los puentes térmicos o la transmitancia térmica se calculan hasta ahora según normas ISO. El resultado es que prácticamente los mismos requisitos rigen para datos climáticos equiparables.

»Una casa pasiva es un edificio en el que el confort térmico puede garantizarse por sí solo mediante el calentamiento continuo del caudal de aire fresco necesario para conseguir una calidad óptima del aire —sin necesidad de utilizar aire de circulación adicional—.«



02 ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EXTERIORES

GENERALIDADES

La transmitancia térmica máxima admisible de $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ hace referencia a la solera. Debido a los diferentes valores de resistencia a la transferencia de calor (elemento al aire, elemento al suelo) y de los mecanismos termodinámicos, no debe superarse el coeficiente de $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ para los muros y el coeficiente de $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ para las cubiertas.

MURO / CUBIERTA

Aquí pueden aplicarse fácilmente los principios de construcción comprobados en las placas de madera maciza KLH. Únicamente deben aumentarse los espesores de aislamiento hasta alcanzar los valores de transmitancia térmica correspondientes. El cálculo de la transmitancia térmica para la construcción se rige por los procedimientos de cálculo según la norma ISO 6946. Los valores de referencia necesarios están recogidos en la norma EN 12524. La valoración de las propiedades físicas de la construcción quedará siempre reservada a un experto. Mientras que, en los sistemas combinados de aislamiento térmico (WDVS), al aumentar el valor U de manera uniforme a través del espesor y la superficie, el efecto de las vigas de madera en las construcciones de vigas convencionales

crece con el espesor del aislamiento hasta la transmitancia térmica media. En este caso no se habla todavía de puentes térmicos ya que la »interrupción« aparece regularmente.

EL SIGUIENTE CUADRO COMPARATIVO REFLEJA LA INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE MADERA EN EL CERRAMIENTO EXTERIOR

TIPO	MURO DE MADERA MACIZA CON WDVS	VIGA EN DOBLE T
Proporción de madera en la capa aislante (espesor d)	0 % (d = 280 mm)	3,6 % (d = 360 mm)
Dimensión modular (cm)	-	62,5
A_{alma} [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]	-	0,29
Valor U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]	0,12	0,12

Tabla 1: Comparación entre madera KLH con WDVS y viga en doble T en relación con el espesor del aislamiento para alcanzar un valor U de $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EXTERIORES CON FUERTE AISLAMIENTO TÉRMICO

WDVS SOBRE KLH :

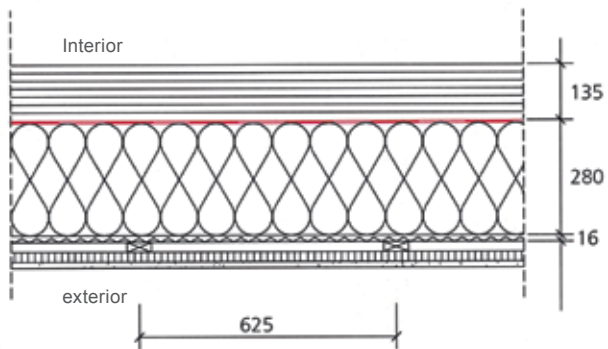


Fig. 1: WDVS sobre KLH con aislamiento fijado. Los elementos de sujeción mecánicos no aparecen representados. El grosor de la capa de aislamiento es de 280 mm para alcanzar el mismo valor U que en la fig. 2

CERRAMIENTO CONVENCIONAL DE CASA PASIVA:

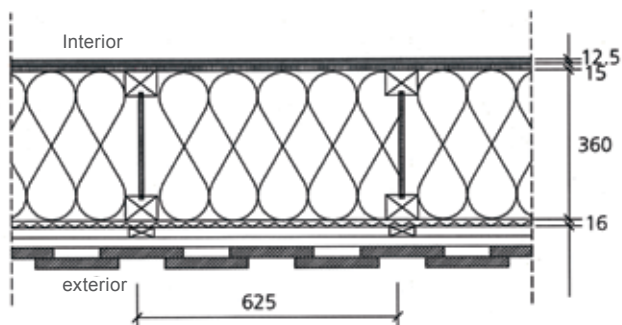


Fig. 2: Muro convencional de casa pasiva formado por vigas en doble T. Para un aislante equiparable, esto significa un aumento de 8 cm en el espesor del aislante

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EXTERIORES CON FUERTE AISLAMIENTO TÉRMICO

SOLERA

La solera puede aislarse de dos formas: por la cara exterior mediante un aislamiento periférico resistente a la presión e insensible a la humedad, o por la cara interior mediante la colocación del aislante en el lado de la habitación.

Naturalmente, también pueden combinarse los dos principios constructivos. En cualquier caso, será el proyectista quien decida la posición del aislamiento de acuerdo con los siguientes principios básicos:

- El aislamiento periférico facilita un diseño libre de puentes térmicos
- El aislamiento interior aumenta el riesgo de daños por humedad en la unión entre la solera y el muro

El método Glaser sigue siendo el procedimiento habitual para calcular el riesgo de condensación intersticial. Sin embargo, este ya no es válido en la evaluación del «Elemento en contacto con el suelo». Por consiguiente, si el aislamiento debe disponerse, en parte o en su totalidad, por encima de la solera (lado caliente), el proyectista corre el riesgo de provocar daños en la construcción [comp. fig. 3 y 4].

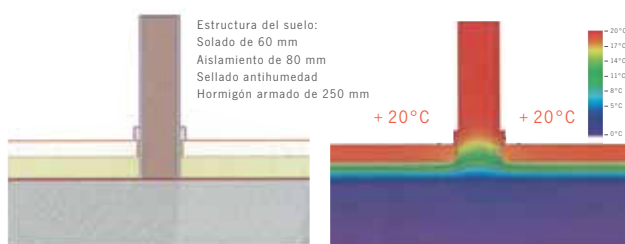


Fig. 3: Distribución isotérmica en una pared KLH sobre una solera de hormigón con aislamiento interior simultáneo. Se aprecia claramente como las isoterma de 10° y 12° cortan la placa KLH (límite isotérmico de aparición de moho y agua de condensación)

ACUMULACIÓN DE CALOR Y KLH

Para poder evaluar el comportamiento de un edificio energético (p. ej. mediante la certificación energética), es necesario determinar la inercia térmica efectiva. Aquí suele hablarse también de masa de acumulación efectiva m_w [kg].

El sistema de recuperación de calor solar y calor interno tiene una importancia decisiva en el principio de funcionamiento de las casas pasivas. En invierno se comporta como un acumulador de calor (principio de estufa cerámica) y en verano actúa como un amortiguador de la temperatura interior.

El grado de utilización η es un factor que reduce el aprovechamiento total mensual o anual (interno y solar-pasivo) a la parte útil de la ganancia térmica. Cuanto más alto sea el valor m_w , mayor será el grado de utilización η .

DE ACUERDO CON EL ENFOQUE SIMPLIFICADO DE LA NORMA EN 832, PUEDE ESTABLECERSE LA SIGUIENTE DISTINCIÓN:

- $\eta = 1,00$ para construcciones pesadas
- $\eta = 0,98$ para construcciones de peso medio
- $\eta = 0,90$ para construcciones ligeras



Fig. 4: Distribución isotérmica en una pared KLH sobre una solera de hormigón con aislamiento exterior simultáneo. Se aprecia claramente como las isoterma de 10° y 12° ya no cortan la placa KLH (límite isotérmico de aparición de moho y agua de condensación)

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN EXTERIORES CON FUERTE AISLAMIENTO TÉRMICO

ENTRE LAS CONSTRUCCIONES LIGERAS SE INCLUYEN:

- Edificios en madera sin elementos internos macizos
- Edificios con falsos techos construidos mayoritariamente con tabiques de separación ligeros
- Construcciones ligeras de madera con cualquier clase de solado

ENTRE LAS CONSTRUCCIONES DE PESO MEDIO SE INCLUYEN:

- Edificios con numerosos elementos interiores y exteriores macizos, con solados flotantes y sin falsos techos
- Construcciones de ladrillo y hormigón armado
- Construcciones de madera maciza (construcciones de madera laminada encolada o madera laminada clavada) con o sin solado, en las que no hay instalado, por el lado interior, ningún falso techo o revestimiento de pared hueco o aislado térmicamente.

ENTRE LAS CONSTRUCCIONES PESADAS SE INCLUYEN:

- Edificios con elementos interiores y exteriores muy pesados (parque de edificios antiguos)

En términos de inercia térmica, las construcciones de KLH pueden compararse con las construcciones combinadas de ladrillo y hormigón armado, y presentan un mejor aprovechamiento del calor solar y el calor interno frente a las construcciones de vigas de madera.

La capacidad térmica de los elementos interiores del edificio tiene una importancia decisiva en la estabilidad térmica y, por tanto, en el confort durante los meses de verano; en este sentido, cabe destacar especialmente la aportación de los tabiques interiores y los forjados intermedios. (Fuente: www.passipedia.de)

CASA PASIVA Y DESPLAZAMIENTO DE FASE

Las amplitudes térmicas de los elementos exteriores opacos carecen de influencia sobre el estándar de aislamiento de las casas pasivas, el consumo anual de calefacción, o el confort en verano.

La razón es que los elementos con fuerte aislamiento térmico ya reducen considerablemente las amplitudes –independientemente del periodo de tiempo–, hasta el punto de que el efecto del aislamiento dinámico adicional deja de tener relevancia. En el caso de los elementos mal aislados, en cambio, sí se deja notar la influencia de las amplitudes térmicas.

(Fuente: www.passipedia.passiv.de)

03 AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS

GENERALIDADES

Los puentes térmicos son, por definición, las zonas en el interior de la envolvente del edificio con una conductividad térmica notablemente superior. Las irregularidades en el elemento exterior no interrumpido se calculan a partir del valor U medio, por lo que no es preciso tenerlas en cuenta.

Estas provocan un mayor consumo energético e incluso la formación de moho en la parte interior del elemento.

Con el aumento constante del espesor del aislamiento, elementos como, por ejemplo, las juntas de unión entre dos componentes cobran una importancia cada vez mayor. La experiencia en la construcción de casas pasivas ha demostrado que la supresión de los puentes térmicos representa una de las medidas técnicas más rentables para la mejora de la eficiencia energética.

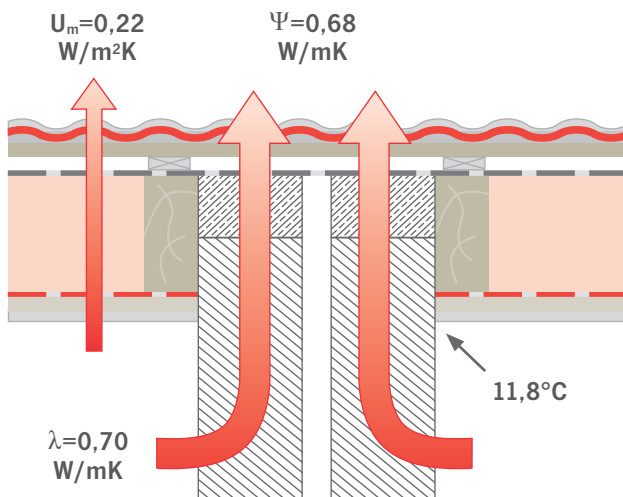


Fig. 5: A lo largo de un puente térmico de un metro lineal situado en la parte superior de una construcción de mampostería, se pierde la misma cantidad de calor que en tres metros cuadrados de tejado no interrumpido. Los puntos débiles en la zona del tejado se aprecian fácilmente (como muestra la figura) en la capa de nieve fundida

AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

La pérdida normal de calor en la superficie se determina multiplicando el valor U promedio del elemento por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y la superficie total (teniendo en cuenta las dimensiones exteriores) del elemento.

Las pérdidas de calor a través de las irregularidades del elemento (uniones entre elementos o penetraciones puntuales) se representan con el coeficiente Ψ_a [W/(m²*K)] (puente térmico lineal) o χ [W/K] (puente térmico puntual). Multiplicando este valor por los metros lineales existentes en el borde o por el número de puentes térmicos puntuales, se obtiene la pérdida de calor adicional a través de los puentes térmicos.

La pérdida de calor total resulta de la suma de la pérdida de calor normal y la pérdida a través de los puentes térmicos existentes.

Los puentes térmicos geométricos no suelen ser problemáticos. Dichos puentes aparecen cuando elementos exteriores con diferente orientación se encuentran en un punto (la dimensión exterior es distinta a la dimensión interior); esta situación se da, por ejemplo, en las aristas,

en la unión entre aleros, en el saliente del tejado o en la cumbre.

La figura 6, por su parte, muestra una situación que debe someterse a un cálculo energético en caso de que no pueda evitarse por razones constructivas. La forma más sencilla de evitar los puentes térmicos constructivos es mediante la separación total de la estructura de soporte estática y el nivel de aislamiento.



Fig. 6: Aparición de un puente térmico lineal. Si el soporte de acero no va a ser integrado en el aislamiento, lo más probable es que se produzcan daños por condensación

AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

La figura 7 muestra el principio de planificación con el método del rotulador, en el que se utilizan dibujos a escala de la envolvente del edificio. Para la casa pasiva se utiliza un rotulador cuya anchura se corresponde con una resistencia a la transmisión térmica de $R = 6 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. Para un aislante del grupo de conductibilidad térmica (WLG) 0,04 $\text{W}/(\text{mK})$, esto equivale a una anchura de 24 cm.

Si se consigue rodear toda la envolvente exterior del edificio con único trazo ininterrumpido dentro del nivel aislante, se garantizará que los detalles analizados cumplen los criterios para la eliminación de puentes térmicos.

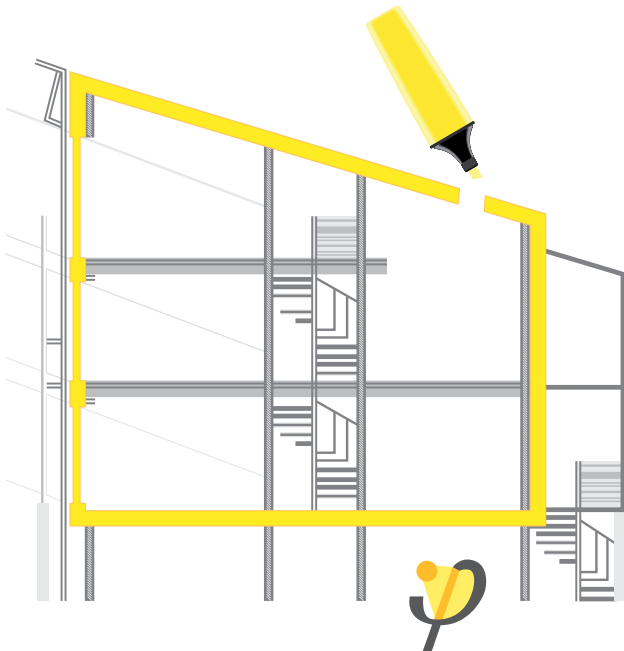


Fig. 7: Principio de planificación con el método del rotulador
[www.passiv.de]

LOS PUENTES TÉRMICOS CONSTRUCTIVOS NO DEBEN SUPERAR EL VALOR DE

$$\Psi_a = 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Si se logra, mediante la selección favorable de los detalles constructivos, que ninguno de los coeficientes de pérdida por puentes térmicos supere este valor, la suma obtenida –en comparación con las pérdidas de calor normales de las superficies del edificio– se reduce hasta un valor prácticamente despreciable, y la construcción puede considerarse libre de puentes térmicos. El índice «a» hace referencia a la dimensión exterior y es el que suele utilizarse generalmente.

El índice «i» hace referencia a la dimensión interior, aunque este no tiene ninguna relevancia a efectos prácticos.

PUENTES TÉRMICOS PUNTUALES

Los puentes térmicos puntuales, que pueden aparecer también a través de los elementos de unión, se tratan en la norma ISO 6946 «Elementos de construcción – Resistencia térmica y transmitancia térmica – Métodos de cálculo», Apéndice D. Aquí está disponible, por un lado, el cálculo detallado según la norma ISO 10211 «Puentes térmicos en flujos caloríficos de edificios y temperaturas superficiales – Cálculo detallado» (simulación en 3D) y, por otro, el método simplificado descrito en el Apéndice D para la consideración de los elementos de fijación.

Si la corrección total según el Apéndice D de la norma ÖNORM EN ISO 6946 es inferior al 3% de U, no será preciso tener en cuenta los puentes térmicos puntuales. El paso a construcciones libres de puentes térmicos, o con puentes térmicos fuertemente reducidos, con placas de madera maciza KLH resulta sumamente sencilla. Gracias a la consecuente separación entre los sistemas de soporte y aislamiento, el desarrollo de una casa pasiva con KLH resulta un juego de niños.

KLH®



04 ESTANQUEIDAD AL AIRE

GENERALIDADES

La velocidad de renovación del aire, o coeficiente n_{50} , es un indicador de la estanqueidad de un edificio. El coeficiente n_{50} se determina mediante un ventilador, instalado en una de las aberturas del edificio, que crea una sobrepresión o una depresión de 50 pascales. Teniendo en cuenta la anchura de los diafragmas delante del ventilador y el número de revoluciones, se calcula el caudal de aire transportado en [m³/h] (valor medio de las mediciones de sobrepresión y depresión) y se divide por el volumen de aire del edificio. El resultado final es la velocidad de escape [1/h].

La estanqueidad al aire no es un lujo, sino una necesidad. El argumento esgrimido con cierta frecuencia –incluso por expertos en este campo– según el cual «un poco de permeabilidad no es perjudicial», daña a todo el sector de la construcción. Una ventilación limitada a la que se produce a través de las juntas, ya sea a través de puntos no sellados del edificio o de los marcos de las ventanas, no es suficiente; además, esto conllevaría una elevada pérdida energética así como daños estructurales debidos al agua de condensación.

LAS VENTAJAS DE UN EDIFICIO CON ENVOLVENTE ESTANCA AL AIRE SON:

- Eliminación de los daños por humedad
- Eliminación de las corrientes de aire y el frío en el suelo
- Eliminación de las elevadas pérdidas de calor por infiltración
- Base para la utilización de una ventilación regulable y orientada a las necesidades
- Base para un aislamiento térmico eficaz
- Mejora de la insonorización
- Mejora de la calidad del aire interior

Parece claro que la mejor solución es disponer de un elemento de soporte que sea capaz, por sí mismo, de garantizar un nivel de estanqueidad adecuado. Con el uso de placas KLH de 5 capas o placas de 3 capas combinadas, por ejemplo, con láminas, el usuario puede superar ampliamente los valores mínimos de estanqueidad al aire. Para la zona de las juntas existen láminas prefabricadas, tiras de cartón y cintas adhesivas.

ESTANQUEIDAD AL AIRE

DE LA ÉPOCA DE LAS PUERTAS Y VENTANAS PERMEABLES Y DE LAS CALEFACCIONES POR ESTUFA:

»La experiencia nos brinda una razón más para para señalar la enorme importancia del aire fresco en las viviendas: un aire de mala calidad es la fuente de numerosas dolencias crónicas y es en gran parte responsable de algunas enfermedades epidémicas, como la escrófula o la tuberculosis. Allí donde la ventilación natural no es suficiente para impedir que el contenido de dióxido de carbono del aire de nuestras habitaciones y dormitorios crezca en una proporción de 1 por mil, es preciso utilizar un sistema de ventilación artificial.« (M. v. PETTENKOFER 1858)

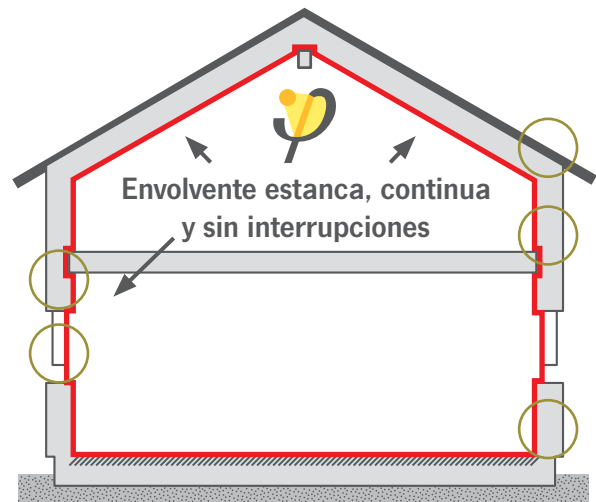


Fig. 8: La envolvente estanca al aire debe planificarse previamente en todos los puntos críticos. Los sistemas de fabricantes diferentes no deben combinarse [www.passiv.de]

PENETRACIONES

El primer objetivo debería ser siempre intentar evitar, o reducir al mínimo, las penetraciones en la envolvente del edificio o en la capa estanca al aire.

Las perforaciones para cableado eléctrico y de telecomunicaciones, tuberías sanitarias o conductos de suministro y evacuación nunca pueden suprimirse por completo. En caso de que no se puedan evitar, deberán sellarse y realizarse de forma adecuada (tal y como se muestra en la figura).

En este punto, cabe planificar cuidadosamente todos los detalles. Esto incluye también que no haya incompatibilidades entre los diferentes materiales de construcción, ya que solo de esta forma podrá garantizarse que el edificio se mantenga estanco durante décadas.

Mediante la separación de los niveles de soporte, estanqueidad y aislamiento de una construcción con placas de madera maciza KLH, se logran juntas rápidas, seguras y duraderas.



Fig. 11: En caso de que no se puedan evitar las perforaciones, deberán utilizarse sistemas de estanqueidad adecuados y de eficacia probada. Un montaje estanco rápido y duradero justifica los gastos adicionales [por gentileza de la empresa Pro clima 2011]



Fig. 10: En caso de que no se puedan evitar las perforaciones, deberán utilizarse sistemas de estanqueidad adecuados y de eficacia probada. Un montaje estanco rápido y duradero compensa los gastos adicionales [por gentileza de la empresa Pro clima 2011]

05 RECUPERACIÓN DEL CALOR

RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL AIRE EXHAUSTO DEL INTERIOR

La recuperación del calor procedente del aire exhausto es un requisito indispensable para garantizar el consumo reducido de calefacción de una casa pasiva. Si se evacua sin más el aire exhausto hacia el exterior, el consumo de energía para calefacción no bajaría más de 30 kWh/(m²a).

La ventilación a través de las ventanas, práctica todavía muy extendida, no basta para satisfacer las demandas actuales en cuanto a calidad del aire. En zonas con una elevada presión acústica (por ejemplo, cerca de aeropuertos o carreteras), es donde más se dejan notar las ventajas de esta tecnología.

Con todo, a veces hace falta esperar al invierno para saber lo que significa levantarse descansado por las mañanas después de haber llenado los pulmones de aire fresco. Lo que en un automóvil se da por sentado –en relación con los sistemas de ventilación y aire acondicionado–, en los edificios sigue siendo la excepción a la regla. Cuando se compara el tiempo que pasa una persona en un edificio y en un vehículo, surge inevitablemente la siguiente pregunta: ¿por qué una casa tiene que ser menos que un coche?

Las bajas velocidades de renovación del aire obtenidas fácilmente con las construcciones KLH favorecen el funcionamiento rentable de los equipos de ventilación y aire acondicionado.

AL INSTALAR UN SISTEMA DE VENTILACIÓN CONTROLADA DEL ESPACIO INTERIOR, CABE TENER EN CUENTA DOS ASPECTOS:

- Utilizar un tubo de diámetro circular con pared interior lisa para favorecer la limpieza de las tuberías
- Humidificación del aire de entrada mediante nebulización a través de los orificios de inyección. De esta forma se garantiza la higiene del sistema de tuberías.

El incumplimiento del último punto en particular puede tener efectos adversos sobre el usuario y la construcción. Estos se dejan sentir durante la temporada de invierno, ya que el aire interior tiende a secarse hasta el punto de que la placa KLH se fenda significativamente.

Por su diseño compacto, los equipos de ventilación pueden fijarse fácilmente a la pared y ocultarse detrás de niveles de instalación;

RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL AIRE EXHAUSTO DEL INTERIOR

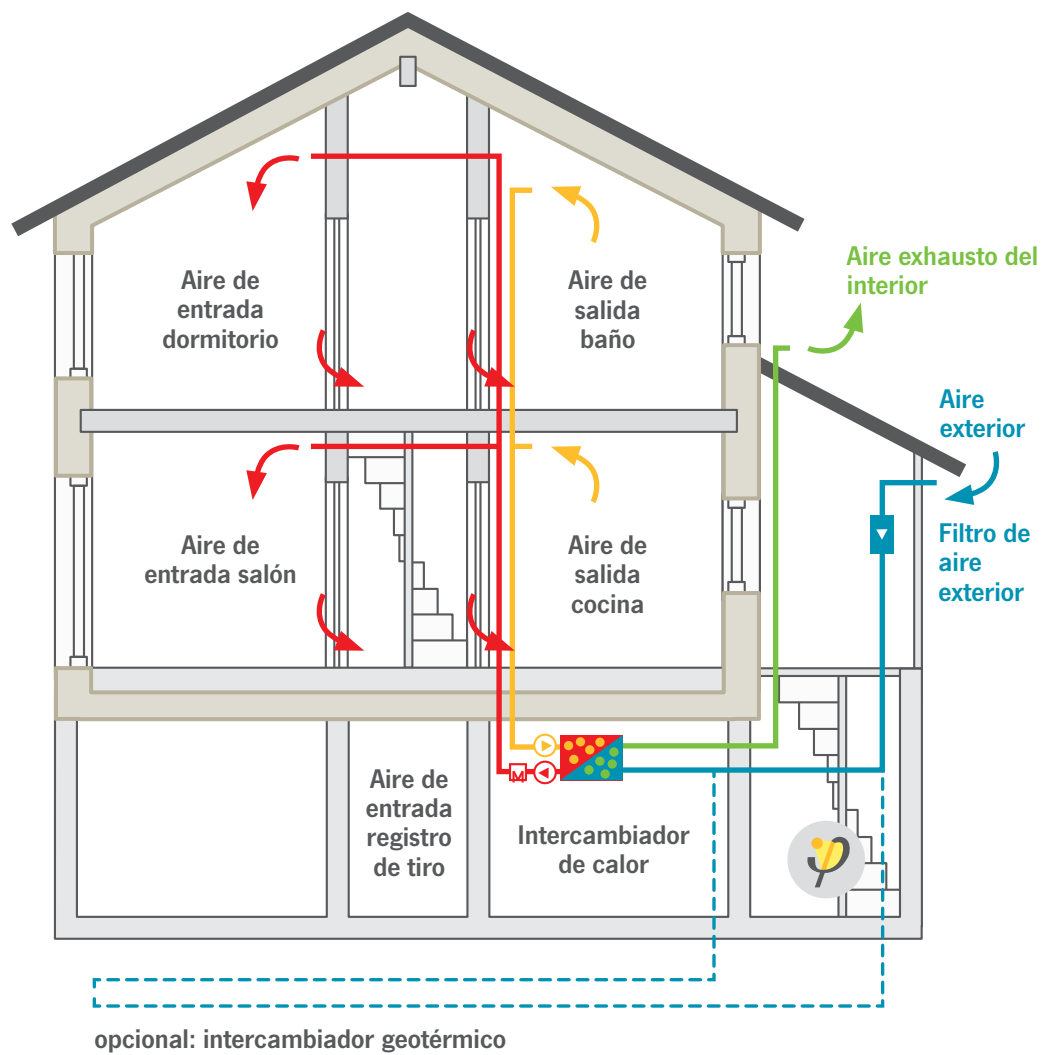


Fig. 12: Con la tecnología de ventilación actual puede recuperarse de 8 a 15 veces la energía del aire exhausto, cuando sea necesario para su funcionamiento.

RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL AIRE EXHAUSTO DEL INTERIOR

Las placas de madera maciza KLH son las más indicadas para ello, ya que pueden soportar fácilmente la «carga» adicional. Los conductos de aire de entrada y de salida con un diámetro exterior de 60 mm son lo suficientemente delgados para ser tendidos sin problemas.

LAS ABERTURAS PARA EL AIRE DE ENTRADA Y DE SALIDA PUEDEN COLOCARSE

- bajo un falso techo,
- en la pared, detrás de una fachada de paramento
- o en la estructura.

Normalmente el proyectista cuenta con varias opciones para planificar la disposición óptima de las tuberías de acuerdo con el espacio disponible.



Fig. 14: Colocación de las tuberías detrás de un falso techo. Sistema HOVAL [por gentileza de Eberle • d e n k f a b r i k •, Dornbirn, Austria]



Fig. 13: Montaje de un equipo de ventilación en una pared KLH [por gentileza de Eberle • d e n k f a b r i k •, Dornbirn, Austria]

SISTEMA DE CALEFACCIÓN

De acuerdo con la definición de casa pasiva, la carga de calefacción es tan baja ($\leq 10 \text{ W/m}^2$) que el aporte de calor necesario para compensar ese déficit se consigue mediante el calentamiento continuo del aire entrante, necesario para garantizar la higiene del espacio interior. En teoría, una casa pasiva puede funcionar, por tanto, sin un sistema de calefacción activo, lo que se traduce en una mejora adicional de la rentabilidad.

En la práctica, sin embargo, las casas pasivas sin sistema calefacción activa gozan actualmente de poca demanda. Entre otros motivos, cabe destacar los siguientes:

- El cálculo del consumo de calor para calefacción no toma en cuenta el comportamiento individual del usuario ni sus preferencias particulares
- Las circunstancias geográficas (zonas de sombra, vegetación, construcciones adyacentes, o similares) tienen una incidencia difícil, si no imposible, de estimar

RECUPERACIÓN DEL CALOR DEL AIRE EXHAUSTO DEL INTERIOR

Los sistemas de calefacción superficial – de suelo y pared – se han visto acreditados en la práctica. Estos sistemas resultan muy eficientes en cuanto a consumo energético gracias a la reducida variación de temperaturas entre el flujo de avance y el de retorno, y a una temperatura de avance muy baja en general. Los correspondientes equipos compactos con tecnología de bomba de calor, en parte ya integrados en la instalación de ventilación, han demostrado su eficacia y proporcionan el agua caliente sanitaria de forma fiable e inmune a influencias atmosféricas al mismo tiempo.



Fig. 15: Sistema de tuberías de una calefacción por suelo [por gentileza de Eberle • d e n k f a b r i k •, Dornbirn, Austria]

VENTILACIÓN, CALEFACCIÓN, AGUA CALIENTE

EN PRINCIPIO, UN SISTEMA DE VENTILACIÓN CONSTA DE TRES PARTES:

1. Sistema de tuberías exterior
2. Ventilación-calefacción-agua caliente
3. Sistema de tuberías interior

Lo que a primera vista puede resultar sorprendente, es decir, ventilación-calefacción-agua caliente en un mismo apartado, es hoy por hoy la técnica de ventilación

más avanzada y una realidad desde el año 1997. Respirar a pleno pulmón, descansar en una habitación caliente y disfrutar de un baño relajante: todo ello con un solo equipo cuyo tamaño no supera al de un frigorífico.

Los tubos para el aire de entrada y de salida pueden tenderse bajo el techo o dentro del suelo, según las preferencias. Gracias a la sección reducida de los tubos y a la altura disponible en la estructura del suelo, formada por balastado y elementos de aislamiento acústico, suele haber espacio suficiente para realizar la instalación.

Las aberturas pueden realizarse en fábrica de forma sencilla de acuerdo con la planificación previa. Si, además, las tuberías de suministro de agua caliente sanitaria se optimizan y agrupan en tramos de suministro, nada impedirá el tendido bajo el suelo, puesto que ya no habrá tuberías de calefacción.

A continuación se ofrece un resumen de los elementos que deben suprimirse en una casa pasiva y los beneficios que ello aporta.

EN UNA CASA PASIVA SE SUPRIME:

- Depósitos de gas y fueloil
- Conexión a la red de gas local
- Chimenea
- Radiadores
- Facturas de calefacción
- Sala para quemadores y calderas
- Daños constructivos por humedad

EN UNA CASA PASIVA SE GANA EN:

- Espacio para vivir
- Confort
- Certeza de estar en el camino correcto

06 RECUPERACIÓN DEL CALOR

GENERALIDADES

La recuperación del calor solar como consecuencia de la transmisión de la luz a través de los elementos transparentes del edificio se calcula de acuerdo con la norma EN 832.

ESTA RECUPERACIÓN DEPENDE DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- Orientación (azimut e inclinación) de los elementos transparentes
- Supresión de la radiación solar en zonas expuestas a la sombra (obstáculos topográficos o constructivos, plantas, etc.)
- Factor de transmisión total de energía del acristalamiento
- Recuperación de calor solar a través de invernaderos
- Recuperación de calor a través de aislamientos térmicos transparentes

La ventana ocupa un lugar destacado dentro de los elementos de construcción de las casas pasivas. Se trata de uno de los pilares decisivos de la casa pasiva.

Si bien en el pasado constituía uno de los puntos débiles de la envolvente del edificio (aunque necesario para dejar entrar la luz), hoy es un elemento funcional indispensable, fruto de los últimos avances tecnológicos.

La siguiente tabla refleja, de forma breve, la evolución de las ventanas durante los últimos 40 años, así como la reducción de los costes de calefacción y la mejora del bienestar asociados a dicha evolución:

ACRISTALAMIENTO	1 CRISTAL	2 AISLANTES	2 PROTECCIONES TÉRMICAS	3 PROTECCIONES TÉRMICAS
				
Valor U_g [W/(m ² *K)]	5,60	2,80	1,20	0,65
Temperatura sup. en °C	-1,8	9,1	15,3	17,5
Valor g	0,92	0,80	0,62	0,48

Tabla 2: Desarrollo del acristalamiento en los últimos 40 años. Eficiencia diez veces superior [www.passiv.de]

RECUPERACIÓN DEL CALOR SOLAR, VENTANAS

Este desarrollo propició acristalamientos cada vez mejores: desde el cristal sencillo (en la tabla, a la izquierda) hasta los acristalamientos adecuados para las casas pasivas (en la tabla, a la derecha). Solo estos mantienen las superficies interiores calientes incluso en condiciones de frío extremo. La reducción de la pérdida energética y la mejora del confort van de la mano. Gracias a los acristalamientos triples, los recubrimientos de baja emisividad y el diseño óptimo de los perfiles, estas ventanas

no solo impiden que se pierda energía calorífica, tal y como ocurría antes, sino que permiten que esta se pueda aprovechar.

En la figura de abajo se muestran posibles diseños de perfiles y alojamiento de cristales. Todas las ventanas de las casas pasivas tienen, no obstante, una característica común: cumplen los estrictos requisitos de valor U de ventana $\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

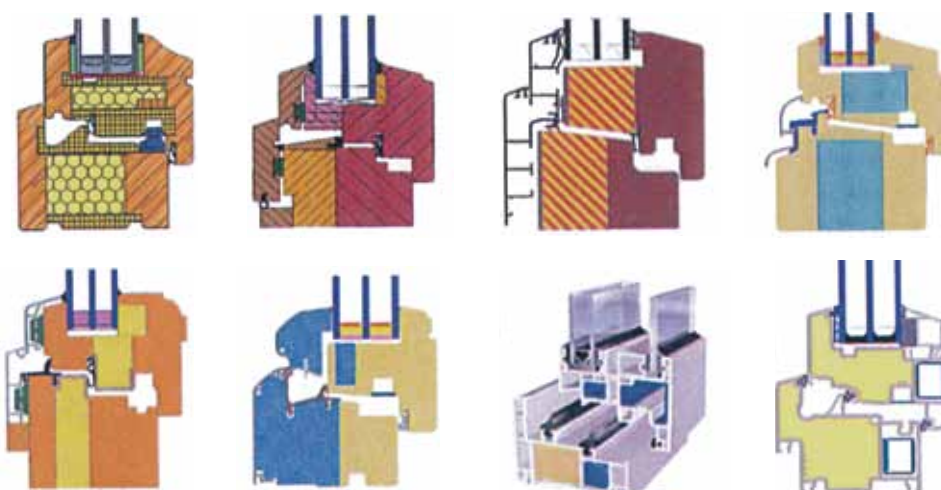


Fig. 16: Igual que los acristalamientos, los perfiles de ventana han experimentado un importante desarrollo en términos de ahorro energético. La figura 16 ofrece una muestra de sus posibles configuraciones [www.passiv.de]



RECUPERACIÓN DEL CALOR SOLAR, VENTANAS

Otro rasgo común a los perfiles de ventana es que pueden montarse fácilmente en las placas de madera maciza KLH.

UNA FIJACIÓN, POR EJEMPLO, CON ESCUADRAS DE ALUMINIO APORTA NUMEROSAS VENTAJAS:

- Transferencia de carga fiable
- Posicionamiento libre de la ventana en el sistema de aislamiento sin puentes térmicos
- Unión fácil y rápida a la placa de madera maciza KLH
- Mediante la colocación del marco de la ventana, de un tamaño ligeramente mayor, en la abertura practicada de forma precisa en la placa KLH, se mejora el aislamiento acústico del lugar de montaje toda vez que se suprimen las juntas entre el tabique y la ventana

Si se desea mejorar aún más el diseño del perfil, este puede cubrirse con un segundo aislante. Con ello se creará una zona de sombra de mayor tamaño sobre la superficie del cristal que puede reducirse biselando la superficie interior del aislamiento.

En el caso de los elementos compuestos de madera y aluminio, es importante adaptar correctamente la cubierta de aluminio del segundo aislamiento del marco. Si la envoltura de aluminio se realiza también en la zona cubierta por el segundo aislamiento, el puente térmico de montaje se acentuará sensiblemente debido a la elevada conductibilidad térmica del aluminio. Por este motivo, debe garantizarse que la cubierta de aluminio quede justo por detrás del borde de revoque. Para saber si puede llevarse a efecto esta adaptación, deberá consultarse al fabricante de la ventana.

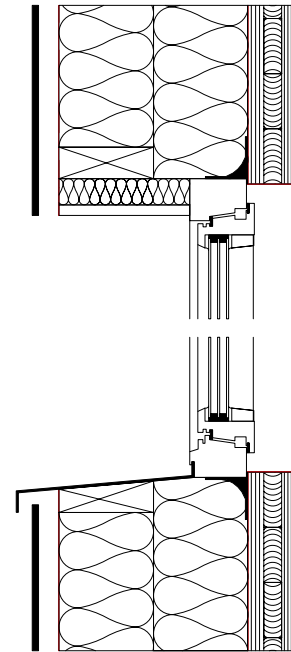
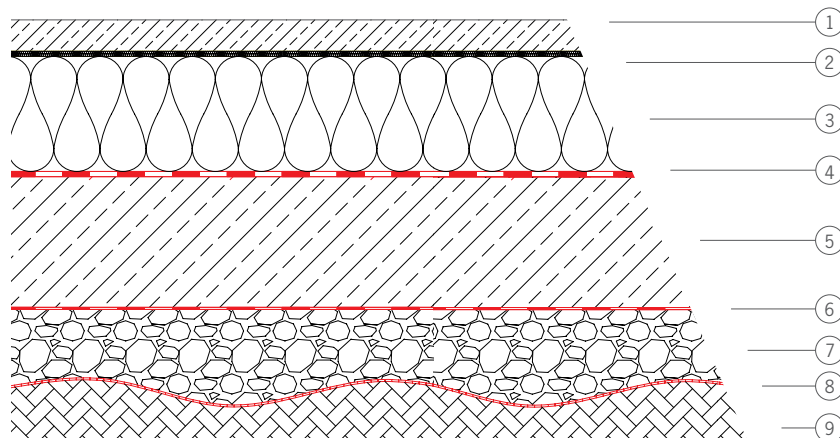


Fig. 17: Sección vertical de unión de ventana con escudra de fijación

07 ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

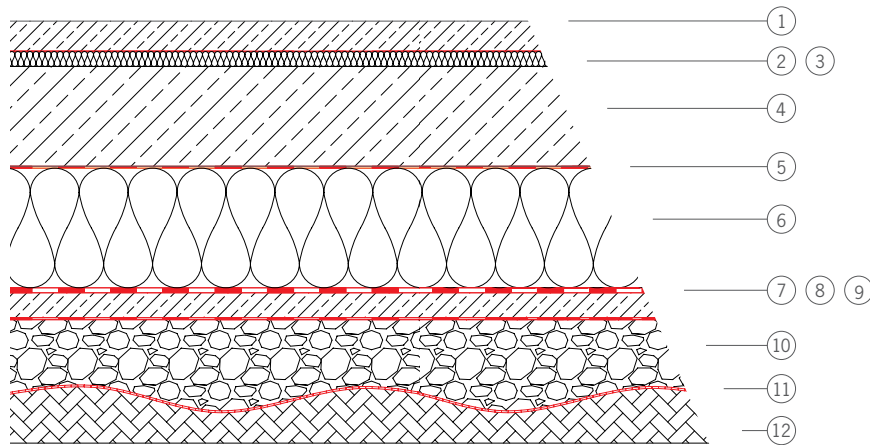
7.1 SOLERAS



7.1.1 SOLERA CON LADO SUPERIOR AISLADO

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s	ρ	μ	s_d	c	s'	λ	Valor U_m	
	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[-]	[m]	[J/(kg·K)]	[MN/m ²]		[W/(m ² ·K)]
① Capa de cemento	5	2.000	100	50	2,5	1.000	...	1,400	0,15
② Plástico celular PE, con juntas encoladas	1	34	0,34	500	5	900	...	0,040	
③ EPS	22	20	4,4	30	6,6	1.500	...	0,040	
④ Capa bituminosa con aluminio	0,4	...	5,2	...	1500	1.260	...	0,170	
⑤ Hormigón armado	25	2.400	600	100	25	1.120	...	2,500	
⑥ Papel para construcción	...	...	0,1	...	...	...	...	0,170
⑦ Capa de drenaje	15	1.800	270	2	0,3	1.000	...	0,700	
⑧ Geotextil	...	...	0,14	1.000	...	1.000	...	0,500
⑨ Suelo	...	...	...	...	...	...	...	...

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN



7.1.2 SOLERA CON LADO INFERIOR AISLADO

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s	ρ	μ	s_d	c	s'	λ	Valor U_m
	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[-]	[m]	[J/(kg·K)]	[MN/m ³]	[W/(m ² ·K)]
① Capa de cemento	5	2000	100	50	2,5	1.000	...	1,400
② Lámina PE, juntas solapadas	0,02	...	0,2	100.000	20	790	...	0,230
③ Lana mineral – aislamiento acústico	3	...	2,7	1	0,03	1.030	10	0,035
④ Hormigón armado	20	2400	480	100	20	1.120	...	2,500
⑤ Lámina PE (2 capas)	0,04	...	0,4	100.000	40	790	...	0,230
⑥ Vidrio celular con betún polímero	24	105	25,2	1.000.000	240.000	1.000	...	0,045
⑦ Betún-polímero (2 capas)	0,8	1050	8,4	40.500	324	1.260	...	0,170
⑧ Hormigón magro/binder	5	2000	100	100	5	1.080	...	1,200
⑨ Papel para construcción	...	...	0,1	...	...	...	...	0,170
⑩ Capa de drenaje	15	1800	270	2	0,3	1.000	...	0,700
⑪ Geotextil	...	...	0,14	1.000	...	1.000	...	0,500
⑫ Suelo	...	...	...	...	...	...	...	...

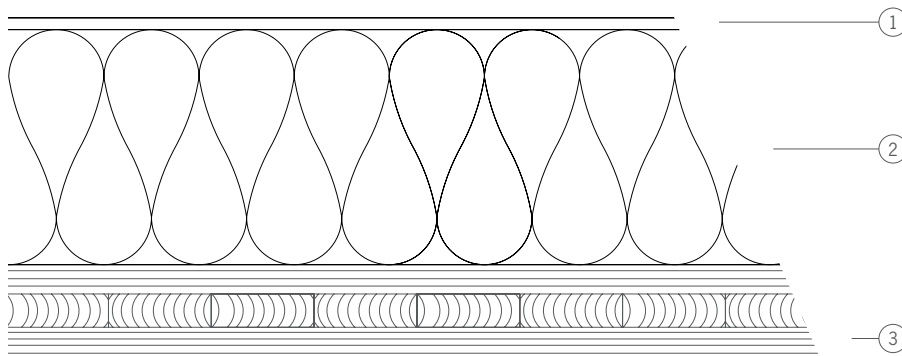
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

7.2 MURO EXTERIOR – TIPOS DE AISLAMIENTO CON KLH

Para poder comparar mejor las distintas construcciones, se ha utilizado el grupo de conductibilidad térmica (WLG) 040 en todos los tipos de aislamiento. Naturalmente, existen productos que superan hoy en día este valor, si bien lo hacen en el tercer dígito detrás de la coma del valor lambda. Asimismo, se han omitido las capas adicionales en el lado interior ya que, de lo contrario,

se darían numerosas posibilidades de combinación que excederían los límites del análisis.

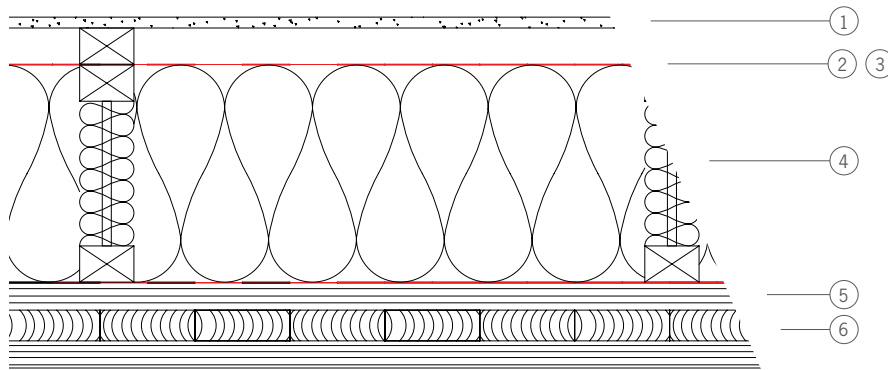
No obstante, en algunos casos puede ser necesario recurrir a un aislamiento interior, ya sea para una instalación adicional o para mejorar la protección ignífuga o acústica.



7.2.1 FACHADA SIN CÁMARA DE AIRE VENTILADA KLH Y WDVS (SISTEMA COMBINADO DE AISLAMIENTO TÉRMICO)

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s	ρ	μ	s_d	c	s'	λ	Valor U_m
	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[-]	[m]	[J/(kg*K)]	[MN/m ³]	[W/(m ² *K)]
① Sistema de revoque	0,7	1.200	8	15	0,075	1.120	...	2,000
② Aislamiento (EPS-F)	30	12	3,60	1	0,3	1.450	...	0,040
③ Placa (WSI o de 5 capas)	9,4	500	47	25/50	...	1.600	...	0,130

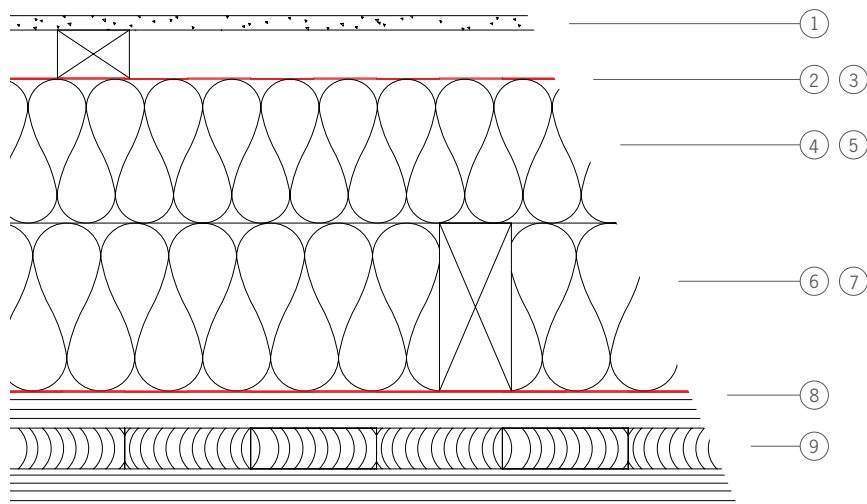
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN



7.2.2 FACHADA CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA - VIGAS EN DOBLE T SOBRE KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s	ρ	μ	s_a	c	s'	λ	Valor U_m
	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[-]	[m]	[J/(kg*K)]	[MN/m ³]	[W/(m ² *K)]
① Fachada	0,12
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...
③ Estanqueidad al viento	0,05	...	0,5	22	0,01	1.000	0,170	
④ Aislamiento entre almas	33	35	...	1	0,33	910	0,040	
⑤ Capa estanca al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	0,500	
⑥ Placa KLH	9,4	500	47	25/50	...	1.600	0,130	

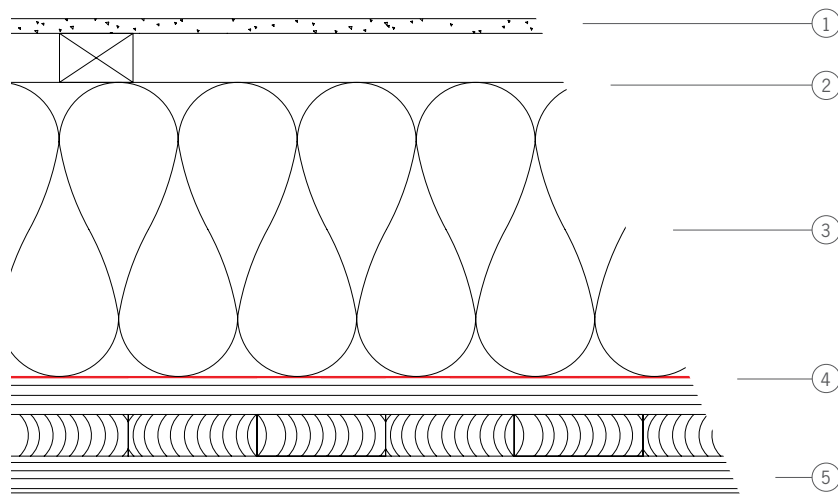
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN



7.2.3 FACHADA CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA - TABLEROS CONTRALAMINADOS SOBRE KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/m ²]	μ [-]	s _d [m]	c [J/(kg·K)]	s' [MN/m ²]	λ [W/(m·K)]	Valor U _m [W/(m ² ·K)]
① Fachada	0,12
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...	...
③ Estanqueidad al viento	0,05	...	0,5	22	0,01	1.000	...	0,170	
④ Viga 6x18, intereje vertical 0,625 m	18	500	8,6	...	...	1.600	...	0,130
⑤ Aislamiento entre vigas	18	35	5,7	1	0,18	910	...	0,040	
⑥ Viga 6x16, intereje horizontal 1,25 m	16	500	3,8	...	...	1.600	...	0,130
⑦ Aislamiento entre vigas	16	35	5,3	1	0,16	910	...	0,040	
⑧ Nivel estanco al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	...	0,500	
⑨ Placa KLH	9,4	500	47	25/50	...	1.600	...	0,130	

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

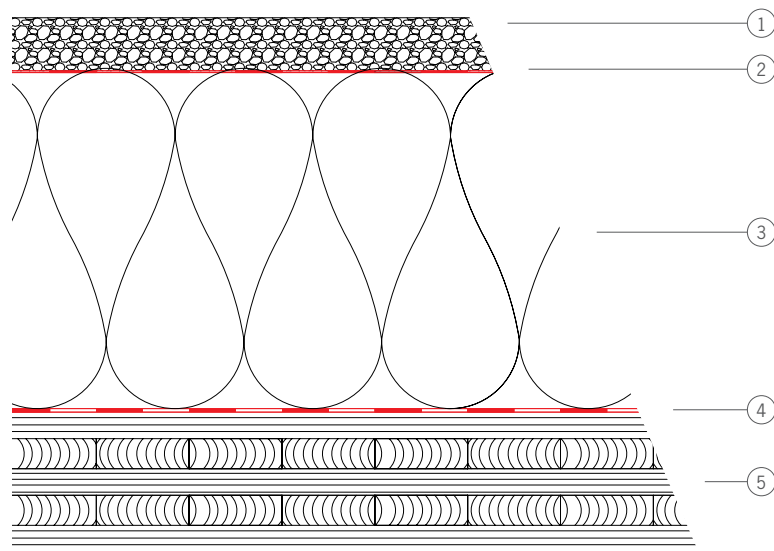


7.2.4 FACHADA CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA – AISLAMIENTO FIJADO SOBRE KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/m ²]	μ [-]	s _d [m]	c [J/(kg·K)]	s' [MN/m ³]	λ [W/(m·K)]	Valor U _m [W/(m ² ·K)]
① Fachada	0,12
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...	...
③ Aislamiento, resistente a la compresión, estanco al aire	30	160	48	1	0,30	1.030	...	0,040	
④ Nivel estanco al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	...	0,500	
⑤ Placa KLH	9,4	500	47	25/50	...	1.600	...	0,130	

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

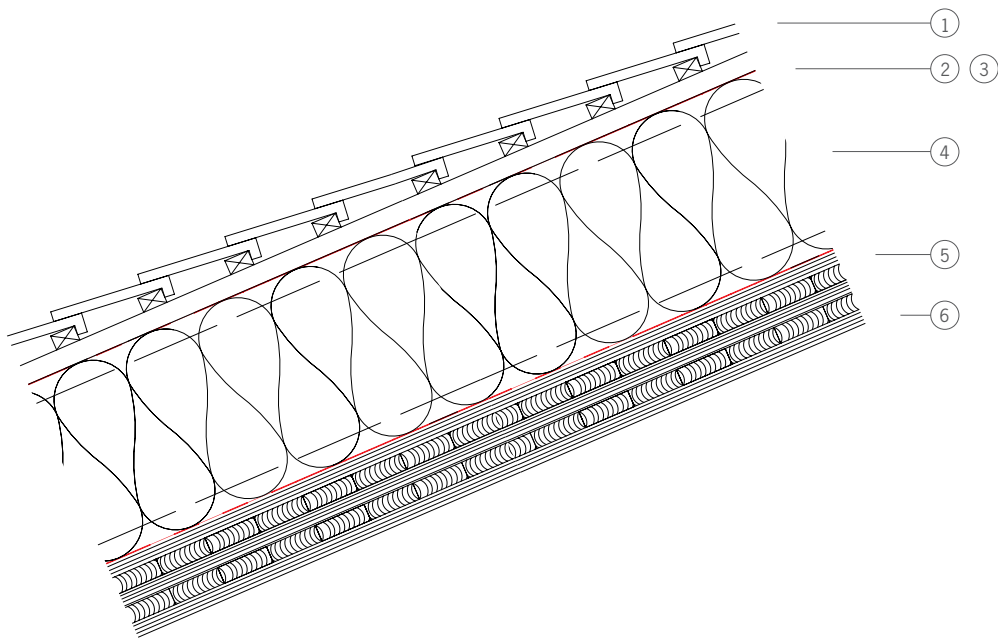
7.3 CUBIERTA CON KLH



7.3.1 CUBIERTA PLANA CON KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/m ²]	μ [-]	s_d [m]	c [J/(kg·K)]	s' [MN/m ³]	λ [W/(m·K)]	Valor U_m [W/(m ² ·K)]
① Grava 16/32	0,10
② Sellado de betún polímero	0,2	...	4,30	40.500	...	987	...	...
③ Aislamiento, resistente a la presión	34	20	6,8	1	0,34	1.030	...	0,040	
④ Capa de material bituminoso-aluminio	0,4	...	5,2	...	1.500	1.260	...	0,170	
⑤ Placa KLH	14,5	500	72,5	25/50	...	1.600	...	0,130	

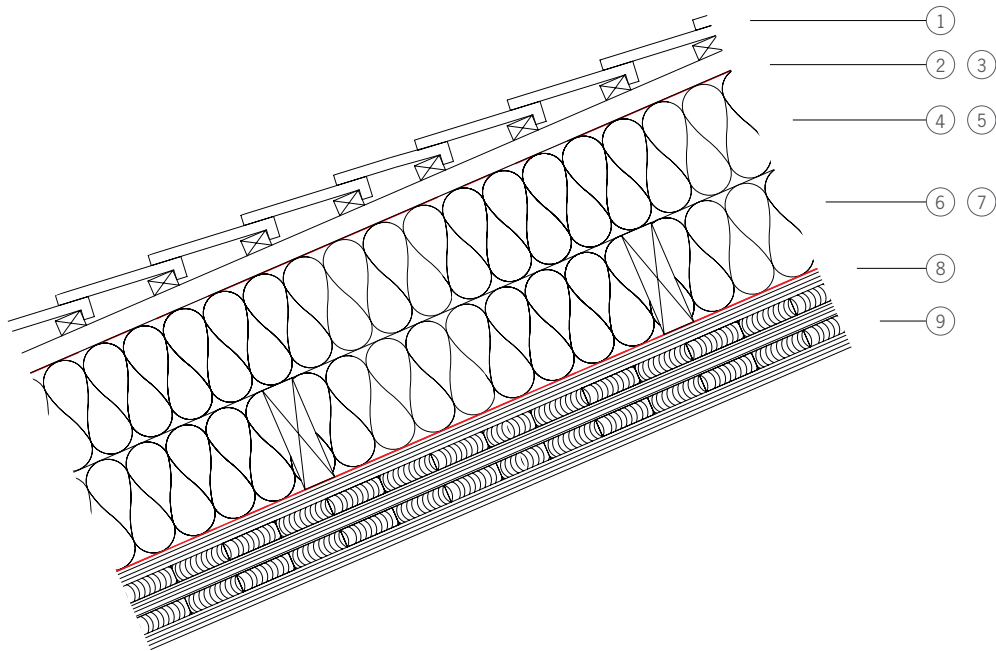
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN



7.3.2 CUBIERTA DE PENDIENTE ELEVADA CON KLH - VIGAS EN DOBLE T Y KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s	ρ	μ	s_a	c	s'	λ	Valor U_m
	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[-]	[m]	[J/(kg·K)]	[MN/m ³]	[W/(m ² ·K)]
① Cubierta del tejado	0,10
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...
③ Estanqueidad al viento	0,05	...	0,5	22	0,01	1.000	0,170	
④ Aislamiento entre almas	38	35	...	1	0,38	910	0,040	
⑤ Capa estanca al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	0,500	
⑥ Placa KLH	14,5	500	72,5	25/50	...	1.600	0,130	

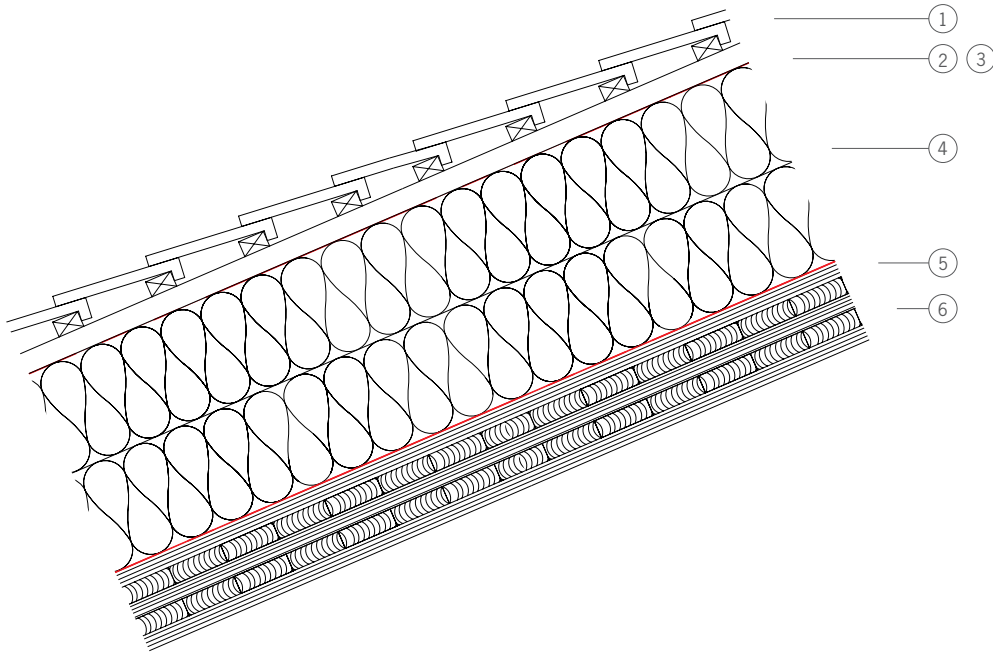
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN



7.3.3 CUBIERTA DE PENDIENTE ELEVADA CON KLH – RASTRELES DISPUESTOS ORTOGONALMENTE Y KLH

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/m ²]	μ [-]	s _d [m]	c [J/(kg*K)]	s' [MN/m ³]	λ [W/(m*K)]	Valor U _m [W/(m ² *K)]
① Cubierta del tejado	0,10
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...	...
③ Estanqueidad al viento	0,05	...	0,50	22	0,01	1.000	...	0,170	
④ Viga 6x18, intereje vertical 0,625 m	18	500	8,6	...	...	1.600	...	0,130
⑤ Aislamiento entre vigas	18	35	5,7	1	0,18	910	...	0,040	
⑥ Viga 6x20, intereje horizontal 1,25 m	20	500	4,8	...	...	1.600	...	0,130
⑦ Aislamiento entre vigas	20	35	6,7	1	0,20	910	...	0,040	
⑧ Capa estanca al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	...	0,500	
⑨ Placa KLH	14,5	500	72,5	25/50	...	1.600	...	0,130	

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

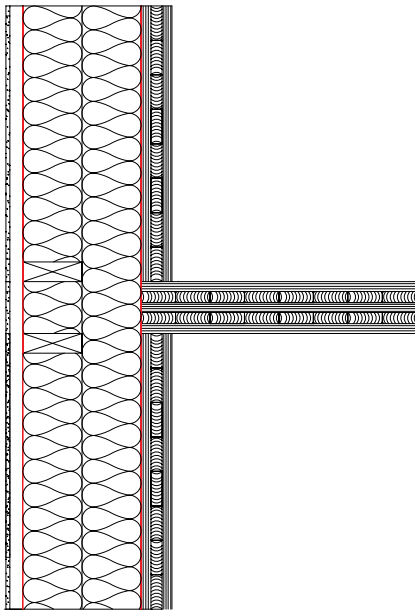


7.3.4 CUBIERTA DE PENDIENTE ELEVADA CON KLH – AISLAMIENTO FIJADO Y KLH

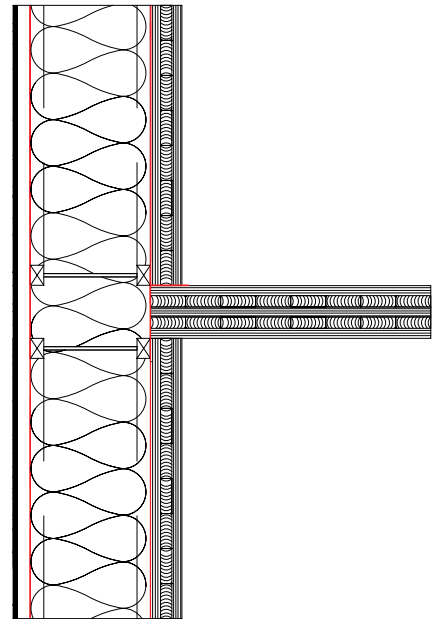
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	s [cm]	ρ [kg/m ³]	μ [kg/m ²]	μ [-]	s_d [m]	c [J/(kg·K)]	s' [MN/m ³]	λ [W/(m·K)]	Valor U_m [W/(m ² ·K)]
① Cubierta del tejado	0,12
② Cámara de aire ventilada, vertic.	4	...	...	...	...	...	...	...
③ Capa aislante impermeable y transpirable	0,05	...	0,50	22	0,01	1.000	...	0,170	
④ Aislamiento resistente a la presión	34	150	51	1	0,34	1.030	...	0,040	
⑤ Capa estanca al aire	0,01	...	0,40	100.000	10	790	...	0,500	
⑥ Placa KLH	14,5	500	72,5	25/50	...	1.600	...	0,130	

08 JUNTAS ENTRE ELEMENTOS

Los siguientes ejemplos de juntas entre elementos demuestran lo fácil que resulta poner en práctica la »regla del rotulador« (véase pág. 12) –en la fase de planificación con KLH–, sin tener que renunciar a productos de construcción ya probados.

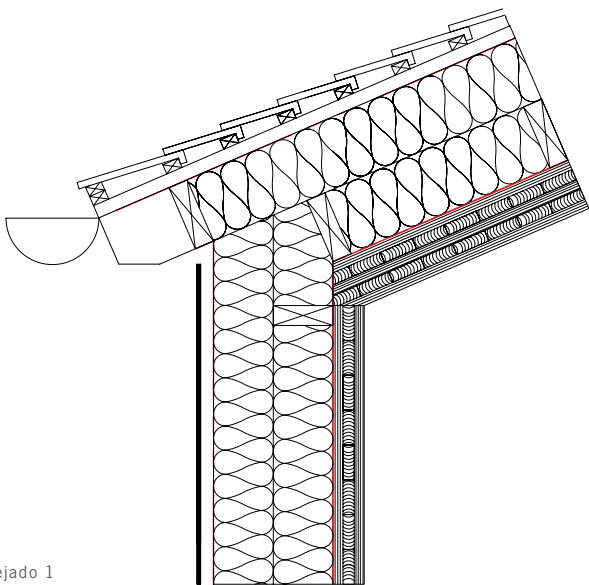


Techo 1

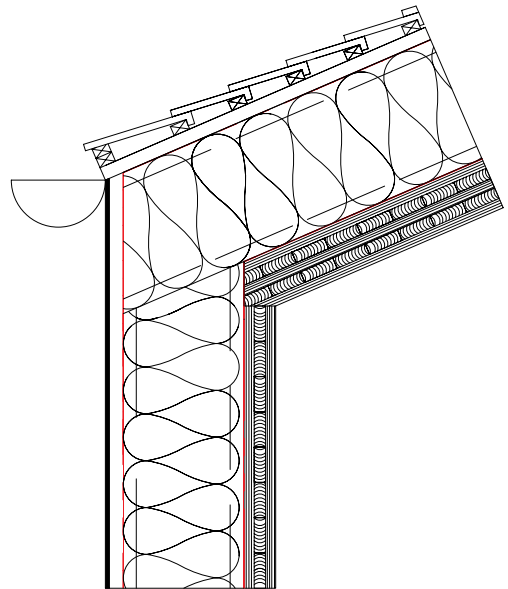


Techo 2

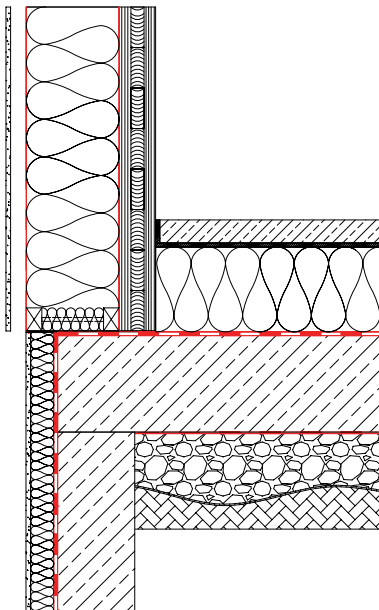
JUNTAS ENTRE ELEMENTOS



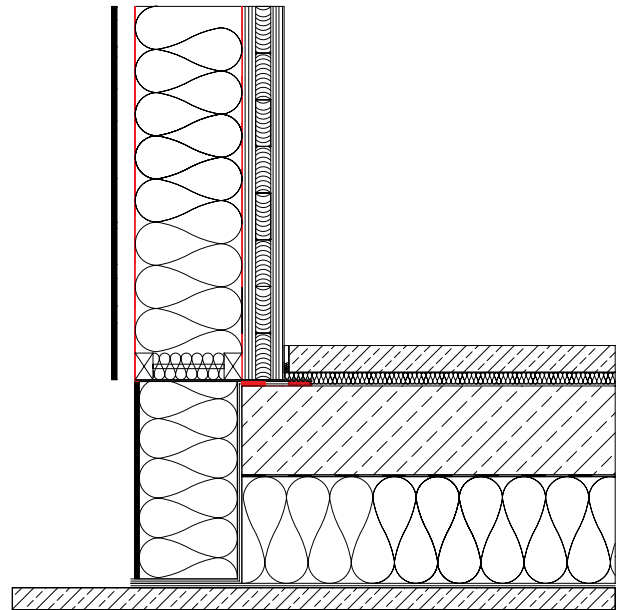
Tejado 1



Tejado 2



Zócalo 1: se precisa un cálculo detallado del agua de condensación (véase también el capítulo 02 »Elementos exteriores con fuerte aislamiento térmico: soleras«)



Zócalo 2

ÍNDICE DE FIGURAS Y FUENTES

ÍNDICE DE FIGURAS Y FUENTES

Tabla 1: véase Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M.: Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen, INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzbau Handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Seite 7, DGfH 2002

Tabla 2: www.passiv.de

Fig. 1: véase Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M.: Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen, INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzbau Handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Seite 9, DGfH 2002

Fig. 2: véase Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M.: Das Passivhaus – Energie-Effizientes-Bauen, INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzbau Handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Seite 9, DGfH 2002

Fig. 3: BSPHandbuch – Kapitel F: Bauphysik – Hochbau – Leitdetails Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz – Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts, Technische Universität Graz – holz.bau forschung gmbh – Karlsruher Institut für Technologie – Technische Universität München – Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Fig. 4: BSPHandbuch – Kapitel F: Bauphysik – Hochbau – Leitdetails Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz – Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts, Technische Universität Graz – holz.bau forschung gmbh – Karlsruher Institut für Technologie – Technische Universität München – Eidgenössische Technische Hochschule Zürich]

Fig. 5: Borsch-Laaks, R., Kehl, K., gráficos: EA NRW

Fig. 6: KLH

Fig. 7: www.passiv.de

Fig. 8: www.passiv.de

Fig. 9: Eberle • denkfabrik • Dornbirn, Österreich

Fig. 10: Empresa pro clima 2011

Fig. 11: Empresa pro clima 2011

Fig. 12: www.passiv.de

Fig. 13: Eberle • denkfabrik • Dornbirn, Österreich

Fig. 14: Eberle • denkfabrik • Dornbirn, Österreich

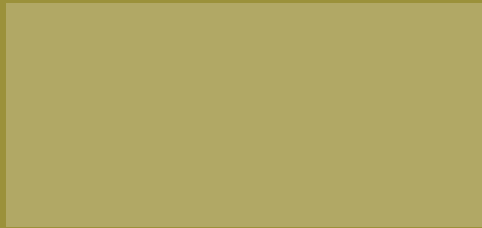
Fig. 15: Eberle • denkfabrik • Dornbirn, Österreich

Fig. 16: www.passiv.de



KLH MASSIVHOLZ GMBH

A-8842 Katsch a. d. Mur 202 | Tel +43 (0)3588 8835 0 | Fax +43 (0)3588 8835 20
office@klh.at | www.klh.at



Impreso respetando la naturaleza.