

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (ETSIE)

Proyecto Final de Grado

***Taller 31: “Materiales para Arquitectura Sostenible –
Participación de los materiales en la Sostenibilidad”***

***Aplicación de criterios de sostenibilidad en
cerramientos***

Autores:

Bordoni Claudio

Ortega Cárdenas Germán

Profesor responsable

Ing. Javier Orozco Messana

Índice

Capítulo 1 - Restricciones de proyecto.....	1
1.1 Entorno: Condiciones climáticas y contexto.....	1
1.2 Singularidad.....	3
1.3 Normativa de referencia.....	8
1.4 Presupuesto y funcionalidad.....	17
Capítulo 2 - Selección de los materiales.....	18
2.1 Estructura y envolvente.....	18
2.2 Familias y propiedades de los materiales.....	18
2.3 Introducción al proceso de selección de los materiales.....	21
2.4 Definición del grupo de valores – El dominio funcional.....	23
2.5 Definición del grupo de productos de construcción – El dominio físico.....	26
2.6 Selección de los materiales de proyecto.....	76
2.7 Determinación del sistema constructivo: Fachada ventilada.....	85
2.8 Fachada ventilada del proyecto.....	87
Capítulo 3 - Evaluar los esfuerzos y determinar la geometría.....	89
3.1 Cálculo de la transmitancia térmica.....	89
3.2 Cálculo de condensaciones.....	92
3.3 Dimensionado de la subestructura de madera.....	101
Capítulo 4 - Ponderar soluciones: comparación con la solución actual.....	105
4.1 Definición de los objetivos y recopilación de los datos.....	105
4.2 Comparación del peso.....	108
4.3 Comparación del precio.....	109
4.4 Comparación de la huella de CO ₂	110
4.5 Comparación de la energía embebida.....	111
4.6 Comparación de la resistividad térmica.....	112

Capítulo 5 - Solución constructiva.....	114
5.1 Revestimiento interior.....	114
5.2 Aislante.....	117
5.3 Estructura.....	117
5.4 Pizarra y sistema de sustentación.....	120
5.5 Consideraciones sobre la durabilidad de los materiales.....	122
5.6 Impermeabilización y barrera de vapor.....	123
Capítulo 6 –Conclusiones.....	125
Bibliografía.....	126

Capítulo 1

Restricciones de proyecto

Se realiza el proyecto del revestimiento externo de un edificio de reciente edificación adoptando los principios de sostenibilidad y selección de los materiales, y consecuentemente la comparación del mismo con la envoltura efectivamente realizada. En particular, se aplicarán los criterios de selección descrito por el Profesor John Fernandez en el libro “*Material Architecture: Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction*” (ELSEVIER, Architectural Press, 2006) a través del uso del software CesEdupack 2010. Todo esto con el fin de diseñar el cerramiento de un edificio, que abarque desde los principios emergentes de la arquitectura sostenible hasta el cumplimiento de la normativa española y europea en el ámbito de la construcción.

1.1 Entorno: Condiciones climáticas y contexto

El edificio está situado en Valencia, ciudad situada en la costa sudeste de España (Fig. 1.1 e 1.2). El clima es Mediterráneo, el cual se caracteriza por ser un clima suave y húmedo, y su temperatura media anual es de unos 17,8 °C. Posee un clima muy cálido, sin temperaturas extremas, sus valores medios oscilan entre los 11,5 °C de enero y los 25,5 °C de agosto. De este modo los meses más fríos son enero y febrero, y los más calurosos mayo, junio y julio.

Las precipitaciones anuales son superiores a los 400 mm, con mínimos muy marcados en verano (tres meses secos, de junio a agosto), y máximos en los meses de otoño (de septiembre a noviembre, por el efecto del fenómeno meteorológico denominado gota fría, ya que el clima mediterráneo es un clima con lluvias estacionales).

Otro rasgo característico del clima de Valencia, es que la ciudad cuenta con más de 300 días de sol al año, es decir, unas 2.660 horas de sol al año.

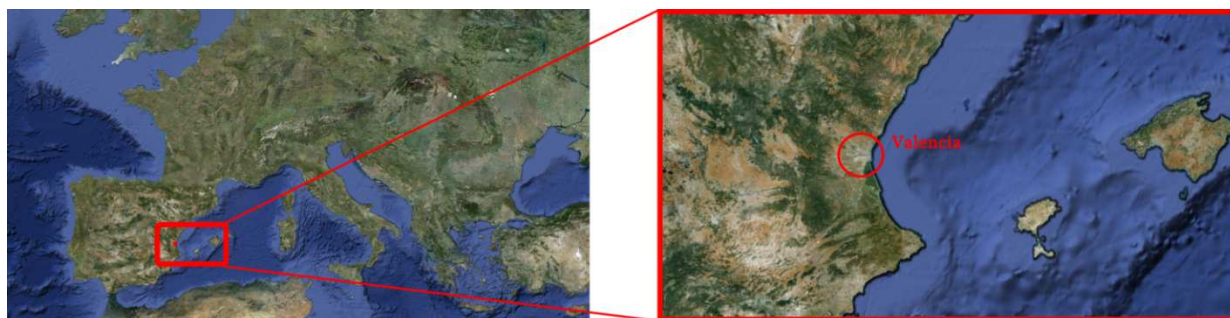


Figura 1.1 Figura 1.2

A continuación se muestra una tabla con las principales condiciones climáticas de Valencia y la comparación con las dos mayores ciudades de España (Tab. 1.1 - 1.3). Respecto a los objetivos del proyecto, resultan de particular importancia los valores de la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Temperatura	11,5	12,6	13,9	15,5	18,4	22,1	24,9	25,5	23,1	19,1	14,9	12,4	17,8
Máximas	16,1	17,2	18,7	20,2	22,8	26,2	29,1	29,6	27,6	23,6	19,5	16,8	22,3
Mínimas	7,0	7,9	9,0	10,8	14,1	17,9	20,8	21,4	18,6	14,5	10,4	8,1	13,4
Precipitaciones	36	32	35	37	34	23	9	19	51	74	51	52	454
Humedad	63	61	61	60	65	65	66	68	67	66	65	65	65

Tablero 1.1 Valores Climatológicos Normales Valencia: Temperatura, Precipitaciones y Humedad -Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Capítulo 1 - Restricciones de proyecto

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Milibares	1017,8	1016,8	1015,6	1015,1	1015,5	1016,3	1016,3	1015,3	1016,4	1016,8	1015,8	1016,6	1016,2

Tablero I.2 Valores Climatológicos Normales Valencia: Presión- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

CIUDAD	LAT	LON G	EL	Media de extremos anuales	Bulbo seco	Oscilación climatológica diaria	Bulbo mojado	Vientos predominantes
				100% 99% 97,5%	1% 2,5% 5%		1% 2,5% 5%	Invierno Verano m/s
Barcelona	41 24N	2 09E	95	-1 1 2	31 30 29	7	24 23 23	N S 5
Madrid	40 25N	3 41W	667	-6 -4 -2	34 33 32	14	22 21 19	NNE W 3
Valencia	39 28N	0 23W	24	-1 1 3	33 32 31	8	24 23 23	W ESE 4

Tablero I.3 Condiciones climáticas de proyecto, Heinz R. Trechsel "Moisture Control in Buildings" 1994

El edificio objeto de estudio está situado en el Norte-este de Valencia, equidistante del centro histórico y de la costa 3,5 km (Fig. 1.3 e 1.4). Por tanto, la proximidad al mar condiciona al proyectista a utilizar materiales en el revestimiento externo de la fachada que sean resistentes a la acción de los cloruros presentes en el aire.



Figura 1.3 - Formación territorial

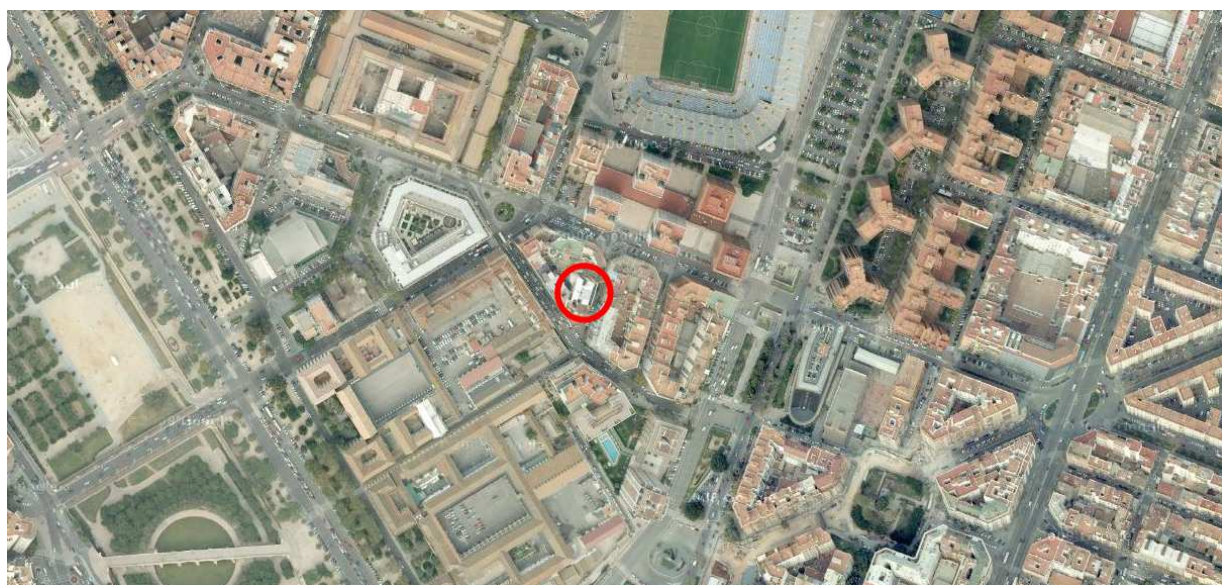


Figura 1.4 - Localización del edificio

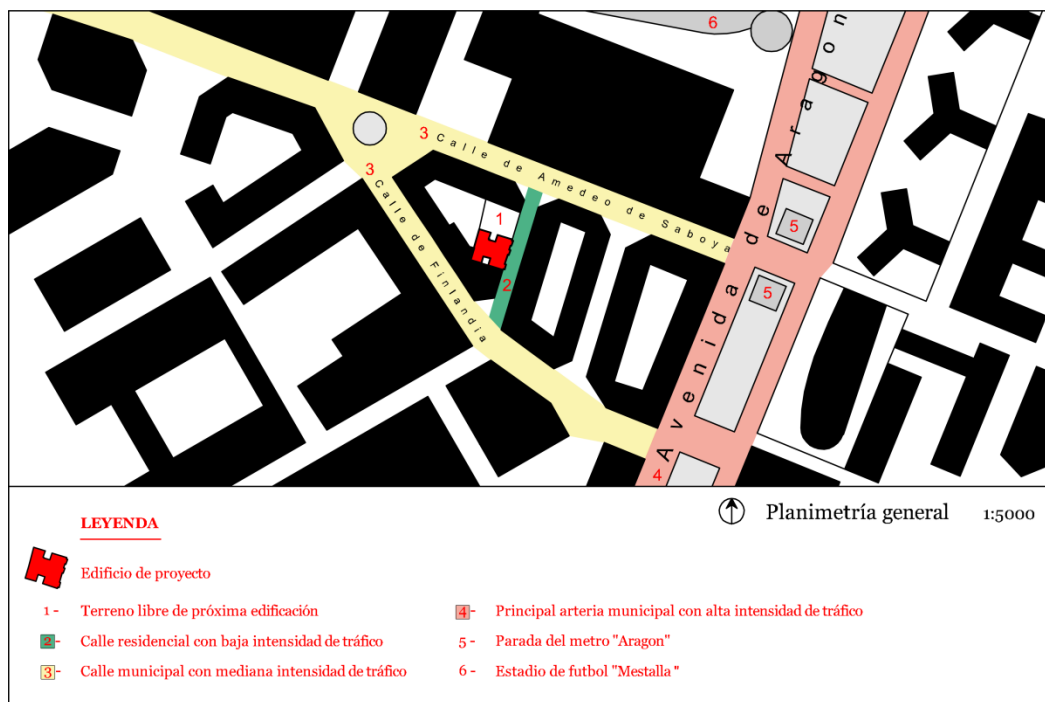


Figura 1.5 – Planimetría de estudio

El edificio está situado en una zona de ordenación urbanística residencial manzana cerrada, disposición predominante en la arquitectura residencial valenciana, la cual permite ocupar grandes manzanas garantizando a los usuarios, mediante un patio interior, una zona al amparo de los ruidos de viales. Ésta distribución provoca el acercamiento entre edificios, disminuyendo la exposición del mismo. En la edificación, uno de sus dos medianeras queda sin obstrucciones, siendo por poco tiempo ya que se prevee próximamente una edificación (1). La fachada principal recae en la calle Pintor Ricardo Verde (2), vial con muy poca afluencia, pero próxima a calles más transitadas como la calle Finlandia, la calle Amadeo de Saboya (3) o la Avenida Aragón (4), siendo ésta última una de las redes primarias de la ciudad. Dicha afluencia, provoca un aire rico en agentes atmosféricos contaminantes y agresivos que atacan a los materiales de construcción.

1.2 Singularidad

El solar tiene forma rectangular, con unas longitudes medias aproximadas de 23,20 m. de profundidad y 21,20 m. de anchura, presentando una fachada a la Calle Pintor Ricardo Verde de 21,20 m., siendo medianeras el resto de los lindes. La superficie total aproximada es de 492,00 m², siendo el terreno llano. El acceso al solar se realiza por la calle Pintor Ricardo Verde, nº 5 y 7.

Se trata de un Proyecto de Obra de Nueva Planta para un Edificio de Viviendas, Local sin uso específico y Aparcamiento, con una superficie construida total de 3.706,77 m².

El edificio consta de dos plantas bajo rasante y de cinco plantas en altura, más ático y desván. Las dos plantas de sótano y la planta baja ocupan la totalidad del solar, mientras que a las plantas altas se le resta la superficie de patios de luces, y al ático y desván, además de éstos, la superficie del retranqueo de fachada y de terrazas recayentes al patio de manzanas, respectivamente. Cada planta consta de tres viviendas, excepto el desván que es parte integrante de las viviendas del ático, con un total de 15 viviendas. Las plantas están unidas por un núcleo de comunicación vertical, compuesto de escalera y ascensor, salvo los desvanes que

sólo son accesibles desde las viviendas del ático, mientras que las plantas de sótano disponen de escalera independiente con acceso directo al exterior.

El programa desarrollado en cada una de las plantas bajo rasante es el siguiente:

Planta sótano 2: Consta de 14 plazas de aparcamiento para coche y 6 trasteros, además de la calle de circulación, rampa de acceso, vestíbulo previo, ascensor y escalera de evacuación ascendente.

Planta sótano 1: Consta de 12 plazas de aparcamiento para coche y 2 trasteros, además de la calle de circulación, rampa de acceso, vestíbulo previo, ascensor y escalera de evacuación ascendente.

El programa desarrollado en cada una de las plantas sobre rasante es el siguiente:

Planta baja: En ella se dispone de un local sin uso específico, la entrada a la rampa de acceso a los aparcamientos, la escalera de acceso a los sótanos y un zaguán de acceso a las viviendas, en el que se dispone de un recinto para albergar los contadores de agua y el grupo de presión, más sendos armarios para los contadores de electricidad y las instalaciones de telecomunicaciones (RITM). Además se dispone de una batería de 5 trasteros.

Las plantas altas están destinadas a viviendas, en número de quince, y se distribuyen de la siguiente manera:

Plantas 1ª, 2ª, 3ª y 4ª: Constan de tres viviendas cada una, con las siguientes estancias:

- Viviendas 1, 4, 7 y 10 (Tipo A): Constan de salón-comedor, cocina, dormitorio principal con baño completo incorporado, tres dormitorios dobles, otro baño completo, aseo, pasillo y recibidor.
- Viviendas 2, 5, 8 y 11 (Tipo B): Constan de salón-comedor, cocina tipo americano, dormitorio principal, baño completo y recibidor.
- Viviendas 3, 6, 9 y 12 (Tipo C): Constan de salón-comedor, cocina, dormitorio principal con baño completo incorporado, tres dormitorios dobles, otro baño completo, aseo, pasillo y recibidor.

Las viviendas 1 y 3 de la planta primera disponen de acceso a los patios de luces.

Planta ático: Consta de tres viviendas que se desarrollan entre esta planta y el desván, con las siguientes estancias en esta planta:

- Vivienda 13 (Tipo D): Consta de salón-comedor, cocina, dormitorio principal con baño completo incorporado, un dormitorio doble, otro baño, pasillo y recibidor, además de la escalera de acceso a la planta superior situada en el salón-comedor.
- Vivienda 14 (Tipo E): Consta de salón-comedor, cocina tipo americano, dormitorio principal, baño completo y recibidor, además de la escalera de acceso a la planta superior situada en el salón-comedor.
- Vivienda 15 (Tipo F): Consta de salón-comedor, cocina, dormitorio principal con baño completo incorporado, un dormitorio doble, otro baño, pasillo y recibidor, además de la escalera de acceso a la planta superior situada en el salón-comedor.

Estas tres viviendas disponen de una terraza recayente a la calle de uso privativo.

Desván: En esta planta se desarrolla el resto del programa correspondiente a las viviendas 13,14 y 15, con las siguientes estancias:

- Vivienda 13 (Tipo D): Espacio diáfano sin piezas habitables.

- Vivienda 14 (Tipo E): Espacio diáfano sin piezas habitables.
- Vivienda 15 (Tipo F): Espacio diáfano sin piezas habitables.

Las tres viviendas 13 y 15 disponen de una terraza recayente al patio de manzana de uso privativo.

La fachada principal se proyecta aprovechando los vuelos permitidos por la normativa para generar unos volúmenes en forma de miradores. El material elegido para la ejecución de ésta es el aplacado de piedra natural y revestimiento metálico en los miradores.

Las superficies afectadas y las alturas de evacuación correspondientes son las siguientes (tab. 1.4):

Planta	Uso	Sup. Const. (m ²)	Altura de Evacuación (m) (art 7.1.3)
Sótano 2	Garaje	432,30	-5,30
	Trasteros	34,60	
Sótano 1	Garaje	446,20	-2,70
	Trasteros	15,41	
Baja	Local (sin uso específico)	283,86	0,06
	Trasteros	47,48	
	Zaguán	62,66	
Primera	Viviendas	395,57	4,17
Segunda	Viviendas	395,57	7,32
Tercera	Viviendas	395,57	10,47
Cuarta	Viviendas	395,57	13,62
Atico	Viviendas	306,67	16,76
Desván	Viviendas	159,13	-

Tablero 1.4 Superficies afectadas y alturas de evacuación correspondientes

En las páginas siguientes se muestra el alzado, planta y secciones de la fachada que se va a proyectar (Fig. 1.6 - Fig. 1.8). Ésta se divide en tres partes diferentes: la base, el ático (en un plano desplazado hacia el interior del solar respecto a las inferiores) y la parte relativa a las cuatro plantas de viviendas sobre la que se irá a efectuar el estudio. El plano de planta muestra la distribución interior y los espacios que serán revestidos, es decir, tres salón-comedor y dos dormitorios.

El revestimiento de la zona intermedia está formado por paneles de material compuesto (resina termoendurecible homogéneamente reforzadas con fibra de madera, del tipo Trespa Meteon) de tamaño 90x78cm y que dan modularidad a la fachada. Este módulo también define las aberturas, que ocupan 1,2 o 4 paneles para ofrecer la iluminación en las habitaciones y salones. En particular, las aberturas de los salones sobresalen con respecto al perfil de la fachada, aumentando la superficie construida. Más adelante veremos si esta decisión es más o menos compatible con los criterios de sostenibilidad y se propondrá una solución más sostenible.

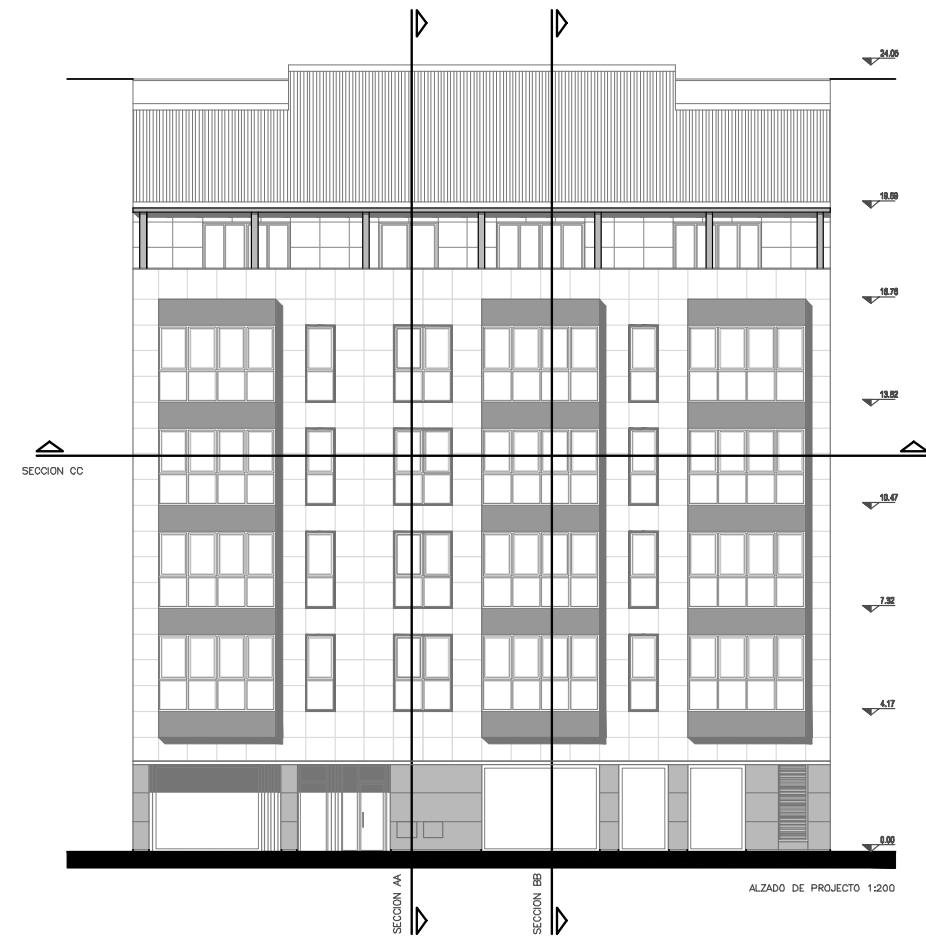


Figura 1.6 - Alzado de proyecto

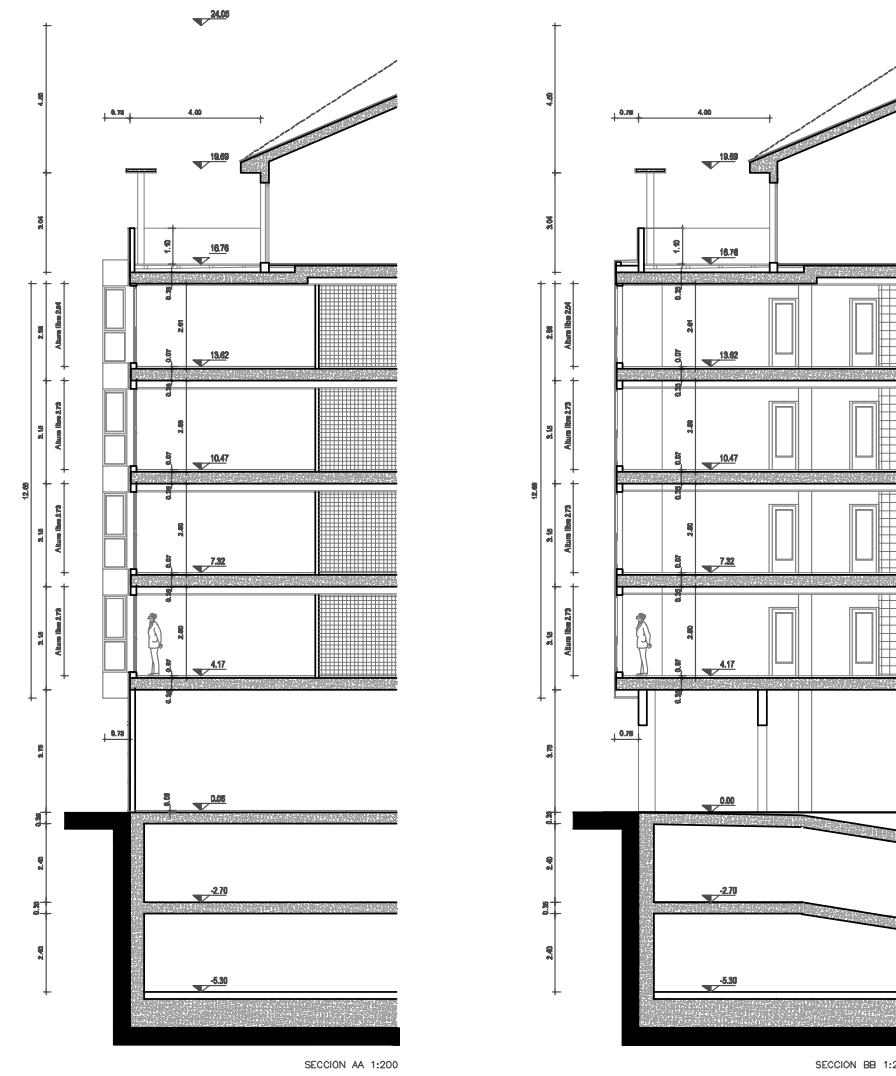


Figura 1.8 - Trozo de seccion

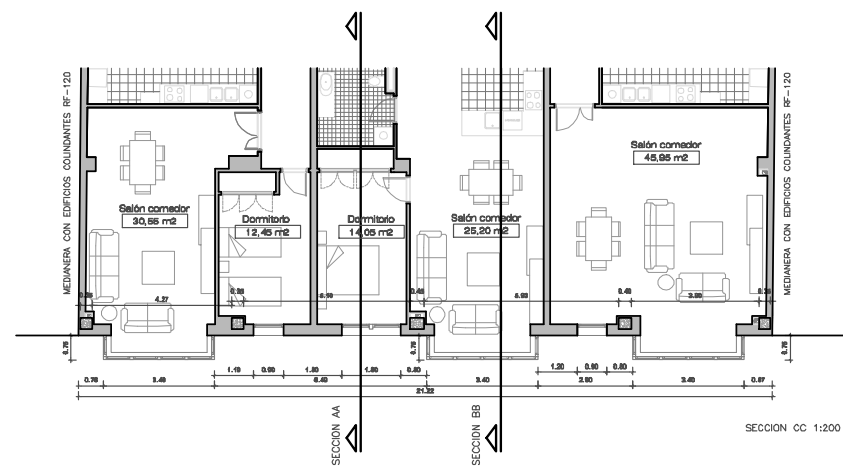


Figura 1.7 - Trozo de planta



Figura 1.9 – Alzado de proyecto



Figura 1.10 – Alzado secundario

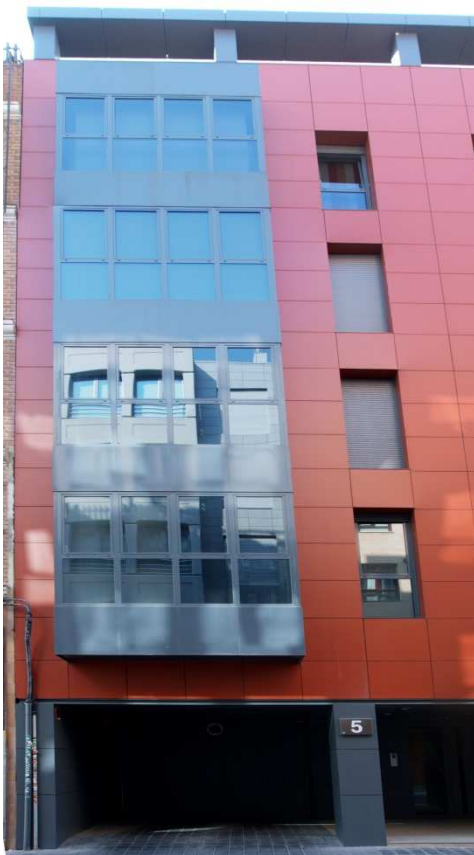


Figura 1.11 – Alzado de proyecto

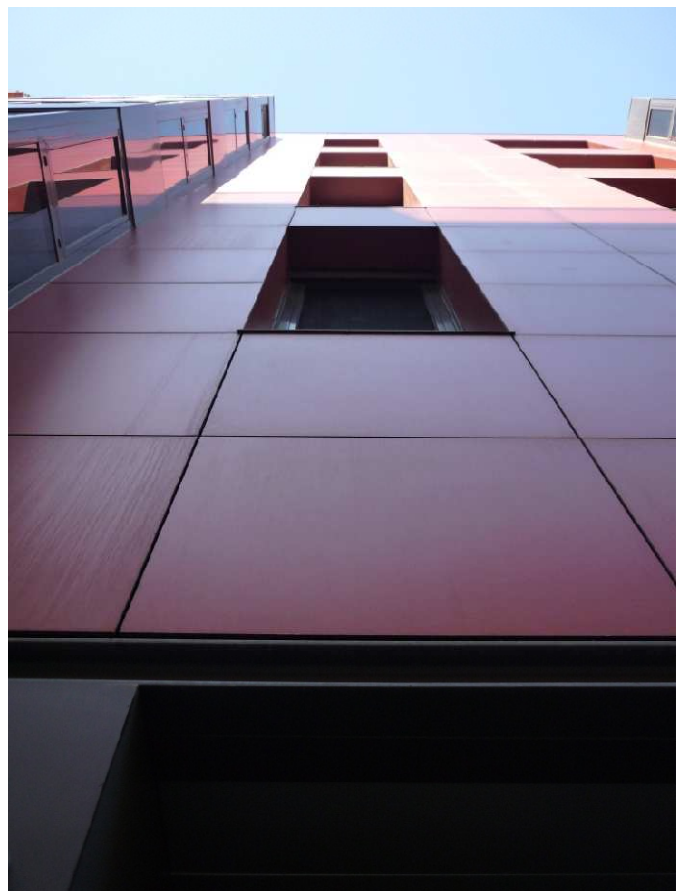


Figura 1.12 – Alzado de proyecto – Particular del cerramiento realizado

1.3 Normativa de Referencia: el CTE (Código Técnico de Edificación)

El CTE establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la LOE (Ley de Ordenación de la Edificación).

El CTE se divide en seis partes, cada una se refiere a un aspecto diferente del proceso constructivo:

- **DB SE: Seguridad Estructural** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural.
- **DB SI: Seguridad Caso de Incendio** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio.
- **DB SUA: Seguridad de Utilización y Accesibilidad** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad de utilización y accesibilidad.
- **DB HS: Salubridad** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de salubridad.
- **DB HR: Protección frente al Ruido** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido.
- **DB HE: Ahorro de Energía** Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

Los Documentos Básicos que se han tenido en cuenta, respecto a restricciones, limitaciones o condicionantes para la proyección de la fachada del edificio objeto de estudio, son: Documento Básico de Salubridad (HS), Documento Básico de Ahorro de Energía (HE), Documento Básico contra el Ruido (HR), Documento Básico Seguridad en Caso de Incendio (SI) y Documento Básico Seguridad Estructural (SE). A continuación se muestran los puntos clave de las diferentes secciones.

Documento básico de salubridad - HS (Secciones HS1 pág. 9-18 y HS1 pág. 34-40)

El grado de impermeabilidad de la fachada frente a la penetración de las precipitaciones según la situación del edificio es 2. El CTE condiciona la solución constructiva del cerramiento en la tabla 2.7 “Condiciones de las soluciones de fachada”.

Hay 4 soluciones, las 4 condicionan una hoja principal de ladrillo, por lo que no se va a cumplir esta restricción con el fin de innovar sin prescindir de comodidades, incluso conseguir que la solución adoptada sea más idónea.

- **Encuentro de la fachada con la carpintería**

- Debe sellarse la junta entre el cerco y el muro con un cordón que debe estar introducido en un llagueado practicado en el muro de forma que quede encajado entre dos bordes paralelos.
- Cuando la carpintería esté retranqueada respecto del paramento exterior de la fachada, debe rematarse el alféizar con un vierteaguas para evacuar hacia el exterior el agua de lluvia que llegue a él y evitar que alcance la parte de la fachada inmediatamente inferior al mismo y disponerse un goterón en el dintel para evitar que el agua de lluvia discurra por la parte inferior del dintel hacia la carpintería o adoptarse soluciones que produzcan los mismos efectos.

- El vierteaguas debe tener una pendiente hacia el exterior de 10° como mínimo, debe ser impermeable o disponerse sobre una barrera impermeable fijada al cerco o al muro que se prolongue por la parte trasera y por ambos lados del vierteaguas y que tenga una pendiente hacia el exterior de 10° como mínimo. El vierteaguas debe disponer de un goterón en la cara inferior del saliente, separado del paramento exterior de la fachada al menos 2 cm, y su entrega lateral en la jamba debe ser de 2 cm como mínimo (Véase la figura 2.12).

- **Antepechos y remates superiores de las fachadas**

- Los antepechos deben rematarse con albardillas para evacuar el agua de lluvia que llegue a su parte superior y evitar que alcance la parte de la fachada inmediatamente inferior al mismo o debe adoptarse otra solución que produzca el mismo efecto.
- Las albardillas deben tener una inclinación de 10° como mínimo, deben disponer de goterones en la cara inferior de los salientes hacia los que discurre el agua, separados de los paramentos correspondientes del antepecho al menos 2 cm y deben ser impermeables o deben disponerse sobre una barrera impermeable que tenga una pendiente hacia el exterior de 10° como mínimo. Deben disponerse juntas de dilatación cada dos piezas cuando sean de piedra o prefabricadas y cada 2 m cuando sean cerámicas. Las juntas entre las albardillas deben realizarse de tal manera que sean impermeables con un sellado adecuado.

- **Anclajes a la fachada**

- Cuando los anclajes de elementos tales como barandillas o mástiles se realicen en un plano horizontal de la fachada, la junta entre el anclaje y la fachada debe realizarse de tal forma que se impida la entrada de agua a través de ella mediante el sellado, un elemento de goma, una pieza metálica u otro elemento que produzca el mismo efecto.

- **Ejecución de fachadas**

- **Condiciones de la hoja principal:**

- Cuando la hoja principal sea de ladrillo, deben sumergirse en agua brevemente antes de su colocación, excepto los ladrillos hidrofugados y aquellos cuya succión sea inferior a 1 kg/(m² min) según el ensayo descrito en UNE EN-772 11:2001 y UNE EN 772-11:2001/A1:2006. Cuando se utilicen juntas con resistencia a la filtración alta o media, el material constituyente de la hoja debe humedecerse antes de colocarse.
- Deben dejarse enjarjes en todas las hiladas de los encuentros y las esquinas para trabar la fábrica.
- Cuando la hoja principal no esté interrumpida por los pilares, el anclaje de dicha hoja a los pilares debe realizarse de tal forma que no se produzcan agrietamientos en la misma. Cuando se ejecute la hoja principal debe evitarse la adherencia de ésta con los pilares.
- Cuando la hoja principal no esté interrumpida por los forjados el anclaje de dicha hoja a los forjados, debe realizarse de tal forma que no se produzcan agrietamientos en la misma. Cuando se ejecute la hoja principal debe evitarse la adherencia de ésta con los forjados.

- **Condiciones del revestimiento intermedio:**

- Debe disponerse adherido al elemento que sirve de soporte y aplicarse de manera uniforme sobre éste.

Condiciones del aislante térmico:

- Debe colocarse de forma continua y estable.
- Cuando el aislante térmico sea a base de paneles o mantas y no rellene la totalidad del espacio entre las dos hojas de la fachada, el aislante térmico debe disponerse en contacto con la hoja interior y deben utilizarse elementos separadores entre la hoja exterior y el aislante.

Condiciones de la cámara de aire ventilada:

- Durante la construcción de la fachada debe evitarse que caigan cascotes, rebabas de mortero y suciedad en la cámara de aire y en las llagas que se utilicen para su ventilación.

Condiciones de los puntos singulares:

- Las juntas de dilatación deben ejecutarse aplomadas y deben dejarse limpias para la aplicación del relleno y del sellado.

Documento básico ahorro de energía – HE (Seccione HE1 pág. 1-61)

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática, en Valencia **B3**, y de la **carga interna** en sus espacios, en nuestro caso **baja**.

La demanda energética será inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica, sean los valores límites establecidos posteriormente.

Los parámetros característicos que definen la envolvente térmica se agrupan en los siguientes tipos:

- a) transmitancia térmica de muros de fachada U_M ;
- b) transmitancia térmica de cubiertas U_C ;
- c) transmitancia térmica de suelos U_S ;
- d) transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno U_T ;
- e) transmitancia térmica de huecos U_H ;
- f) factor solar modificado de huecos F_H ;
- g) factor solar modificado de lucernarios F_L ;
- h) transmitancia térmica de medianerías U_{MD} .

Siendo la zona climática B3, el CTE especifica que la transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno es **$U_{M_{lim}}=0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$** .

En cuanto a la transmisión térmica de las ventanas, los valores se definen de la siguiente manera (Tab. 1.5):

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos(1) U_{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Carga interna baja			Carga interna alta		
	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	5,7	-	-
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

- (1) En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_M, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,58 W/m²K se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas B3 y B4.

Tablero 1.5 – Transmitancia límite de huecos

Superficie de huecos de la fachada objeto de estudio: 42%.

La

transmitancia límite de huecos es por lo tanto $U_{Hlim}=5,4$ W/m²K.

Cabe mencionar, que con el objetivo de evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a 1,07 W/m²k , calculada en función de la zona climática en la que se ubique el edificio. Con esta aportación se intenta aclarar que también hay que prestarle atención a las particiones interiores si se desea conseguir un grado de confort y ahorro energético.

Respecto a la permeabilidad al aire, es la propiedad más importante que caracteriza a las carpinterías de los huecos y lucernarios de los cerramientos. Se limita en función del clima de la localidad (en Valencia B3) y medida con una sobrepresión de 100 Pa tiene que tener unos valores inferiores a 50 m³/h m².

Documento básico (HR) Protección frente al ruido

Para cumplir con el CTE, la fachada objeto de estudio debe alcanzar los valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Según la tabla 2.1 de la normativa (Tab. 1.6), en función de índice de ruido día (L_d), en éste caso, menos de 60 dBA, y para un uso del edificio residencial, el valor de aislamiento acústico a ruido aéreo es 30 dBA para estancias y dormitorios (recintos protegidos).

Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

(1) En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Tablero 1.6 – Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo

Para el cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo se ha elegido la opción simplificada (3.1.2 del DB-HR).

Según la tabla 3.4 de la normativa (Tab. 1.7), las condiciones mínimas de la fachada según el nivel límite exigido (30 dBA), se debe cumplir un valor mínimo de **40 dBA** y en la parte de huecos (42% de huecos) **30 dBA**.

Tabla 3.4 Parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior de recintos protegidos

Nivel límite exigido (Tabla 2.1) $D_{2m,nT,Atr}$ dBA	Parte ciega 100 % $R_{A,tr}$ dBA	Parte ciega ≠ 100 % $R_{A,tr}$ dBA	Huecos				
			Porcentaje de huecos $R_{A,tr}$ de los componentes del hueco ⁽²⁾ dBA				
			Hasta 15 %	De 16 a 30%	De 31 a 60%	De 61 a 80%	De 81 a 100%
$D_{2m,nT,Atr} = 30$	33	35	26	29	31	32	33
		40	25	28	30	31	
		45	25	28	30	31	
$D_{2m,nT,Atr} = 32$	35	35	30	32	34	34	35
		40	27	30	32	34	
		45	26	29	32	33	

Tablero 1.7 – Parámetros acústicos de fachada

Documento Básico Caso de Incendio

No se tiene en cuenta, ya que la fachada objeto de proyecto no se encuentra entre los casos descritos en el apartado 2 “Propagación exterior” de la norma.

Documento Básico Seguridad Estructural - Madera (SE-M)

Bases de cálculo: Generalidades y Propiedades de los materiales

Como valores característicos de las propiedades de los materiales, X_k , se tomarán los establecidos en las tablas de la normativa (Anejo E. Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad. Madera aserrada, madera laminada encolada y tableros), teniendo en cuenta los factores correctores que se establecen a continuación.

Factor de altura k_h

En piezas de madera aserrada de sección rectangular, si el canto en flexión o la mayor dimensión de la sección en tracción paralela es menor que 150 mm, los valores característicos $f_{m,k}$ (resistencia característica a flexión,) y $f_{t,0,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h .

$$k_h = (150 / h)^{0,2} \leq 1,3$$

Siendo:

h canto en flexión o mayor dimensión de la sección en tracción, [mm]

Factor de carga compartida k_{sys}

Cuando un conjunto de elementos estructurales sometidos a similares flexión, dispuestos a intervalos regulares, se encuentren transversalmente conectados a través de un sistema continuo de distribución de carga, las propiedades resistentes características de los elementos del conjunto pueden multiplicarse por un factor denominado de carga compartida k_{sys} . Siempre que el sistema de distribución de carga sea capaz de transferir las cargas de un elemento a otros que estén en sus proximidades, puede tomarse un valor de $k_{sys}=1,1$. La comprobación de resistencia del sistema de distribución de la carga, debe realizarse suponiendo una duración corta de las acciones y con el coeficiente parcial de seguridad del material γ_M . En sistemas de cerchas con separación máxima de 1,20 m se puede suponer que los listones, correas o paneles son eficaces para transmitir la carga siempre que estos sistemas de distribución sean continuos sobre al menos dos vanos, y las juntas estén contrapeadas.

Factor	Aplicación				
de altura	Madera aserrada: canto (mm)	<40	70	100	≥ 150
	Factor k_h de corrección de $f_{m,k}$ y $f_{t,0,k}$	1,3	1,2	1,1	1,0
	Madera laminada: canto (mm)	<240	300	400	≥ 600
	Factor k_h corrector de $f_{m,g,k}$ y $f_{t,0,g,k}$	1,10	1,07	1,04	1,00
de volumen	Madera laminada : volumen de la zona afectada (m^3)	<0,010	0,015	0,020	0,030
	Factor k_{vol} corrector de $f_{t,90,g,k}$	1,00	0,92	0,87	0,80

Tabla 1.8 Factores de corrección

Factores que afectan al comportamiento estructural de la madera

Clases de duración de las acciones que solicitan al elemento, considerando que debe asignarse una de las clases de duración de la carga establecidas en la tabla 3.2.

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la acción en valor característico	Acción
Permanente	más de 10 años	Permanente, peso propio
Larga	de 6 meses a 10 años	Apeos o estructuras provisionales no itinerantes
Media	de una semana a 6 meses	sobrecarga de uso; nieve en localidades de >1000 m
Corta	menos de una semana	viento; nieve en localidades de < 1000 m
Instantánea	algunos segundos	sismo

Tabla 1.9 Clases de duración de las acciones

Clases de servicio

Cada elemento estructural debe asignarse a una de las clases de servicio definidas a continuación, en función de las condiciones ambientales previstas:

- a) clase de servicio 1. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ C$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año. En la clase de servicio 1 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 12%. En general, en esta clase se encuentran las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior.

- b) clase de servicio 2. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. En la clase de servicio 2 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.
- c) clase de servicio 3. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2. En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20%. En general, en esta clase se encuentran las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir.

Valor de cálculo de las propiedades del material

El valor de cálculo X_d de una propiedad del material (resistencia) se define como:

$$X_d = k_{mod} * (X_k / \gamma_M)$$

donde:

X_k : valor característico de la propiedad del material

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material

k_{mod} : factor de modificación

Situaciones persistentes y transitorias:	
- Madera maciza	1,30
- Madera laminada encolada	1,25
- Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1,20
- Tablero de partículas y tableros de fibras (duros, medios, densidad media, blandos)	1,30
- Uniones	1,30
- Placas clavo	1,25
Situaciones extraordinarias:	
	1,0

Tabla 1.10 Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M .

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tabla 1.11 Valores del factor k_{mod}

Durabilidad

Protección de la madera

1 La madera puede sufrir daños causados por agentes bióticos y abióticos. El objetivo de la protección preventiva de la madera es mantener la probabilidad de sufrir daños por este origen en un nivel aceptable.

2 El fabricante de un producto indicará, en el envase y documentación técnica del dicho producto, las instrucciones de uso y mantenimiento.

Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

1 El mejor protector frente a los agentes meteorológicos es el diseño constructivo, y especialmente las medidas que eviten o minimicen la retención de agua.

2 Si la clase de uso es igual o superior a 3 los elementos estructurales deben estar protegidos frente a los agentes meteorológicos.

3 En elementos estructurales situados al exterior deben usarse productos que permitan el intercambio de humedad entre el ambiente y la madera. Se recomienda el empleo de protectores superficiales que no formen una capa rígida permitiendo el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. En el caso de emplear productos que formen una película como las pinturas y los barnices, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior.

Estado límite último: Agotamiento de secciones sometidas a tensiones orientadas según las direcciones principales

Para el caso de piezas de sección constante, el paso de las solicitaciones de cálculo a tensiones de cálculo se podrá hacer según las fórmulas clásicas de Resistencia de Materiales salvo en las zonas en las que exista un cambio brusco de sección o, en general, un cambio brusco del estado tensional.

Flexión simple

Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

siendo:

$\sigma_{m,d}$ tensión de cálculo a flexión;

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión.

Documento básico Seguridad Estructural - Acciones en la edificación (SE-AE)

Acción del viento

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

siendo:

q_b la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse 0,5 kN/m². Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

c_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse un valor constante, independiente de la altura, de 2,0.

c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.

Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4, siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento. Para paneles prefabricados de gran formato el punto a considerar es su punto medio.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 1.12 Valores del coeficiente de exposición c_e

Coeficiente eólico de edificios de pisos

En edificios de pisos, con forjados que conectan todas las fachadas a intervalos regulares, con huecos o ventanas pequeños practicables o herméticos, y compartimentados interiormente, para el análisis global de la estructura, bastará considerar coeficientes eólicos globales a barlovento y sotavento, aplicando la acción de viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la acción de viento. Como coeficientes eólicos globales, podrán adoptarse los de la tabla 3.5 de la normativa.

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 1.13 Valores del coeficiente eólico de presión c_p

1.4 Presupuesto y funcionalidad

El edificio proyectado tiene uso residencial y se encuentra en una zona de nivel adquisitivo medio-alto. El objetivo es construir viviendas con acabados realizados con buenos materiales, sin llegar a ser acabados de lujo. A su vez, sin desviarse de la buena calidad de los materiales y dentro de los límites que esto establece, se quiere conseguir una fachada lo más económica posible. A La hora de escoger los materiales, se toma como principio primordial la “sostenibilidad”, teniendo presente en segundo plano el presupuesto.

Capítulo 2

Selección de los Materiales

2.1 Estructura y Envoltente

En esencia, la gran mayoría de propiedades de comportamiento de los materiales arquitectónicos se pueden dividir entre la transferencia de cargas y la necesidad del sistema de barrera.

En primer lugar, la transferencia de cargas es ampliamente definida como la capacidad para soportar las tensiones derivadas de la transmisión de fuerzas a través del suelo y de los cimientos. Los elementos que pertenecen a la estructura tienen que sostener importantes esfuerzos de compresión, de tracción, de flexión, de corte y de torsión, en función de la disposición de fuerzas relativa con la geometría del elemento. Generalmente, los elementos primarios de transferencia de carga están compuestos por columnas, cerchas, vigas, cables y redes de cables, arcos y otros elementos estructurales.

En segundo lugar, el edificio debe mediar entre un clima inestable exterior y un ambiente interior estable para la fisiológica necesidad humana. Los sistemas encargados de conseguirlo son la envoltente exterior y las instalaciones del edificio. Nos centraremos en la envoltente exterior, que está compuesta por las fachadas, cubierta, paredes de sótanos y cimientos (suelo). En ellos se incluyen todas las aberturas de vidrio, las zonas horizontales de cubierta, el sistema de evacuación de aguas pluviales, puertas y otros componentes, es decir, cualquier componente que contribuye a mediar entre el exterior inestable y el interior estable. Un sistema de barrera se define como un grupo de componentes que poseen la capacidad para administrar el flujo a través de dos ambientes. Las condiciones dentro de cada ambiente pueden variar con respecto a la otra. El sistema de barrera actúa para controlar el flujo de masa y energía entre los dos. Aire, vapor de agua, agua, partículas, gases, humedad, temperatura, radiación y otros factores pueden estar presentes en cualquiera de los dos ambientes. El control del flujo de un ambiente a otro es la función del sistema de barrera. El sistema de barrera principal de los edificios contemporáneos es la asamblea del envoltente exterior. Otro sistema de barrera común es una partición interior.

Cabe remarcar la importancia de distinguir los materiales estructurales y los materiales de barrera. Los primeros transfieren cargas, mientras que los segundos controlan el flujo, aunque tienen en común que ambos gestionan la energía, en el caso de los materiales de barrera, también la masa. Cumpliendo las propiedades requeridas, los materiales utilizados pueden contribuir al buen funcionamiento de un edificio, mientras que si no las cumplen, dichos materiales pueden afectar negativamente al sistema de ensamblaje, al sistema constructivo o a todo el edificio. En conclusión, la mejor forma de garantizar una solución viable de materiales consiste en escoger el material correcto a través de una buena comprensión de las propiedades mecánicas y físicas.

2.2 Familias y propiedades de los materiales

Familias de los Materiales

Las familias de los materiales son designaciones que son útiles para la discusión de las diversas propiedades de una amplia gama de características. Generalmente, estas designaciones son clasificadas en ciencia de los materiales y otras disciplinas. Esta clasificación pone mayor énfasis en la agrupación de propiedades comunes que en las aplicaciones típicas. Estas propiedades se basan en la composición atómica y molecular de los materiales contenidos dentro de cada clase, las cuales se clasifican en cinco y abarcan todos los materiales de ingeniería y de arquitectura (Fig. 2.1).

Familias de Materiales

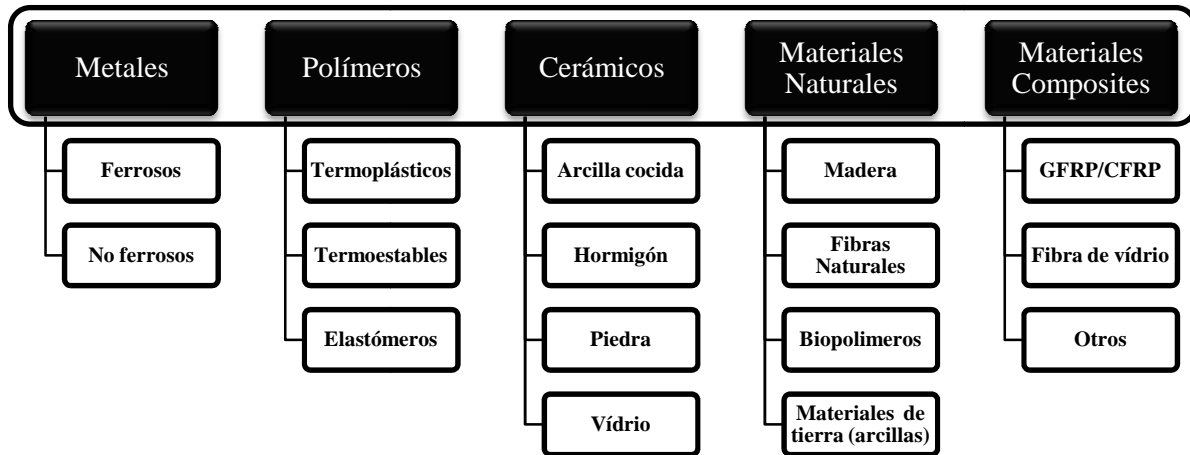


Figura 2.1- Familias de Materiales

Propiedades de los Materiales

Las propiedades de los materiales son los atributos por los cuales se define una sustancia. Estos atributos son convenios útiles de las disciplinas científicas, con la intención de analizar el comportamiento, formular teorías y sintetizar modelos para correlacionar la composición atómica y molecular de las materias con las propiedades que se exhiben. Mientras las propiedades definen el comportamiento de los materiales, las disposiciones moleculares y atómicas determinan estas propiedades.

Igual que los materiales, las propiedades de los mismos también pueden ser clasificadas en grupos de comportamiento. La primera clasificación las divide en categorías generales, intrínsecas e extrínsecas. Las propiedades intrínsecas son particulares del material en sí mismo y dependen de su composición atómica y molecular, como se ha mencionado anteriormente. Las propiedades intrínsecas no cambian bajo condiciones ambientales estacionarias y, por supuesto, pueden cambiar debido a las cargas de repetición, los cambios de temperatura, exposición a la radiación UV y muchos otros elementos ambientales. Las propiedades extrínsecas son independientes de las propiedades atómicas y moleculares del material. Estos atributos están "fuera" del material en sí mismo y muchas veces dependen del contexto, ya sea económico, ambiental, social o cultural. Estas propiedades también se llaman propiedades atribuibles, ya que se han atribuido al material por determinadas estructuras económicas de la sociedad, las necesidades sociales y gustos. Por ejemplo la energía embebida es altamente dependiente de las condiciones externas, al igual que a las tecnologías regionales de procesamiento, las energías de transporte, y a las prácticas locales de construcción, y también depende de cómo se define y se miden las diversas consecuencias ambientales de utilización de un material. Cabe decir que hay un continuo debate sobre esta cuestión.

Un proyectista tendrá en cuenta los dos tipos de propiedades, muchas veces simultáneamente, ya que el diseño arquitectónico es un proceso en el que las propiedades intrínsecas e extrínsecas están muchas veces estrechamente entrelazadas. Las siguientes propiedades, para cada familia, son las principales que caracterizan a los materiales de construcción (Fig. 2.2).

Familias de Propiedades

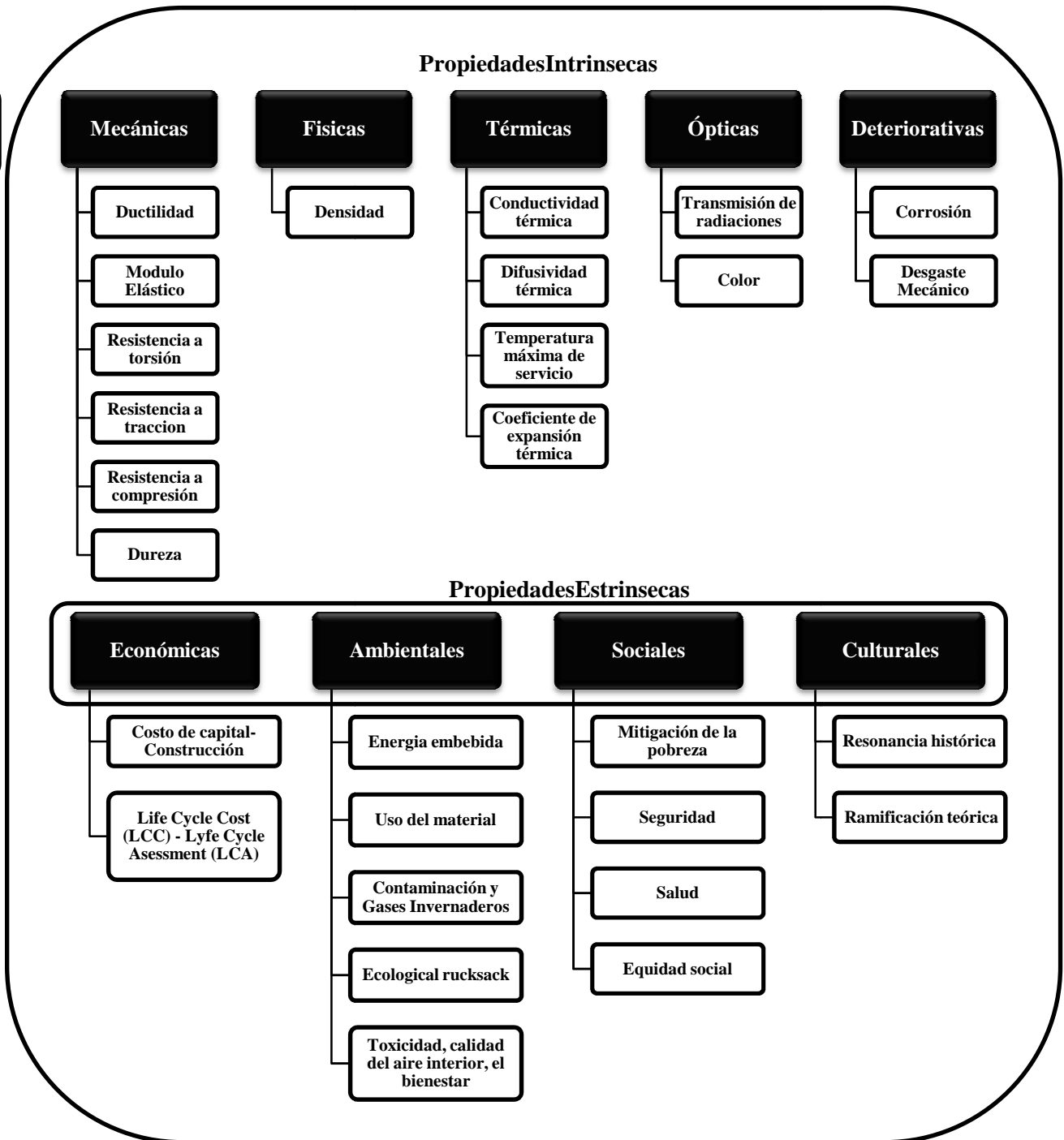


Figura 2.2 – Familias de Propiedades

2.3 - Introducción al Proceso de Selección de los Materiales

El proceso de selección de un material se utiliza para cumplir una necesidad simple: identificar el mejor material para una aplicación particular. Un material exhibe un comportamiento como resultado de una combinación de propiedades mecánicas, físicas, térmicas, eléctricas y magnéticas, y características como el costo y la disponibilidad, la elaboración y acabado. Las propiedades extrínsecas pueden cambiar con el tiempo. La selección de un material basado en la optimización de una sola propiedad, independientemente de todos los demás atributos, es el proceso más simple de selección, aunque rara vez es posible o deseable. La Selección de Materiales por lo general implica un proceso complejo multivariable, aumentado por una serie de consideraciones cualitativas en la que un juicio subjetivo es indispensable.

Para cualquier tipo de escenario de proyecto, se deben definir dos grupos: un grupo de valores y un grupo de productos de construcción.

El Grupo de Valores - El Dominio Funcional

En él se describen los objetivos o criterios de rendimiento que el proyecto debe cumplir. Los criterios de rendimiento pueden ser cualquier cantidad de valores orientados a un objetivo, como el aislamiento máximo por unidad de espesor, rigidez por unidad de peso, resistencia a la fractura por la densidad, energía embebida por la fuerza unitaria de tracción, etc. Un grupo completo de criterios es a menudo una mezcla compleja de diversos valores, incluyendo térmicas, mecánicas, de costos, estéticos, y otras necesidades. Este conjunto define el dominio funcional.

El Grupo de Materiales de Construcción - El Dominio Físico

En él se define el conjunto de entidades físicas que satisfaga las necesidades del dominio funcional. Éste conjunto se compone de objetos reales - los productos de construcción. Los materiales, los componentes y los ensamblajes de este grupo pueden ser aplicados con éxito en el escenario de proyecto cuando su particular mezcla de atributos cumple las necesidades del dominio funcional. Este conjunto se llama dominio físico.

La conexión entre el dominio funcional y el dominio físico se puede hacer de diversas formas, dependiendo de las oportunidades y las limitaciones. Por ejemplo, si el escenario de proyecto limita la selección a un material determinado, entonces el proceso de selección no es necesario. Sin embargo, en la mayoría de situaciones, la selección de materiales adecuados es necesaria y constituye uno de los vínculos críticos entre estos dos dominios.

Conexión entre el dominio funcional y físico - Índices de Materiales y Optimización Multi-Objetiva

Las metodologías de selección Materiales se han empleado en los proyectos de ingeniería desde hace muchas décadas. Su utilización, como conexión fundamental entre el dominio funcional y físico, se lleva a cabo en dos fases generales:

- **Fase 1:**

Organización de grandes cantidades de datos de las propiedades de los materiales, en algunos casos llegando a la cifra de 80.000 materiales de ingeniería, los cuales contienen individualmente datos de 10 o 12 propiedades específicas correspondientes. Esta fase consiste en la organización de datos para la aplicación de los criterios de clasificación en la fase siguiente.

• **Fase 2:**

Formulación de criterios de clasificación para hacer comparaciones útiles entre los materiales, es decir, se trata de formular una medida relevante comparativa con la que clasificar los materiales. La medida puede ser un valor en particular, como el coste, o puede ser una fórmula complicada que consiste en muchos valores, dando por resultado una clasificación numérica.

Los diferentes métodos de selección de materiales desarrollados para la ingeniería no se aplican fácilmente a las situaciones de arquitectura. Es por esta razón que el método de optimización multi-objetiva utilizando los índices de material es introducido aquí. En principio, el método es bastante simple. En la optimización multi-objetiva, hay de nuevo un dominio funcional y un dominio físico. El dominio funcional para cualquier componente particular en un ambiente arquitectónico se describe mediante una relación entre la geometría (forma y tamaño), los atributos funcionales (propiedades características) y las propiedades del material (la rigidez, el costo, la expansión térmica), necesarios a cumplir con las necesidades de diseño. En otras palabras, los objetos que se diseñan tienen una propiedad característica por el cual se escogen, tiene la forma de una determinada geometría y está hecho de una determinada materia. El dominio físico es la especificación completa del componente. La mejor clave a la aplicación de la optimización multi-objetiva a los ámbitos de arquitectura es el simple hecho de que, en la mayoría de las situaciones, sabemos la función del objeto y la geometría necesaria del objeto, pero no sabemos todavía qué material satisface el conjunto de los requisitos. En este caso la optimización multi-objetiva se convierte en un proceso poderoso de seleccionar los materiales. A la luz de esto, es posible derivar una serie de índices de materiales, indicando directamente el mejor material para este fin. Estos índices frecuentemente son simples razones que relacionan las propiedades relevantes para las cuales el objeto está siendo sometido. Las diferentes formas de utilización de estos índices es un poderoso método para la aplicación de una metodología estructurada de selección para funciones particulares, ya sean estructurales, térmicos, ópticos o de otro tipo. Muchas de las funciones que los conjuntos de arquitectura necesitan satisfacer han sido definidos y expresados mediante simples índices de materiales (Tabla 2.1). También es importante subrayar, que la utilización de los índices de material para cualquier función particular, es un proceso exhaustivo de selección de materiales.

Función	Índice de Materiales	Leyenda
Proyectos de rigidez limitada		
Barra de tracción	E/ρ	E =Módulo de Young
Columna (compresión)	$E^{1/2}/\rho$	ρ =Densidad
Losa (carga de flexión)	$E^{1/3}/\rho$	
Proyectos de fuerza limitada		
Barra de tracción	σ_t/ρ	σ_t =Fuerza de colapso
Columna (compresión)	σ_c/ρ	
Losa (carga de flexión)	$\sigma_t^{1/2}/\rho$	
Proyecto térmico		
Aislamiento térmico	$1/\lambda$	λ =Conductividad Térmica
Almacenamiento térmico (energía máxima almacenada / coste unitario del material)	C_p/C_m	C_p =Capacidad calorífica específica C_m =Costo del material / kg
Almacenamiento térmico (energía máxima almacenada para aumento de la temperatura y tiempo determinados)	$\lambda/a^{1/2}$	a =Difusividad Térmica

Tabla 2.1 - Tabla de índices de materiales seleccionados

Una vez que un grupo de materiales se ha identificado a través de la utilización del índice de los materiales apropiados, el proyectista tiene pendiente la selección de los mejores materiales, teniendo en cuenta aspectos que no fácilmente se puede modelar, tales como importancia regional, la intención de apoyar una industria local, o la totalidad de los temas agrupados bajo el nombre poco manejable de la estética.

2.4 Definición del Grupo de Valores - El Dominio Funcional

En el diseño de una envolvente de construcción con materiales sostenibles, es obvio que se prestará especial atención al comportamiento Termo-Higrométrico de los materiales elegidos y a sus propiedades de durabilidad y resistencia a los contaminantes (propiedades intrínsecas). Otros datos muy importantes serán también el costo, la energía embebida y las emisiones de CO₂, es decir, lo que respecta a las características económicas y ecológicas (propiedades extrínsecas). A continuación se realiza una breve descripción de estas propiedades.

Propiedades Intrínsecas:

- Térmicas

Conductividad Térmica, λ

En una condición de estado estacionario, es la capacidad que tiene un material para la transferencia de calor, λ . Por tanto, cuando hay un gradiente térmico, como una diferencia de temperatura, entre un lado de una material y otro, y las dos temperaturas son constantes, la velocidad de flujo de calor por unidad de área a través del materiales es la medida de su conductividad térmica, y se define como:

$$\lambda = Q \cdot d / S(T_2 - T_1) [W/m \cdot K]$$

Siendo:

Q = Velocidad del caudal del calor. Cantidad de energía térmica (calor) que transita en la unidad de tiempo a través de la sección S

d = Es la longitud, medida en metros, de la distancia entre la puntos a la temperatura T1 y T2, que se supone homogénea

S = Es la zona, medida en metros cuadrados, de la sección transversal de la distancia, perpendicular a la dirección de gradiente de temperatura, o la dirección a través del cual se mide la longitud

T1, T2 = La temperatura, medida en grados Kelvin, asumida hasta el extremo de la distancia

Difusividad Térmica, a

En una condición de estado no estacionario, o condición transitoria, es la capacidad de un material para la transferencia de calor, a. En el caso de un impulso de calor, un discreto (no continuas) flujo de calor, la tasa de transmisión de ese flujo de calor a través de los materiales, es una medida de la difusividad térmica. En otras palabras, la difusividad térmica mide la facilidad en que un material permite que el calor "difusa" a través de él. La difusividad térmica se define como la conductividad térmica, λ , dividido por el producto de la densidad, ρ , y el calor específico de material, C_p :

$$a = \lambda / \rho \cdot C_p [m^2/s]$$

Coefficiente de Expansión Térmica Linear, α

La mayoría de los materiales, en la mayor parte de sus fases, suelen expandirse con un aumento de su temperatura interna. Junto a la corrosión, este atributo es uno de los temas más problemáticos de

la durabilidad. La expansión térmica es la medida de tensión por unidad de cambio de temperatura y se define como:

$$\alpha = \beta/3 \quad [10^{-6}/^{\circ}\text{C}]$$

siendo

$$\beta (\text{Coeficiente Volumétrico de Expansión Térmica}) = -1/\rho \cdot (\delta\rho/\delta T)_p = +1/V \cdot (\delta V/\delta T)_p$$

Capacidad calorífica específica, C_p

La cantidad de calor necesaria para cambiar la fase de una unidad de masa de un material en un grado.

$$C_p \quad [\text{J/kg} \times \text{K}]$$

- **Propiedades Higrotérmicas**

Una propiedad que se debe estudiar con detenimiento y que es de vital importancia de los materiales arquitectónicos utilizados en la envolvente exterior del edificio, son las higrotérmicas. Describe el comportamiento de materiales sometidos a las diferencias de temperatura, presión y humedad, cuyas condiciones de flujo de calor de aire, la difusión del vapor, la absorción de humedad y otros procesos se acoplan entre sí para describir el complejo comportamiento de varios materiales.

Se ha demostrado que la considerable presencia de humedad durante largos períodos de tiempo puede conducir a problemas reales como la pudrición de la madera, la expansión excesiva, moho, condensación y una variedad de defectos de materiales. Además, el crecimiento de hongos, mohos y otros materiales biológicos en el interior de edificios ha dado lugar a problemas de calidad del aire interior. Hoy en día, los proyectos de envolventes tienen más capas que nunca, lo que provocó cuidar y estudiar el diseño para no atrapar humedad, la cual conllevaría a problemas de salud y un bajo rendimiento del sistema. En general, los planteamientos de diseño del sistema suelen ser suficientes para hacer frente a muchos problemas potenciales que puedan resultar de las diferencias de temperatura y humedad relativa. Estos incluyen la adición de barreras de aire y vapor en los lugares adecuados de la envolvente y, en general siguiendo un principio, subraya la importancia de barreras y de gestión del agua en lugar de tratar de sellar perfectamente un edificio. Es muy importante entender que las propiedades del material no se vean profundamente afectados por factores tales como temperatura, humedad, luz, cargas repetidas, los agentes corrosivos y muchos otros factores de estrés del mundo real. En esencia, el diseño de las ensamblajes arquitectónicas viables se basa en la comprensión de las formas en que se comportan los materiales en el tiempo, en virtud de las condiciones fluctuantes. Por ejemplo, la permeabilidad al vapor de algunos materiales varía dependiendo de la temperatura y de la humedad. El desarrollo de la ciencia del comportamiento de los materiales en envolventes exteriores por sus propiedades higrotérmicas toma en cuenta esta variación.

Barrera de vapor

El funcionamiento de una barrera de vapor, por ejemplo de una que no exceda de 57,38 ng H₂O/s*m²*Pa, consiste en el paso de 57,38 nanogramos de vapor de agua por segundo a través de un metro cuadrado de material en un gradiente de presión de un Pascal desde un lado del material a la otra.

Retardador de aire (o de barrera)

Una barrera de aire es un material que no permite una tasa de fugas de aire que exceda 0.3*10⁻⁰³/(s*m²) a 75 Pa.

- **Propiedades deteriorativas**

Este conjunto de propiedades sirve para describir el comportamiento del material con el paso del tiempo y su respuesta bajo el efecto de agentes agresivos como la lluvia, los ácidos etc. proporcionando información sobre su durabilidad. Se utilizará una escala de valores discretos (Muy Pobre, Pobre, Medio, Bueno, Muy Bueno) para describir el comportamiento del material.

Agentes externos de las propiedades deteriorativas:

- Agua fresca
- Agua salada
- Ácido débil
- Ácido fuerte
- Alcalino débil
- Alcalino fuerte
- Disolventes orgánicos
- Resistencia a la radiación ultravioleta
- Resistencia a la abrasión
- Durabilidad en una atmósfera industrial
- Durabilidad en una atmósfera rural
- Durabilidad en una atmósfera marina

Propiedades Extrínsecas:

Atribuible a los materiales solamente con respecto a un contexto específico (un momento y un lugar) y altamente dependiente de la ubicación de su procesamiento y aplicación. Los atributos extrínsecos cambian constantemente y dependen de factores locales, internacionales, regionales, ciclos económicos (especialmente en la construcción), condiciones políticas, etc.

- **Económicas**

Los arquitectos y sus proyectos están a merced del costo inicial. Debido a que los edificios son caros y grandes, el costo inicial de construcción a menudo domina todos los otros costos de vida del edificio.

Precio

Simplemente el coste [EUR / kg] del material en un mercado específico, en este caso el europeo. Otras propiedades económicas son Coste de la Construcción ("Primer coste") - el coste de la construcción del edificio, a veces incluyendo las tarifas aplicadas por el equipo de diseño - y los modelos de costes o de evaluación como LCC (Life Cycle Cost) y ACV (Análisis de Ciclo de Vida), uno de tantos métodos destinados a establecer la instalación de mayor coste a un propietario durante su vida útil.

- **Ecológicas**

Las medidas más aplicadas respecto al impacto ambiental de los materiales de construcción son: la energía embebida, la huella de CO₂, la toxicidad, y la fracción de reciclado. Estos cuatro tienden a dominar los debates sobre los aspectos ambientales de los materiales actuales. Sin embargo, el estudio de los aspectos ecológicos de los materiales está entrando en una nueva fase, caracterizada por el uso humano de energía o materiales con poca sostenibilidad y la poca importancia de cuánto es renovable.

Huella de CO₂

Se trata de una medida de la cantidad de CO₂ emitida a través de la combustión de combustibles fósiles. En el caso de una organización o una empresa, corresponde a las emisiones de CO₂ de sus operaciones diarias, en el caso de un individuo o una casa, son las emisiones de CO₂ para sus actividades diarias, para un producto o un servicio, incluye emisiones adicionales de CO₂ debidas al ciclo de vida de la cadena de producción. Para los materiales corresponde a la medición de las emisiones de CO₂ integradas en el producto (emisiones embebidas) determinado a través del Life Cycle Assessment.

Energía embebida

Energía embebida se define como la energía comercial (combustibles fósiles, nuclear etc.) que se utilizó en el trabajo para hacer un producto, llevarlo al mercado y disponer de él. La energía embebida es una metodología de contabilidad que tiene por objeto encontrar la suma total de la energía necesaria para un ciclo de vida del producto. Este ciclo incluye la extracción de materias primas, el transporte, la fabricación, el respectivo ensamblaje, la instalación, el desmontaje, la demolición y/o la descomposición.

Otras propiedades ecológicas que son datos lógicos (sí o no de valor):

- **Reciclabilidad**
- **Reutilización**
- **Biodegradable**
- **Combustión para la recuperación de energía**
- **Vertedero**
- **Recurso Renovable**

2.5 Definición del Grupo de Productos de Construcción–El Dominio Físico

A través del software "CesConstructor 2010", se procede a la creación de una de base de datos, de materiales generalmente utilizados o innovadores en la fabricación de envolventes de edificios. Esta base de datos, se implementará en el software "CesSelector 2010" para continuar con la selección de los materiales con las mejores características que cumplan los criterios de selección.

Las propiedades intrínsecas de los materiales introducidos en el siguiente estudio, y luego utilizadas para crear el proyecto de base de datos, se basan en parte en el estudio de los materiales arquitectónicos realizados por el profesor Juan Fernández, Profesor Asociado en Tecnología de la Construcción en el MIT en Boston, EE.UU. Para llevar todo al mercado europeo, y por lo tanto, tecnología, costos de producción y transporte diferentes, se han incorporado los datos sobre la energía y las emisiones de CO₂ obtenidos de un estudio realizado por el profesor Geoff Hammond y Craig Jones, perteneciente a la "Equipo de Investigación de Energía Sostenible (SERT), Departamento del Ingeniería Mecánica de la Universidad de Bath, Reino Unido. Dicho estudio, titulado "Inventario del Carbono y Energía (ICE)" es accesible de forma gratuita a través de internet, directamente desde la Universidad del Bath.

Se lleva a cabo dos procesos de selección de materiales para la envolvente del edificio. Uno abarca los materiales relacionados con la hoja exterior, en contacto directo con la polución atmosférica, climatología, etc. Y la otra, abarcará los relacionados con el aislamiento térmico, muy influyentes sobre el sistema constructivo. En las páginas siguientes se presenta la lista de los materiales ensayados y sus especificaciones.

- **Hoja exterior**

- **Metales**

- Ferrosos**

- Acero Galvanizado

- Acero inoxidable

- No ferrosos**

- Aleaciones de Aluminio, trabajado

- Bronce

- Cobre

- Aleaciones de Titanio

- Aleaciones de Zinc

- **Polímeros**

- Termoplásticos**

- Etileno-Tetrafluoretileno (ETFE)

- Policarbonato (PC)

- **Cerámicos**

- Arcilla cocida**

- Ladrillo común

- Ladrillo cara-vista

- Terracota

- Hormigón**

- Hormigón celular (Autoclaved aerated concrete - AAC)

- Cemento (Portland)

- Piedra**

- Granito

- Piedra caliza

- Mármol

- Arenisca

- Pizarra

- **Materiales Naturales**

- Madera**

- Madera prensada – Tableros duros

- Madera dura – Roble

- **Materiales Composites**

- Matriz polimérica**

- GFRP, matriz eposidica (isotrópica)

- **Aislamiento Térmico**

- **Fibras**

- Fibras Naturales**

- Algodón

- Cáñamo

- Lana

- Fibras Artificiales**

- Fibra de vidrio

- **Espumas**

- Espuma fenólica a prueba de fuego

- Espuma de poliestireno rígido

- Vermiculita

- **Madera**

- Corcho

Metales

Ferrosos

- **Acero Galvanizado**

Descripción

El material

La galvanización del acero aumenta su resistencia a la corrosión mediante la formación de una capa protectora de zinc. En el caso de que el agua entre en contacto con el acero galvanizado, una célula electroquímica está actuando y la capa de zinc se corroe en vez de corroerse el acero.

Composición

Fe 0.1%C con recubrimiento de zinc.

Ilustración Cúpula de acero galvanizado.



Propiedades Generales

Densidad	7.8e3	-	7.9e3	kg/m ³
Precio	* 0.806	-	0.879	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good conductor			
Resistividad térmica	0.0185	-	0.02	m.K/W
Coefficiente de expansión térmica	11.5	-	13	µstrain/°C
Calor específico	460	-	505	J/kg.K
Temperatura de fusión	1.48e3	-	1.53e3	°C
Temperatura máxima de servicio	* 150	-	180	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.08	-	0.1	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	0		%
Permeabilidad al vapor de agua	0		kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0		kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good		

Propiedades Acústicas

Absorción de sonido	Poor
Aislamiento acústico	Very Good

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	22.6	-	40	MJ/kg
Huella de CO2	1.54	-	3.01	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	3		
Conformabilidad	4	-	5
Maquinabilidad	3	-	4
Soldabilidad	5		
Soldable	5		

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Good
Ácido débil	Average
Ácido fuerte	Poor
Alcalino débil	Good
Alcalino fuerte	Average
Disolventes orgánicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasión	Average
Durabilidad en una atmósfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmósfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmósfera marina	Very Good

• **Acero inoxidable**

Descripción

El material

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con cromo, níquel, y, a menudo, cuatro o cinco otros elementos. La aleación transforma el acero simple de carbón, que se oxida y es propenso a la fragilidad debajo de la temperatura ambiental, en un material muy fuerte. La mayor parte de aceros inoxidables resisten a la corrosión en la mayoría de los entornos normales, y permanecen dúctiles a las temperaturas más bajas. Los aceros inoxidables son usados selectivamente cuando se requiere alta resistencia y/o resistencia a corrosión como en la parte exterior del edificio, rieles, etc.

Composición

Fe/<.15C/17-19Cr/8-11Ni/<2Mn/<1Si/<.045P/<.03S

Ilustración El teatro Disney, Los Angeles, Frank O. Gehry Architect.



Propiedades Generales

Densidad	7.81e3	-	8.01e3	kg/m ³
Precio	* 1.82	-	2.15	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor conductor			
Resistividad térmica	0.0588	-	0.0667	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	16	-	20	µstrain/°C
Calor específico	490	-	530	J/kg.K
Temperatura de fusion	1.4e3	-	1.42e3	°C
Temperatura de maximo servicio	750	-	925	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.1	-	0.38	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0			%
Permeabilidad al vapor de agua	0			kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0			kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Very Poor			
Aislamientoacústico	Very Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 56	-	56	MJ/kg
Huella de CO2	* 6	-	6.3	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	2	-	3
Conformabilidad	2	-	3
Maquinabilidad	2	-	3
Soldabilidad	5		
Soldable	5		

Durabilidad

Agua fresca	Very Good		
Agua salada	Very Good		
Acido debil	Very Good		
Acido fuerte	Good		
Alcalino debil	Very Good		
Alcalino fuerte	Very Good		
Disolventes organicos	Very Good		
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good		
Resistencia a la abrasion	Good		
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good		
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good		
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good		

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El acero inoxidable se debe utilizar de manera eficiente para justificar su alto coste,aprovechando su alta resistencia y resistencia a la corrosión. Un diseño economico usas secciones simples y delgadas, y los grados

que son adecuados para elaboración. El acabado superficial se puede controlar mediante laminado, pulido o chorro de arena. Los aceros inoxidables son seleccionados, en primer lugar por su resistencia a la corrosión, en segundo lugar por su fuerza, y en tercer lugar por su facilidad de fabricación. La mayoría de los aceros inoxidables son difíciles de darle forma, elaborar y cortar. Requieren bajas velocidades de corte y herramientas geometría específica. En el mercado están disponibles en hojas, tiras, placas, barras, cable, tubos y tuberías. La soldadura del acero inoxidable es posible, pero el metal de relleno debe ser seleccionado para garantizar una composición equivalente a mantener la resistencia a la corrosión. La serie 300 son las más soldables, la serie 400 son menos soldables.

No Ferrosos

- **Aleaciones de Aluminio, trabajado**

Descripción

El material

Antiguamente el aluminio fue un material raro y precioso, con tal cabida que el emperador Napoleón III de Francia hizo un juego de cubiertos hecho de aluminio que le costó más que uno de plata. Eso fue en 1860, hoy, 150 años más tarde, los cubiertos de aluminio son objetos fácilmente de conseguir y baratos. El aluminio, cuya primera aleación ligera estaba compuesta por magnesio y titanio, es la tercer metal más abundante en la corteza la tierra (después del hierro y silicio), con el inconveniente de que sus extracción cuesta mucha energía. Se ha convertido en el segundo metal más importante de la economía (el acero es el primero), y en el pilar de la industria aeroespacial.

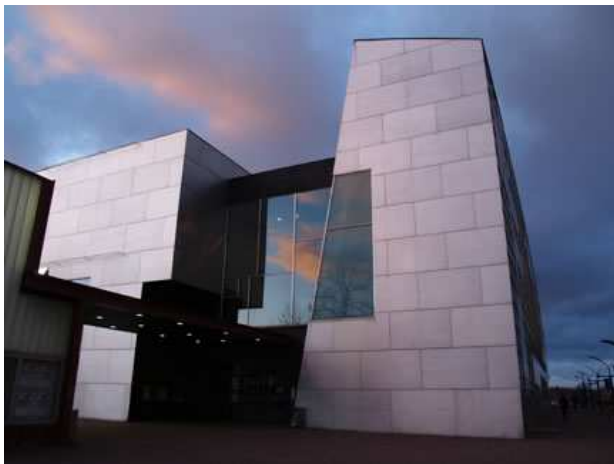
Composición

2000 series: Al + 2 to 6% Cu + Fe, Mn, Zn and sometimes Zr

6000 series: Al + up to 1.2% Mg + 0.25% Zn + Si, Fe and Mn

7000 series: Al + 4 to 9 % Zn + 1 to 3% Mg + Si, Fe, Cu and occasionally Zr and Ag

Ilustración Kiasma, Helsinki; Steven Holl Architect.



Propiedades Generales

Densidad	2.7e3	-	2.73e3	kg/m ³
Precio	* 1.23	-	1.5	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good conductor			
Resistividad térmica	0.0055	-	0.0065	m.K/W
Coefficiente de expansión térmica	23	-	24.6	µstrain/°C
Calor específico	934	-	972	J/kg.K
Temperatura de fusión	580	-	650	°C
Temperatura de máximo servicio	77	-	180	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Emisividad	0.02	-	0.216	
Propiedades Hygro-Térmicas				
Absorción de agua	0			%
Permeabilidad al vapor de agua	0			kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0			kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			
Propiedades Acústicas				
Absorption de sonido	Poor			
Aislamiento acústico	Good			
Propiedades Ecológicas				
Energía embebida	* 154	-	226	MJ/kg
Huella de CO2	9.08	-	13.1	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)				
Fundición	4	-	5	
Conformabilidad	3	-	4	
Maquinabilidad	4	-	5	
Soldabilidad	3	-	4	
Soldable	2	-	3	
Durabilidad				
Agua fresca	Very Good			
Agua salada	Good			
Acido debil	Very Good			
Acido fuerte	Very Good			
Alcalino debil	Good			
Alcalino fuerte	Poor			
Disolventes organicos	Very Good			
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good			
Resistencia a la abrasion	Average			
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good			
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good			
Durabilidad en una atmosfera marina	Good			

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

Se tiene que evitar el contacto con aleaciones de cobre, hierro y de acero; con el suelo de oxiclورو demagnesio, con la humedad del cedro rojo occidental; y con el abeto Douglas y robles, ya que la corrosión electrolítica puede ocurrir.

- **Bronce**

Descripción

El material

Bronce, el material predilecto de la Edad del Bronce (3000 - 1000 a. C.) fue originalmente una aleación de cobre (Cu) y estaño (Sn). Hoy se utiliza este término para cualquier aleación de cobre que tiene un elemento principal de aleación con otro de zinc o de níquel. El bronce de estaño contiene 5 - 25% Sn; si tiene más de 10% de Sn tienen alta resistencia, pero poca ductilidad, por lo que deben ser fundidos para obtener la forma. El bronce de aluminio (Cu con 4-14% de Al más un poco de Mn) tienen una alta resistencia y excelente resistencia a la corrosión. El bronce de fósforo (Cu con 1,25 - 10% Sn y hasta 0,6% P) tienen bajo coeficiente de fricción y son ampliamente utilizados para los rodamientos. El bronce industrial es un bronce de estaño que contienen zinc y plomo.

Composición

Bronce de Estaño: Cu + 5 - 25% Sn
 Bronce de Aluminio: Cu + 4 - 14% Al
 Bronces de Fósforo: Cu + 3 - 9% Sn + 0.1 - 0.4% P
 Bronce industrial: Cu + 5 % Sn + 5 % Zn + 5 % Pb

Ilustración Revestimiento de bronce sobre la biblioteca de la Universidad de Sydney.



Propiedades Generales

Densidad	8.5e3	-	9e3	kg/m ³
Precio	* 2.68	-	3.22	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
 Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good conductor			
Resistividad térmica	0.0111	-	0.02	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	16.5	-	19	µstrain/°C
Calor específico	382	-	385	J/kg.K
Temperatura de fusión	867	-	1.07e3	°C
Temperatura de maximo servicio	150	-	180	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	0		%
Permeabilidad al vapor de agua	0		kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0		kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good		

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor		
Aislamiento acústico	Very Good		

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	62	-	76.7	MJ/kg
Huella de CO2	4.1	-	4.5	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	4	-	5
Conformabilidad	3	-	4
Maquinabilidad	4	-	5
Soldabilidad	4	-	5

Soldable	4 - 5
Durabilidad	
Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Good
Acido fuerte	Poor
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El bronce sigue siendo el material de elección para las grandes estatuas, campanas y piezas ornamentales arquitectónicas. Es duro y fuerte (de ahí su uso para armas), y es resistente a la corrosión, incluso en un ambiente marino. Los bronces con baja cantidad de estaño y los bronces de aluminio se pueden enrollar en forma de hoja y trabar con facilidad, los que tienen mayor contenido de aleación deben ser fundidos.

- Cobre**

Descripción

El material

En la época victoriana se lavaban las ropas en un "cobre", que era una tina o tanque de chapa de cobre batido calentado sobre el fuego. El cobre tiene un lugar destacado en la historia de la civilización: él permitió la tecnología de la Edad de Bronce (3000 aC 1000 aC). Se usa en muchas formas: cobre puro, aleaciones de cobre-cinc (latón), aleaciones de cobre-estaño (los bronces), cobre-níquel y cobre-berilio. La designación de "Cobre" se utiliza cuando la porcentaje de cobre es más de 99.3%. El material tiene alta ductilidad y muy alta conductividad térmica.

Composición

Cobre puro

Ilustración El cobre es muy dúctil y por lo tanto es el ideal como material de revestimiento en las paredes del edificio y como material usado para techar.



Propiedades Generales

Densidad	8.93e3 - 8.94e3	kg/m ³
Precio	* 2.55 - 3.12	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good conductor
Resistividad térmica	0.00256 - 0.00625 m.K/W

Coefficiente de expansion térmica	16.9	-	18	μstrain/°C
Calor específico	372	-	388	J/kg.K
Temperatura de fusion	982	-	1.08e3	°C
Temperatura de maximo servicio	250	-	350	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.02	-	0.63	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0			%
Permeabilidad al vapor de agua	0			kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0			kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor			
Aislamientoacústico	Very Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	42	-	57	MJ/kg
Huella de CO2	2.71	-	3.81	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	3	-	5
Conformabilidad	4	-	5
Maquinabilidad	4	-	5
Soldabilidad	3		
Soldable	5		

Durabilidad

Agua fresca	Very Good		
Agua salada	Very Good		
Acido debil	Good		
Acido fuerte	Poor		
Alcalino debil	Very Good		
Alcalino fuerte	Poor		
Disolventes organicos	Very Good		
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good		
Resistencia a la abrasion	Very Good		
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good		
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good		
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good		

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El cobre y sus aleaciones son fáciles de fundir, de enrollar en forma de hoja, de elaborar en cables, y de obtener la forma que se desee. Resiste a la corrosión ambiental, adquiriendo una capa superficial(dicha capa recibe el nombre de pátina) verdosa en un ambiente limpio (carbonato de cobre), y una negra (sulfuro de cobre) en un ambientecontaminado (en las ciudades suele tener una capa superficial negra. El cobre puro tiene una excelente conductividad eléctrica y térmica, fácil de fabricar y unir, tiene buena resistencia a la corrosión y resistencia mecánica aceptable. Cuando es necesaria una alta conductivida, se utiliza bronce libre de oxígeno y de alta conductividad (OFHC). Su forma de recocido es suave y dúctil, y con el trabajo de endurecimiento el material se vuelve más duro, pero menos dúctil. Los más comunes son los latones cartucho (utilizado en los instrumentos musicales, equipos y, por supuesto, municiones).

• Aleaciones de Titanio

Descripción

El material

El titanio es el séptimo metal más abundante en la corteza de la Tierra, pero su extracción es difícil. Esto hace que el titanio, el tercer miembro de la aleación ligera, sea el más caro de los tres (más de diez veces el precio del aluminio). A pesar de esto, el uso del titanio está creciendo, impulsado por sus notables propiedades. Tiene un alto punto de fusión (1660 °C), es ligero, y, a pesar de reactivo, es resistente a la corrosión con la mayoría de los productos químicos, protegido por una delgada capa superficial de óxido. Las aleaciones de titanio son excepcionalmente fuerte para su peso, y puede ser utilizadas a temperaturas de hasta 500 °C, un ejemplo de utilización es en las palas de compresión de las turbinas de las aeronaves. Tienen inusualmente poca expansión térmica y baja conductividad eléctrica.

Composición

Ti + elementos de aleacione, e.g. Al, Zr, Mo, Si, Sn, Ni, Fe, V

Ilustración Museo Guggenheim, Bilbao; Frank O. Gehry Architect.



Propiedades Generales

Densidad	4.4e3	-	4.8e3	kg/m ³
Precio	* 28	-	30.7	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor conductor			
Resistividad térmica	0.0833	-	0.2	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	7.9	-	11	µstrain/°C
Calor específico	520	-	600	J/kg.K
Temperatura de fusion	1.48e3	-	1.68e3	°C
Tempreatura de maximo servicio	297	-	697	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.12			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0		%
Permeabilidad al vapor de agua	0		kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0		kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good		

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor		
Aislamiento acústico	Good		

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	361	-	745	MJ/kg
Huella de CO2	20.6	-	42.5	kg/kg
Reciclabilidad	True			

Reutilización	True
Biodegradable	False
Combustión para la recuperación de energía	False
Vertedero	True
Recurso Renovable	False
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)	
Fundición	3
Conformabilidad	2 - 4
Maquinabilidad	1 - 3
Soldabilidad	4 - 5
Soldable	1 - 2
Durabilidad	
Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

Las aleaciones de titanio son caras y requieren para su elaboración el vacío para evitar la asimilación de oxígeno, ya que lo hace frágil. Es fuerte, ligero y resistente a la corrosión, tanto es así que el titanio puro puede ser implantado en el cuerpo para reparar huesos rotos. Lo más común es que sea aleado con aluminio y vanadio (Ti con un 8% al 6% V, o simplemente Ti - 6 - 4) con el objetivo de conseguir un material que puede ser forjado y trabajado, con la característica de tener buena resistencia a la fluencia. Las aleaciones de titanio tienen ductilidad limitada. La impulsión de miniaturizar la electrónica de consumo, conlleva a una creciente utilización del titanio. Los chasis de los teléfonos móviles y ordenadores portátiles son tan delgados que los polímeros no pueden soportar el esfuerzo. La baja densidad y la la fuerza del titanio lo hacen un sustituto atractivo a pesar de su costo.

- **Aleaciones de Zinc**

Descripción

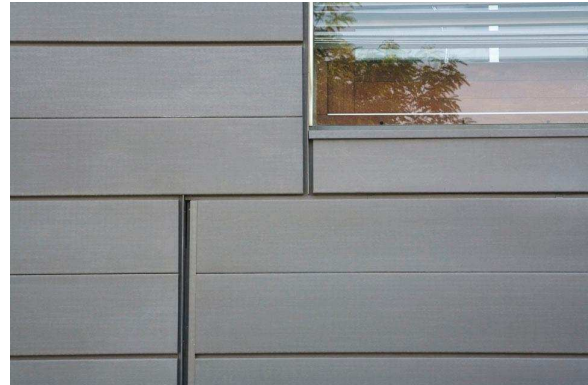
El material

Zinc significa en la jerga francesa bar o pub, ya que las barras de bar en Francia solían tener revestimientos de zinc, para protegerlos de los estragos del vino y cerveza. Las superficies de barras suelen tener formas complejas: una superficie plana, perfiles curvos, bordes redondeados o perfilados. Lo anteriormente mencionado dice mucho acerca del zinc, llegando a la conclusión de que es higiénico y, además, sobrevive a la exposición de ácidos (vino), de los álcalis (líquidos para limpiar) y del uso intensivo (clientes). Estas siguen siendo las razones por las que todavía se utiliza hoy en día. Otra característica del zinc, es la facilidad de producir las aleaciones de zinc, su bajo punto de fusión y fluidez le da un lugar destacado en fundición a presión. Los moldes son relativamente baratos y los detalles se reproducen con precisión. Aleaciones de zinc moldeado a presión son lo suficientemente fuertes para la mayoría de los productos de consumo, y el metal es barato. Son la respuesta metálica a los polímeros moldeados por inyección.

Composición

Zn/3-30% Al, normalmente, a menudo con un máximo de 3% Cu

Ilustración El zinc utilizado como revestimiento de techo, aquí en París.



Propiedades Generales

Densidad	4.95e3	-	7e3	kg/m ³
Precio	* 1.12	-	1.23	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good conductor			
Resistividad térmica	0.00741	-	0.01	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	23	-	28	μstrain/°C
Calor especifico	405	-	535	J/kg.K
Temperatura de fusion	375	-	492	°C
Temperatura de maximo servicio	* 79.9	-	110	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0		%
Permeabilidad al vapor de agua	0		kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	0		kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good		

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor		
Aislamiento acústico	Very Good		

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	53.1	-	72	MJ/kg
Huella de CO2	3.09	-	4.18	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	5		
Conformabilidad	2	-	3
Maquinabilidad	5		
Soldabilidad	1		
Soldable	4	-	5

Durabilidad

Agua fresca	Very Good		
Agua salada	Average		
Acido debil	Average		

Acido fuerte	Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

Las aleaciones de zinc fundidas a presión son lo suficientemente fuertes para la mayoría de los productos de consumo, y el metal es barato. La mayoría del zinc se usa en el galvanizado del acero para mejorar su resistencia a la corrosión. Las aleaciones de zinc fundidas a presión ofrecen mayor resistencia que otras aleaciones, excepto las del cobre. El zinc forjado está disponible en tiras, hojas, lámina, placas, barra y alambre para la forja o extrusión. El curvado de la hoja del zinc laminado tiene que ser perpendicular a la fibra o dirección de laminación, y deben tener un radio no inferior al espesor de la chapa. Las aleaciones de zinc son fácilmente soldadas in situ y es frecuente dejarlo sin recubrimiento. Su acabado puede ser pulido, con textura, revestidos o pintados.

POLÍMEROS

Termoplásticos

- **Etileno-Tetrafluoroetileno (ETFE)**

Descripción

El material

La familia fluoroplástica ofrece plásticos de alta resistencia química, de baja y alta capacidad térmica, resistente a la intemperie, de baja fricción y aislamiento eléctrico y térmico. El ETFE se introdujo para ofrecer un material tanto con resistencia a la corrosión y resistencia mecánica en un amplio rango de temperaturas. Ofrece alta pureza, excelente resistencia química, buena resistencia a la permeabilidad y excelente resistencia a la abrasión (temperaturas comprendidas entre -185 °C y +150 °C).

Composición

$(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CF}_2)_n$

Ilustración Centro Espacial, Leicester, UK; Nicholas Grimshaw Architect.



Propiedades Generales

Densidad	1.68e3	-	1.72e3	kg/m ³
Precio	25.1	-	36.5	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	4.03	-	4.37	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	104	-	111	µstrain/°C
Calor específico	* 1.2e3	-	1.25e3	J/kg.K
Temperatura de fusion	259	-	270	°C
Temperatura de transición vítrea	* 78	-	93	°C
Temperatura de maximo servicio	142	-	158	°C
Inflamabilidad	Self-extinguishing			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	0.01	-	0.02	%
Permeabilidad al vapor de agua	3.75e-13			kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	3.21e-18			kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average
Aislamiento acústico	Good

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	26	-	27	MJ/kg
Huella de CO2				
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Very Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Very Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

• **Policarbonato (PC)**

Descripción

El material

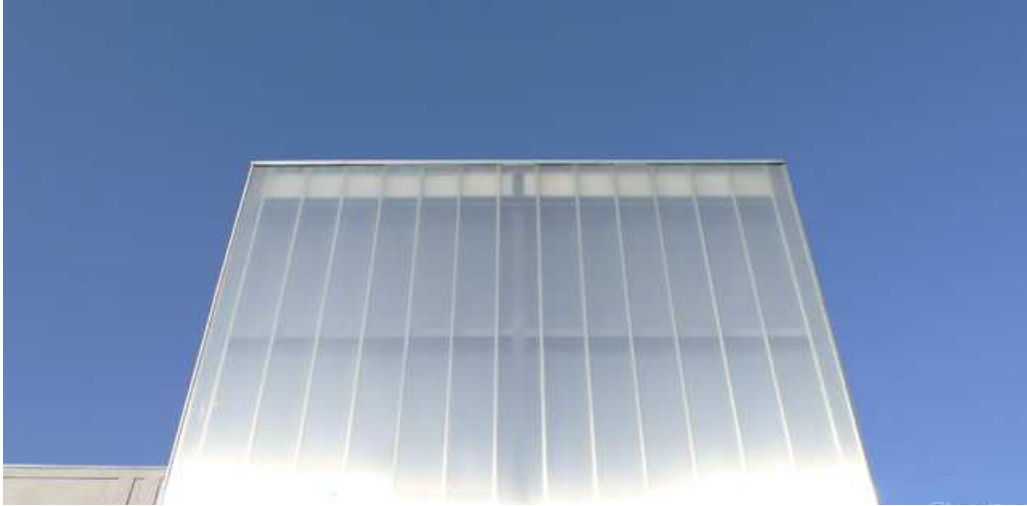
El policarbonato es uno de los termoplásticos de ingeniería, lo que significa que tiene mejores propiedades mecánicas que los polímeros más baratos. La familia incluye los plásticos de poliamida (PA), polioximetileno (POM) y el politetrafluoroetileno (PTFE). El anillo de benceno y grupo de carbonato (OCOO) se combinan en el PC puro para darle sus características únicas de transparencia óptica y buena dureza y rigidez, incluso a temperaturas relativamente altas. Estas propiedades hacen del PC una buena opción para aplicaciones tales

como discos compactos, los sombreros de seguridad y alojamientos para herramientas eléctricas. Para mejorar las propiedades de PC aún más, es posible la copolimerización de la molécula con otros monómeros (mejora la resistencia al fuego, el índice de refracción y resistencia al ablandamiento), o reforzar el PC con fibras de vidrio (que da mejores propiedades mecánicas a altas temperaturas).

Composición

$(O-(C_6H_4)-C(CH_3)_2-(C_6H_4)-CO)_n$

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	1.14e3	-	1.21e3	kg/m ³
Precio	2.66	-	3.13	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	4.59	-	5.29	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	120	-	137	µstrain/°C
Calor específico	1.53e3	-	1.63e3	J/kg.K
Temperatura de fusion				
Temperatura de transición vítrea	142	-	205	°C
Temperatura de maximo servicio	101	-	144	°C
Inflamabilidad	Self-extinguishing			
Emisividad	4.5			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0.135	-	0.2	%
Permeabilidad al vapor de agua	2.2e-12	-	2.5e-12	kg/m.s.Pa
Permeabilidad al aire	8.32e-18	kg/m.s.Pa		
Resistencia a las heladas	Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average			
Aislamientoacústico	Average			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	112	-	113	MJ/kg
Huella de CO2	7	-	8	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	1	-	2
Conformabilidad	4	-	5
Maquinabilidad	3	-	4
Soldabilidad	5		

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Good
Acido fuerte	Average
Alcalino debil	Average
Alcalino fuerte	Average
Disolventes organicos	Poor
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La transparencia óptica y alta resistencia al impacto del PC lo hacen apto por aplicaciones de vidrio a prueba de balas o resistentes a la rotura. Es fácil de colorear. El PC suele ser procesado por extrusión o termoformado (técnicas que imponen limitaciones en el diseño), y es posible el moldeo por inyección. Cuando se diseña por extrusión, el espesor de la pared debe ser lo más uniforme posible para evitar deformaciones y se debe evitar las proyecciones y las esquinas afiladas, las características como huecos y secciones solitarias sin soporte aumentan considerablemente el coste del molde. La rigidez de la parte final se puede mejorar mediante la incorporación de ondulaciones o nervaduras en relieve. PC puede ser reforzado con fibras de vidrio con el objetivo de reducir los problemas de contracción en el enfriamiento y para mejorar la resistencia mecánica a altas temperaturas.

CERAMICAS

Arcilla cocida

- **Ladrillo común**

Descripción

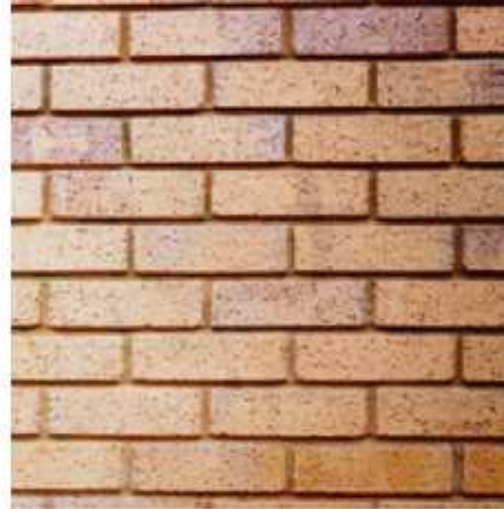
El material

El ladrillo es tan antiguo como Babilonia (4.000 aC) y tiene una gran durabilidad. Los palacios y los templos de Mesopotamia fueron construidos de piedra y ladrillo secado al sol. Es uno de los materiales de construcción más antiguos. La regularidad y la proporción de los ladrillos los hacen fáciles de colocar en una variedad de patrones, y su durabilidad y bajo costo relativo los hacen un material ideal para la construcción de edificios. La arcilla, la materia prima con la que se fabrican los ladrillos, está disponible en casi todas partes. La arcilla pura es de color gris-blanco, el color rojo de la mayoría de ladrillos proviene de las impurezas de óxido de hierro. El ladrillo amarillo, gris y negro, se puede hacer mediante la variación de la proporción de arcillas y otros ingredientes diversos, y controlando cuidadosamente el calor de la leña. El ladrillo es utilizado principalmente para las paredes y las cimentaciones. Los ladrillos comunes se utilizan cuando la apariencia no es importante, o donde será enyesado o revestido. Las paredes de ladrillo pueden ser estructurales o no estructurales, esta última es la más frecuente como material partición. Las propiedades que se indican son las de un solo ladrillo en lugar de la de toda la obra de ladrillo, con lo cual las propiedades y la adherencia del mortero tendrían que ser tomadas en cuenta (la mayoría, obviamente, convirtiéndose en un factor dominante cuando se carga a tracción).

Composición

30-40% alumina and 50% silica

Ilustración Las proporciones y la regularidad del ladrillo lo hacen rápido de montar, resiste bien a las condiciones meteorológicas, y la textura y el color lo hacen visualmente atractivo.



Propiedades Generales

Densidad	1.69e3	-	1.95e3	kg/m ³
Precio	0.456	-	1.21	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	1.25	-	1.67	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	5	-	8	µstrain/°C
Calor específico	750	-	850	J/kg.K
Temperatura de fusion	927	-	1.23e3	°C
Temperatura de maximo servicio	300	-	500	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.75	-	0.93	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	2	-	7	%
Permeabilidad al vapor de agua	4.38e-12	-	4.67e-12	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Poor			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average			
Aislamiento acústico	Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	1.88	-	2.07	MJ/kg
Huella de CO2	0.14	-	0.156	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad	2	-	4
Maquinabilidad	1	-	2

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Good
Acido fuerte	Poor

Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

Los ladrillos y el mortero (pasta de unión de los ladrillos) son fuertes en compresión, pero débil a tracción. Esto determina en gran medida la forma en que se utilizan: las estructuras de ladrillos (como los de piedra) están diseñados en tal forma que las cargas de compresión son en todas partes, descartando las formas magras. La cara de ladrillo puede ser moldeada y vidriada, permite una gran libertad de decoración, y la variación natural del color le da una superficie visualmente atractiva. El ladrillo cocido con baja temperatura, o no vidriado, es vulnerable a la penetración del agua y a la degradación, y debería ser protegido. El ladrillo cocido con alta temperatura, o vidriado, es extremadamente duradero. La durabilidad de las paredes de ladrillos, como sistema de construcción, depende de la composición adecuada y uso del mortero de juntas y de los agujeros de drenaje adecuados que permitan al agua escapar desde el interior de la vaciedad de ladrillos hacia el exterior. Los ciclos de congelación-descongelación, en los que el agua atrapada se expande, es un mecanismo común que rompen el ladrillo y el mortero.

- **Ladrillo cara-vista**

Descripción

El material

Es un ladrillo cocido al horno utilizado para superficies externas, donde el buen aspect y el desgaste es muy importante. Está disponible en varios tonos (rojizo, naranja, beige, crema, amarillo, marrón y azul) y texturas (liso, rugoso, desgastado y rústico). Las propiedades mecánicas y térmicas son similares a los ladrillos comunes.

Composición

30-40% alúmina y 50% de sílice.

IlustraciónLadrillo cara-vista.



Propiedades Generales

Densidad	2.05e3	-	2.3e3	kg/m ³
Precio				

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator
Resistividad térmica	1.11 - 1.25 m.K/W

Coefficiente de expansion térmica	5	-	8	μstrain/°C
Calor específico	750	-	850	J/kg.K
Temperatura de fusion	927	-	1.23e3	°C
Temperatura de maximo servicio	400	-	600	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.75	-	0.93	
Propiedades Hygro-Térmicas				
Absorcion de agua	2	-	7	%
Permeabilidad al vapor de agua	2.5e-12	-	2e-11	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Good			
Propiedades Acústicas				
Absorption de sonido	Poor			
Aislamientoacústico	Good			
Propiedades Ecológicas				
Energía embebida	2	-	2.5	MJ/kgHuella de CO2
	0.23	-	0.25	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)				
Conformabilidad	2	-	4	
Maquinabilidad	1	-	2	
Durabilidad				
Agua fresca	Very Good			
Agua salada	Very Good			
Acido debil	Good			
Acido fuerte	Poor			
Alcalino debil	Good			
Alcalino fuerte	Poor			
Disolventes organicos	Very Good			
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good			
Resistencia a la abrasion	Average			
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good			
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good			
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good			

- **Terracotta**

Descripción

El material

El nombre "terracotta"viene del italiano "tierra cocida". Se trata de una arcilla ceramica impermeable semi-cocida, que se utiliza para fabricar ladrillos y tejas.

Composición

Mezcla de silicatos.

Ilustración Tejas de terracotta.



Propiedades Generales

Densidad 1.9e3 - 2.75e3 kg/m³
 Precio

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante Poor insulator
 Resistividad térmica 0.66 - 2 m.K/W
 Coeficiente de expansion térmica 5 - 10 μ strain/°C
 Calor específico 760 - 820 J/kg.K
 Temperatura de fusión
 Temperatura de máximo servicio 400 - 500 °C
 Inflamabilidad Non-flammable
 Emisividad 0.6 - 0.85

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua 3 - 15 %
 Permeabilidad al vapor de agua
 Resistencia a las heladas Poor

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido Average
 Aislamiento acústico Good

Propiedades Ecológicas

Energía embebida 1.1 - 1.3 MJ/kg
 Huella de CO₂ 0.77 - 0.79 kg/kg
 Reciclabilidad False
 Reutilización True
 Biodegradable False
 Combustión para la recuperación de energía False
 Vertedero True
 Recurso Renovable False

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad 2 - 4
 Maquinabilidad 1 - 2

Durabilidad

Agua fresca Good
 Agua salada Very Good
 Acido debil Very Good

Acido fuerte	Very Good
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Hormigón

- **Hormigón celular (Autoclaved aerated concrete - AAC)**

Descripción

El material

El hormigón celular es un hormigón producido por la adición de un agente espumante a la mezcla de hormigón con el fin de atrapar las burbujas de aire durante el proceso de curado, la cual consiste en calentar vapor (autoclave). El producto resultante de baja densidad se usa para hacer edificios ligeros, estructuras y decoraciones. La resistencia del hormigón puede ser mejorada mediante la adición de fibras, pero los valores que se citan aquí son de de hormigón no armado.

Composición

Agua, arena, cemento y aire.

Componentes de la mezcla y las proporciones son muy variadas para producir propiedades diversas.

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	400	-	900	kg/m ³
Precio	* 0.0456	-	0.0607	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	1.25	-	1.43	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	7	-	12	μstrain/°C
Calor específico	* 860	-	1.1e3	J/kg.K
Temperatura de fusion	930	-	1.2e3	°C
Temperatura de maximo servicio	200	-	300	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			
Emisividad	0.63	-	0.97	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua			
Permeabilidad al vapor de agua	6.01e-12	-	2.8e-11 kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Average		

Propiedades Acústicas

Absorción de sonido	Good
Aislamiento acústico	Average

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	3.4	-	3.6 MJ/kg
Huella de CO2	0.24	-	0.375 kg/kg
Reciclabilidad	False		
Reutilización	True		
Biodegradable	False		
Combustión para la recuperación de energía	False		
Vertedero	True		
Recurso Renovable	False		

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad	3	-	4
Maquinabilidad	4	-	5

Durabilidad

Agua fresca	Good
Agua salada	Good
Acido debil	Average
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Average
Durabilidad en una atmosfera rural	Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Average

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El hormigón celular es de color claro y contiene muchas burbujas de aire de pequeño tamaño que contribuyen como propiedad aislante del material. AAC esportante, aislante y puede ser esculpido con herramientas de carpintería, pero, siendo suave, rara vez se utiliza en condiciones expuestas, sino que requiere la protección de la superficie.

- **Cemento (Portland)**

Descripción

El material

El cemento es sin duda uno de los cuatro materiales estructurales que más han cambiado el mundo, junto al bronce, hierro (acero) y vidrio. El cemento romano, todavía intacto después de 2000 años, permitió algunas de sus más grandes construcciones. Actualmente, la producción de cemento supera los 1,5 millones de toneladas por año.

El cemento es una cerámica calcinada y pulverizada que, con la adición de agua, se puede moldear o verter y, a continuación, establece en una masa sólida, juntándose bien a muchas superficies. Hay muchos cementos diferentes, el más utilizado es el cemento Portland, llamado así porque los desarrolladores intentaron promoverlo como un material similar a la piedra de Portland, una piedra caliza de capas muy apreciada para suelos y pavimentos. Es producido por calcinación de una mezcla de cal o piedra caliza y arcilla, y posteriormente triturado para conseguir un polvo fino. Mezclado con agua, se hidrata y se convierte en un sólido gris duro. Este proceso se conoce como curado, liberando calor y produciéndose una pequeña contracción del hormigón. El cemento Portland se puede usar puro, raramente en la práctica, ya que se utiliza

generalmente como un aglomerante para mortero y hormigón. Como un componente del hormigón, el cemento es el principal agente vinculante que reúne a gravas, arenas, agua y aditivos (junto al acero si es hormigón armado) para hacer actualmente el material más utilizado estructuralmente.

Las propiedades del cemento son altamente dependientes de su composición, en particular la relación agua-cemento. Las propiedades que se indican son de cemento con una relación agua-cemento en peso de 0.65.

Composición

63% CaO, 21% SiO₂, 6% Al₂O₃ + aditivos

agua: cemento en peso de 0.65

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	3e3	-	3.2e3	kg/m ³
Precio	0.0759	-	0.0911	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	1.11	-	1.25	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	12	-	13	µstrain/°C
Calor específico	* 813	-	867	J/kg.K
Temperatura de fusion	930	-	1.2e3	°C
Temperatura de maximo servicio	* 627	-	857	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua				
Permeabilidad al vapor de agua	9.76e-12	-	2.6e-11	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Poor			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor			
Aislamientoacústico	Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	5.4	-	5.6	MJ/kg
Huella de CO ₂	0.9	-	1	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	4	-	5
-----------	---	---	---

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Good
Acido debil	Poor
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Average
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El cemento como componente del hormigón se puede utilizar para una amplia variedad de aplicaciones. ASTM C 150 establece ocho tipos diferentes de cemento Portland que se pueden aplicar a casi cualquier necesidad de la construcción. El tipo I es el cemento normal, el tipo IA normal, el tipo II tiene resistencia moderada al ataque del sulfato, el Tipo IIA tiene resistencia moderada. El tipo III tiene alta resistencia, el Tipo IIIA tiene alta resistencia, el tipo IV tiene bajo calor de hidratación, el tipo V tiene alta resistencia al ataque de sulfatos. Para la mayoría de aplicaciones de construcción se utiliza el tipo I. El cemento tipo II y V se utilizan en situaciones en las que el material entra en contacto con agua que contiene alta cantidad de sulfato. El tipo IV está reservado para grandes estructuras en las que el calor de hidratación debe ser cuidadosamente controlado.

Piedra

- **Granito**

Descripción

El material

El granito es una de los materiales más duraderos. La pirámide de Giza (2980 aC) fue construida de piedra caliza revestida de granito. Se trata de una roca ígnea de grano grueso muy dura y compacta. Requiere un pulimento fino mostrando la belleza de sus cristales. Es la piedra más importante en la construcción, ya que ciudades enteras se construyen con ella (Edimburgo, en Escocia, es un ejemplo). Se utiliza para las superficies de trabajo debido a su durabilidad y resistencia a los ácidos y álcalis, y por su aspecto decorativo. El granito debido a la falta de porosidad no se erosiona o no se rompe como otras piedras porosas lo hacen.

Composición

El granito se compone de cuarzo (SiO₂) y feldespatos y micas (ambos complejos aluminio-silicatos).

Ilustración Granite Butts Mehre Heritage Hall, University of Georgia.



Propiedades Generales

Densidad	2.63e3 -	2.8e3	kg/m ³
Precio	0.759 -	4.56	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator		
Resistividad térmica	0.358	-	0.398 m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	10	-	12 μ strain/°C
Calor específico	775	-	840 J/kg.K
Temperatura de fusion	* 1.2e3	-	1.6e3 °C
Temperatura de maximo servicio	* 600	-	700 °C
Inflamabilidad	Non-flammable		
Emisividad	0.44		

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	0.1	-	0.5 %
Resistencia a las heladas	Good		

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor		
Aislamientoacústico	Good		

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	10.5	-	11.5 MJ/kg
Huella de CO2	0.65	-	0.75 kg/kg
Reciclabilidad	False		
Reutilización	True		
Biodegradable	False		
Combustión para la recuperación de energía	False		
Vertedero	True		
Recurso Renovable	False		

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Maquinabilidad	1	-	2
----------------	---	---	---

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El granito es un material duro por lo que es caro extraerlo de la cantera y difícil de trabajar, pero es excepcionalmente duradero y resistente al desgaste y se puede pulir consiguiendo un acabado espejo. Su gran estabilidad química da resistencia a los líquidos acuosos y orgánicos, ácidos y álcalis. El granito se utiliza en los cuadros ópticos y las calles pavimentadas con adoquines de granito permanecen hoy en día como cuando fueron construidas. Su asociación con las grandes estructuras del pasado lo hacen atractivo para los edificios de hoy.

• **Piedra caliza**

Descripción

El material

La piedra caliza se forma de las criaturas del mar petrificado. En su forma pura es cal (cuando es porosa) o el mármol (cuando está completamente denso). La mayor parte de la piedra caliza no es pura, ya que contiene arena (sílice) y otros minerales. Las calizas más interesantes contienen conchas visibles y otros fósiles de las

criaturas de las que derivan. Es fácil de cortar, y en las zonas donde está disponible es muy utilizada como material de construcción.

Composición

Carbonato de calcio (CaCO₃), además de las impurezas de silicato.

Ilustración El edificio es Georgia State Capitol.



Propiedades Generales

Densidad	2.15e3	-	2.5e3	kg/m ³
Precio	* 0.304	-	0.759	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	0.465	-	1.09	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	3.7	-	6.3	μstrain/°C
Calor especifico	810	-	920	J/kg.K
Temperatura de fusion	1.23e3	-	1.35e3	°C
Temperatura de maximo servicio	* 330	-	380	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	2.5	-	11	%
Resistencia a las heladas	Average			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average			
Aislamiento acústico	Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	1	-	2	MJ/kg
Huella de CO ₂	0.08	-	0.1	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Maquinabilidad	2	-	3
----------------	---	---	---

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Poor
Acido fuerte	Very Poor

Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Poor
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

Las calizas varían ampliamente en la composición y en la porosidad, así como sus características mecánicas y su resistencia a la erosión. Las más suaves pueden ser aserradas y talladas a mano, por lo que son ampliamente utilizadas para las esculturas y las molduras decorativas. Se erosionan de una manera atractiva y benigna, ya que el ácido carbónico de la lluvia disuelve una película superficial muy fina que a través del tiempo hace que la superficie se auto-limpe.

• **Mármol**

Descripción

El material

El mármol es la forma más pura de la piedra caliza. Es prácticamente todo de carbonato de calcio puro que se ha compactado y se ha cristalizado debido al calentamiento. Se utiliza para la construcción ornamental, es decir, estatuas y muebles, y para los paneles de energía eléctrica. El mármol más puro (mármol italiano de Carrara es un ejemplo) es muy blanco y tiene una textura delicada y dura. Otros mármoles son de color verde oscuro, rojo, negro o gris, lo que permite su uso para las decoraciones como el de la Basílica se muestra en la imagen.

Composición

Carbonato de calcio (CaCO3).

Ilustración La Basílica de Pisa.



Propiedades Generales

Densidad	2.72e3	-	2.85e3	kg/m ³
Precio	* 0.304	-	0.759	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	0.167	-	0.2	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	3	-	5	µstrain/°C
Calor específico	850	-	890	J/kg.K
Temperatura de fusion	1.23e3	-	1.34e3	°C
Temperatura de maximo servicio	630	-	680	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	0.1	-	0.5	%
Permeabilidad al vapor de agua	4.73e-13	-	6.51e-12	kg/m.s.Pa

Resistencia a las heladas	Good			
Propiedades Acústicas				
Absorption de sonido	Poor			
Aislamiento acústico	Good			
Propiedades Ecológicas				
Energía embebida	1.5	-	2.5	MJ/kg
Huella de CO2	0.12	-	0.14	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)				
Maquinabilidad	1	-	2	
Durabilidad				
Agua fresca	Very Good			
Agua salada	Very Good			
Acido debil	Very Poor			
Acido fuerte	Very Poor			
Alcalino debil	Very Good			
Alcalino fuerte	Good			
Disolventes organicos	Very Good			
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good			
Resistencia a la abrasion	Average			
Durabilidad en una atmosfera industrial	Average			
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good			
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good			

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El mármol es fácil de cortar y tallar, es duro y denso, y tiene una pulido casi perfecto. Tiene una maravillosa translucencia por lo que es la elección de muchos escultores. Al igual que la piedra caliza no se erosiona en un ambiente limpio, pero es atacado por el ácido y, por tanto, por las emisiones industriales.

- **Arenisca**

Descripción

El material

La arenisca está compuesta por partículas de arena consolidadas (cuarzo) unidos por un agente de cimentación: feldespatos limas sílice o arcillas. El tamaño de las partículas de arena, la porosidad y la resistencia varían mucho entre areniscas diferentes. Los colores derivan de impurezas de hierro o manganeso y dan a las areniscas sus propiedades.

Composición

Partículas de Sílice (SiO₂), aglomeradas con carbonato de calcio cal (CaO) (CaCO₃) o arcillas (aluminio-silicatos).

Ilustración Universidad de Sydney, Nueva Gales del Sur Australia.



Propiedades Generales

Densidad	2.24e3	-	2.65e3	kg/m ³
Precio	* 0.304	-	0.456	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	* 0.345	-	0.398	m.K/W
Coefficiente de expansión térmica	* 7.5	-	8.5	μstrain/°C
Calor específico	* 840	-	920	J/kg.K
Temperatura de fusión	* 1.2e3	-	1.4e3	°C
Temperatura de máximo servicio	* 400	-	700	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	2	-	8.5	%
Resistencia a las heladas	Average			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor			
Aislamiento acústico	Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	0.5	-	1.5	MJ/kg
Huella de CO2	* 0.05	-	0.07	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Maquinabilidad	1	-	3
----------------	---	---	---

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Good
Acido fuerte	Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Average

Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

- **Pizarra**

Descripción

El material

Las pizarras se forman por la deposición de arcilla y barro, consolidadas por la presión. Sus características más llamativas son: su capacidad de ser separadas en losas planas o en hojas(a nivel de producción) y su impermeabilidad al agua en una dirección normal al plano de corte. La pizarra se ha utilizado desde hace siglos, para producir tejas, pavimentos y suelos. La pizarra es excepcionalmente duradera y resistente a la intemperie: si se mantiene en tejados duran centenares de años. La textura fina y color uniforme tenue conduce también al uso decorativo en escalones, señales y lápidas.

Composición

La pizarra es un complejo de aluminio-silicato.

Ilustración La pizarra se utiliza como techo y paredes para la construcción.



Propiedades Generales

Densidad 2.6e3 - 2.9e3 kg/m³

Precio

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante Poor insulator

Resistividad térmica 0.476 - 0.556 m.K/W

Coefficiente de expansion térmica 10 - 12 μ strain/°C

Calor específico

Inflamabilidad Non-flammable

Emisividad 0.9

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua 0.01 - 0.1 %

Resistencia a las heladas Very Good

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido Poor

Aislamiento acústico Good

Propiedades Ecológicas

Energía embebida 0.1 - 1 MJ/kg

Huella de CO₂ 0.007 - 0.063 kg/kg

Reciclabilidad	False
Reutilización	True
Biodegradable	False
Combustión para la recuperación de energía	False
Vertedero	True
Recurso Renovable	True

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Maquinabilidad	1	-	3
----------------	---	---	---

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Very Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La pizarra es un material muy estable e inerte y puede durar entre 30 y 100 años dependiendo del clima. Puede ser afectado por las heladas.

MATERIALES NATURALES

Madera

- **Madera prensada – Tableros duros**

Descripción

El material al

La fabricación de los tableros duros se hace mediante la compresión caliente (140 - 200 ° C) de fibras de madera, con lo que los hidratos de carbono y otros componentes solubles se han disuelto aumentando la proporción de lignina, material que actúa como ligante. Los productos laminados resultantes tienen una cara lisa y brillante y una áspera. Son duros, rígidos y, con la adición de un poco de urea-formaldehído (UF) o fenol-formaldehído (PF), resisten al agua. Suele tener una densidad comprendida entre el 800 - 1040 kg / m³. Hay tres tipos básicos de tableros duros estándar, medio y templado en aceite. Las juntas de aceite templado están impregnadas con aceite para hacerlos más rígidos, más duros y más resistentes a las rayaduras y la humedad. Un número especial de tableros duros están disponibles para fines específicos. La mayoría de tableros duros no se pueden utilizar en exteriores, ya que absorben el agua.

Composición

Cellulosa/Hemicelulosa/Lignina/12%H₂O

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	800	-	1.05e3	kg/m ³
Precio	0.38	-	0.607	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	2.86	-	3.33	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 10	-	15	µstrain/°C
Calor específico	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	76.9	-	102	°C
Temperatura de maximo servicio	117	-	137	°C
Inflamabilidad	Flammable			
Emisividad	* 0.81	-	0.9	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	12	-	35	%
Permeabilidad al vapor de agua	9.12e-13	-	2.01e-12	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average			
Aislamiento acústico	Average			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	15	-	17	MJ/kg
Huella de CO2	* -0.945	-	-0.855	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	True			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	True			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad	3	-	4
Maquinabilidad	5		

Durabilidad

Agua fresca	Average
Agua salada	Average
Acido debil	Average
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Avarage
Durabilidad en una atmosfera rural	Avarage
Durabilidad en una atmosfera marina	Avarage

• **Madera dura - Roble**

Descripción

El material

Las maderas duras provienen de árboles como el roble, fresno, olmo, arce, caoba. Aunque la mayoría de las maderas duras son más duras que las maderas blandas, hay excepciones: la balsa, por ejemplo, es una madera dura. La madera debe ser experimentada antes de su uso. El condimento es el proceso de secado de

la humedad natural que contiene la madera en materia prima para que sea dimensionalmente estable, lo que permite su uso sin que se deterioren o se tuerzan. En el condimento a temperatura ambiente, la madera se seca naturalmente cobijada en una estructura cubierta, pero abierta a los lados. También puede secarse en un horno de secado, donde la madera es secada artificialmente en una estufa o el horno. Los hornos modernos están diseñados de modo que se consigue un control preciso de la humedad.

Madera se ha utilizado para la construcción y la fabricación de productos desde los primeros tiempos inmemoriales. Los antiguos egipcios lo usaron para muebles, esculturas y sarcófagos antes del 2500 aC. Los griegos en la cima de su imperio (700 aC) y los romanos en el pico de ellos (alrededor de 0 AD) hicieron elaborados edificios, puentes, barcos carros y armas de madera, y establecieron el arte de la fabricación de muebles. La mayor diversidad de uso fue en tiempos medievales, con el uso de madera para la construcción a gran escala, y mecanismos tales como bombas, molinos de viento, incluso relojes, de modo que, hasta finales del siglo 17, la madera era el material principal de la ingeniería. Aunque el hierro, el acero y el hormigón la han desplazado de algunos de sus usos, la madera sigue siendo utilizada de forma masiva, en particular en materia de vivienda y pequeños edificios comerciales.

Composición

Cellulosa/Hemicelulosa/Lignina/12%H2O

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	660	-	700	kg/m ³
Precio	2.28	-	3.04	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	2.5	-	3.03	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 2	-	11	µstrain/°C
Calor específico	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	76.9	-	102	°C
Temperatura de maximo servicio	117	-	137	°C
Inflamabilidad	Flammable			
Emisividad	0.81	-	0.9	

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	12	-	30	%
Resistencia a las heladas	Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Average			
Aislamientoacústico	Average			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	10	-	11	MJ/kg
Huella de CO2	-1.16	-	-1.05	kg/kg
Reciclabilidad	False			

Reutilización	True
Biodegradable	True
Combustión para la recuperación de energía	True
Vertedero	True
Recurso Renovable	True
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)	
Conformabilidad	2 - 3
Maquinabilidad	5
Durabilidad	
Agua fresca	Average
Agua salada	Average
Acido debil	Average
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Avarage
Durabilidad en una atmosfera rural	Avarage
Durabilidad en una atmosfera marina	Avarage

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La madera ofrece una notable combinación de propiedades. Es ligera y en paralelo a la veta es dura, fuerte y resistente. Es barato, es renovable y la energía de combustible fósil necesaria para cultivarla y cosecharla se ve compensado por la energía que capta del sol durante el crecimiento. Es fácil de mecanizar, tallar y unir, y, cuando está laminada, puede ser moldeado en formas complejas. Y es estéticamente agradable y cálida, tanto en color y tacto.

MATERIALES COMPOSITES

Matriz Polimerica

- **GFRP, matriz eposidica (isotropica)**

Descripción

El material

Los composites son una de las evoluciones de los materiales más grande del siglo 20. Los que tienen mayor rigidez y resistencia se hacen de fibras continuas (vidrio, carbono o kevlar, una aramida) incorporadas en una resina termoestable (poliéster o epoxi). Las fibras soportan las cargas mecánicas, mientras que las resinas transmite las cargas a las las fibras y ofrece ductilidad y tenacidad, así como la protección de las mismas de los daños causados por la manipulación o dal medio ambiente. Las resinas limitan la temperatura de servicio y las condiciones de procesamiento. Los compuestos de poliéster de vidrio (GFRPs) son los más baratos y los más ampliamente utilizados. Una innovación reciente es el uso demateriales termoplásticos en la matriz, ya sea en forma de un co-tejido de polipropileno barato y fibra de vidrio que es termoformado, o sea una resina termoplástica de alta temperatura más cara, tales como PEEK que permiten compuestos con mayor temperatura y resistencia al impacto. El alto rendimiento GFRP utiliza las fibras continuas. Los que tienen las fibras de vidrio cortadas son más baratos y se utilizan en cantidades mucho más grandes. Productos GFRP van desde pequeñas tarjetas de circuitos electrónicos hasta cascos de grandes barcos, paneles interiores de automóviles, electrodomésticos, muebles y accesorios. Pultrusión y fibra de vidrio se usan comúnmente en aplicaciones arquitectónicas como las secciones estructurales estándar y paneles rígidos y fuertes.

Composición

Epoxi + refuerzo continuo de fibra de vidrio E (0, + -45, 90), bandeja cuasi-isótropo.

Ilustración Paneles defibra de vidrio reforzada se unieron para formar las paredes principales de una casa independiente.



Propiedades Generales

Densidad	1.75e3	-	1.97e3	kg/m ³
Precio	* 2.62	-	2.91	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Poor insulator			
Resistividad térmica	* 1.82	-	2.5	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 8.64	-	33	μstrain/°C
Calor especifico	* 1e3	-	1.2e3	J/kg.K
Temperatura de maximo servicio	* 140	-	220	°C
Inflamabilidad	Self-extinguishing			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	1.27	-	1.54	%
Resistencia a las heladas	Very Good.			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Poor			
Aislamientoacústico	Good			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 107	-	118	MJ/kg
Huella de CO2	* 7.47	-	8.26	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad	4	-	5
Maquinabilidad	2	-	3

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Average
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Very Good

Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

MATERIALES AISLANTES

Fibras

Fibras naturales

- Algodon

Descripción

El material

El algodón es la fibra de la flor de la planta de Gossypium, que se cultiva en climas cálidos. Hay muchas especies, y todas tienen más o menos el 95% de celulosa y un poco de cera. La longitud de la fibra y finura determinan la calidad. El algodón se utiliza para hacer una amplia gama de diferentes tejidos: lona, tela, gasa, calicó, percal, muselina, crepe, cámbico, olgandy, crinolina, sarga y damasco. Se diferencian en la calidad de la fibra y en la naturaleza del tejido. Este registro proporciona datos de las fibras de algodón sencillos. Las propiedades de los tejidos fabricados con él dependen en gran medida de la trama.

Composición

(C6-H10-O5)_n

Ilustración



Propiedades Generales

Densidad	1.52e3	-	1.56e3	kg/m ³
Precio	1.52	-	3.04	EUR/kg

Forma de aplicación del material

Fibra

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	* 3.33	-	5	m.K/W
Coefficiente de expansión térmica	* 15	-	30	µstrain/°C
Calor específico	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	110	-	130	°C
Temperatura de máximo servicio	110	-	130	°C
Inflamabilidad	Flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua
Resistencia a las heladas Good

Propiedades Acústicas

Absorción de sonido Very Good
Aislamiento acústico Average

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 16.1	- 17.7	MJ/kg
Huella de CO2	0.641	- 0.709	kg/kg
Reciclabilidad	False		
Reutilización	True		
Biodegradable	True		
Combustión para la recuperación de energía	True		
Vertedero	True		
Recurso Renovable	True		

Durabilidad

Agua fresca	Good
Agua salada	Good
Acido debil	Average
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Average
Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Average
Resistencia a la abrasion	Very Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Poor
Durabilidad en una atmosfera rural	Poor
Durabilidad en una atmosfera marina	Poor

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

El uso de algodón en los edificios debe ser cauteloso, ya que es altamente inflamable y es fuente de alimento para el moho y hongos. Como un tejido interior (que cubre las particiones interiores, por ejemplo) se puede utilizar algodón tratado con retardante de llama. En muchos casos la fibra de algodón constituye una parte de un tejido compuesto, dando volumen, color y textura a la tela.

- **Cáñamo**

Descripción

El material

El cáñamo es una fibra derivada del tallo de la planta de cannabis. Tiene una composición similar al algodón, con la diferencia de que sus fibras son más gruesas y más fuertes. Las fibras se liberan del tallo, ya que crea



olores desagradables. Las propiedades de los tejidos fabricados con ella dependen en gran medida de la trama.

Composición

(C6-H10-O5)n

IlustraciónHemp insulation.

Propiedades Generales

Densidad	1.48e3	-	1.49e3	kg/m ³
Precio	0.759	-	1.52	EUR/kg

Forma de aplicación del material

Fibra
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	* 3.33	-	5	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 15	-	30	μstrain/°C
Calor específico	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	100			°C
Temperatura de maximo servicio	110	-	130	°C
Inflamabilidad	Flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua
Resistencia a las heladas

Good

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido

Very Good

Aislamiento acústico

Average

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 8.05	-	8.9	MJ/kg
Huella de CO2	0.322	-	0.356	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	True			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	True			

Durabilidad

Agua fresca	Good
Agua salada	Good
Acido debil	Average
Acido fuerte	Very Poor
Alcalino debil	Average
Alcalino fuerte	Very Poor
Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Very Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Average
Durabilidad en una atmosfera rural	Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

• **Lana**

Descripción

El material

La lana es el pelo de: oveja, conejo (angora), camello, determinadas cabras (mohair, Cachemira) y llamas (vicuña). Sigue siendo actualmente una importante fibra comercial debido a sus cualidades resistentes (como en las alfombras de lana), ya que ofrece un aislamiento térmico notable y una alta. Es ampliamente utilizada para las alfombras, fundas para asientos, ropa y mantas.

El tejido de lana trae a la mente un calor acogedor. Sus fibras tienen rizos o bucles que crean bolsas que aíslan y dan a la lana una sensación esponjosa. La superficie exterior de la fibra consiste en una serie de escamas serradas que se superponen unos a otros como las escamas de un pez, haciendo posible que las fibras se adhieren juntas y formen un fieltro. Sus características únicas permiten la formación y la adaptación,

por lo que la lana es la tela más popular para adaptar la ropa fina. Se teje de muchas maneras diferentes para dar tela, lana, a cuadros, o franel. Los tejidos de lana son resistente a la suciedad, resistente a las llamas, y, en muchos tejidos, resiste el desgaste y desgarre.

Composición

Keratina (protein)

Ilustración Aislantes de lana.



Propiedades Generales

Densidad	1.2e3	-	1.32e3	kg/m ³
Precio	1.52	-	3.04	EUR/kg

Forma de aplicación del material

Fibra
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	* 3.33	-	5	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 15	-	30	μstrain/°C
Calor específico	1.35e3	-	1.37e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	* 87	-	97	°C
Temperatura de maximo servicio	110	-	120	°C
Inflamabilidad	Flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	
Resistencia a las heladas	Good

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Very Good
----------------------	-----------

Aislamiento acústico	Average		
Propiedades Ecológicas			
Energía embebida	* 16.1	- 17.7	MJ/kg
Huella de CO2	0.641	- 0.709	kg/kg
Reciclabilidad	False		
Reutilización	True		
Biodegradable	True		
Combustión para la recuperación de energía	True		
Vertedero	True		
Recurso Renovable	True		
Durabilidad			
Agua fresca	Good		
Agua salada	Good		
Acido debil	Good		
Acido fuerte	Average		
Alcalino debil	Poor		
Alcalino fuerte	Very Poor		
Disolventes organicos	Good		
Resistencia a la radiación ultravioleta	Average		
Resistencia a la abrasion	Very Poor		
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good		
Durabilidad en una atmosfera rural	Good		
Durabilidad en una atmosfera marina	Good		

Fibras artificiales

- **Fibra de vidrio**

Descripción

El material

Las fibras de vidrio se fabrican a partir de la elaboración de vidrio fundido a través de una ruleta, dando fibras continuas de diámetro entre 10 y 100 micrones. Su perfección le da una resistencia excepcional en tensión, y sin embargo son flexibles y tienen una conducción del calor muy baja. Por lo tanto, se utiliza en una amplia gama de productos de aislamiento térmico de edificios. Pueden ser tejidas en una tela, y se imprimen o se coloran para dar un sustituto resistente al fuego para los muros o cubiertas (cuando el tejido es tratado con silicona se puede utilizar hasta 250 °C). Los hilos pueden estar cortados o continuos y se pueden utilizar para fabricar fibra de vidrio reforzada con polímeros, GFRPs. Hay varios grados de fibra de vidrio, que difieren en la composición y la fuerza. E-vidrio es el refuerzo estándar. C-vidrio tiene mejor resistencia a la corrosión que el E, R y S. Éstos tienen mejores propiedades mecánicas que E, pero son más caros. AR-vidrio resiste a los álcalis, lo que le permite ser utilizado para reforzar el cemento.

Composición

Na₂O-SiO₂

Ilustración Aislamiento de fibra de vidrio.



Propiedades Generales

Densidad	2.55e3	-	2.6e3	kg/m ³
Precio	1.28	-	2.56	EUR/kg

Forma de aplicación del material

Fibra

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	0.741	-	0.833	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	4.9	-	5.1	μstrain/°C
Calor específico	800	-	805	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	* 550	-	580	°C
Temperatura de maximo servicio	350	-	360	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	0			%
Permeabilidad al vapor de agua	5.84e-11	-	1.61e-10	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Good
Aislamiento acústico	Good

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 16.8	-	18.6	MJ/kg
Huella de CO2	* 0.907	-	1	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	False			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Very Good
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Very Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Espumas

- **Espuma fenólica a prueba de fuego**

Descripción

El material

Las espumas fenólicas son más caras que las de poliestireno, pero a diferencia de la mayoría de las espumas de polímero, son a prueba de fuego. Son ampliamente utilizadas para el aislamiento y como núcleos de paneles sandwich. Las espumas fenólicas están disponibles en diferentes densidades. Los datos siguientes son de una espuma de baja densidad.

Composición

Fenólica ((CH₂)-C₆H₆OH-CH₂)_n

Ilustración La espuma fenólica es un buen aislante térmico y es resistente al fuego.



Propiedades Generales

Densidad	35	-	70	kg/m ³
Precio	* 6.07	-	7.59	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades

Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	33.3	-	50	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	40	-	70	µstrain/°C
Calor específico	1.85e3	-	1.91e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	140	-	160	°C
Temperatura de maximo servicio	130	-	150	°C
Inflamabilidad	Self-extinguishing			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	6	-	7	%
Permeabilidad al vapor de agua	3.79e-11	-	3.8e-11	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Very Good
Aislamiento acústico	Very Poor

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	* 119	-	132	MJ/kg
Huella de CO ₂	* 5.22	-	5.77	kg/kg
Reciclabilidad	False			

Reutilización	True
Biodegradable	False
Combustión para la recuperación de energía	True
Vertedero	True
Recurso Renovable	False
Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)	
Conformabilidad	4 - 5
Maquinabilidad	4 - 5
Durabilidad	
Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Average
Alcalino debil	Poor
Alcalino fuerte	Very Poor
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Resistencia a la abrasion	Average
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

- **Espuma de poliestireno rígido**

Descripción

El material

Las espumas de poliestireno están elaboradas mediante la expansión controlada y la solidificación de un líquido o fundición a través de un agente espumante. Estos agentes pueden ser físicos, químicos o mecánicos. El material celular resultante tiene una menor densidad, rigidez y resistencia que el material original. Las espumas rígidas están hechas de poliestireno, fenólicos, polietileno, polipropileno o derivados de polimetilmetacrilato. Son ligeras y rígidas, y tienen propiedades mecánicas que la hacen atractiva para la gestión de la energía y envoltorios, y para estructuras ligeras. Las espumas de célula abierta se pueden utilizar como filtros y las espumas de célula cerradas como flotación. Las espumas auto-desolladas, llamada "estructural" o "sintáctica", tienen una superficie densa realizada por espumación en un molde frío. Las espumas rígidas de polímeros son ampliamente utilizadas como núcleos de paneles sándwich. Las propiedades dadas aquí corresponden a las de una espuma de célula cerrada.

Composición

Poliestireno (CH₂-CH-C₆H₅)_n

Ilustración La espuma de poliestireno es barata, un buen aislante térmico y excelente para el embalaje.



Propiedades Generales

Densidad	47	-	53	kg/m ³
Precio	* 1.82	-	2.13	EUR/kg

Forma de aplicación del material

En grandes cantidades
Lámina

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	25	-	30.3	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	60	-	80	μstrain/°C
Calor específico	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	82.1	-	92.1	°C
Temperatura de maximo servicio	* 82.1	-	87.1	°C
Inflamabilidad	Flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorción de agua	1	-	3	%
Permeabilidad al vapor de agua	1.46e-12	-	4.38e-12	kg/m.s.Pa
Resistencia a las heladas	Very Good			

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Very Good			
Aislamiento acústico	Very Poor			

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	105	-	116	MJ/kg
Huella de CO2	3.42	-	3.78	kg/kg
Reciclabilidad	True			
Reutilización	True			
Biodegradable	False			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	False			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Fundición	1	-	3
Conformabilidad	3	-	4
Maquinabilidad	3	-	4
Soldabilidad	1	-	2

Durabilidad

Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Average
Alcalino debil	Very Good
Alcalino fuerte	Good
Disolventes organicos	Poor
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Poor
Resistencia a la abrasion	Very Poor
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La gestión de energía de los materiales aislantes es muy importante y las envolventes requieren la capacidad de absorber la energía con un esfuerzo constante y controlado; por eso se utilizan las espumas de poliuretano, polipropileno y poliestireno. También tienen un buen comportamiento acústico, ya que tienen buena absorción de sonido y la vibración. El aislamiento térmico requiere una larga vida útil, las espumas de

poliuretano son comunes, pero se sustituyen ahora por los compuestos fenólicos y de poliestirenos. Cuando es necesaria la protección al fuego las espumas fenólicas son las más utilizadas.

Normalmente, las espumas son fabricadas en forma de inyección o vertiendo una mezcla de polímero y agente espumante en un molde donde el agente actúa como un gas, expandiendo la espuma. La mezcla puede ser granulada, y la parte del molde, llena de gránulos sólidos antes de la formación de espuma. Continuando su expansión en un molde frío da un aspecto de superficie sólida, creando una estructura de sándwich con atractivas propiedades mecánicas.

- **Vermiculita**

Descripción

El material

La vermiculita se compone de magnesio-aluminio-ironsilicate laminado e hidratado que se asemeja a la mica. Es más común en forma dilatada, realizada por calentamiento próximo a 1000 °C durante unos minutos para producir piezas en forma de gusano (las propiedades se describen a continuación). Normalmente está disponible en forma de gránulos con tamaños que van desde 16 mm ("Premium" de designación) hasta 0,5 mm ("Micron" designación) y las densidades en el rango de 60 a 160 kg/m³.

Composición

(Mg,Ca,K,Fe11)3 (Si,AL,Fe11)4O10(OH)2O4H2O

Ilustración Aislamiento de vermiculita



Propiedades Generales

Densidad	64	-	160	kg/m ³
Precio	* 1.46	-	1.76	EUR/kg

Forma de aplicación del material

Partícula

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	14.2	-	17.2	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	* 9	-	11	µstrain/°C
Calor específico	840	-	1.08e3	J/kg.K
Temperatura de fusion	1.2e3	-	1.32e3	°C
Temperatura de maximo servicio	1.15e3	-	1.25e3	°C
Inflamabilidad	Non-flammable			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	20	-	50	%
-------------------	----	---	----	---

Resistencia a las heladas	Very Good
Propiedades Acústicas	
Absorption de sonido	Good
Aislamiento acústico	Very Poor
Propiedades Ecológicas	
Energía embebida	* 30 - 35 MJ/kg
Huella de CO2	* 2 - 2.2 kg/kg
Reciclabilidad	False
Reutilización	True
Biodegradable	False
Combustión para la recuperación de energía	False
Vertedero	True
Recurso Renovable	False
Durabilidad	
Agua fresca	Very Good
Agua salada	Very Good
Acido debil	Very Good
Acido fuerte	Good
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Average
Disolventes organicos	Very Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Very Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Very Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Very Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La baja densidad aparente, la alta refractariedad, la baja conductividad térmica y la inercia química de la vermiculita la hacen atractiva para muchos tipos de aislamientos térmicos. Uno de sus usos comerciales más común es como agregado en el hormigón ligero en placas de yeso laminado por su aislamiento térmico-acústico y resistencia al fuego o para reducir el peso. El hormigón de vermiculita pesa menos de un cuarto que el hormigón convencional. Al ser un agregado granular, ampliado con numerosos vacíos de aire y cuando se mezcla con un aglutinante adecuado, da un material con buenas propiedades de absorción de sonido. Un ejemplo que se utiliza para la absorción de sonido es mezclar la vermiculita con tres partes de yeso.

Madera

- Corcho

Descripción

El material

El corcho es una espuma natural de células cerradas, y es resistente al agua y muy estable, sobreviviendo en el cuello de una botella de vino 50 años, o más, sin deteriorarse o contaminar el vino. El corcho es cosechado de la corteza del árbol alcornoque, ampliamente cultivado en España, Portugal, Argelia, Marruecos, Francia, Italia y Túnez. El árbol vive aproximadamente 150-250 años y la reserva total mundial cubre un total aproximado de 2,5 millones de hectáreas (50% de los cuales se pueden encontrar en Portugal). El corcho tiene una notable combinación de propiedades: es ligero pero resistente, aislante térmicamente y acústicamente, tiene un alto coeficiente de fricción, es resistente a los líquidos, es químicamente estable y resistente al fuego. La demanda de corcho excede las 500.000 toneladas por año (una tonelada de corcho tiene el mismo volumen de 56 toneladas de acero). El corcho, formado mediante la compresión del granulado de corcho bajo el calor, se utiliza para el aislamiento de paredes y techos. El corcho es también muy utilizado como material en suelos flexibles en muchos edificios antiguos y nuevos. Su uso como material renovable y la baja transmitancia hace que sea una buena opción como aislante.

Composición

40% Suberina / 27% Lignina / 12% Celulosa / 4% Friedelina / 17% Agua.

Ilustración El corcho es la corteza de la alcornoque, "Quercus Suber". La cultivación del material no es perjudicial para el árbol, ya que su corteza volverá a crecer dentro de 10 o 12 años. La corteza de un árbol de corcho se puede cosechar una docena de veces durante su vida útil. El corcho mostrado a continuación es un agregado de partículas de corcho.



Propiedades Generales

Densidad	120	-	240	kg/m ³
Precio	3.04	-	15.2	EUR/kg

Forma de aplicación del material

- En grandes cantidades
- Lámina
- Partícula

Propiedades Térmicas y de Combustión

Conductor térmico o aislante	Good insulator			
Resistividad térmica	20.8	-	28.6	m.K/W
Coefficiente de expansion térmica	130	-	230	μstrain/°C
Calor específico	1.9e3	-	2.1e3	J/kg.K
Temperatura de transición vítrea	76.9	-	102	°C
Temperatura de maximo servicio	117	-	137	°C
Inflamabilidad	Self-extinguishing			

Propiedades Hygro-Térmicas

Absorcion de agua	
Resistencia a las heladas	Good

Propiedades Acústicas

Absorption de sonido	Good
Aislamiento acústico	Very Poor

Propiedades Ecológicas

Energía embebida	28.5	-	31.5	MJ/kg
Huella de CO2	* 0.19	-	0.21	kg/kg
Reciclabilidad	False			
Reutilización	True			
Biodegradable	True			
Combustión para la recuperación de energía	True			
Vertedero	True			
Recurso Renovable	True			

Procesabilidad (Escala 1 = poco práctica a 5 = excelente)

Conformabilidad	3	-	4
Maquinabilidad	4		

Durabilidad

Agua fresca	Good
Agua salada	Good
Acido debil	Good
Acido fuerte	Poor
Alcalino debil	Good
Alcalino fuerte	Poor
Disolventes organicos	Good
Resistencia a la radiación ultravioleta	Very Good
Resistencia a la abrasion	Good
Durabilidad en una atmosfera industrial	Good
Durabilidad en una atmosfera rural	Good
Durabilidad en una atmosfera marina	Good

Informaciones de apoyo

Directrices de proyecto

La compresibilidad y la gran estabilidad del corcho, tanto en agua como en aceite, lo hacen atractivo para los tapones de botellas, para juntas y para el embalaje. Es fácil de cortar y su estructura celular fina le permite ser tallado en formas intrincadas. Su cualidades de aislamiento térmico y amortiguación de la vibración, junto con sus colores cálidos y texturas atractivas, dan al corcho y a los productos elaborados a partir de el (tablero de corcho, linóleo) una buena acogida en suelos, paredes y tejados. Por lo general, el corcho es un material muy duradero en los interiores arquitectónicos.

2.6 Selección de los Materiales de proyecto

Ahora se procede, a través de la utilización del software "CesSelector 2010", a la comparación de los materiales analizados e insertados en la base de datos. En particular, se van a comparar los materiales según las características nombradas anteriormente, seleccionando los que se utilizarán en la envolvente. Dicha comparación se realizará a través de gráficas, tablas o reflexiones. Obviamente no hay una regla única que determina los criterios de selección o cuáles son los mejores materiales para utilizar, lo cual afirma que existe gran variedad de soluciones que puede realizar el diseñador, en éste caso un cerramiento elaborado con materiales sostenibles. Es él, la persona principal en la definición de la composición de los edificios que proyecta, asumiendo la responsabilidad de la extracción, procesamiento y reciclaje de materiales, así como la fabricación y montaje de diversos componentes.

- **Materiales Aislantes**

Comparación de las características

Las principales características de un material aislante son: la resistencia térmica (opuesto a conductividad térmica) y la difusión térmica. Realizando una gráfica con la resistencia térmica en un eje y calor específico en el otro, los materiales con mejor función aislante serán los que tengan los valores más altos y aparezcan lo más arriba y derecha de la siguiente tabla (Fig. 2.3).

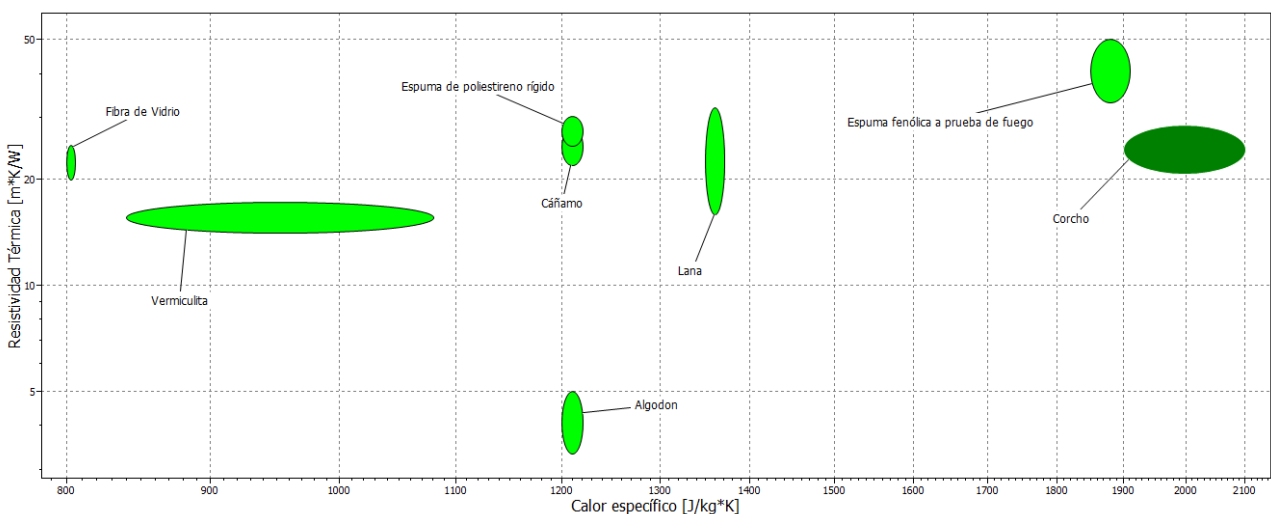


Figura 2.3 – Resistividad Térmica vs Calor Especifico

Relacionando el calor específico con el precio medio del material, medido en € / kg, se muestra la acumulación de calor por unidad de coste, resaltando la conveniencia de los materiales de menor coste que ahora resultan trasladarse a la derecha (como la vermiculita, lana, fibra de vidrio y cáñamo) y los de mayor costo que, por el contrario, se trasladan a la izquierda (corcho y espuma fenólica), produciendo los gráficos siguientes (Fig. 2.4 - 2.5).

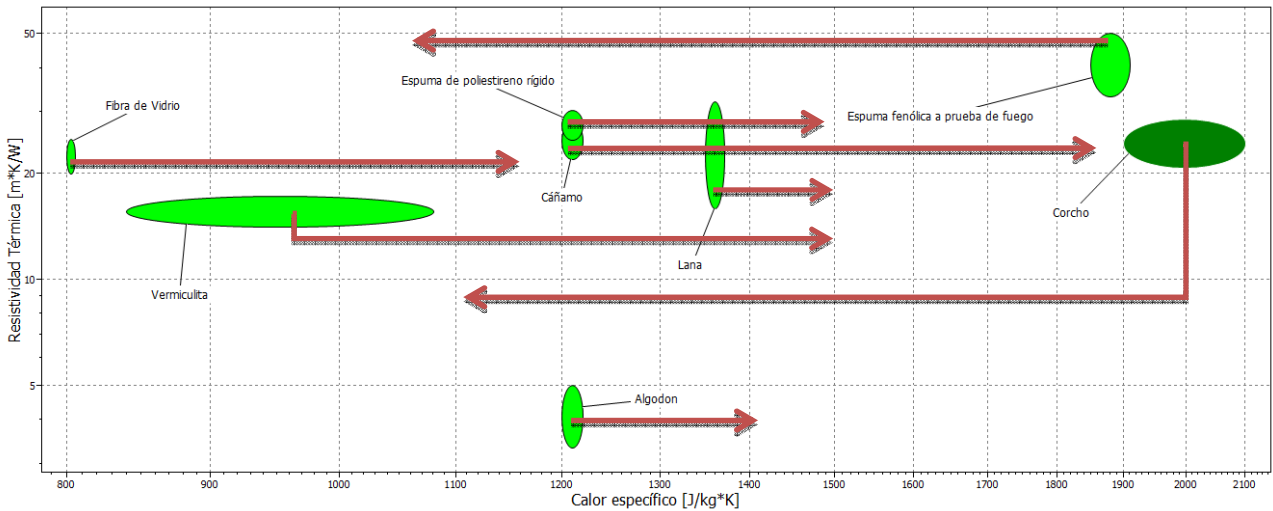


Figura 2.4 – Resistividad Térmica vs Calor Específico: Insertando el Precio

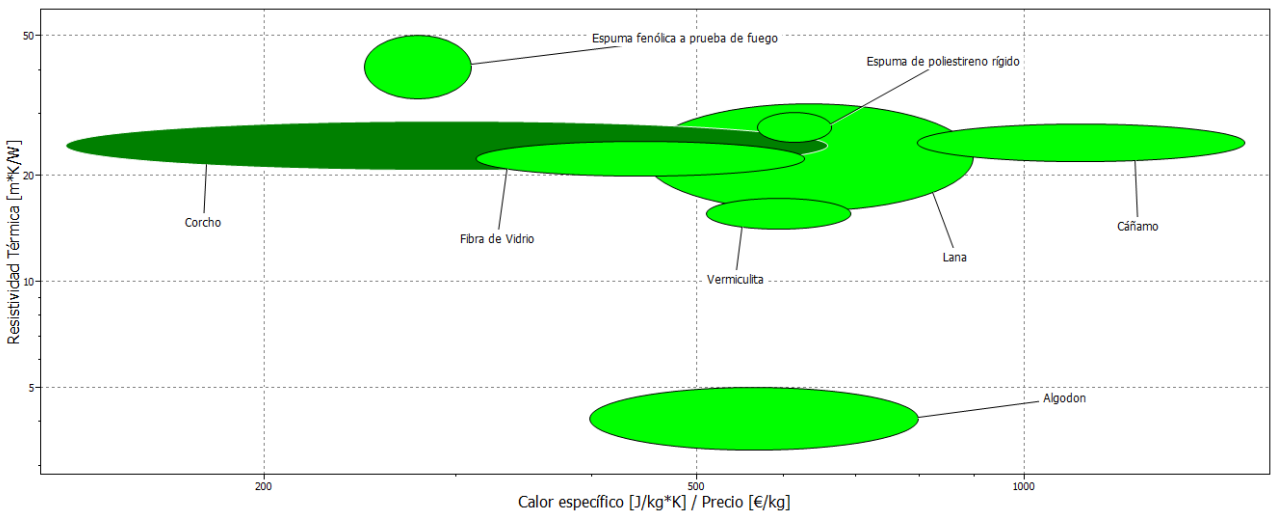


Figura 2.5 – Resistividad Térmica vs Calor Específico: Insertando el Precio

Otras propiedades intrínsecas estudiadas son los coeficiente de expansión térmica y la difusividad térmica. Esta vez los mejores materiales son los que tienen valores más bajos de estas propiedades, mostrándose en la parte inferior izquierda de la gráfica (Fig.2.6).

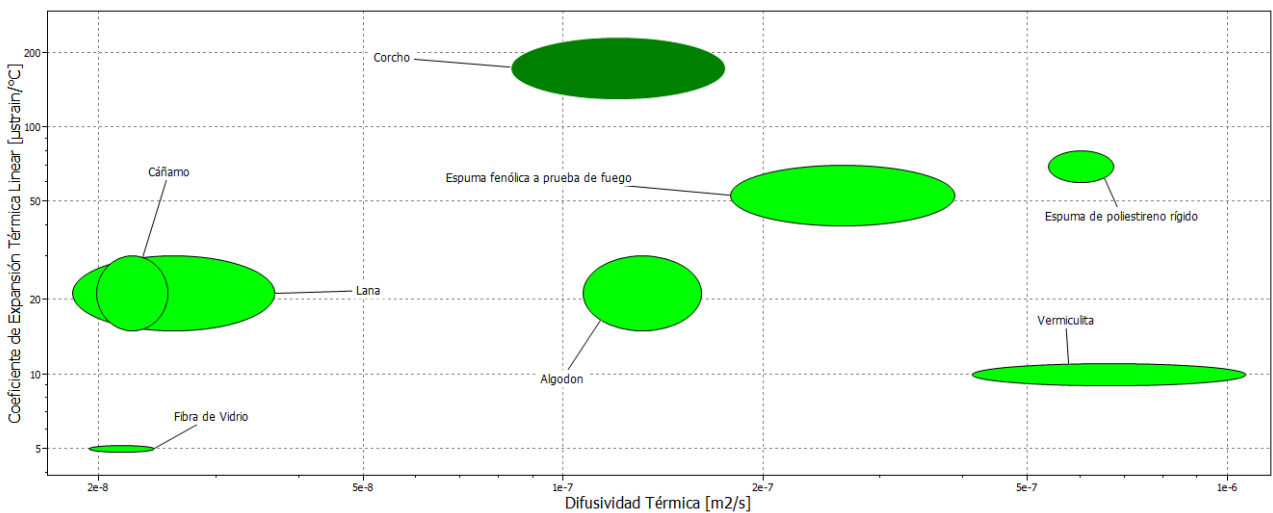


Figura 2.6 – Difusividad Térmica vs Coeficiente de Expansión Térmica Lineal

A continuación se procede con el análisis de las Propiedades Ecológicas, empezando con las dos de mayor peso: la huella de CO2 y la Energía Embebida. Estos valores tienen en cuenta los procesos de producción, transformación y transporte de los materiales considerados, por lo que, los materiales utilizados en su estado natural (lana, cáñamo, algodón, corcho...) tienen un valor menor, ya que requieren menos energía y menos coste para ser un material listo para su uso (Fig. 2.7)

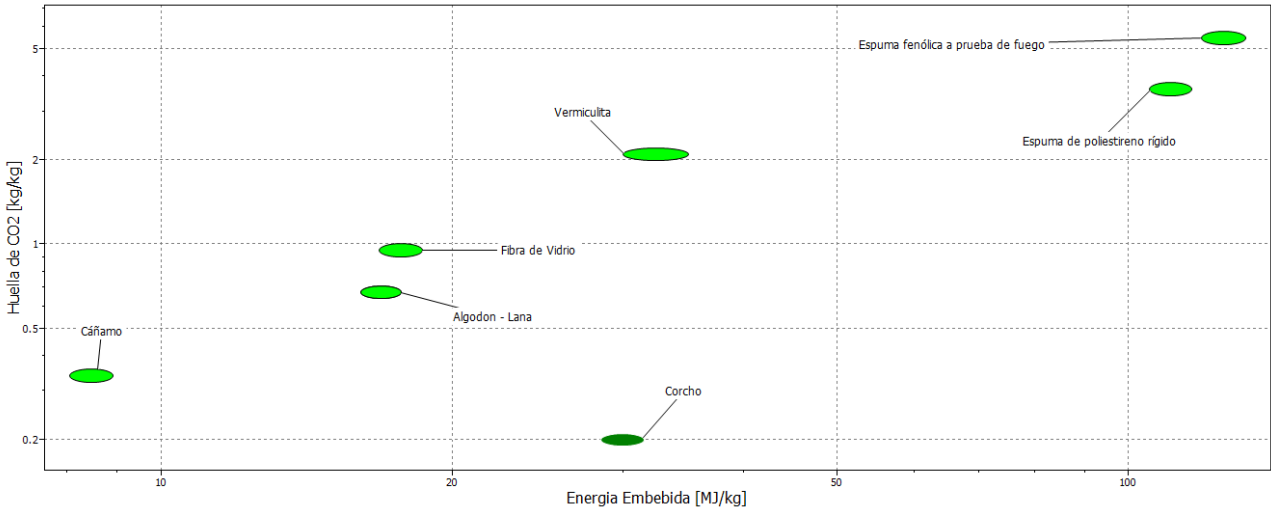


Figura 2.7 – Energía Embebida vs Huella de CO₂

Posteriormente se procede a comparar las propiedades de tipo lógico (proporcionan un valor sí / no, verdadero / falso), como el reciclaje o la reutilización (Tabla 2.3), o biodegradables, o si el material es o no un recurso renovable (Tabla 2.4).

Reciclaje

		Falso	Verdadero
Reutilización	Falso	/	/
	Verdadero	Espuma fenólica a prueba de fuego Vermiculita Algodón Cáñamo Lana Corcho	Fibra de Vidrio Espuma de poliestireno rígido

Tabla 2.3 – Reciclabilidad vs Reutilización

Biodegradable

		Falso	Verdadero
RecursoRenovable	Falso	Fibra de Vidrio Espuma fenólica a prueba de fuego Espuma de poliestireno rígido Vermiculita	/
	Verdadero	/	Algodón Cáñamo Lana Corcho

Tabla 2.4 – Biodegradable vs Recurso Renovable

También debe tenerse en cuenta el comportamiento acústico de los materiales (Tabla 2.5), o la absorción acústica y el aislamiento acústico, otras características clave en la separación del ambiente externo que un revestimiento debe asegurar. En el siguiente capítulo se analizarán de acuerdo con la normativa los aspectos relativos la transmisión del sonido y de cambio higro-térmico del cerramiento de proyecto. Por fin se compara la inflamabilidad, la cual implica un eventual tipo de tratamiento con retardantes de llama en la superficie del aislante antes de su aplicación, y la durabilidad en atmosfera marina, como la de Valencia, donde está situado el edificio proyecto (Tabla 2.6).

Absorción de Sonido

	Muy Pobre	Pobre	Media	Buena	Muy Buena
Aislamiento Acústico					
Muy Pobre	/	/	/	Vermiculita Corcho	Espuma fenólica a prueba de fuego Espuma de poliestireno rígido
Pobre	/	/	/	/	/
Media	/	/	/	/	Algodón Cáñamo Lana
Buena	/	/	/	Fibra de Vidrio	/
Muy Buena	/	/	/	/	/

Tabla 2.5 – Absorción d sonido vs Aislamiento acustico

Inflamabilidad

	Flamable	Auto-extinción	No Flamable
Durabilidad en una atmosfera marina			
Muy Pobre	/	/	/
Pobre	Algodón	/	/
Media	/	/	/
Buena	Espuma de poliestireno rígido Cáñamo Lana	Corcho Espuma fenólica a prueba de fuego	/
Muy Buena	/	/	Fibra de Vidrio Vermiculita

Tabla 2.6 – Inflamabilidad vs Durabilidad en una atmosfera marina

Selección del material aislante de proyecto: el Cáñamo

Como material aislante se ha elegido el cáñamo, una materia prima renovable y cuya utilización contribuye a la preservación del medio ambiente. Su crecimiento purifica el aire mediante la absorción de CO2, consecuentemente reduciendo el valor de la huella de CO2 reportado en los gráficos anteriores. El cáñamo tiene un crecimiento rápido y abundante (crece 4 metros en 120 días) y no necesita pesticidas y herbicidas, enriquece el suelo dejándolo libre de malezas debido a su rápido crecimiento y no da sombra al suelo durante un tiempo determinado para asegurar que las semillas puedan crecer. Es una planta cultivada desde la antigüedad y, hoy en día, la industria del cáñamo está avanzando produciendo todo tipo posible de productos: ropa, papel, combustible, alimentos, materiales de construcción, etc. Es un material con propiedades excelentes de aislamiento térmico y acústico, y es transpirable e higroscópico, lo que permite controlar la humedad y garantizar un clima interior saludable. La fibra se obtiene, una vez que la planta se ha dejado secar al sol en los campos, a través del secado en hornos

previa separación de la fibra interior de la corteza. Las fibras de cáñamo (85-90%) se combinan con fibras de poliéster 10-15%. Éste conjunto se coloca en hornos especiales, en donde el poliéster funde y se sueldan con la fibra de cáñamo, actuando como refuerzo y apoyo. Respecto al fuego, si no se someten a un tratamiento adicional, pertenece a una clase de reacción al fuego 2. Dado que el cáñamo no contiene proteínas no está infectado por parásitos. El material es reutilizable en los caso de reestructuración, y biodegradable (descomposición en el suelo o en los sitios de compostaje). El reciclaje para otros usos es problemático porque hay que tener en cuenta la presencia de fibra sintética. Es un producto verde que no supone ningún riesgo para la salud, durante la producción o durante la instalación, ya que no contiene sustancias tóxicas. Para finalizar con la descripción cabe decir que la instalación no requiere mano de obra cualificada y el proceso es limpio porque contiene muy poco polvo, por lo que no causa irritación de la piel o de vías respiratorias.

- **Revestimiento exterior**

Comparación de las características

Siguiendo el mismo proceso que se ha realizado con el aislamiento térmico, ahora se comparan los materiales de construcción más utilizados o menos en la realización de acabados exteriores, para no impedir, a priori, ninguna solución posible. Se han considerado los siguientes materiales: más utilizados tales como piedra, ladrillo o metales laminados más comunes, y los menos usuales como aleaciones de titanio ETFE, policarbonato.

Los aspectos más relevantes en este caso son los relacionados con la durabilidad del material, y por tanto con su comportamiento ante la acción de los agentes contaminantes atmosféricos y de las variaciones de temperatura cíclicas. Los valores de dichas propiedades son valores discretos (muy buena, buena, regular, pobre y muy pobres). Dichas características no se van a tener en cuenta ahora, sino en un segundo proceso de selección, dado el gran número de materiales y diferentes tipos de durabilidad.

Teniendo en cuenta que el uso del material será en fachada, los primeros puntos a considerar son la disponibilidad y facilidad de fabricación, criterios expresados a través la comparación de la huella de CO₂ y de la energía embebida (Fig. 2.8). En este sentido, observamos los altos valores de los metales no ferrosos (en rojo), en particular de las aleaciones, y, como es lógico, normalmente sólo se utilizan para proyectos singulares y de especial importancia (por ejemplo en el Museo Guggenheim de Bilbao, del arquitecto canadiense Frank O. Gehry). Por el contrario, están mejor situados en la gráfica, la parte inferior izquierda, materiales fácilmente disponibles y listos para su uso después de un proceso rápido de producción, tales como piedra, ladrillo o cemento (en verde claro). También es de subrayar el valor negativo de huella de CO₂ de la madera (en verde oscuro), debido a la absorción de dióxido de carbono durante el crecimiento del árbol. Obviamente, esto no indica la inadecuada utilización de materiales ubicados en zona desfavorable de la tabla, ya que los valores de CO₂ y energía están relacionados con cada kg de la materia en cuestión, y es evidente que 1 kg de diferentes materiales no tienen la misma resistencia a flexión, a tracción, a compresión, el mismo volumen (grosor), etc., es decir, aunque la piedra tenga mejor posición en la gráfica (menos huella de CO₂ y menos energía embebida) que un panel de titanio, se necesitarán muchos más kg para cubrir la envolvente.

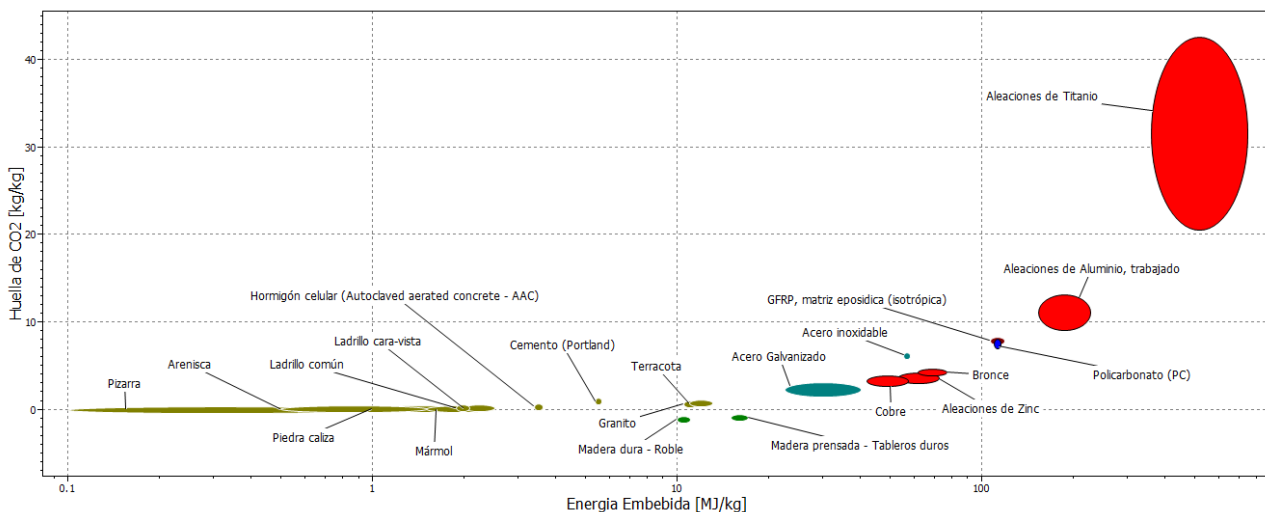


Figura 2.8 – Energía Embebida vs Huella de CO₂

Además, se tiene que tener en cuenta que estos valores se refieren a kg de material virgen, y que sería mucho menor cuando se refiere a kilogramos de material reciclado (hasta una décima parte en el caso del aluminio). Esto es esencial para la comparación entre otras propiedades ecológicas, tales como la posibilidad de reutilización o el reciclaje (cuadro 2.7). Cabe señalar que sólo un puñado de materiales puede ser sometido a procesos de reciclaje, incluyendo los metales no ferrosos y los materiales derivados de polímeros. En cuanto al hecho de ser o no un recurso renovable (cuadro 2.8), es fácil la intuición de que todos los materiales utilizados por el hombre en el edificio son limitados y se agotarán dentro de un período determinado de tiempo, a excepción de la madera y sus derivados, llegando a poder hacer una reflexión similar respecto a la biodegradabilidad.

Reciclaje

	Falso	Verdadero
Falso	/	/
Verdadero	Acero Galvanizado - Ladrillo común - Ladrillo cara-vista – Terracota – Hormigón celular (Autoclaved aerated concrete - AAC) - Cemento (Portland) – Granito - Piedra caliza - Mármol - Arenisca – Pizarra - Madera prensada_ Tableros duros - Madera dura_Roble - GFRP,matrizeposidica (isotrópica) –	Bronce - Cobre – ETFE – PC - Acero Inoxidable - Aleaciones de Titanio Aleaciones de Zinc Aleaciones de Aluminio

Tabla 2.7 – Reciclaje vs Reutilizacion

Biodegradable

	Falso	Verdadero
Falso	Acero Galvanizado - Ladrillo común - Ladrillo cara-vista – Terracota – Hormigón celular (Autoclaved aerated concrete - AAC) - Cemento (Portland) – Granito - Piedra caliza - Mármol - Arenisca – Pizarra - GFRP,matrizeposidica (isotrópica) - Bronce - Cobre – ETFE – PC - Acero Inoxidable - Aleaciones de Titanio - Aleaciones de Zinc - Aleaciones de Aluminio, trabajado	/
Verdadero	/	Madera prensada_ Tableros duros - Madera dura_Roble

Tabla 2.8 – Biodegradabilidad vs Recurso Rinovable

Al igual que se ha hecho con el aislamiento térmico, ahora se enfrentan las características acústicas de los materiales (Tabla 2.9), tema que se examinará más a fondo en capítulos posteriores, y su comportamiento en función de la temperatura, representada por el coeficiente de expansión térmica correlacionada lineal, en este caso la densidad de material (Fig. 2.9). Se concluye con una breve reflexión sobre los precios, poniendo en relieve la relación directamente proporcional entre el coste de los materiales y la energía necesaria en su proceso de producción (Fig. 2.10): los materiales más baratos son, evidentemente, el más utilizado (los materiales de concreto y cerámica en general) y viceversa (las aleaciones y ETFE).

Absorción de Sonido

	Muy Pobre	Pobre	Media	Buena	Muy Buena
Muy Pobre	/	/	/	/	Acero Inoxidable
Pobre	/	/	/	Aleaciones de Titanio Aleaciones de Aluminio Arenisca Cemento (Portland) GFRP Granito Ladrillo cara-vida Mármol Pizarra	Acero Galvanizado Aleaciones de Zinc Bronce Cobre
Media	/	/	Madera prensada Madera dura PC	ETFE Ladrillo común Piedra caliza Terracota	/
Buena	/	/	Hormigón celular	/	/
Muy Buena	/	/	/	/	/

Tabla 2.9 - Absortion de Sonido vs Aislamento Acustico

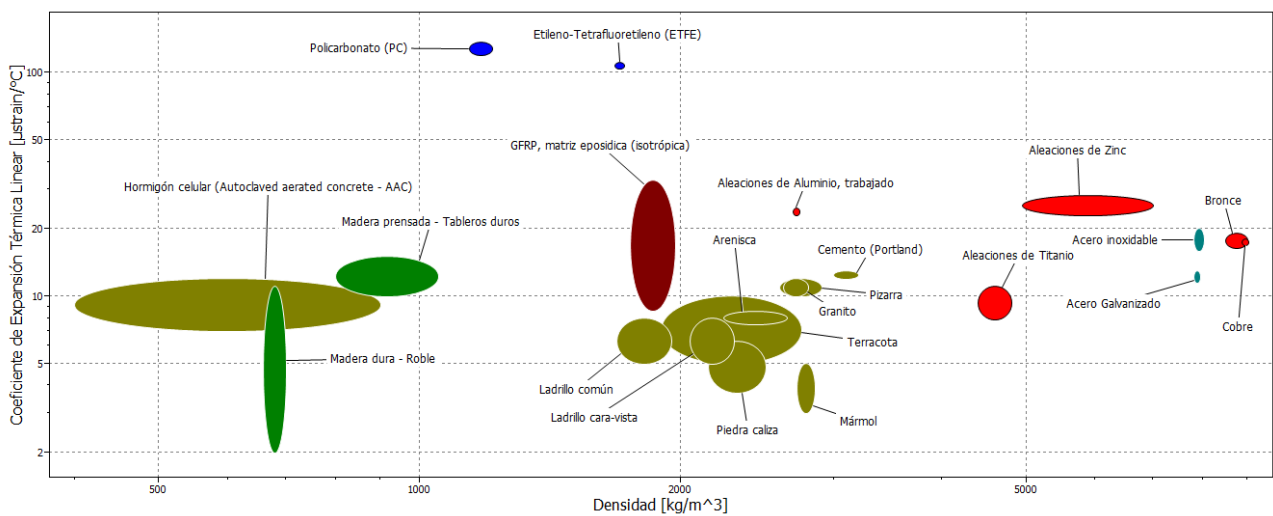


Figura 2.9 - Densidad vs Coeficiente de Expansion Termica Lineare

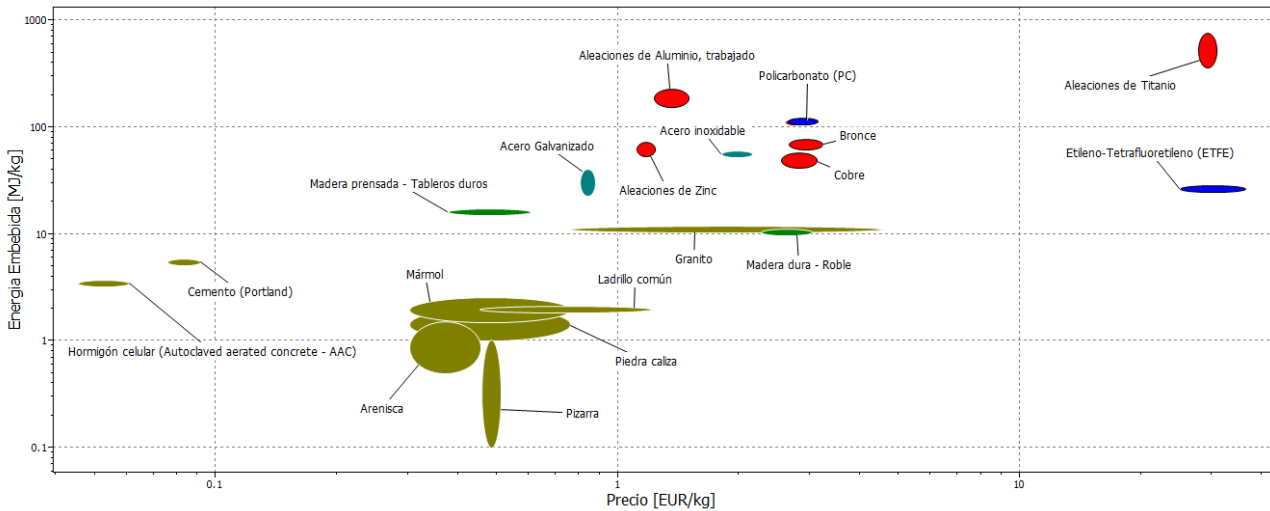


Figura 2.10 - Precio vs Energía Embebida

Selección del material exterior de proyecto: la Pizarra

El material que conformará la hoja exterior del revestimiento será la pizarra por varias razones. En primer lugar, la facilidad de encontrar este material en un contexto geográfico como España, cuyas canteras de pizarra ubicadas en la Región septentrional de Galicia la convierten en el mayor productor al mundo. Esto tiene implicaciones de importancia en la cantidad de CO₂ emitida en la atmósfera y de la demanda de energía en el proceso de fabricación de las losas, como es evidente en la Figura 2.8 demostrada anteriormente. Además, esto también tiene un impacto en la precio del producto terminado, mucho menor que en otros entornos económicos o en comparación con los materiales no cerámicos, por lo que es una solución muy atractiva desde el punto de vista económico. Por último, sus cualidades extraordinarias en cuanto a durabilidad lo convierten en el material ideal para un revestimiento exterior, requiriendo muy poco mantenimiento y asegurando una vida de hasta 200 años, mucho más alto que lo de los edificios que se van a recubrir. En un aspecto menos científico, pero no de importancia secundaria, se encuentra en el valor cultural que se da con la pizarra en la historia de la construcción española, con sus raíces a mediados del siglo XVI, sólo comparable con otro material cerámico muy extendido en la Península Ibérica como la piedra caliza.

Geología

La pizarra del Norte de España tiene sus propias características geológicas que son evidentes en la estética natural y la durabilidad. Su evolución geológica compleja ha contribuido a los recursos de pizarra de alta calidad que se encuentran en la región hoy en día. Estos depósitos de pizarra se formaron hace más de 500 millones de años. La pizarra se crea cuando el esquisto, que se compone de minerales de arcilla, se somete a alta presión con altas temperaturas. La arcilla comienza a volver a los minerales de mica, del cual es formado, provocando el endurecimiento de las rocas, con una dirección marcada de división, lo que permite que se rompa a lo largo de planos. El tipo de pizarra creada depende de una serie de factores, el más importante es el ambiente tectónico, y de la procedencia de los materiales sedimentarios, así como las condiciones físicas y químicas frecuentes durante el proceso de sedimentación. Una vez que los sedimentos se depositan, empiezan a compactarse y su porosidad decrece al igual que el agua es expulsada, convirtiendo los minerales de arcilla en la mica y formando fangolita sólida. Durante los siguientes millones de años, la fangolita se compacta más y se transforma. Esto crea una reordenación más fuerte y una orientación plana de los minerales, dando lugar a una división bien desarrollada vista en la pizarra gallega.

La Industria

Aproximadamente, España es responsable del 90% de la producción mundial de pizarra natural. La explotación de canteras y la producción de pizarra de buena calidad es una tradición larga y orgullosa de Galicia. Después de los estudios geológicos y análisis de muestras, la extracción se inicia solamente una vez que la pureza y la calidad de la pizarra han sido verificadas. En general, la pizarra es la superficie de cantera. En primer lugar la "sobrecarga" (material inservible) se retira. La pizarra es entonces aserrada a partir de la cara de la cantera en grandes bloques utilizando cables de acero reforzado con diamantes. Estos grandes bloques son luego transferidos al centro de producción en el que se ordenan y son aserrados lo largo de sus planos de exfoliación natural en bloques más pequeños. Estos bloques son de tamaño regular y son divididos en placas de pizarra individuales por los artesanos expertos en un tamaño determinado y calificado por la calidad y espesor. La pizarra acabada luego se somete a la inspección final y es meticulosamente empaquetada en cajas listas para su transporte. En este punto se puede incluir información adicional sobre el tipo y el origen del lote de la pizarra, junto con información sobre sus resultados de pruebas y otras características. Esto es muy útil cuando se ponga en venta y es requerido por los proyectos en curso.

Ecología y Durabilidad

La calidez y la belleza natural de la pizarra no provienen de un alto impacto en la ecología del planeta. La producción típica de la explotación de canteras de pizarra no implica ningún proceso químico. En general, sólo agua de origen local se utiliza para mantener fría la maquinaria de corte. Durante la excavación, la roca inutilizable es excavada y las autoridades regionales tienen normas estrictas acerca de cómo se trata este material. A menudo, los residuos de pizarra se devuelven a la cantera y el paisaje original es recreado con el paisajismo y el restablecimiento de los suelos, las hierbas y otra vegetación nativa. En términos de sostenibilidad, la pizarra gana sobre otros materiales para envoltentes. Investigaciones independientes han concluido recientemente que, en comparación con tejas de hormigón o arcilla, de cobre o de plomo, el procesamiento mínimo de pizarra le da la más baja energía embebida de todos los materiales para techos y cerramientos. Además, la misma investigación afirma que su larga esperanza de vida (más de 200 años), el bajo mantenimiento y su reciclabilidad dan mucha credibilidad a la pizarra en términos de impacto ambiental.

Durabilidad	Valor
Agua fresca	Muy Buena
Agua salada	Muy Buena
Acido débil	Muy Buena
Acido fuerte	Muy Buena
Alcalino débil	Muy Buena
Alcalino fuerte	Buena
Disolventes orgánicos	Muy Buena
Resistencia a la radiación ultravioleta	Muy Buena
Resistencia a la abrasión	Muy Buena
Durabilidad en una atmosfera industrial	Muy Buena
Durabilidad en una atmosfera rural	Muy Buena
Durabilidad en una atmosfera marina	Muy Buena

Tabla 2.10 – Durabilidad

Raíces históricas: una motivación cultural

Las canteras de pizarra más antiguas de España están en la localidad segoviana de Bernardos, comenzadas a explotarse hace 450 años por orden de Felipe II, que quería tapizar con lajas grises las cubiertas de edificios emblemáticos como el Monasterio de San Lorenzo de El Escorial y el Alcázar de Segovia. El mismo criterio se aplicó en los palacios de La Granja y Riofrio y en numerosas iglesias.

Felipe II apreciaba mucho este material, y afirmaba que los tejados cubiertos por pizarra eran buenos porque no pesan como el plomo, soportan la nieve, no son calurosos en verano y son lucidos, bellos y proporcionan severidad a los edificios. Era tan grande el aprecio por la pizarra que la convirtió en emblema de la arquitectura de la dinastía austriaca en España. En el año 1559, quiso que la casa de la Aceca y el palacio de Valsain, obra en la que puso gran entusiasmo, se cubriesen de pizarra. Pero el empizarrado no era de sencilla construcción, pues había que colocar un complicado armazón de madera, sobre la cual se fijaban unas laminas de plomo, y a estas se grapaban las pequeñas piezas cuadradas de pizarra. Además, en Castilla no había pizarreros hábiles, ni tampoco se explotaban minas de pizarra.

Por estas razones, estando el rey en Bruselas en febrero de 1559, escribió a su arquitecto Gaspar de Vega, ocupando entonces en la obra de Valsain, lo siguiente:

“Heme parecido que serà mejor hazer los tejados agros a la manera de los Estados, y cubrirlos de piazarra, que como habeis visto son muy lucidos...y asì, he mandado que se busquen ocho oficiales diestros, dos para sacar la pizarra y cuatro para cortarla y aderezarla y sentarla, y los otros dos para hacer los maderamientos y armarlos, y todos partiran a tiempo que sean ahi a la primavera. Entretanto, hareis corar y desvastar las maderas convenientes para los dichos teljados, y tenerlas a punto. Y que con diligencia se busque la pizarra mas cerca de la casa que se pudiere, porque en llegando los oficiales no pierdan tiempo. No se hallando mas cerca, en Santa Maria de Nieva la ha de haber, que pasando yo para alli, vi hacer cierta obra de ella en la iglesia.”

Alfonso de Ceballos-Escalera y Gila Marques de la Floresta - Cronista de Armas de Castilla y León Torreón de la Marquesa, Segovia 1995

2.7 Determinación del sistema constructivo: Fachada Ventilada

La fachada ventilada es una solución perfecta si se desea aislar el edificio desde el exterior sin tener que recurrir a técnicas de construcción muy complejas y costosas.

La superficie exterior de revestimiento, generalmente unida y sustentada por una subestructura de soporte, es la que realiza la función de protección del cerramiento y estética. Entre ésta capa y el resto, se encuentra la cámara de ventilación, con tamaño adecuado y alimentada por aberturas en contacto con el aire exterior. La capa de aislamiento se colocará en el interior de la cámara, es decir, entre ésta y el interior del edificio.

El vacío, creado en la cámara de aire, se basa en el efecto denominado chimenea, que permite la circulación del aire de abajo hacia arriba, debido a las diferencia de presión que existen entre el aire caliente y aire frío producidos en edificios de varias plantas. En estos casos, el aire caliente tiende a subir, al ser más ligero que el frío, y la diferencia de presión de aire aumenta según la altura del edificio y de la temperatura interior y exterior. Las puertas y ventanas afectan a que el efecto chimenea sea efectivo y a la pérdida de calor: es suficiente que una ventana no esté bien sellada (aunque sólo sea unos pocos puntos) para que el ambiente se llene de corrientes de aire procedentes del exterior.

Las paredes y los techos ventilados son una solución térmica muy eficiente, incrementando la eficacia con la colocación de una capa de aislamiento continua en toda la superficie. Otro punto importante, es evitar los puentes térmicos. El objetivo es mantener la estancia fresca en verano y cálida en invierno. Una vivienda bien aislada, tiende a ceder menos calor acumulado que una que no lo esté, con lo cual, se tiende a perder el mínimo calor en invierno, evitando la expansión a los puntos más fríos por el interior de la vivienda. Esto reduce el gasto de energía, ya que el consumo para calentar las habitaciones es menor, asegurando estancias más acogedoras.

En conclusión, utilizando éste sistema constructivo, se obtiene un edificio más eficiente energéticamente y más confortable, garantizando un éxito significativo en términos de reducción del consumo de combustible y del impacto ambiental que dicho consumo tiene sobre el medio ambiente.

Sin embargo, es sólo uno de los distintos métodos que se utilizan para hacer un aislamiento térmico más efectivo, aunque es uno de los que tienen más ventajas.

Ventajas de la fachada ventilada

Montaje en seco: Reducción del riesgo de grietas ya que los elementos se ensamblan sin el uso de adhesivos o morteros, se ven menos afectados por los efectos de expansión térmica ya que las hojas pueden expandirse. Este sistema de montaje también reduce al mínimo el consumo de agua, prescindiendo de este recurso en el montaje de sus componentes.

Facilidad de Instalación: Debido a que se monta en seco, no se deben respetar los tiempos de secado que imponen los adhesivos. Otra característica importante de las fachadas ventiladas es la capacidad de aplicar una capa de aislamiento desde el exterior. De esta manera se obtiene una gran facilidad y rapidez de ejecución de la obra, sin tocar las interior del edificio.

Facilidad de mantenimiento: Se tiene la opción de sustituir solo el elemento dañado sin ser influenciados por lo que lo rodea.

Protección del edificio: El revestimiento exterior, formando una capa superficial, protege el edificio de los agentes climatológicos.

Control de condensación: La presencia de una circulación de aire elimina el vapor de agua que se forma sobre la pared, evitando así la condensación que puede crear moho y afectar al funcionamiento térmico del edificio, así como reducir la calidad del aire interior.

Disminución de la pérdida de calor: Durante el invierno, ya que tiene la capa externa y elimina los puentes térmicos, se evita la pérdida de calor desde el interior hacia el exterior. Durante el verano, gracias al efecto chimenea, hay una reducción de la carga de calor obtenido impidiendo el sobrecalentamiento de la pared.

Reducción de ruido: El sistema de múltiples capas de la pared ventilada favorece la absorción y reflexión de las ondas acústicas.

Ligereza: La alta resistencia mecánica permite el uso de placas con espesores inferiores a los requeridos para otros materiales de igual tamaño. Esto permite reducir significativamente el peso que la envolvente transmite a la estructura del edificio.

Diversidad del tipo de material: La gran cantidad de materiales utilizados en la construcción de una fachada ventilada, da la oportunidad de integrarse de manera efectiva en entornos de vida diferentes, aprovechando varios tipos de material.

Mejora de ajuste estructural: Debido a que cada placa es independiente de los demás, el margen de asentamiento de la estructura puede ser más grande, proporcionando una mejor adherencia gracias a una mayor elasticidad conjunta.

Características de diseño e instalación de elementos de construcción

La cámara de aire debe estar comprendida entre 3 y 5 cm, y no tener obstrucciones o embotellamientos en el interior para que el efecto chimenea sea efectivo. Los elementos de anclaje pueden provocar

embotellamientos: para no perder el efecto deseado, se colocan rejillas de ventilación en la base y en el extremo superior del edificio.

El diferente tamaño de la superficie de la hoja determina costes finales variados, cuanto menor sea la placa, mayor será la cantidad de elementos necesarios para fijarlas, lo que resulta en aumento de los costos generales y de tiempo de instalación.

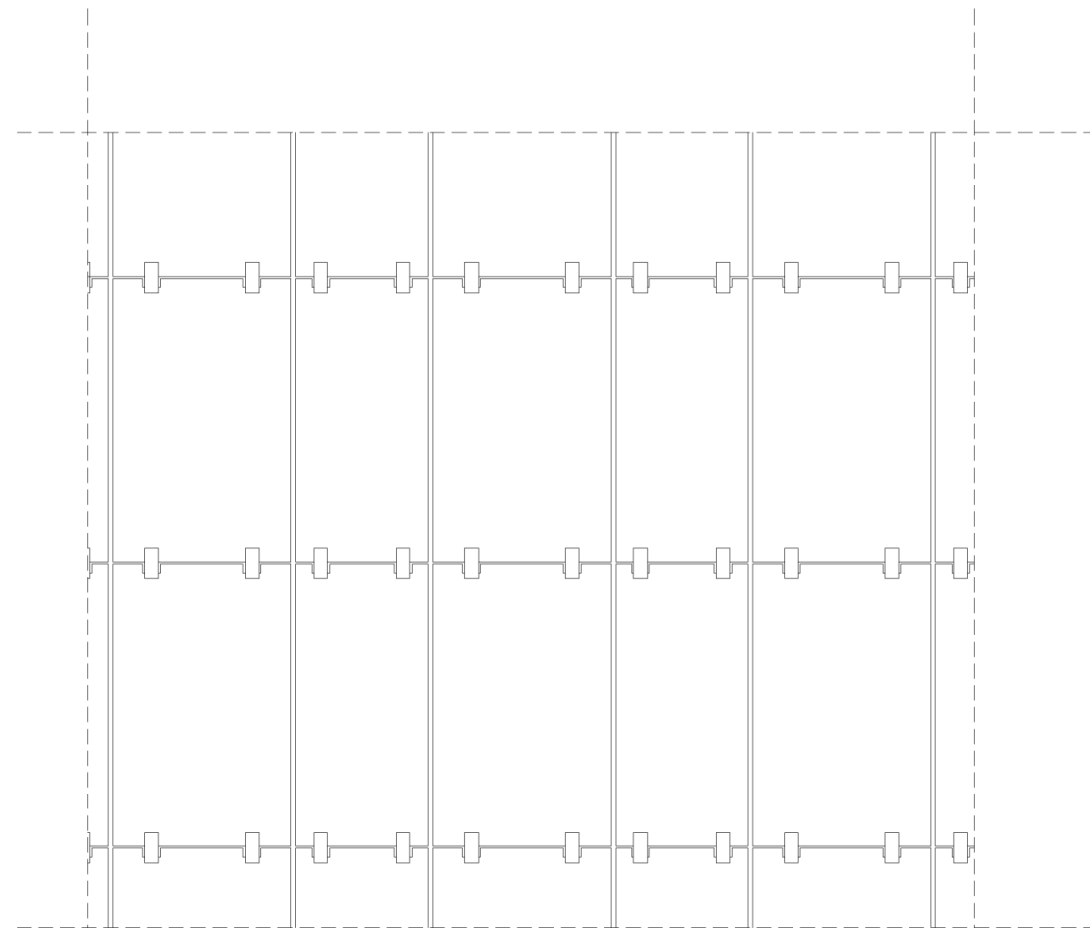
2.8 Fachada Ventilada del Proyecto

La fachada propuesta está compuesta por una estructura compuesta por montantes verticales de madera, que es la encargada de recibir las fuerzas y cargas.

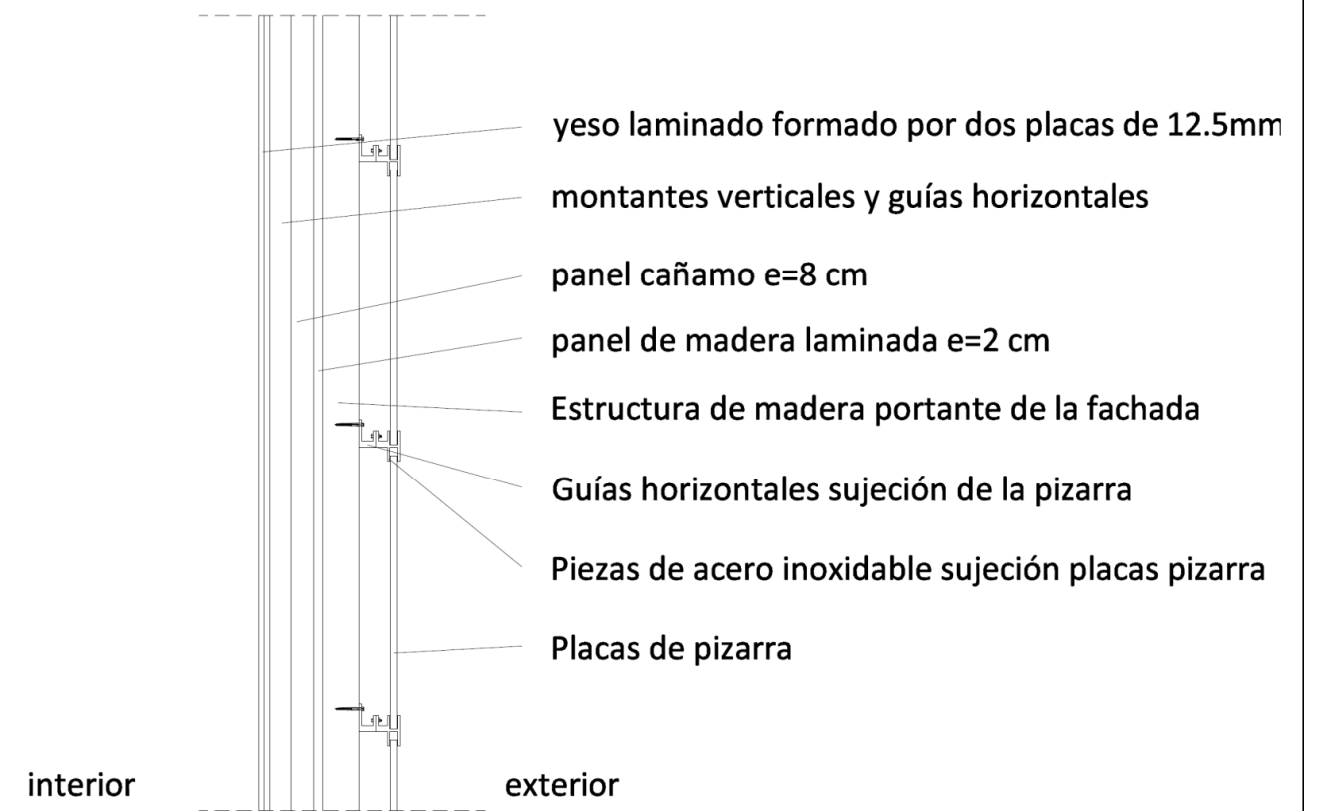
La parte exterior, y por tanto la parte vista, está compuesta por placas de pizarra, ancladas a los montantes de madera mediante un sistema de sujeción de acero inoxidable.

La superficie libre entre montantes, es ocupada por panales de madera laminada, quedando enrasadas las caras interiores de los mismos. Sobre dicha superficie, son colocados los paneles de fibra de cáñamo cubriendo toda la superficie, a excepción de huecos y mínimas e inapreciables superficies donde hay piezas de anclaje, diseñadas con el objetivo de evitar puentes térmicos.

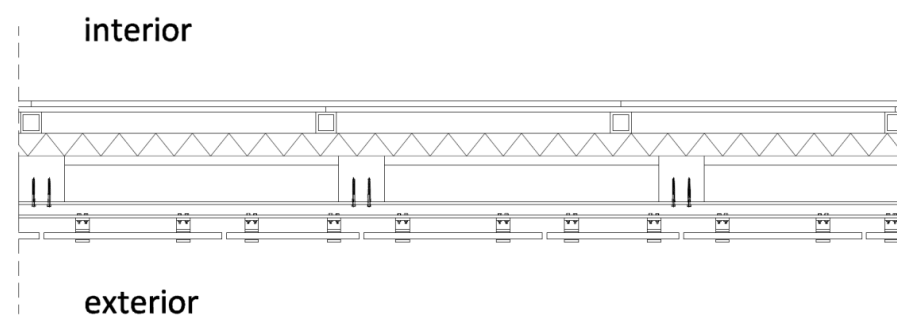
El interior del cerramiento es rematado con una subestructura de acero inoxidable que sirve de soporte para dos paneles de cartón-yeso, los cuales cubren toda la superficie vertical entre forjados a excepción de los huecos de ventana.



ALZADO



SECCIÓN VERTICAL



SECCIÓN HORIZONTAL

ESCALA 1:15

Capítulo 3

Evaluar los Esfuerzos y Determinar la Geometría

3.1 Cálculo transmitancia térmica

La transmitancia térmica se ha calculado según la metodología que describe el CTE, concretamente el apéndice E del “Documento Básico HE Ahorro de Energía”.

La transmitancia térmica U (W/m^2K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T} W/m^2K$$

Donde la resistencia térmica total R_T de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_N + \dots + R_{SI} + R_{SE}$$

con

$$R_{SI} = 0,04 m^2K/W \text{ (Resistencia térmica superficial al aire interior)}$$

$$R_{SE} = 0,13 m^2K/W \text{ (Resistencia térmica superficial al aire exterior)}$$

(R_{SI} y R_{SE} obtenidos de la tabla E.1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior).

Siendo R_n la resistencia térmica correspondiente de cada capa y definidas por la expresión:

$$R_n = \frac{e}{\lambda}$$

e = espesor de la capa (m)

λ = conductividad térmica (W/mK)

(Los valores de λ son obtenidos de la norma UNE EN ISO 10 456:2001).

Se considera que la cámara de aire es muy ventilada, ya que las aberturas de ventilación tienen una superficie mayor de $1500 mm^2$ por m de longitud horizontal. Por tanto, solo se tiene en cuenta para el cálculo de la transmitancia los componentes que estén comprendidos entre el interior del edificio y la cámara de aire situada entre las placas de pizarra y el cerramiento de madera laminada.

Según el CTE (Documento Básico HE Ahorro de Energía) se tiene que cumplir:

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_N + \dots + R_{SI} + R_{SE}} \leq 0,82 W/m^2K$$

Valor calculado anteriormente en el apartado 1.3 Normativa de Referencia: el CTE (Código Técnico del Edificación).

Cálculo de la transmitancia térmica solución del proyecto

Se procede ahora a calcular la resistencia de cada capa que forma el recubrimiento a fin de determinar el valor de transmitancia térmica total del proyecto de vivienda.

Yeso laminado (2 placas de 12,5 mm marca Knauf)

$$R = 0,03 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \text{ (Dato obtenido por el fabricante)}$$

Madera (tablero contrachapado)

$$e = 2 \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,24 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,02}{0,24} = 0,083 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Aislante de cáñamo

$$e = 8 \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,08}{0,04} = 2 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Cámara de aire sin ventilar

$$R = 0,18 \text{ m}^2\text{K/W} \text{ con una cámara de aire de 5 cm de espesor}$$

Dato obtenido de la tabla E.2 resistencias térmicas de las cámaras de aire.

Por tanto:

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,03 + 0,083 + 2 + 0,18 + 0,13} = 0,406 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La fachada objeto de estudio cumple la restricción de transmitancia térmica ya que es de $0,406 \text{ W/m}^2\text{K}$ y la norma la limitaba a $0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ como máximo. El resultado es un comportamiento de la pared dos veces más eficiente que el requerido en la normativa con un grosor de solamente 17,5 cm.

Cálculo de la transmitancia térmica solución actual

La solución actual se compone de una hoja principal de ladrillo hueco, doble capa de mortero de cemento (uno cada lato del ladrillo), aislante térmico de poliuretano proyectado y doble hoja de cartón-yeso en el interior.

Mortero de cemento

$$e = 2 \text{ cm}$$
$$\lambda = 1,3 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,02}{1,3} = 0,023 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Poliuretano proyectado

$$e = 4 \text{ cm}$$
$$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,04}{0,05} = 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Ladrillo hueco cerámico del 11,5

$$e = 11,5 \text{ cm}$$
$$\lambda = 0,375 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,0115}{0,375} = 0,307 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Guarnecido de yeso

$$e = 2 \text{ cm}$$
$$\lambda = 0,57 \text{ W/mK}$$

$$R = \frac{0,02}{0,57} = 0,03 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Cámara de aire sin ventilar:

$$R = 0,18 \text{ m}^2\text{W/W}$$

Por tanto:

$$U = \frac{1}{0,04 + 0,023 + 0,8 + 0,307 + 0,035 + 0,18 + 0,13} = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.2 Cálculo condensaciones

El cálculo de condensaciones se ha calculado con la metodología descrita en el CTE, concretamente el apéndice G del “Documento Básico HE Ahorro de Energía”.

Para el cálculo de las condensaciones es necesario saber los datos climáticos de la ubicación donde se encuentra el edificio objeto de estudio. Esto se encuentra en Valencia, capital de provincia, por lo que podemos usar directamente los valores de la tabla G.2 datos climáticos mensuales de capitales de provincia. Se escoge la temperatura de enero porque es la más desfavorable.

En Valencia:

Temperatura media: 10,4 °C

Humedad relativa media: 63%

Temperatura ambiente interior para el mes de enero: 20°C

La humedad relativa en el ambiente interior se calcula según lo descrito en el apartado G.1.2.2 concluyendo que según la falta de datos precisos de la humedad relativa interior y teniendo una higrometría 3 o inferior (higrometría calculada en el apartado 1.3 Normativa del proyecto), es del 55%.

Comprobación de las condensaciones superficiales

Metodología de comprobación de la condensación según el apartado G.2.1 del DB-HE.

Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior de un cerramiento F_{RSI} :

Calculado mediante la siguiente ecuación, donde U es la transmitancia térmica del cerramiento (anteriormente calculada):

$$F_{RSI} = 1 - U \cdot 0,25$$

$$F_{RSI} = 1 - 0,406 \cdot 0,25 = 0,8985$$

Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior mínimo F_{RSImin} :

Calculado a partir de la siguiente expresión:

$$F_{RSImin} = \frac{\theta_{si\ min} - \theta_e}{20 - \theta_e}$$

Siendo:

$\theta_e = 10,4$ °C Temperatura exterior de la localidad en enero y definida anteriormente.

$$\theta_{SImin} = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)} \text{Temperatura superficial interior mínima aceptable}$$

$$P_{\text{sat}} = \frac{P_i}{0,8} = \frac{\phi_1 \cdot 2337}{0,8} = \frac{0,63 \cdot 2337}{0,8} = 1840,3875$$

$$\theta_{\text{SImin}} = 6,77$$

$$F_{\text{rsi min}} = \frac{6,77 - 10,4}{20 - 10,4} = -0,378$$

Por tanto, no hay condensaciones superficiales, ya que el factor de temperatura de la superficie interior del cerramiento es mayor que el factor de temperatura de la superficie interior mínimo.

Comprobación de las condensaciones intersticiales

Con el objetivo de comprobar las condensaciones intersticiales, es necesario calcular la distribución de temperatura del cerramiento descrito en el apartado G.2.2.1 de DB-HE y que se muestra a continuación.

La distribución de temperaturas en un cerramiento formado por distintas capas depende de las temperaturas a ambos lados de la misma, así como las resistencias térmicas de cada capa y las resistencias térmicas superficiales (R_{SI} y R_{SE}).

Cálculo distribución de temperatura:

Datos necesarios para el cálculo de la temperatura en cada capa:

Resistencia térmica total (R_{T}) del elemento constructivo = 2,463 m²K/W es la suma de las resistencias térmicas (R_{n}) de cada capa calculadas en el cálculo de la transmitancia térmica.

Cálculo temperatura superficial exterior (θ_{SE}) mediante la siguiente expresión:

$$\theta_{\text{se}} = \theta_e + \frac{R_{\text{SE}}}{R_{\text{T}}} (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_e = 10,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura exterior de la localidad

$$\theta_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura interior definida anteriormente

$$R_{\text{T}} = 2,463 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistencia térmica total del elemento constructivo

$$R_{\text{SE}} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistencia térmica superficial correspondiente al aire exterior calculada anteriormente en el cálculo de la transmitancia térmica

$$\theta_{\text{se}} = 10,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El cálculo de la temperatura de cada una de las capas que componen el elemento constructivo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\theta_1 = \theta_{se} + \frac{R_1}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_2}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

...

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

Por tanto:

Capa madera laminada:

$$\theta_1 = 10,91 + \frac{0,083}{2,463} (20 - 10,4) = 11,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Capa aislante de cáñamo:

$$\theta_2 = 11,23 + \frac{2}{2,463} (20 - 10,4) = 19,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Capa cámara de aire:

$$\theta_3 = 11,03 + \frac{0,18}{2,463} (20 - 10,4) = 19,73 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Capa yeso laminado:

$$\theta_4 = 19,73 + \frac{0,03}{2,463} (20 - 10,4) = 19,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo de la temperatura superficial interior (θ_{si}) mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_{si} = \theta_3 + \frac{R_{si}}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

$R_{SI} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ Resistencia térmica superficial correspondiente al aire interior calculada anteriormente en el cálculo de la transmitancia térmica.

$$\theta_{si} = 19,84 + \frac{0,04}{2,463} (20 - 10,4) = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se considera que la distribución de temperatura de cada capa es lineal.

Cálculo de la distribución de presión de vapor de saturación:

Se determina la distribución de presión de vapor de saturación a lo largo de un cerramiento mediante la siguiente expresión y se calcula según lo descrito en el apartado G.3.1 de DB-HE:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$$

Presión de vapor de saturación con temperatura interior:

$$P_{sat}(\theta_i) = 2336,9$$

Presión de vapor de saturación con temperatura exterior:

$$P_{sat}(\theta_e) = 1303,9$$

Cálculo distribución presión de vapor

Se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$P_1 = P_e + \frac{Sd_1}{\sum Sd_n} (P_i - P_e)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{Sd_2}{\sum Sd_n} (P_i - P_e)$$

...

$$P_n = P_{n-1} + \frac{Sd_{(n-1)}}{\sum Sd_n} (P_i - P_e)$$

Donde Sd_n es el espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión del vapor de aire

$$Sd_n = e_n \cdot \mu_n$$

e_n = espesor de la capa n [m]

μ_n = factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de cada capa según (UNE EN ISO 10:456:1001)

$$\mu_1 \text{ madera laminada} = 110$$

$$\mu_2 \text{ aislante de cáñamo} = 1,5$$

$$\mu_3 \text{ cámara de aire vertical sin ventilar (e=5 cm)} = 1$$

$$\mu_4 \text{ yeso laminado} = 4$$

Por tanto

$$Sd_1 = 2,2$$

$$Sd_2 = 0,12$$

$$Sd_3 = 0,05$$

$$Sd_4 = 0,1$$

Calculo de P_i y P_e .

$$P_i = \phi_i \cdot P_{\text{sat}}(\theta_i)$$

$$\phi_i = \text{humedad relativa del ambiente interior } 0,55$$

$$P_e = \phi_e \cdot P_{\text{sat}}(\theta_e)$$

$$\phi_e = \text{humedad relativa del ambiente exterior } 0,63$$

$$P_i = 2336,9 \cdot 0,55 = 1285,3 \text{ Pa}$$

$$P_e = 1260,6 \cdot 0,63 = 821,4 \text{ Pa}$$

Cálculo de la presión de vapor de cada una de las capas que componen el elemento constructivo

Capa madera laminada:

$$P_1 = 821,4 + \frac{2,2}{2,49} (1285,3 - 821,4) = 1234,62 \text{ Pa}$$

Capa aislante de cáñamo:

$$P_2 = 1234,62 + \frac{0,12}{2,49} (1285,3 - 821,4) = 1257,15 \text{ Pa}$$

Capa cámara de aire sin ventilar:

$$P_3 = 1257,15 + \frac{0,05}{2,49} (1285,3 - 821,4) = 1266,54 \text{ Pa}$$

Capa yeso laminado:

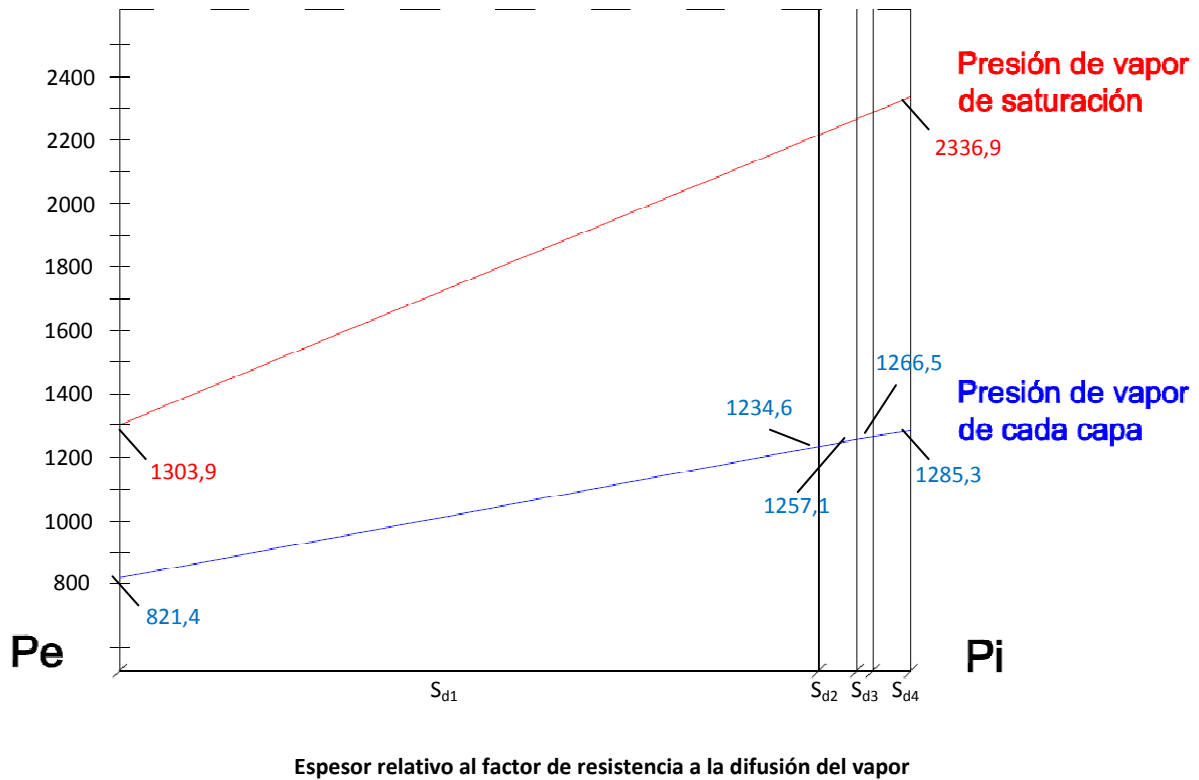
$$P_4 = 1266,54 + \frac{0,12}{2,49} (1285,3 - 821,4) = 1285,32 \text{ Pa}$$

La distribución de presiones de vapor de saturación a través del cerramiento se ha representado gráficamente mediante una línea recta que une la presión de vapor de saturación exterior y la interior.

La distribución de presiones de vapor real a través del cerramiento se ha representado gráficamente mediante el valor obtenido por capa anteriormente, dibujándolo sobre la sección del cerramiento utilizando los espesores de capa equivalentes a la difusión de vapor de agua, S_{dn} .

En conclusión, no se producirá condensación porque la presión de vapor a lo largo del cerramiento no alcanza los valores de presión de vapor de saturación, como se observa en la gráfica.

Presión de vapor (Pa)



A continuación se muestran los cálculos para las pruebas termo-higrométrica antes mencionados.

Calculo Trasmittancia Térmica de Proyecto

material	espesor [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Tabla de Madera laminada	0,02	0,24	0,083333333
Cáñamo	0,08	0,04	2
Camera de Aire	0,05		0,18
Yeso Laminado	0,025		0,03
Aire Interior			0,04
Aire Exterior			0,13
			2,463333333
espesor TOT [m]	0,175	U = 0,405953992	W/m²K

Cálculo Trasmittancia Térmica Existente

material	espesor [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Mortero de cemento	0,02	1,3	0,015384615
Poliuretano Proyectado	0,04	0,05	0,8
Ladrillo hueco cerámico	0,115	0,375	0,31
Aire	0,05		0,18
Yeso Laminado	0,025		0,03
Aire Interior			0,04
Aire Exterior			0,13
espesor TOT [m]	0,205	U = 0,675792757	W/m²K

Comprobación Condensación Superficiales

Temperatura Exterior (enero)	10,4 °C
Humedad Relativa Exterior	0,63
Temperatura ambiente interior (enero)	20 °C
Humedad Relativa Interior	0,55

F_{RSI} 0,898511502

$F_{rat\ min}$
 θ_{Siemin} -0,37779633

6,773155233

Psat 1840,3875

Pi 1472,31

ϕ_1 0,63

Comprobación Condensación Intersticiales

θ_{SE} 10,90663058

Material	θ_i
Tabla de Madera laminada	11,23139378
Cáñamo	19,02571042
Camera de aire	19,72719892
Yeso Laminado	19,84411367

θ_{SI} 20

Calculo de la Distribución de Presión de Vapor de Saturación

P sat ext 1303,891009
 P sat int 2336,951144

P ext 821,4513355
 P int 1285,323129

Material	espesor [m]	μ_n	Sd_n	P_n
Tabla de Madera laminada	0,02	110	2,2	1234,6165
Cáñamo	0,08	1,5	0,12	1257,1528
Camera de aire	0,05	1	0,05	1266,5429
Yeso Laminado	0,025	4	0,1	1285,3231
		Sdn TOT	2,47	

3.3 Dimensionado de la subestructura de madera

El cálculo de la subestructura que soportará el revestimiento de pizarra y el cerramiento constituido por placas de madera contrachapadas y aislamiento, se desarrolla de acuerdo a la normativa comenzando con la elección del tipo de madera. A partir de éste dato, se calcula la resistencia característica de la sección que soportara los esfuerzos de las piezas de proyecto, siendo más importante en términos de esfuerzo en éste caso, el momento de flexión causado por la acción del viento que la acción de peso de la estructura.

Asignación de clase resistente a partir de la Calidad de la especie arbórea

En la Tabla 3.1 -tabla C.1 del Anejo C “Asignación de clase resistente. Madera aserrada” - se establece para la madera aserrada, con carácter informativo y no exhaustivo, la asignación de clase resistente, en función de la calidad según la norma de clasificación, la especie arbórea y la procedencia considerada.

Norma	Especie (Procedencia)	Clase resistente									
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	D35	D40
UNE 56.544	Pino silvestre (España)	-	-	ME-2	MEG	-	ME-1	-	-	-	-
	Pino pinaster (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	
	Pino insignis (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	
	Pino laricio (España)	-	-	ME-2	MEG	-	-	ME-1	-	-	
NF B 52.001-4	Abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	
	Falso abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	
	Pino oregón (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	-	-	-	
	Pino pinaster (Francia)	-	-	ST-III	-	ST-II	-	-	-	-	
DIN 4074	Abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
	Falso abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
	Pino silvestre (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
INSTA 142	Abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
	Falso abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
	Pino silvestre (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
BS 4978	Abeto (Reino Unido)	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	
	Pino silvestre (Reino Unido).	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	
BS 5756	Iroko (África)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	
	Jarrah (Australia)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	
	Teca (África y Asia SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	

Tabla 3.1 Asignación de clase resistente para diferentes especies arbóreas y procedencias según normas de clasificación.

Para los montantes se elige una especie de origen español, el pino pinaster en particular, árbol conífero muy extendido en la Península Ibérica y que pertenece a una clase de resistencia C24, cuyas características principales son:

- Resistencia característica a flexión $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia característica a tracción paralela $f_{t,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia característica a compresión paralela $f_{c,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
- Densidad media $\rho_M = 420 \text{ kg/m}^3$

Otras propiedades se muestran en la tabla siguiente (Tab. 3.2).

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla 3.2 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Valor característico de la resistencia a flexión del material X_k

El valor característico de la resistencia a flexión del material X_k debe tener en cuenta los siguientes factores correctores:

Factor de altura k_h

Una vez definido en la normativa (capítulo 1.3) el factor de altura $K_h = (150 / h)^{0,2} \leq 1,3$, y suponiendo una sección de la pieza rectangular de base 40 mm y altura 80 mm, se obtiene:

$$k_h = 1,134 \leq 1,3$$

siendo h canto en flexión [mm]

Factor de carga compartida k_{sys}

$$k_{sys} = 1,1$$

Valor obtenido de la normativa

Por tanto, el valor de la resistencia característica a la flexión del material X_k es:

$$X_k = f_{m,k} * k_h * k_{sys} = 24 * 1,3 * 1,1 = 34,32 \text{ N/mm}^2$$

Valor de cálculo característico de la resistencia a flexión del material X_d

El valor de X_d para ser utilizado en el cálculo de resistencia a la flexión se define como:

$$X_d = k_{mod} * (X_k / \gamma_M)$$

donde:

$\gamma_M = 1,3$ coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material

$k_{mod} = 0,9$ factor de modificación relativo a

Clases de servicio 2: estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior

Clases de duración Corta: la acción que solicita al elemento considerado es la del Viento

Por tanto:

$$X_d = k_{mod} * (X_k / \gamma_M) = 0,9 * (34,32 / 1,3) = 20,72 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo de la acción del viento

La acción de viento, en general es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

siendo:

$q_b = 0,5 \text{ kN/m}^2$ presión dinámica del viento de forma simplificada

$c_e = 2,0$ coeficiente de exposición de edificios urbanos de hasta 8 plantas

$c_p = 0,8$ coeficiente eólico o de presión

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Tensión de cálculo a flexión

La tensión de cálculo a flexión de proyecto $\sigma_{m,d}$ equivale al momento máximo vertical que actúa en la madera debido al viento M_d dividido por el módulo de flexión de la sección de W_z :

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_z$$

Donde, se puede representar el montante como una viga doblemente apoyada sometida a una carga uniformemente repartida y perpendicular a la sección. El valor máximo del momento viene dado por la relación:

$$M_d = q * l^2 / 8 = 0,8 * 2,95^2 / 8 = 0,87 \text{ kN*m}$$

siendo

$q = q_e = 0,8 \text{ kN/m}$ carga uniformemente distribuida relativa al viento y perpendicular a la sección

$l = 2,95 \text{ m}$ longitud del vertical de madera

$$W_z = (b \cdot h^2) / 6 = (0,4 \cdot 0,6^2) / 6 = 4,26667E-05 \text{ m}^3$$

Por tanto

$$\sigma_{m,d} = M_d / W_z = 0,87 / 4,26667E-05 = 20396,48 \text{ kN/m}^2 = 20,4 \text{ N/mm}^2$$

La siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

con $f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión, por tanto se cumple, siendo $20,4 \text{ N/mm}^2 < 20,72 \text{ N/mm}^2$.

Capítulo 4

Ponderar Soluciones: Comparación con la Solución Actual

4.1 Definición de los objetivos y recopilación de los datos

La comparación, del revestimiento de proyecto con la solución actual aplicada, se basa en cinco aspectos que se consideran fundamentales en la selección de los materiales que componen un cerramiento exterior y que han guiado la fase de selección de los mismos.

Estos aspectos, medidos por cada metro cuadrado de revestimiento, son:

- Peso
- Precio
- Huella de CO₂
- Energía Embebida
- Comportamiento térmico del cerramiento

La recogida de los datos para cada material se llevó a cabo a partir de fuentes primarias –los datos de Memoria de proyecto de ejecución, los productores y las empresas vendedoras de los productos específicos - en cuanto a las características técnicas del material, o el peso, precio, y comportamiento térmico. Sin embargo, en cuanto a los aspectos ecológicos tales como la energía embebida y la huella de CO₂ de que se refiere a un contexto europeo, se hizo uso de fuentes secundarias tales como textos, páginas web, bases de datos e investigaciones públicas. En particular, da un estudio realizado por el profesor Geoff Hammond y Craig Jones, perteneciente a la "Equipo de Investigación de Energía Sostenible (SERT), Departamento del Ingeniería Mecánica de la Universidad de Bath, Reino Unido, titulado "Inventario del Carbono y Energía (ICE)" y que es accesible de forma gratuita a través de internet, directamente desde la Universidad de Bath.

Solución Actual

La solución actual se compone de una hoja principal de ladrillo hueco, doble capa de mortero de cemento hidrófugo (una a cada lado del ladrillo), aislante térmico de poliuretano proyectado y doble hoja de cartón-yeso en el interior con una estructura de acero galvanizado como soporte. El revestimiento externo está formado por paneles de material compuesto en resina termoendurecible homogéneamente reforzadas con fibra de madera (del tipo Trespa Meteon), con una subestructura de soporte en perfiles de aluminio.

La siguiente tabla muestra los valores considerados para cada material (Tab. 4.1):

Material	Sistema Constructivo	Densidad[kg/m ³]	Precio [€/m ²]	Huella de CO ₂ [kg/kg]	Energía Embebida [MJ/kg]
Material compuesto (resina termoendurecible con fibra de madera)	Hoja Exterior (Placa Trespa Meton)	1400 ⁽¹⁾	96,23 ⁽¹⁾	7,5 ⁽¹⁾	58,48 ⁽¹⁾
Aluminio Estruso	Subestructura	2700		9,08	154
Mortero	Capa idrofuga	1360	6,4 (1 cm)	0,1785	1,09
Ladrillo+Mortero	Hoja de soporte principal	1600	21,94	0,24	3
Poliuretano Proyectado	Aislamiento termico	37,5	10	4,84	102,1
Acero Galvanizado	Subestructura	7850	2,9 ⁽¹⁾	1,54	22,6
Carton Yeso	Hoja Interior	800	4,42 ⁽¹⁾	0,39	6,75

Tabla 4.1 Solución Actual -Valores característicos de cada material

Capítulo 4 - Ponderar Soluciones: Comparación con la Solución Actual

Valores reales por cada metro cuadrado de cerramiento (Tab. 4.2):

Material	Sistema Constructivo	Espesor [m]	Peso [kg/m ²]	Precio [€/m ²]	Huella de CO ₂ efectiva [kg/m ²]	Energía Embebida efectiva [MJ/m ²]
Material compuesto (resina termoendurecible con fibra de madera)	Hoja Exterior (Placa Trespa Meton)	0,008	11,2 ⁽¹⁾	96,23 ⁽¹⁾	84	654,976
Aluminio Estruso	Subestructura	/	4 ⁽¹⁾		36,32	616
Mortero	Capa idrofuga	0,03	40,8 ⁽²⁾	19,2	7,2828	44,472
Ladrillo+Mortero	Hoja de soporte principal	0,115	183,6 ⁽²⁾	21,94	44,064	550,8
Poliuretano Projectado	Aislamiento termico	0,04	1,5 ⁽²⁾	10	7,26	153,15
Acero Galvanizado	Subestructura	/	4 ⁽¹⁾	2,9 ⁽¹⁾	6,16	90,4
Carton Yeso	Hoja Interior	0,025	20 ⁽¹⁾	4,42 ⁽¹⁾	7,8	135
Total			265,1	154,69	192,8868	2244,798

Tablero 4.2 Solucion Actual -Valores característicos de cada capa y totales

Además, como se ha expuesto en el capítulo 3, los valores de transmitancia térmica son: (Tab. 4.3)

Material	Espesor [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Mortero de cemento	0,03	1,3	0,023076923
Poliuretano Projectado	0,04	0,05	0,8
Ladrillo hueco ceramico	0,115	0,375	0,306666667
Aire	0,05		0,18
Yeso Laminado	0,025		0,03 ⁽¹⁾
Aire Interior			0,04
Aire Exterior			0,13
Total	0,26	U = 1/R [W/m²K]	0,675792757

Tablero 4.3 Solucion Actual -Valores Conductividad Térmica

(1) Datos proporcionados por el fabricante

(2) Datos proporcionados por la Memoria Básica de Ejecución de Obra

Por lo tanto, resumiendo, los valores considerados de la solución actual son:

- **Peso: 265,1 kg/m²**
- **Precio: 154,69 €/m²**
- **Huella de CO₂: 192,89 kg/m²**
- **Energía Embebida: 2244,8 kg/m²**
- **Conductividad Térmica: 0,66 W m²/K**

Solución de Proyecto

Como se ha nombrado anteriormente, la fachada propuesta está compuesta por una estructura de montantes verticales de madera actuando como soporte, y por la parte exterior por una cubrición con placas de pizarra, ancladas a los montantes de madera mediante un sistema de sujeción de acero inoxidable. La superficie libre entre montantes, es ocupada por paneles de madera laminada, quedando enrasadas las caras interiores de los mismos, y, sobre dicha superficie, son colocados los paneles de fibra de cáñamo. El interior del cerramiento es rematado con una subestructura de acero galvanizado que sirve de soporte para dos paneles de cartón-yeso, los cuales cubren toda la superficie vertical entre forjados a excepción de los huecos de ventana.

Como se ha hecho con el revestimiento actual, a continuación se muestran los valores característicos de la propuesta de fachada por metro cuadrado de cerramiento y la transmitancia térmica de cada capa (Tab. 4.4 – 4.5 – 4.6):

Capítulo 4 - Ponderar Soluciones: Comparación con la Solución Actual

Material	Sistema Constructivo	Densidad[kg/m ³]	Precio [€/m ²]	Huella de CO ₂ [kg/kg]	Energía Embebida [MJ/kg]
Pizarra	Hoja Exterior	2800	30 ⁽¹⁾	0,035	0,55
Acero Inox	Subestructura	7900		6,15	56,7
Madera Laminada	Hoja de soporte principal	750	862,5	-0,9	12
Madera Maciza	Subestructura Principal	420	470,4	-1,105	3,6
Canamo	Aislamiento Termico	40	11,72 ⁽¹⁾	0,339	8,5
Acero Galvanizado	Subestructura	7850	2,9 ⁽¹⁾	1,54	22,6
Carton Yeso	Hoja Interior	800	4,42 ⁽¹⁾	0,39	6,75

Tablero 4.4 Solucion de Proyecto -Valores característicos de cada material

Material	Sistema Constructivo	Espesor [m]	Peso [kg/m ²]	Precio [€/m ²]	Huella de CO ₂ efectiva [kg/m ²]	Energía Embebida efectiva [MJ/m ²]
Pizarra	Hoja Exterior	0,01	28	30	0,98	15,4
Acero Inox	Subestructura	/	12		73,8	680,4
Madera Laminada	Hoja de soporte principal	0,02	15	17,25	-13,5	180
Madera Maciza	Subestructura Principal	/	1,344	1,50528	-1,48512	4,8384
Canamo	Aislamiento Termico	0,08	3,2	11,72	1,0848	27,2
Acero Galvanizado	Subestructura	/	4	2,9	6,16	90,4
Carton Yeso	Hoja Interior	0,025	20	4,42	7,8	135
Total			83,544	91,79528	74,83968	1133,2384

Tablero 4.5 Solucion de Proyecto -Valores característicos de cada capa y totales

Material	Espesor [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Tabla de Madera laminada	0,02	0,24	0,083333333
Canamo	0,08	0,04	2
Camera de Aire	0,05		0,18
Yeso Laminado	0,025		0,03 ⁽¹⁾
Aire Interior			0,04
Aire Exterior			0,13
			2,433333333
Total	0,175	U = 1/R [W/m²K]	0,410958904

Tablero 4.6 Solucion de Proyecto -Valores Conductividad Térmica

(3) Datos proporcionados por el fabricante

(4) Datos proporcionados por la Memoria Básica de Ejecución de Obra

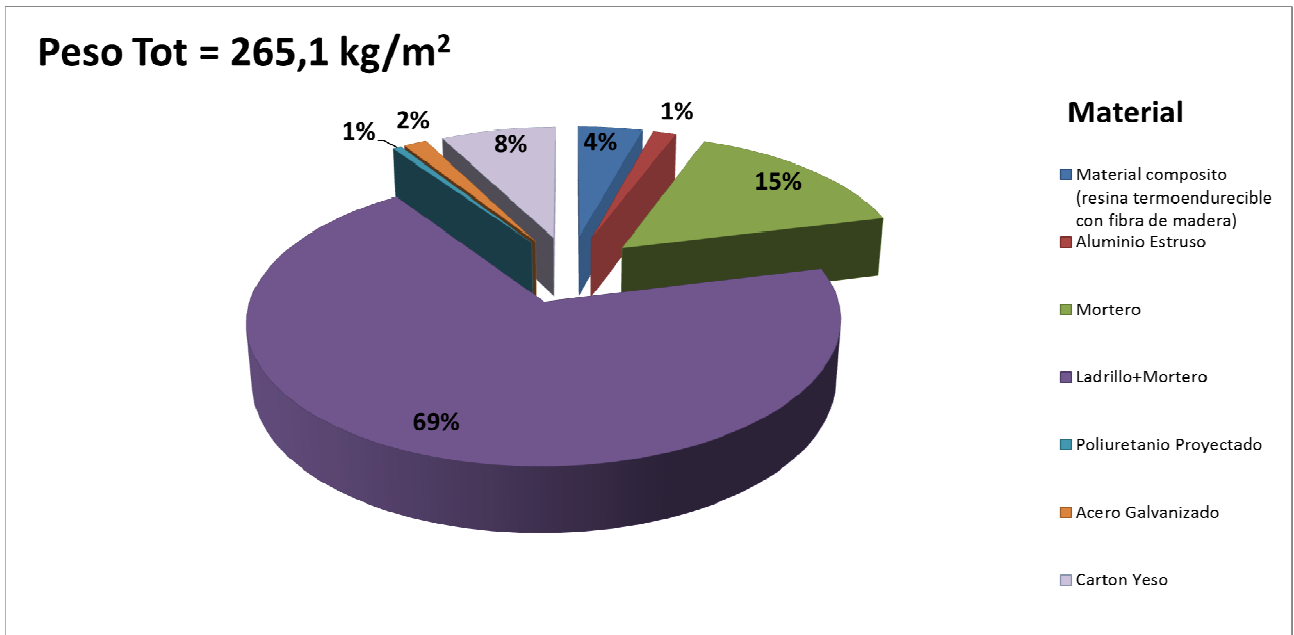
Por lo tanto, resumiendo, los valores considerados de la solución de proyecto son:

- **Peso: 83,54 kg/m²**
- **Precio: 91,79 €/m²**
- **Huella de CO₂: 74,84 kg/m²**
- **Energía Embebida: 1133,2 kg/m²**
- **Conductividad Térmica: 0,41 W m²/K**

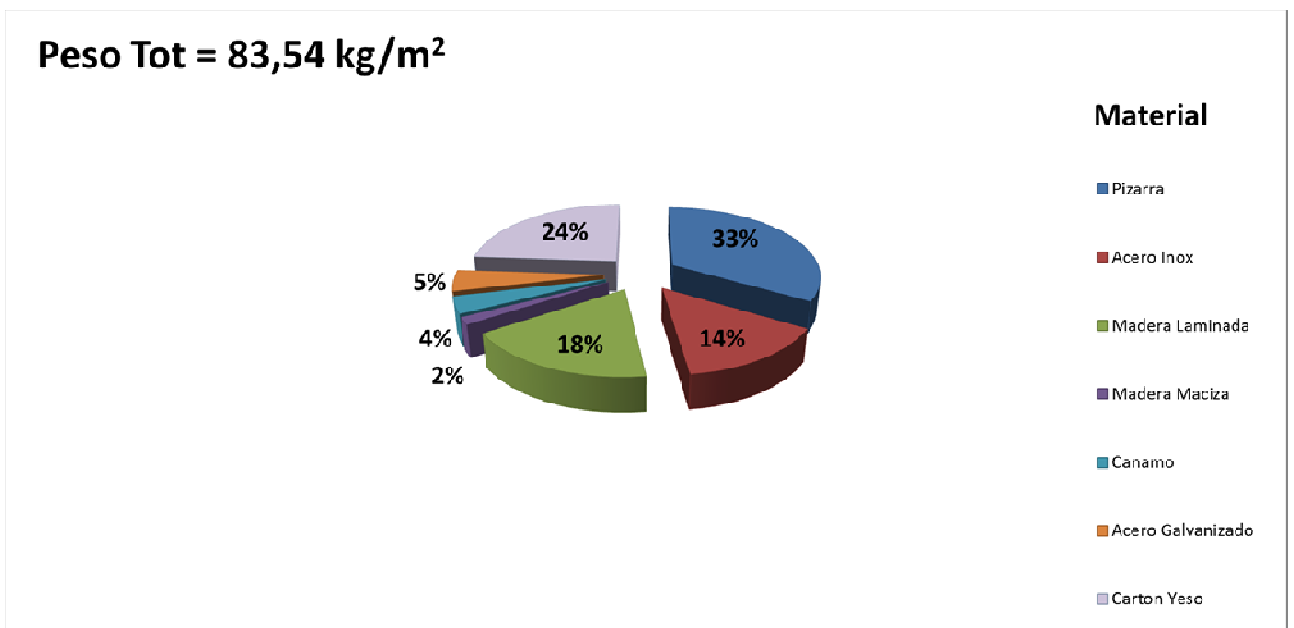
En las páginas siguientes se muestran los gráficos de comparación de dichas propiedades. De cada gráfica se puede deducir el efecto de cualquier material en particular, así como el porcentaje del total, y la comparación de las gráficas de las dos soluciones diferentes, pudiendo observar la que tiene el valor más alto o más bajo, y aproximadamente de cuánto. Al final se muestra un resumen gráfico de las cinco propiedades analizadas donde se aprecia mejor la comparación entre el proyecto y la solución real.

4.2 Comparación del Peso

Solución Actual



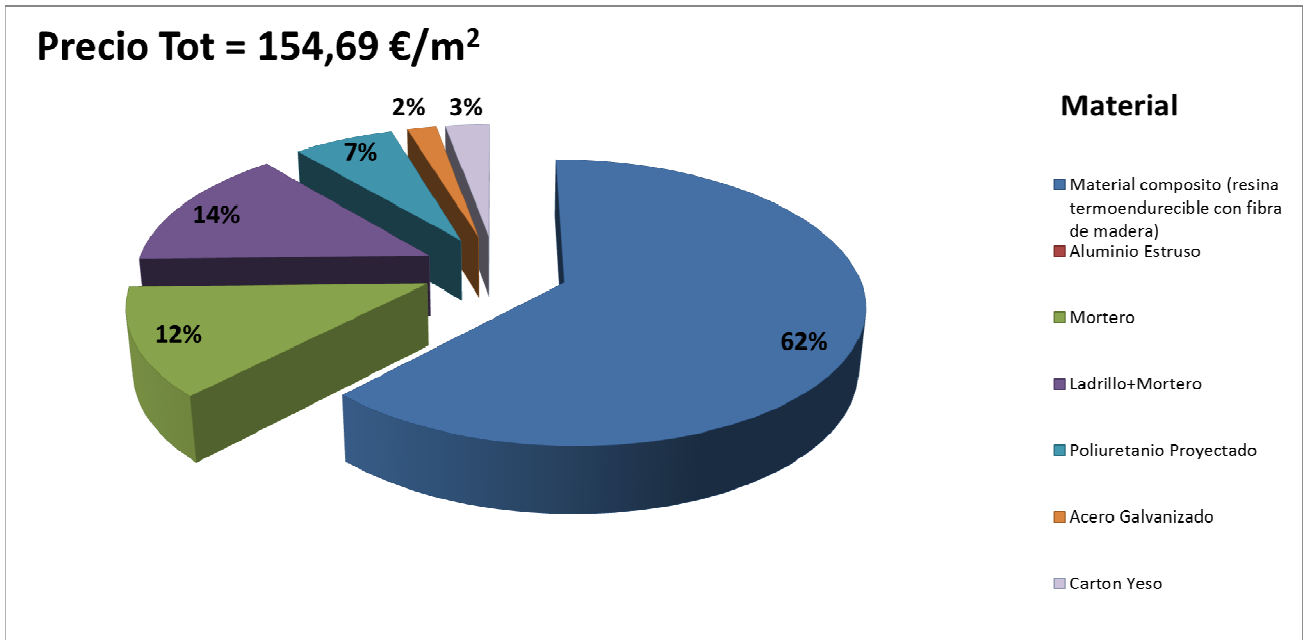
Solución de Proyecto



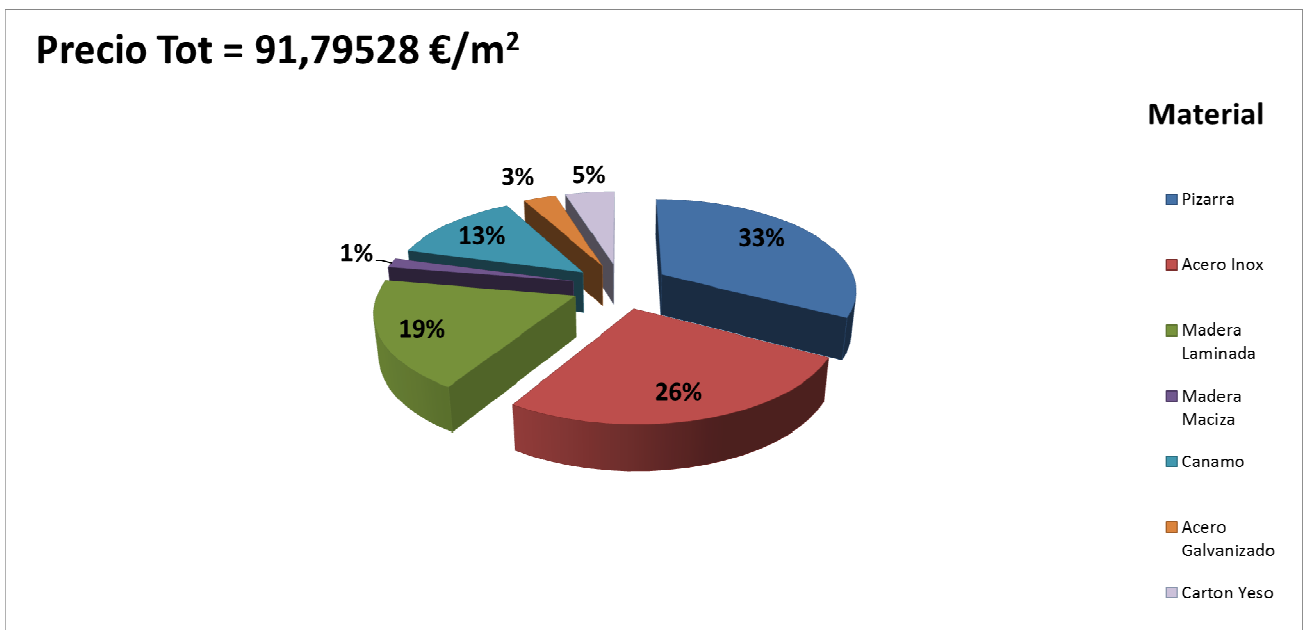
El peso por metro cuadrado de la solución del proyecto resulta ser un tercio de la existente, ese resultado es obtenido porque la solución constructiva no utiliza la fábrica de ladrillo como soporte por la capa exterior, ni las hojas de mortero como protección al agua. Por el contrario, la capa de revestimiento, compuesta por pizarra y una subestructura de acero inoxidable, es más pesada que la que tiene la solución actual.

4.3 Comparación del Precio

Solución Actual



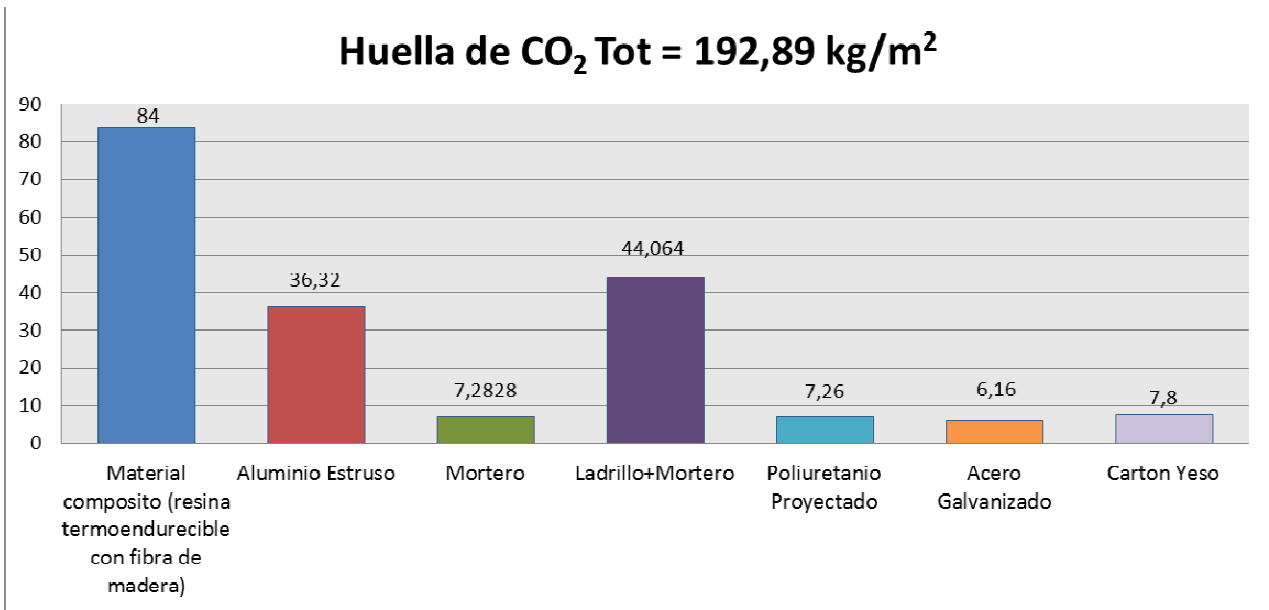
Solución de Proyecto



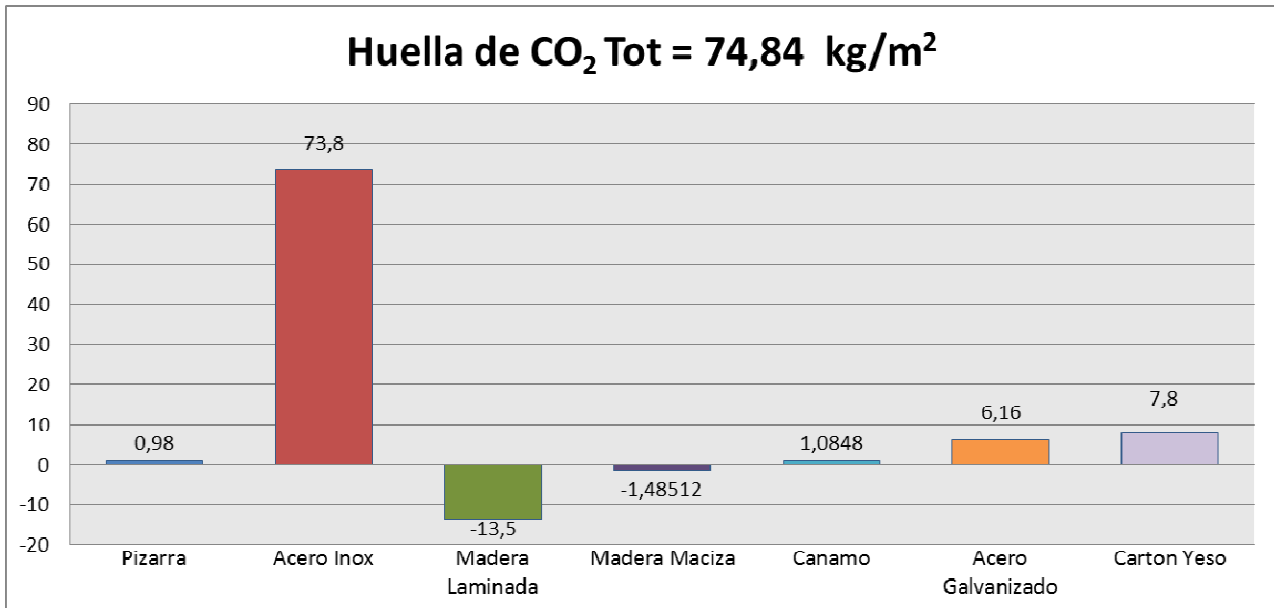
La solución de diseño también es un cuarenta por ciento más económica que la actual, demostrando que se puede realizar un envolvente con un mejor rendimiento (como se explica más adelante) sin suponer un mayor desembolso. Mientras que el mayor gasto en la primera solución consiste en las capas externas de material compuesto (y su sistema de apoyo en aluminio), ahora, además de la pizarra (piedra aún valiosa), los materiales más caros son el acero inoxidable de la sub-estructura y la madera laminada.

4.4 Comparación de la Huella de CO₂

Solución Actual



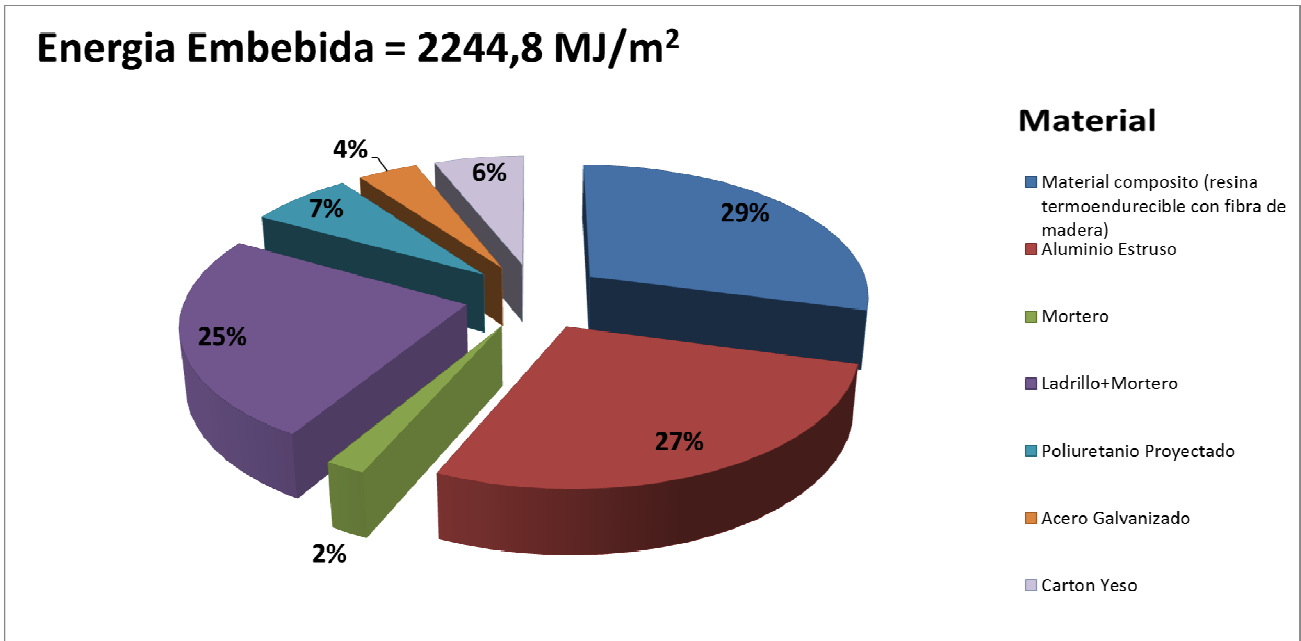
Solución de Proyecto



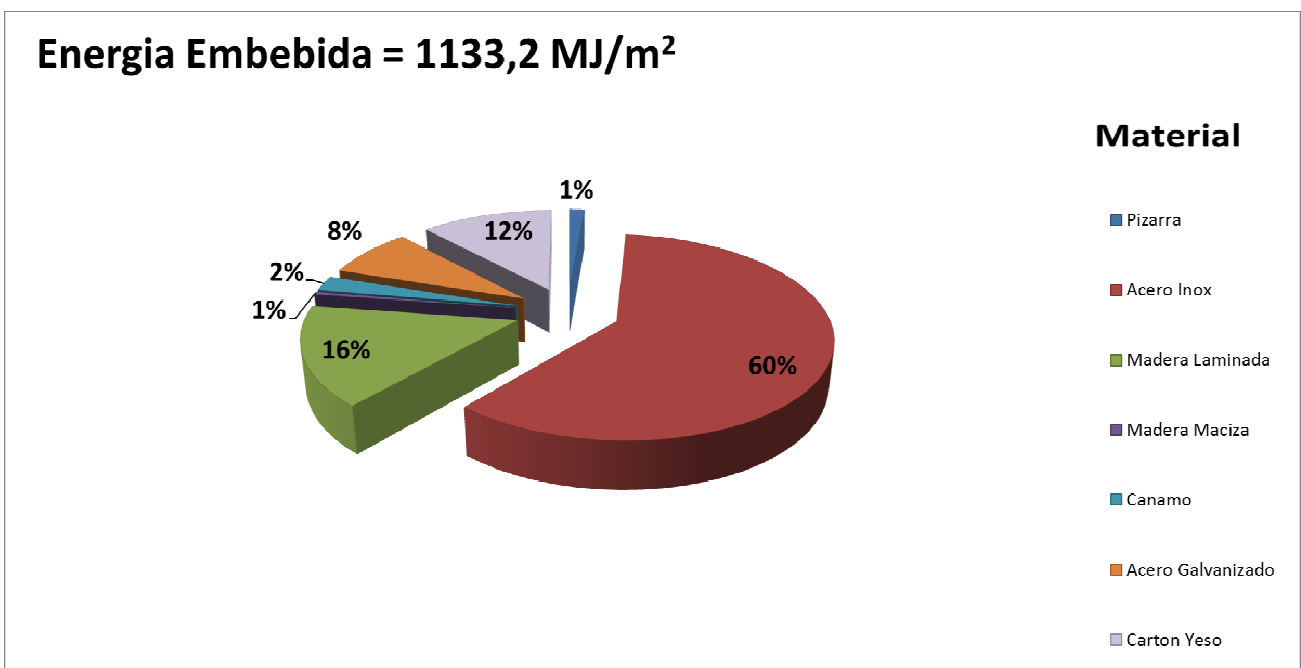
La huella de CO₂ es de dos veces y media menor que la de la solución real, a pesar del uso del acero inoxidable en la subestructura. Este material ha sido fuertemente recomendado por los fabricantes de la pizarra utilizada y ofrece una mayor durabilidad e igualdad de oportunidades para el reciclaje y la reutilización que el aluminio. También es notable la diferencia en las emisiones de CO₂ entre los dos diferentes materiales externos utilizados, es decir, compuesto y pizarra, que además ofrece gran disponibilidad en España y buena trabajabilidad. Por último, cabe señalar el valor negativo de la estructura de madera maciza y de las placas de madera laminadas, lo cual es debido a la absorción de la CO₂ durante el crecimiento de las plantas.

4.5 Comparación de la Energía Embebida

Solución Actual



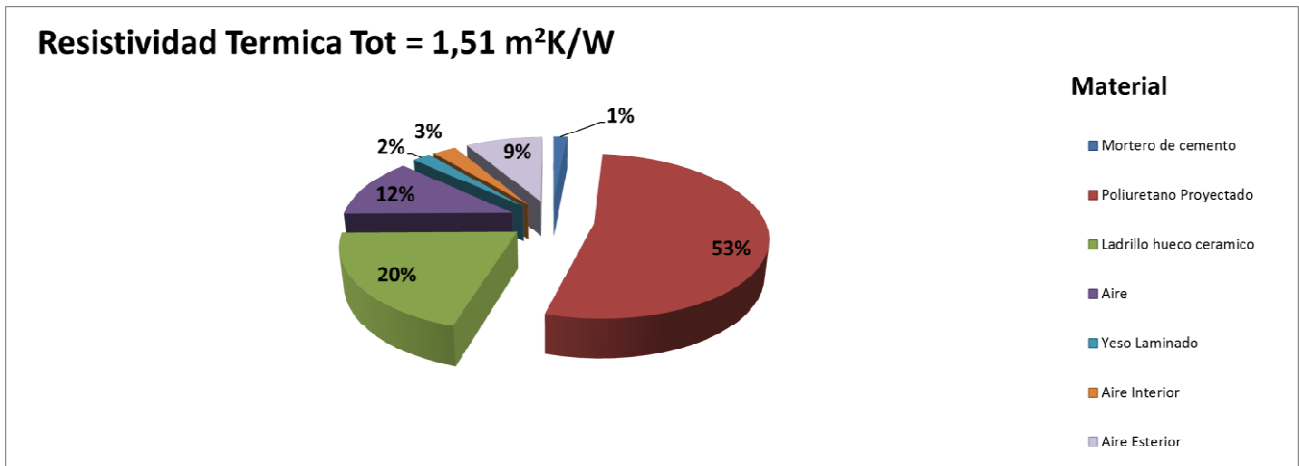
Solución de Proyecto



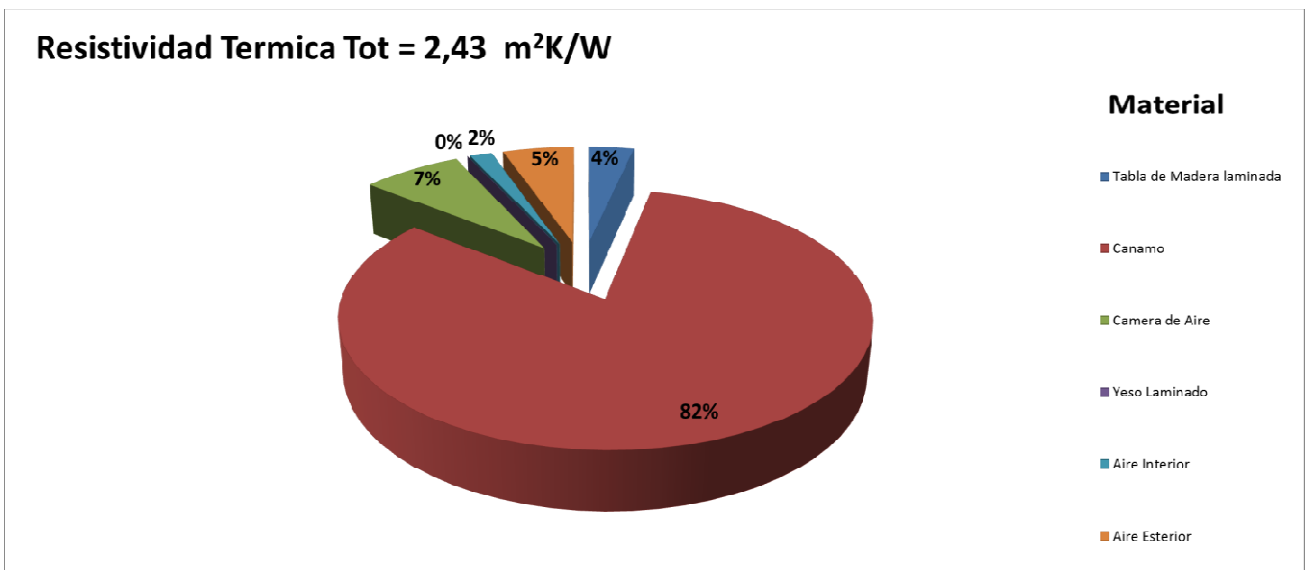
Consideraciones similares se hacen respecto la energía embebida, aproximadamente la mitad de la actual. El valor más alto está todavía en el acero, seguido por capas de la madera laminada y paneles de yeso. La solución real tiene más o menos los mismos valores en las placas de composite, la subestructura de aluminio y la hoja de ladrillo, aumentando significativamente el resultado final.

4.6 Comparación Resistividad Térmica

Solución Actual



Solución de Proyecto



Por último, la resistividad térmica de proyecto es del 65% superior a la real (y el doble de la requerida por la normativa), reduciendo al mínimo los puentes térmicos, como se ha mostrado en los capítulos posteriores. En la solución real se utiliza como barrera térmica la capa de poliuretano proyectado (50% del total) y la hoja de ladrillos (el 21%), a cambio, en la solución propuesta, sólo el 82% del total se alcanza con 8cm de cáñamo (utilizado así como aislante). Las placas de madera laminada tienen un espesor mínimo, causa por la que no se demuestra sus altísima resistividad térmica.

A continuación se muestra el gráfico final que resume las cinco propiedades analizadas.

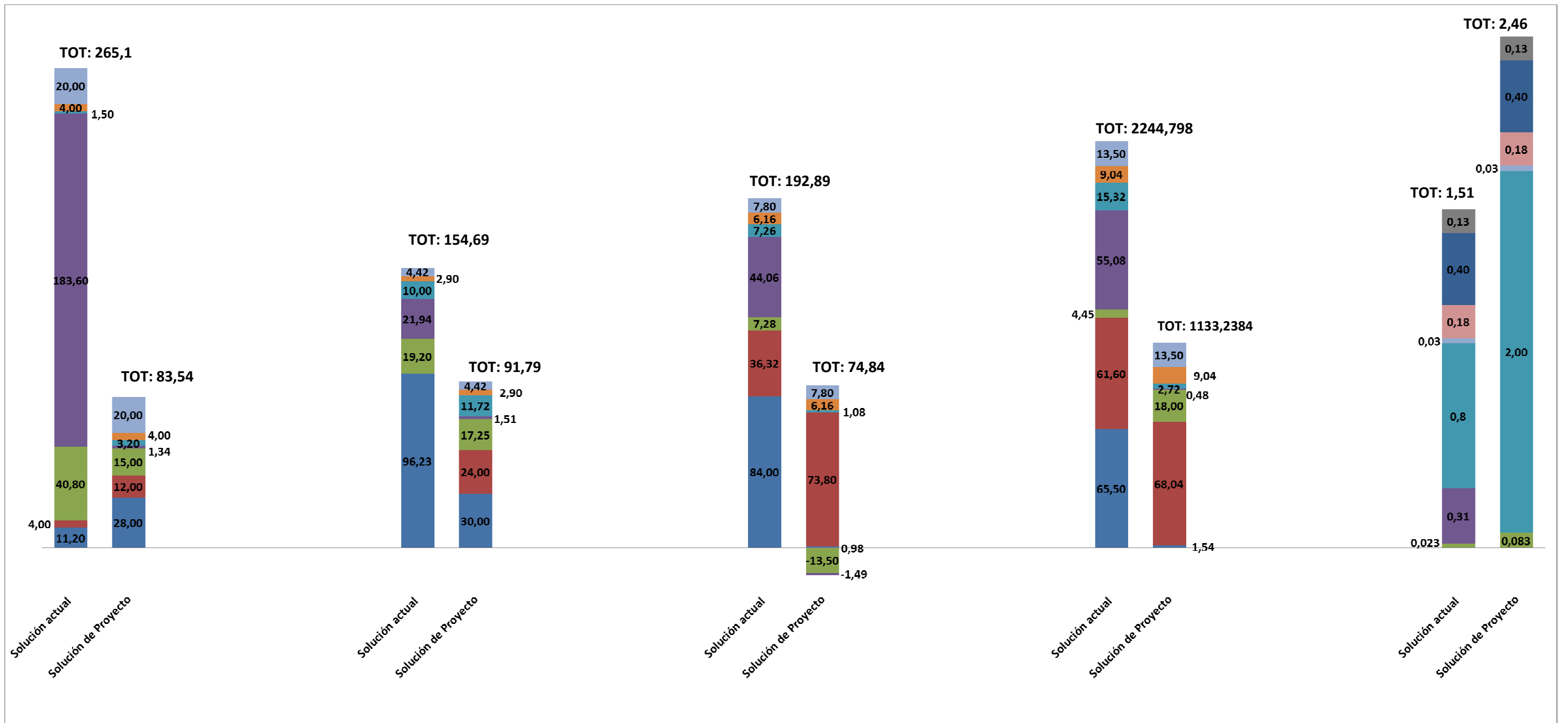
Peso
[kg/m²]

Precio
[€/m²]

Huella de CO₂
[kg/m²]

Energía Embebida
[MJ/m²]

Resistividad Térmica
[m²K/W]



Solución Actual

- Revestimiento Composite
- Aluminio Extruido
- Mortero
- Ladrillo y Mortero
- Poluretano Proyectado
- Acero Galvanizado
- Cartón Yeso
- Camera de Aire
- Aire Interior
- Aire Exterior

Solución de Proyecto

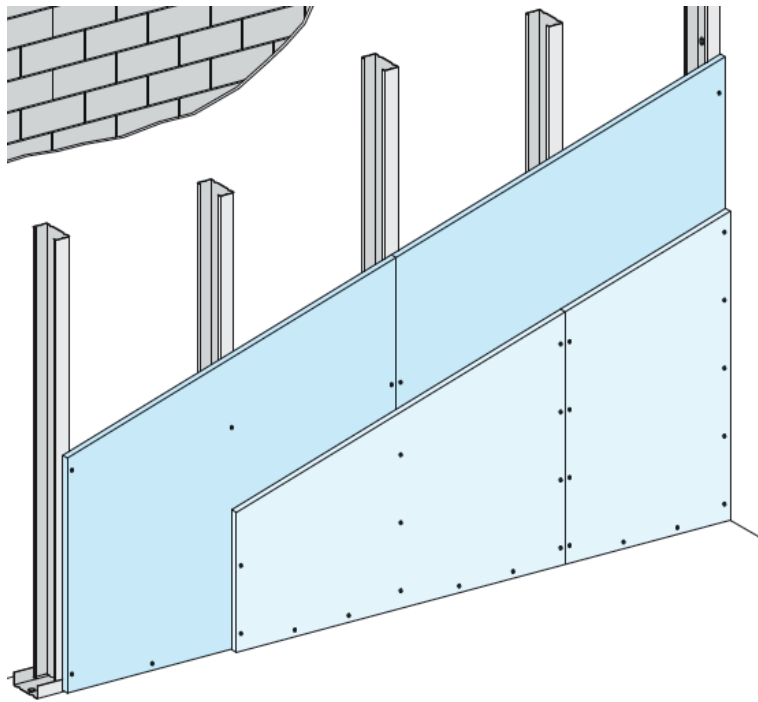
- Revestimiento o Pizarra
- Acero Inox
- Madera Laminada
- Madera Maciza
- Cábano
- Acero Galvanizado
- Cartón Yeso
- Camera de Aire
- Aire Interior
- Aire Exterior

Capítulo 5

Solución constructiva

5.1 Revestimiento interior

Las placas de yeso, los tornillos que las sustentan y la subestructura son de la marca Knauf.



Se utilizarán dos placas de yeso laminado estándar tipo A 12,5 mm de dimensiones 2,6 m de altura y 1,2 m de anchura. El distribuidor las suministra paletizadas en bloques de 36 placas y el precio por metro cuadrado es de 4,42 euros.

Características de las placas

Transmitancia térmica de las dos placas 0,03 W/m²K.

Utilizando dos placas de 12,5 mm se consigue una resistencia al fuego EI30.

Condiciones constructivas:

Los montantes verticales a los que se atornillará las placas de yeso no tienen que distar más de 60cm.

Cada 15 metros se dejará una junta de dilatación.

Las placas se instalarán a tresbolillo.

Para la sujeción de las placas a los montantes se utilizarán tornillos autoperforantes con las siguientes características:

Modelo: Tornillo TN 3,5 mm punta normal

Longitud: 35 mm

Precio: 15,00 € (1000 unidades)



Los montantes sustentantes de las placas de yeso se instalarán dentro de los canales horizontales, los cuales se habrán fijado previamente al suelo y techo, sobre una banda elástica de 1 cm de espesor y a tope con el aislante de cáñamo. Los huecos libres quedan estancos y trabajan como una cámara de aire no ventilada.

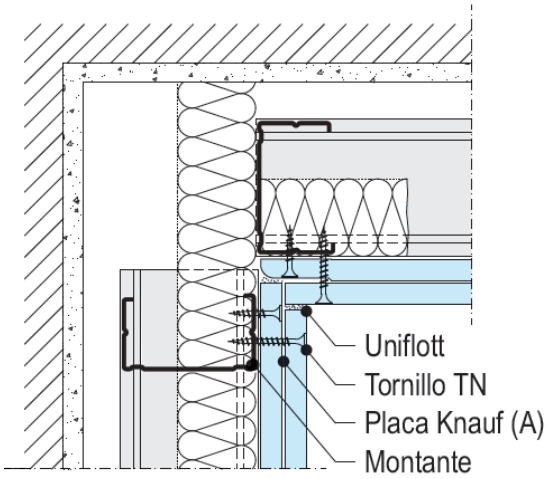
El modelo de los perfiles metálicos es: Montante Estándar Knauf 48/36, con una longitud de 2,6 m, espesor de 0,6 mm y precio por unidad de 1,32 euros. Se suministran en pales de 420 unidades.

El modelo de los canales horizontales es: Canal Estándar Knauf 48/30, cuya longitud es 3 m, espesor 0,6 mm y el precio por unidad es de 1,08 euros. Se suministran en pales de 420 unidades.

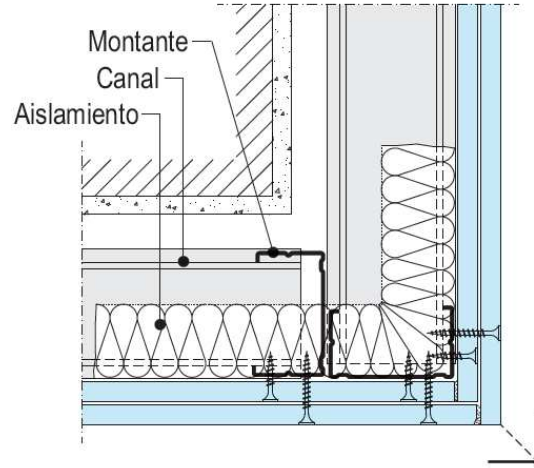
El peso del trasdosado por metro cuadrado es de 24 kg.

La cámara existente entre montantes se aprovechará para albergar los conductos de las instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones. En los encuentros con los montantes, las canalizaciones rodearán a los mismos por la parte del aislamiento, comprimiéndolo un poco.

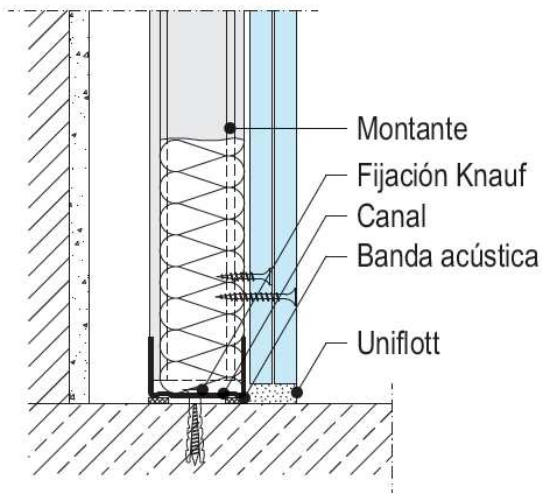
Detalles constructivos proporcionados por el fabricante:



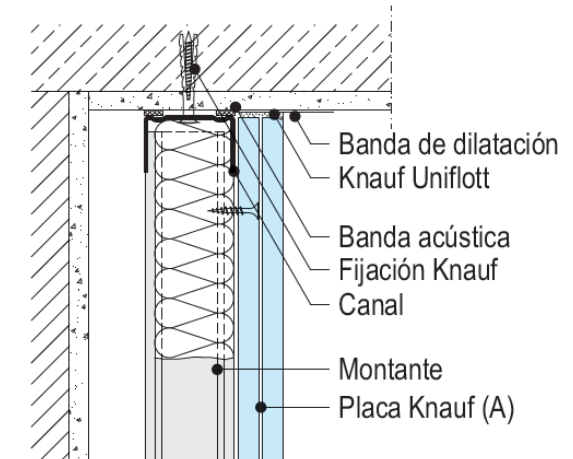
Detalle rincón



Detalle esquina



Detalle encuentro con forjado



Detalle encuentro con techo

5.2 Aislante

Se utilizará como aislante paneles semirrígidos de fibra de cáñamo de 8 cm de espesor, suministrados por la casa comercial Isolana. El modelo STEICO es comprimible y se adapta fácilmente a contornos irregulares, características ideales para conducir instalaciones entre los montantes de aluminio y el aislamiento. Se suministra en pales, que contienen 56 paneles de 1,2 x 0,575 m y cuyo rendimiento es 38,64 m².



Precio por m² de aislante: 11,72 euros.

Conductividad térmica: 0,040 W/m·k

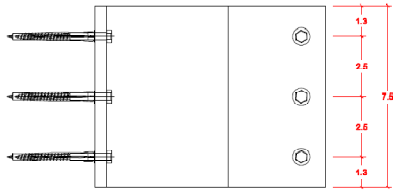
Peso por m²: 3,2 kg.

La sujeción de los paneles de aislante será mediante grapas a un panel de madera laminada de 2 cm de espesor. Dichos paneles cubrirán toda la superficie de fachada libre entre montantes a excepción de los huecos, y se sujetarán a ellos mediante angulares atornillados a ambas piezas. Se replanteará de tal forma que las caras interiores de ambas piezas formen una superficie sin resaltos, es decir, que esté en el mismo plano. Además tiene la función de material resistente frente a pequeños impactos.

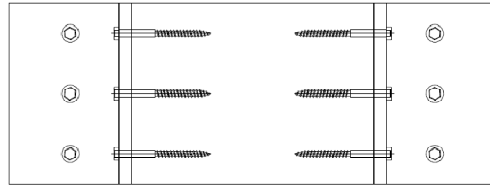
5.3 Estructura de madera

La estructura portante de la fachada es de madera y está compuesta por montantes verticales equidistantes 70 cm. La madera utilizada es conífera de pino. Los montantes tienen una altura de 8 cm, una anchura de 4 cm y una longitud de 2,95 m, medida suficiente para anclarlos a forjados contiguos verticalmente. Entre montantes consecutivos se dejará un espacio de 2 cm para la libre dilatación de los mismos.

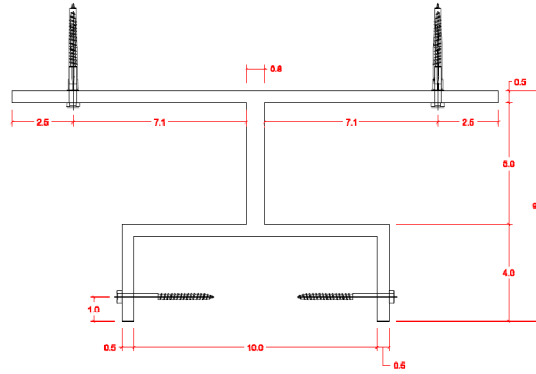
El método de unión entre el forjado y los montantes, se realiza por medio de una pieza de acero inoxidable, la cual se ancla al forjado con tornillos con tacos químicos y sujeta a los montantes con tornillos autorroscantes. Cumple con un requisito principal por el cual tiene un diseño en particular, que es evitar o reducir al mínimo los puentes térmicos, y a su vez presume de una rápida puesta en obra.



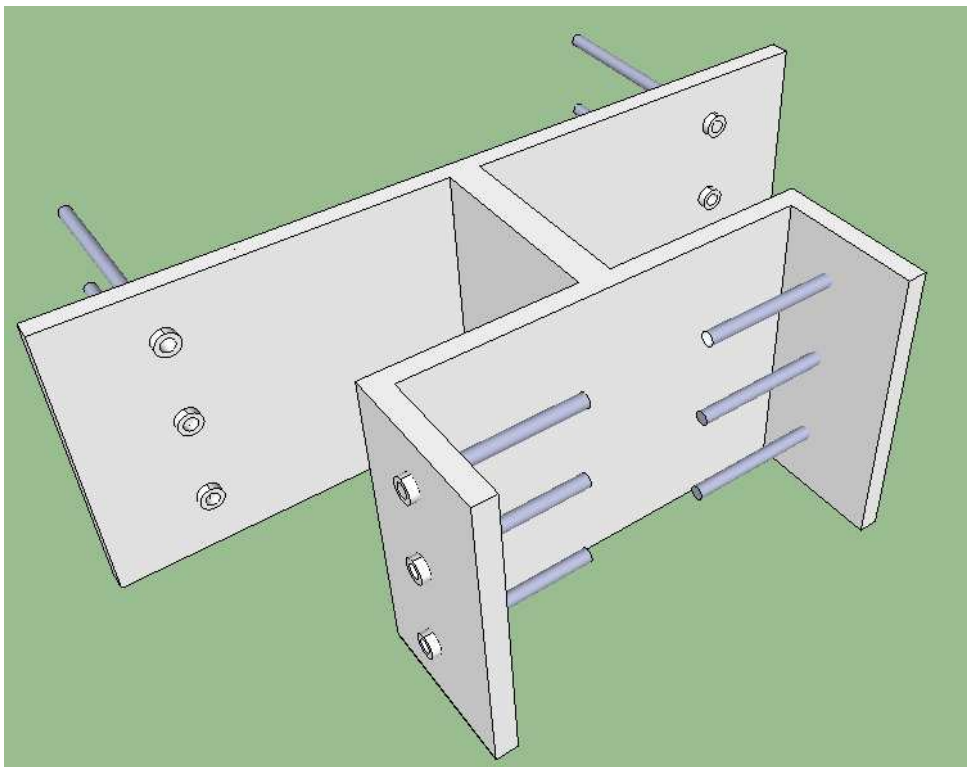
Perfil



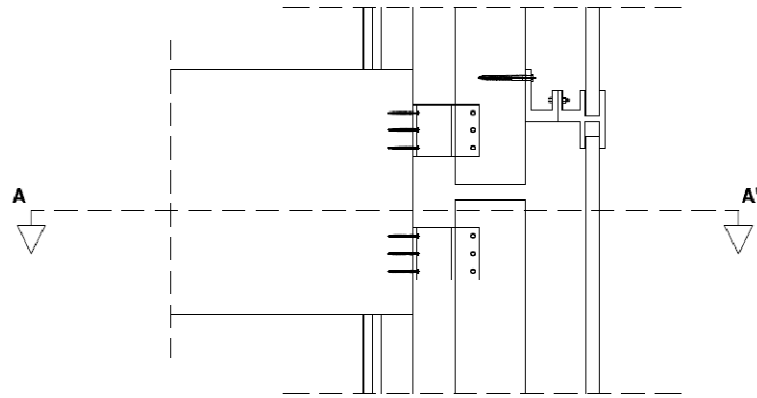
Alzado



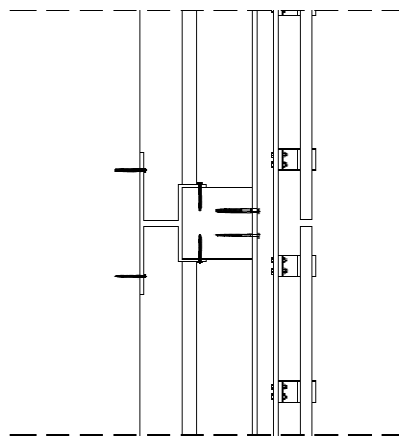
Planta



DETALLE ANCLAJE DEL MONTANTE AL FORJADO



Sección vertical



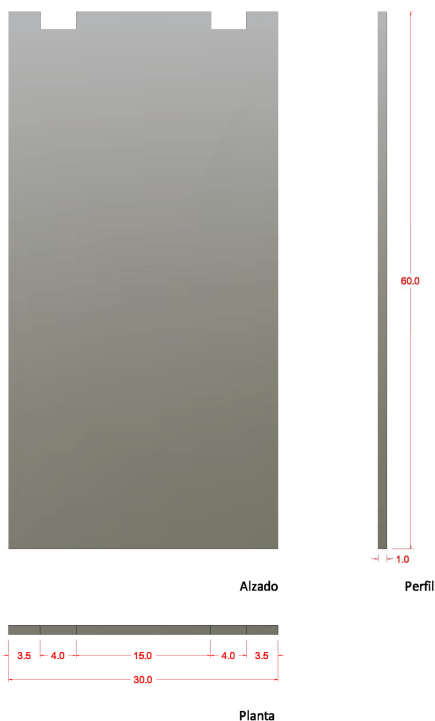
Sección A-A'

5.4 Pizarra y sistema de sustentación

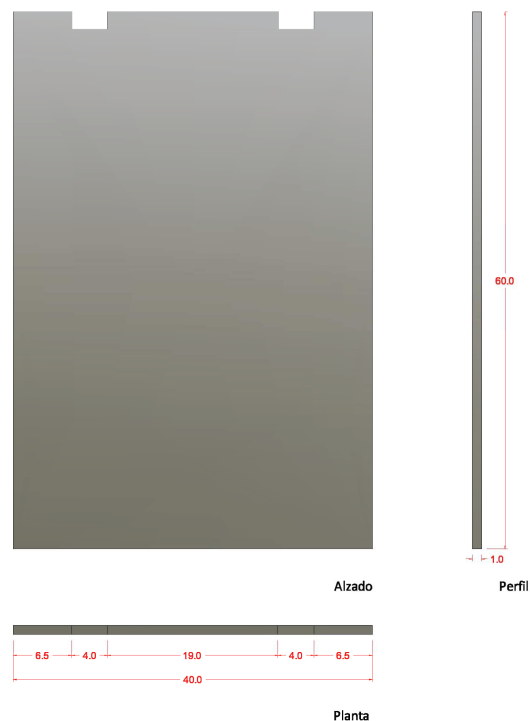
La pizarra será colocada en la parte exterior, como parte vista de la fachada. Es suministrada por la casa comercial Ipisa. El color elegido de las placas es gris claro, con el fin de que el edificio tenga una aparente homogeneidad con los edificios del entorno. Otro motivo de la elección, es porque absorbe menos calor que la pizarra de color verde oscuro. Se colocarán dos tamaños distintos de placas, uno será de dimensiones 30x60 cm y el otro 40x60 cm, cuyos precios son 22 y 24 euros por unidad respectivamente.

DETALLE PLACA DE PIZARRA

Pizarra 30 x 60 cm



Pizarra 40 x 60 cm

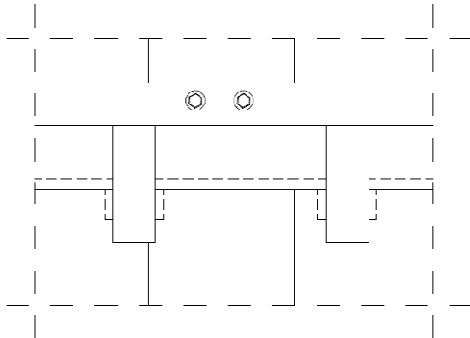


El sistema de sustentación de los paneles de pizarra, está compuesto por perfiles y anclajes de acero inoxidable. Se dispondrán perfiles horizontales atornillados los montantes de madera maciza, cuya de longitud será menor de 3,30 m. Sobre dicho perfil se atornillarán piezas individuales, que serán las encargas de recibir las piezas de pizarra, sujetándolas como unas mordazas pero sin aplicar presión sobre ellas. Cada placa estará sujeta por cuatro piezas, dos en la parte inferior y dos en la superior. Una vez se han acoplado los perfiles y sus respectivas piezas a los montantes, se colocan las placas en su posición y se emplazan de la misma forma que una ventana de doble hoja (primero se coloca la parte superior en la guía y luego se baja la pieza hasta encajarla en el canal). Por éste motivo, las placas tienen en la parte superior una geometría definida.

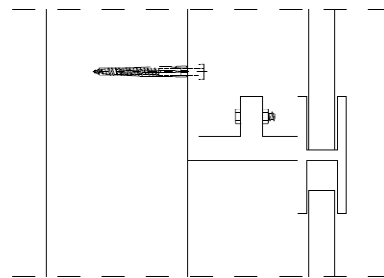
Las guías de sujeción y sus correspondientes piezas, han sido diseñadas para facilitar un rápido y sencillo montaje. Además, la forma de montaje de las placas se ha diseñado con el fin de conseguir una sustitución de

las placas rápida y eficaz, previendo si en el futuro hubiese que cambiar alguna debido a roturas, deterioro, coloración, manchas, etc., aunque se espera que no sea así ya que tiene una alta resistencia y la esperanza de vida útil de la pizarra es de 200 años.

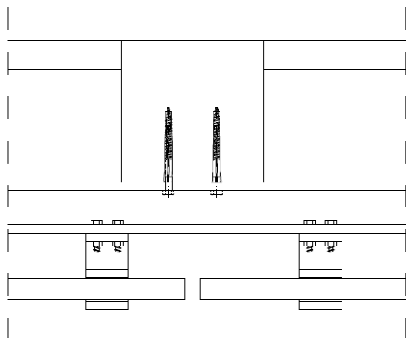
DETALLE SUJECIÓN PIZARRA



alzado sin la pizarra



sección vertical



sección horizontal

5.5 Consideraciones sobre la durabilidad de los materiales

El deterioro tiene un efecto grave en la vida útil y durabilidad de los materiales. La durabilidad se ve afectada por diferentes agentes: biodeterioro (hongos de moho y descomposición, bacterias), contaminación, climatología, agua y calor. Los requisitos respecto a las prestaciones de los materiales, deben ser diferentes entre los que están en la superficie interior (capas internas como el aislamiento) y los que están en la superficie exterior, siendo verificado cuidadosamente los diferentes efectos de organismos durante la vida útil de los materiales. Estos organismos pueden tener efectos permanentes o temporales (estética o técnica), lo cual implica que existan varias formas de combatirlos. También se tiene que tener en cuenta los requisitos de funcionamiento y la calidad del material. Por ejemplo, el crecimiento de moho en la superficie interior de un edificio puede ser más grave que en la superficie exterior, debido a los microbios y al riesgo para la salud. El crecimiento del moho también tiene un efecto sobre el mismo material, y en algunos casos, el moho lo destruye (por ejemplo, las pinturas), o sin embargo es sólo una capa superficial de los materiales (por ejemplo en paredes de azulejos o fachadas). Además de estos cambios indirectos del material, cabe decir que pueden cambiar las propiedades de los mismos. Por tanto, los daños causados pueden ser varios, teniendo diferentes efectos sobre la durabilidad y resistencia de los materiales.

Efectos directos e indirectos de la humedad y problemas en los edificios

La humedad afecta a los edificios, de forma directa o indirecta. Por ejemplo, en los materiales compuestos por madera, la deformación en el volumen y la forma del material es el efecto directo, pero el crecimiento de moho en el material es un efecto secundario. Es decir, el efecto del agua sobre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) de los materiales es un efecto directo, pero el cambio de las propiedades de los materiales o el efecto en la salud causados por el COV es un efecto secundario.

Los daños de humedad en los edificios causados son superiores a la tolerancia de las estructuras. La humedad puede conducir a la proliferación de microbios y hongos de moho, y a la descomposición y daño del insecto a los materiales después de un tiempo de exposición crítica.

Las causas típicas que conducen a daños por humedad son las fugas de agua, la penetración de agua a través de juntas y uniones, la convección del aire húmedo en la estructura, ventilación insuficiente de aire interior, la condensación de humedad, aumento de la humedad del suelo, acumulación de humedad en las estructuras, las fallas en las estructuras, y la absorción de agua en las estructuras. La vida útil de la madera sin tratar en la estructura depende principalmente de las condiciones de humedad de uso, la presencia de organismos que atacan la madera, la durabilidad natural, y a las dimensiones de la madera en uso. Los problemas causados por hongos en los edificios varían en función del tipo de ataque de hongos. Los problemas causados por mohos son principalmente decoloración, olor, y los inconvenientes de salud. El moho y los problemas de caries se concentran en las partes de las estructuras en las que el agua se puede acumular. Dichas piezas son:

- Las partes inferiores de los pisos y paredes cerca del suelo.
- Las construcciones afectadas por las fugas de agua y la condensación dentro de las paredes.
- Pisos subterráneos con poca ventilación y ático.
- La junta final, y las partes inferiores de las fachadas y ventanas.
- Dormitorio armarios o baños en las paredes exteriores.
- Mal ventilados cuartos de baño.

Los problemas de moho y la descomposición pueden ser muy complicados en los edificios. Los principales factores que afectan el microclima son: migración de la humedad y la acumulación, la textura, composición y calidad de la superficie del material, la temperatura, la humedad, la condensación del agua y la circulación del aire.

Materiales de madera

La madera es un material poroso. La composición anisotrópica de la madera afecta al comportamiento de la humedad de la madera: las paredes celulares de madera tardía (la producida en verano) puede tomar más agua y se hinchan más de la pared celular de la madera temprana (la producida en invierno), lo que resulta en un cambio desigual dimensional de la madera. La albura es la capa externa de la madera en un árbol vivo y puede variar de espesor, siendo su función el transporte de agua. Durante el uso de productos de madera, la albura es más sensible al agua, a la humedad y a la actividad de los organismos en descomposición.

La densidad de la madera es un factor importante para las propiedades mecánicas de la madera y también para la estabilidad dimensional de la madera como los afectados por los cambios de humedad. La densidad de la madera varía entre y dentro de las especies de madera diferentes y, en general, las maderas de baja densidad cambian menos de dimensión que las maderas pesadas. Para la mayoría de las especies, la densidad se sitúa entre 320 y 720 kg / m³, pero el rango de densidad se extiende desde alrededor de 160 kg / m³ (por ejemplo, madera de balsa) a más de 1000 kg / m³ para algunas especies de madera tropical. Como un material higroscópico, orgánicos y heterogénea, la madera, es a menudo un medio de crecimiento y una fuente de alimento adecuado para los diferentes tipos de organismos. La degradación de la madera por los microorganismos se ve influenciada por la interacción de células de la madera y el microclima que rodea. La estructura química y física de la pared celular de la madera tiene un efecto importante sobre el tipo de degradación, así como la intensidad de la decadencia. La permeabilidad de la porosidad, contenido de lignina, y la composición de la extracción de madera son factores importantes para la durabilidad de la madera.

5.6 Impermeabilización y barrera de vapor

Como la madera es un material degradable bajo la influencia del clima y la humedad, se ha propuesto cubrir la estructura de tablas de pino y madera con una membrana de impermeabilización. La pizarra de revestimiento, de hecho, permite la entrada de agua de lluvia entre los huecos existentes entre una placa y otra, provocando un aumento de volumen en la madera.

Se utilizará la capa de impermeabilización de la empresa Tyvek® modelo Supro, extremadamente resistente al agua, estanca al aire y al viento y, al mismo tiempo, de alta permeabilidad al vapor de agua, permitiendo una óptima gestión del aire y humedad en los edificios (residenciales y comerciales). Tyvek® Supro es una lámina multipropósito, duradera.

Propiedades:

Composición: Polietileno de alta densidad con polipropileno termosoldado

- Peso del material: 148 g/m²
- Dimensión del rollo: 1,5 m x 50 m
- Peso del rollo: 12 kg
- Superficie del rollo 75 m²
- Exposición a rayos UV: 4 meses
- Garantía 10 años



PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	NOMINAL	MÍNIMO	MÁXIMO
FUNCIONALIDAD: TRANSMISIÓN DE HUMEDAD, ESTANQUEIDAD AL AGUA, DURABILIDAD					
Transmisión de vapor de agua (sd)	EN ISO 12572 (C)	m	0,03	0,015	0,045
Resistencia a la temperatura	-	°C	-	-40	+100
Flexibilidad a bajas temperaturas	EN 1109	°C	-	-	-40
Resistencia a radiación UV	-	meses	-	-	4
Grosor total / grosor de la capa funcional		µm	420 /220	-	-
Estanqueidad al agua	EN 1928 (A)	clase	W1	-	-
Columna de agua	EN 20811	m	-	2	-

En el caso de considerarlo necesario, y a pesar del cálculo higrotérmico llevado a cabo en el capítulo 3 "Calcular transmitancia condensaciones y Thermique", en el cual se ha desmotrado que no se produce condensación en las capa del recubrimiento, se propone colocar opcionalmente una barrera contra la humedad en el umbral interno (lado caliente) del aislamiento térmico que consta de 8 cm de cáñamo, ya que también es un material natural y por tanto sujetas a la biodegradación. Por otra parte, cualquier cambio futuro en las condiciones de uso dentro del edificio, daría lugar a diferentes valores de humedad relativa a considerar en los cálculos. Entonces, para preservar el buen funcionamiento del aislamiento se puede establecer la presencia de un tipo de barrera de vapor DuPont™ AirGuard® Sd23, constituida de una lámina transparente de control del vapor de alta calidad con elevada resistencia mecánica. La instalación de DuPont™ AirGuard® Sd23 como parte del revestimiento interior contribuirá a reducir el índice de pérdida de calor por convección de la construcción y proporcionará una barrera contra el movimiento del aire en torno al espacio habitable del edificio, y optimizará la estanqueidad.



PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	NOMINAL	MÍNIMO	MÁXIMO
Designación del producto según EN 13984			A	-	-
FUNCIONALIDAD: ESTANQUEIDAD FRENTE A VAPOR Y AIRE					
Transmisión de vapor de agua (sd)	EN 1931	m	23	18	33
Density of water vapour flow rate (g)	EN 1931	kg / (m ² s)	1,8E-8	1,2E-8	2,3E-8
Resistencia a la temperatura	-	°C	-	-40	+80
Durabilidad (exposición a envejecimiento artificial)					
Transmisión de vapor de agua	EN 1931	pasa / no pasa	pasa	-	-
Permeabilidad al aire Bendsen	ISO 5636/3	ml/min	0	-	10
Permeabilidad al aire Gurley	ISO 5636/5	s	-	>2000	

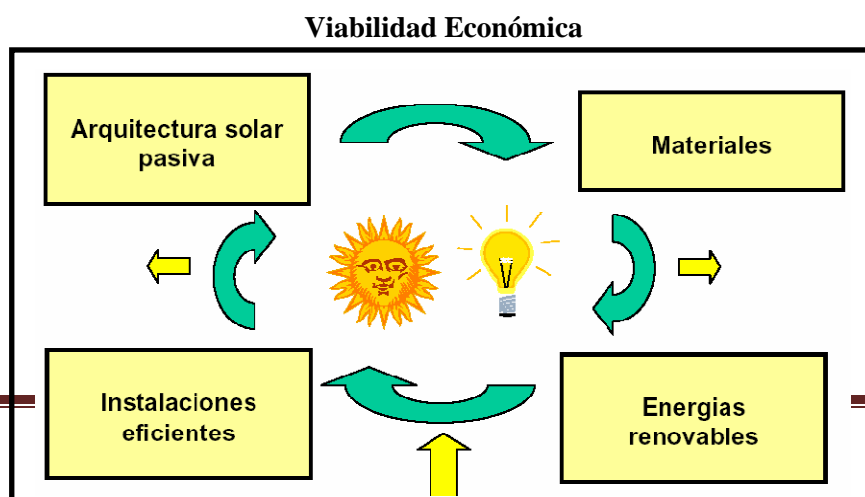
Capítulo 6

Conclusiones

El diseño constructivo ha estado caracterizado por los siguientes criterios esenciales:

- Utilización de materiales con valores bajos de energía embebida y huella de CO₂ como pizarra, madera (estructural y contrachapada) y cáñamo (estos dos últimos caracterizados por ser recursos renovables y biodegradables).
- Posibilidad de reutilización de los perfiles de acero inoxidable y acero galvanizado una vez que ha transcurrido la vida útil del edificio.
- Estructura de fachada realizada con madera, con posibilidad de prefabricación en taller y así conseguir mayor rapidez de montaje, rigor geométrico y simplificación.
- Acabado exterior de fachada de piedra (pizarra gallega de 1cm de grueso, con junta abierta), el cual es un material considerado muy adecuado por su resistencia a la intemperie (durabilidad) y que puede sustituirse de forma fácil si se rompe alguna pieza gracias al sistema de anclaje que se ha diseñado. Por otra parte, la pizarra es un material que pertenece a la tradición de la construcción española, poseyendo también un valor cultural y grande disponibilidad.
- Supresión de los puentes térmicos, por ser la madera un material poco conductivo y por la utilización de perfiles de acero que reduce al mínimo la distancia entre las diferentes placas de aislantes.
- Ocho centímetros de espesor de aislamiento continuo por el exterior de la estructura garantizando la envoltura absoluta de todo el edificio
- Cámara libremente ventilada entre el aislamiento y la hoja de piedra que se ve exteriormente, lo que conlleva todas las ventajas de una fachada ventilada.
- Ligereza de todo el sistema constructivo con consecuencias positivas en la velocidad de montaje y sobretodo en la reducción de transmisión de esfuerzos a la estructura del edificio, en la que se puede ahorrar al necesitar menos resistencia.
- Valores de transmitancia térmica $U = 0,406 \text{ W/m}^2\text{K}$, mitad de lo que es requerido por normativa.
- Precio por metro cuadrado del cuarenta por ciento más barata de la solución actual.
- Preservación de las características funcionales de los materiales mediante el uso de barrera impermeable y barrera anti humedad.

Estas consideraciones sobre el uso de materiales en la arquitectura, la construcción y la deconstrucción, combinadas con la aplicación de la bioclimática pasiva, de las fuentes renovables para el suministro de energía y de las evaluaciones sobre la viabilidad económica del proyecto y del diseño de las instalaciones, hacen posible el diseño arquitectónico de una manera sostenible.



Bibliografía

- Fernandez, John (2005) Material Architecture
- Trechsel, Heinz R. (2001) Moisture Analysis and Condensation Control in Building Envelopes
- Walsh, Joan (2000) Natural slate: a green roofing medium
- Kwok, Alison y Grondzik, Walter (2007) The Green Studio Handbook - Environmental strategies for schematic design
- Woolley, Tom y otros (1997) Green Building Handbook - VOL I
- Hammond, Geoff y Jones, Craig (2011) Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 2.0
- <http://www.spanishslateuk.com>
- UNE EN ISO 10 456:2001
- CTE (Código Técnico de Edificación)
 - DB SE: Seguridad Estructural
 - DB SI: Seguridad Caso de Incendio
 - DB SUA: Seguridad de Utilización y Accesibilidad
 - DB HS: Salubridad
 - DB HR: Protección frente al ruido
 - DB HE: Ahorro de Energía