

TESIS DOCTORAL

LA HOJA INTERIOR DE LA FACHADA VENTILADA

ANÁLISIS, TAXONOMÍA Y PROSPECTIVA

AUTORA: Cristina PARDAL MARCH

DIRECTOR: Dr. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI

Programa de Doctorado: TECNOLOGIA DE L'ARQUITECTURA, EDIFICACIÓ I URBANISME

Departamento: CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNIQUES I

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE BARCELONA - UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA - 2009

Desarrollo 2.- FUNCIONES PROPIAS DE LA HOJA INTERIOR Y REQUERIMIENTOS EXIGIBLES.

Índice

- i - Funciones de acondicionamiento que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.
 - *Estabilidad de la propia hoja o del conjunto de la fachada.*
 - *Resistencia al fuego.*
 - *Atenuación acústica.*
 - *Estanqueidad al aire.*
 - *Confort térmico. Aislamiento térmico e inercia térmica.*
- ii - Funciones de servicio que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.
 - *Dar el acabado interior.*
 - *Albergar instalaciones.*
- iii - Requerimientos no funcionales exigibles a la hoja interior de la fachada.
 - *Espesor y ligereza.*

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Desarrollo 2.- FUNCIONES PROPIAS DE LA HOJA INTERIOR Y REQUERIMIENTOS EXIGIBLES.

Las funciones propias de la envolvente son todas aquellas ligadas a la obtención del adecuado nivel de confort: control térmico, aislamiento acústico, estanqueidad, etc. En muchas ocasiones se confunde función con requerimiento y característica.

Los requerimientos no tienen que ser funcionales. Criterios económicos o de puesta en obra entre otros pueden exigir a la fachada valores mínimos para el peso o el espesor.

Las características no son una finalidad en sí, sino una necesidad previa para poder satisfacer un determinado requerimiento, funcional o no. Por ejemplo, ser durable no es el objetivo de un elemento o sistema constructivo, pero sí una condición necesaria para satisfacer las funciones que le son encomendadas durante el tiempo previsto de vida útil del edificio.

La no existencia de una normativa específica para fachadas ligeras distintas al muro cortina obliga a contemplar la “EN 13830. Curtain walling – Product standard” como referente más próximo. Esta normativa no distingue entre función, requerimiento y característica por lo que, aunque sí sirve de referencia, no es adecuada para establecer un criterio ordenador.

La idoneidad de las distintas propuestas de panel para la hoja interior de la fachada ventilada que se plantean dependerá de la satisfacción de las **funciones** esenciales para

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

garantizar el adecuado nivel de confort, y del cumplimiento de una serie de **requerimientos** exigibles por cuestiones de puesta en obra, económicas, etc. Las **características** deberán ser las necesarias para que todo esto se produzca de forma satisfactoria.

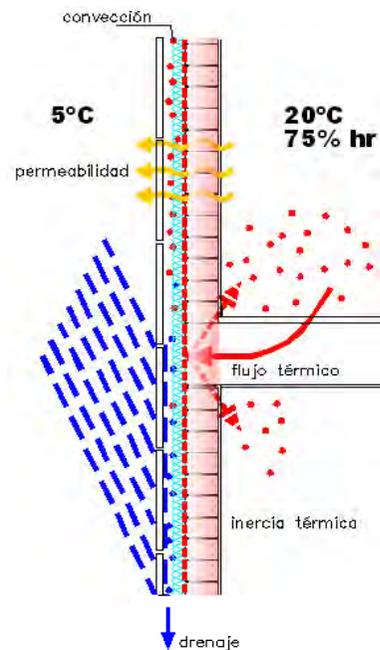
Para este estudio se distinguen dos tipos básicos de funciones: las de acondicionamiento y las de servicio.

Acondicionamiento

Las funciones de acondicionamiento son todas aquellas que permiten controlar el flujo de materia o energía a través del cerramiento. Toda acción se traduce en energía. La energía interacciona con el edificio en la medida que el filtro constituido por cada envolvente lo permite.

Son acciones energéticas la mecánica, la térmica, la acústica, etc. La envolvente es el filtro que permite a la energía producida por una determinada acción simplemente ser transportada o detenerse, decrecer o aumentar su valor, ser retenida un periodo de tiempo o invertir su signo.

En sus diversas funciones de acondicionamiento la fachada establece un límite entre exterior e interior, límite que la acción intenta atravesar en sentido perpendicular sufriendo la posible modificación que un determinado filtro le infiere.



FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

En el caso de la estanqueidad al agua, eliminando las fuerzas que permiten su desplazamiento en sentido horizontal se elimina toda posibilidad de entrada al interior del espacio habitable.

Servicio

Para las funciones de servicio, el cerramiento no se entiende como un filtro de energías sino como un soporte material. Son funciones de servicio albergar instalaciones, cerrar y definir el acabado del espacio interior o dar la imagen del edificio.

i - Funciones de acondicionamiento que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.

La fachada ventilada se caracteriza por estar formada por dos hojas que limitan una cámara drenante. La hoja exterior da la imagen de la fachada a la vez que establece la primera barrera al agua, pero es la cámara drenante quien debe garantizar la estanqueidad.

A la hoja interior se le encomiendan el resto de funciones del cerramiento. Esta hoja incluye todos los elementos que se encuentran entre la cara interior de la cámara ventilada y el acabado del espacio habitable. Puede estar formada por una única lámina o por varias, pero independientemente de su materialización las funciones a satisfacer son las que a continuación se cita:

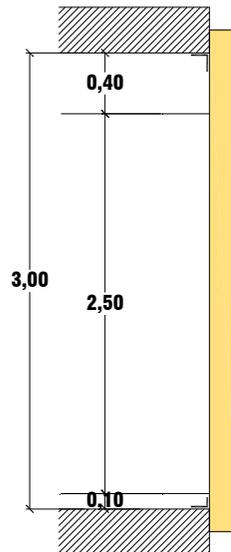
FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

- Estabilidad de la propia hoja o del conjunto de la fachada.
- Resistencia al fuego.
- Atenuación acústica.
- Estanqueidad al aire.
- Confort térmico. Aislamiento térmico e inercia térmica.

❖ Estabilidad de la propia hoja o del conjunto de la fachada.

Las acciones mecánicas a las que se ve sometida la fachada pueden ser de muchos tipos: fijas, variables, generalizadas, localizadas...

La carga de viento es la acción determinante en el dimensionado de los elementos que forman el cerramiento. El peso propio y las acciones puntuales causadas por el hombre en las partes accesibles de la fachada inciden en el diseño pero tienen un valor secundario en el dimensionado.



Para realizar una hipótesis de cálculo es preciso:

- Definir la geometría del sistema
- Cuantificar las acciones incidentes
- Acotar valores admisibles para el estado límite de servicio y el estado límite último.

Geometría del sistema

Con la voluntad de poder comparar las propuestas de panel entre ellas, se ha definido un edificio tipo donde colocarlo que fija las condiciones de contorno y las acciones incidentes. La altura de este edificio es de 100 m.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

El uso es residencial ya que es el que habitualmente dispone de mayor superficie ciega en fachada.

La luz de 3,00 m entre forjados permite destinar 40 cm al falso techo, 10 cm para nivelación y pavimento, y preservar 2,50 m de altura libre.

Para la fijación del panel a la estructura se plantea una solución de anclaje mecánico al forjado haciendo trabajar esta unión de forma articulada.

Si la altura del panel la fija la distancia entre forjados, el ancho lo establece la dimensión del cortafuegos mínimo que tiene que resolver colocado en posición apaisada, es decir 1 m. Con el panel en vertical la sectorización frente a la propagación del fuego se produce en toda la altura de fachada.

Superficie del panel: 3,30 x 1,00 m

Cuantificación de las acciones incidentes: Determinación de la carga de viento.

Hipótesis no válida para edificios situados en altitudes superiores a 2.000m.

De cara a determinar la acción del viento se ha realizado un estudio genérico en base a las distintas variables que contempla el CTE en el “Documento Básico: Acciones en la Edificación”.

La acción del viento se ha cuantificado para las tres zonas eólicas y los cinco entornos que describe la normativa citada.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

De los datos obtenidos se desprende el valor de 200 kg/m² aplicado en el cálculo de los distintos paneles planteados. Para edificios urbanos de hasta 8 plantas esta acción del viento incluye todas las posibles combinaciones de variables.

Exigir al cerramiento de fachada que soporte una carga de 200 kg/m², permitiría construir edificios de 20 m de altura cerca del mar o de grandes lagos siempre que el viento no superara los 27 m/s. Condición que se da prácticamente en el 75% del territorio nacional según el plano que incluye el anexo D del DB SE-AE.

Alturas similares se podrían alcanzar en terreno rural llano o accidentado, permitiendo llegar hasta los 35 m con vientos de 26 m/s (el 50% del territorio).

En zona urbana la altura construida podría ser de hasta 35 m para cualquiera de las velocidades de viento que la normativa asigna al territorio español, llegando incluso a los 70 m con vientos de 26 m/s.

Únicamente allá donde se dé profusión de edificios en altura sería viable edificar hasta 100 m con vientos de no más de 27 m/s.

Acción del viento: 200 kg/m²

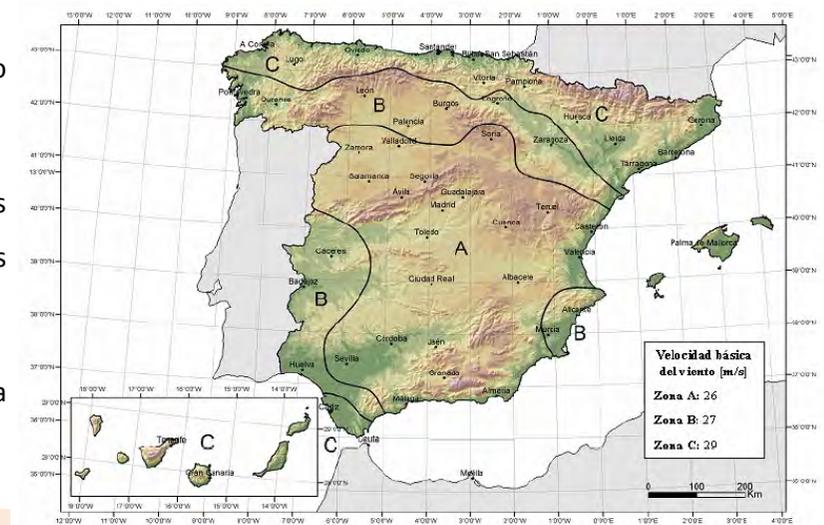


Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, v_b

ZONA I

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
15,0	-175,89	-138,20	-62,82	125,64	-37,69	-189,68	-149,03	-67,74	135,49	-40,65	-218,82	-171,93	-78,15	156,30	-46,89
20,0	-185,20	-145,51	-66,14	132,29	-39,69	-199,72	-156,92	-71,33	142,66	-42,80	-230,41	-181,04	-82,29	164,58	-49,37
35,0	-203,95	-160,25	-72,84	145,68	-43,70	-219,94	-172,81	-78,55	157,10	-47,13	-253,73	-199,36	-90,62	181,24	-54,37
70,0	-228,32	-179,39	-81,54	163,09	-48,93	-246,23	-193,46	-87,94	175,88	-52,76	-284,05	-223,18	-101,45	202,89	-60,87
100,0	-241,36	-189,64	-86,20	172,40	-51,72	-260,29	-204,51	-92,96	185,92	-55,78	-300,28	-235,93	-107,24	214,49	-64,35

ZONA II

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
9,0											-199,67	-156,88	-71,31	142,62	-42,79
15,0	-178,94	-140,60	-63,91	127,81	-38,34	-192,97	-151,62	-68,92	137,84	-41,35	-222,61	-174,91	-79,50	159,01	-47,70
20,0	-189,71	-149,06	-67,75	135,51	-40,65	-204,59	-160,75	-73,07	146,14	-43,84	-236,02	-185,44	-84,29	168,59	-50,58
35,0	-211,49	-166,17	-75,53	151,06	-45,32	-228,07	-179,20	-81,45	162,91	-48,87	-263,11	-206,73	-93,97	187,94	-56,38
70,0	-239,94	-188,52	-85,69	171,39	-51,42	-258,75	-203,30	-92,41	184,82	-55,45	-298,51	-234,54	-106,61	213,22	-63,97
100,0	-255,22	-200,53	-91,15	182,30	-54,69	-275,23	-216,25	-98,30	196,59	-58,98	-317,52	-249,48	-113,40	226,80	-68,04

ZONA III

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
15,0	-154,72	-121,57	-55,26	110,51	-33,15	-166,85	-131,10	-59,59	119,18	-35,75	-192,49	-151,24	-68,75	137,49	-41,25
20,0	-166,21	-130,59	-59,36	118,72	-35,62	-179,24	-140,83	-64,01	128,03	-38,41	-206,78	-162,47	-73,85	147,70	-44,31
35,0	-189,56	-148,94	-67,70	135,40	-40,62	-204,42	-160,62	-73,01	146,01	-43,80	-235,83	-185,30	-84,23	168,45	-50,54
70,0	-220,34	-173,12	-78,69	157,39	-47,22	-237,61	-186,69	-84,86	169,72	-50,92	-274,12	-215,38	-97,90	195,80	-58,74
100,0	-236,98	-186,20	-84,64	169,27	-50,78	-255,56	-200,80	-91,27	182,54	-54,76	-294,82	-231,64	-105,29	210,59	-63,18

ZONA IV

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
20,0	-134,66	-105,80	-48,09	96,19	-28,86	-145,21	-114,09	-51,86	103,72	-31,12	-167,52	-131,62	-59,83	119,66	-35,90
35,0	-160,22	-125,89	-57,22	114,44	-34,33	-172,79	-135,76	-61,71	123,42	-37,03	-199,33	-156,62	-71,19	142,38	-42,71
70,0	-194,38	-152,73	-69,42	138,84	-41,65	-209,62	-164,70	-74,86	149,73	-44,92	-241,82	-190,00	-86,36	172,73	-51,82
100,0	-213,03	-167,38	-76,08	152,16	-45,65	-229,73	-180,50	-82,05	164,09	-49,23	-265,02	-208,23	-94,65	189,30	-56,79

ZONA V

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
20,0	-102,02	-80,16	-36,44	72,87	-21,86	-110,02	-86,44	-39,29	78,59	-23,58	-126,92	-99,72	-45,33	90,66	-27,20
35,0	-127,86	-100,46	-45,66	91,33	-27,40	-137,88	-108,33	-49,24	98,49	-29,55	-159,07	-124,98	-56,81	113,62	-34,09
70,0	-162,82	-127,93	-58,15	116,30	-34,89	-175,59	-137,96	-62,71	125,42	-37,63	-202,56	-159,15	-72,34	144,69	-43,41
100,0	-182,09	-143,07	-65,03	130,06	-39,02	-196,36	-154,28	-70,13	140,26	-42,08	-226,53	-177,99	-80,90	161,81	-48,54

En edificios urbanos de hasta 8 plantas (aprox. 24 m.) puede tomarse un valor constante de $C_e = 2,0$ independiente de la altura.

ZONA IV

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
20,0	-118,30	-92,95	-42,25	84,50	-25,35	-127,58	-100,24	-45,56	91,13	-27,34	-147,18	-115,64	-52,56	105,13	-31,54

ZONA V

metros	A 26m/s					B 27m/s					C 29m/s				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
20,0	-118,30	-92,95	-42,25	84,50	-25,35	-127,58	-100,24	-45,56	91,13	-27,34	-147,18	-115,64	-52,56	105,13	-31,54

	$Q \leq 150 \text{ kg/m}^2$
	$150 \text{ kg/m}^2 \leq Q \leq 200 \text{ kg/m}^2$
	$200 \text{ kg/m}^2 \leq Q \leq 300 \text{ kg/m}^2$
	$300 \text{ kg/m}^2 \leq Q$

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Valores admisibles para el estado límite de servicio y el estado límite último

Estado límite de servicio: Resistencia y estabilidad

El Estado Límite de Servicio contempla la exigencia de que el elemento constructivo soporte las acciones a las que se ve sometido. La satisfacción de este punto depende de la adecuada elección del material (σ_f) y de la geometría del panel (W), ya que la acción del viento es imposible de controlar.

$$\text{Tensión a flexión: } \sigma_f = M_f / W; \quad \boxed{M_f = \sigma_f * W}$$

La posibilidad de que la solución de panel sea heterogénea impide cuantificar la tensión según sus valores a compresión y a tracción. La complejidad de las placas mixtas obliga a recurrir a ensayos experimentales a flexión.

Estado límite último: Aptitud al servicio

El Estado Límite Último establece, entre otras cosas, la deformación máxima admisible para el elemento de cara a que no se produzcan patologías constructivas.

Flecha admisible

Para la determinación de la flecha admisible se deben considerar tanto criterios mecánicos como estéticos.

Limitaremos la deformación admisible por analogía con otras soluciones de fachada:

- acabado revocado
- obra vista
- muro cortina de aluminio y vidrio

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

La NTE “Revestimientos” limita la falta de planeidad de una fachada acabada con revoco en 3 mm con regle de 1 m y 15 mm en toda la longitud o altura del paño de pared. Extrapolando estos valores a una fachada ventilada formada a partir de semiproductos, se puede considerar que la primera limitación hace referencia a la propia deformación de la placa de la hoja exterior del cerramiento ya es del orden de magnitud del tamaño que tienen estas placas. La segunda condición es la que se entiende de aplicación a elementos que van de forjado a forjado, es decir al panel de soporte, y que se puede transmitir a la hoja exterior y al trasdosado interior de no ser este autoportante.

Una deformación máxima de 15 mm aplicada a un panel de 3,30 m de longitud, da una flecha máxima de L/200 aproximadamente.

Estableciendo la misma analogía con los cerramientos de fabrica de ladrillo visto, y según datos obtenidos del documento de Hispalyt “El muro de Ladrillo”, la condición de rechazo en cuanto a la planeidad se da cuando midiendo con regle de 2 m existan variaciones mayores a los 5 mm. En cuanto a las alturas parciales la tolerancia es de ± 15 mm, obteniéndose el mismo valor para la flecha equivalente que en el ejemplo anterior.

El “Manual de producto. Fachadas Ligeras” muy completo desde el punto de vista de la fachada ligera de estructura de aluminio ó acero y cerramiento de vidrio, no contempla las fachadas ligeras opacas, aún así resulta interesante ver el valor máximo que asigna a la flecha. Tal y como dice el manual: *“Bajo las cargas declaradas debidas al viento, la flecha frontal máxima de los elementos del armazón de la fachada ligera no debe sobrepasar L/200 ó 15 mm, el que sea más bajo, cuando se mide entre los puntos de*

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

soporte o de anclaje a la estructura del edificio, de conformidad con la norma europea EN 13116.”

Es decir, que el valor que asigna para la flecha debida a la succión o empuje del viento sobre la estructura del muro cortina para luces de 3 m es L/200 ya que no supera los 15 mm.

Así como se puede entender que, en el caso del revoco, la justificación del valor que limita la planeidad es estética, en el caso de la pared de fábrica de ladrillo visto, una desviación excesiva del centro de gravedad del paramento con respecto a la base supondría un problema de estabilidad. En el muro cortina prevalece que la deformación de la estructura de soporte no transmita tensiones al vidrio que puedan provocar su rotura.

Los tres ejemplos analizados para poder establecer una analogía con la fachada a estudio nos llevan a pensar que la flecha admisible del panel puede ser del orden de 1/200 de la luz.

Dada la condición portante de fachada, su deformación, implica la deformación de todos los elementos que se fijan a él, o la previsión de sistemas de anclaje permisivos en sentido horizontal con juntas elásticas para evitar vibraciones y el golpeteo de las placas del revestimiento exterior. No sería deseable que la deformación del panel transmitiera tensiones al trasdosado interior o a la hoja exterior.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

El buen comportamiento de la fachada en relación a las deformaciones por flecha dependerá de los valores de la inercia y del módulo de elasticidad (rigidez: $K=E*I$) tanto del panel como del resto de láminas del cerramiento que, por el hecho de estar ancladas a él, podrían sufrir la misma deformación.

$$f = \frac{5 * QL * L^4}{384 * E * I}$$

En la deformación de la hoja exterior también incide el despiece, el tamaño de las juntas y la permisividad en cuanto a los movimientos horizontales de los anclajes que fijan la hoja exterior a la interior.

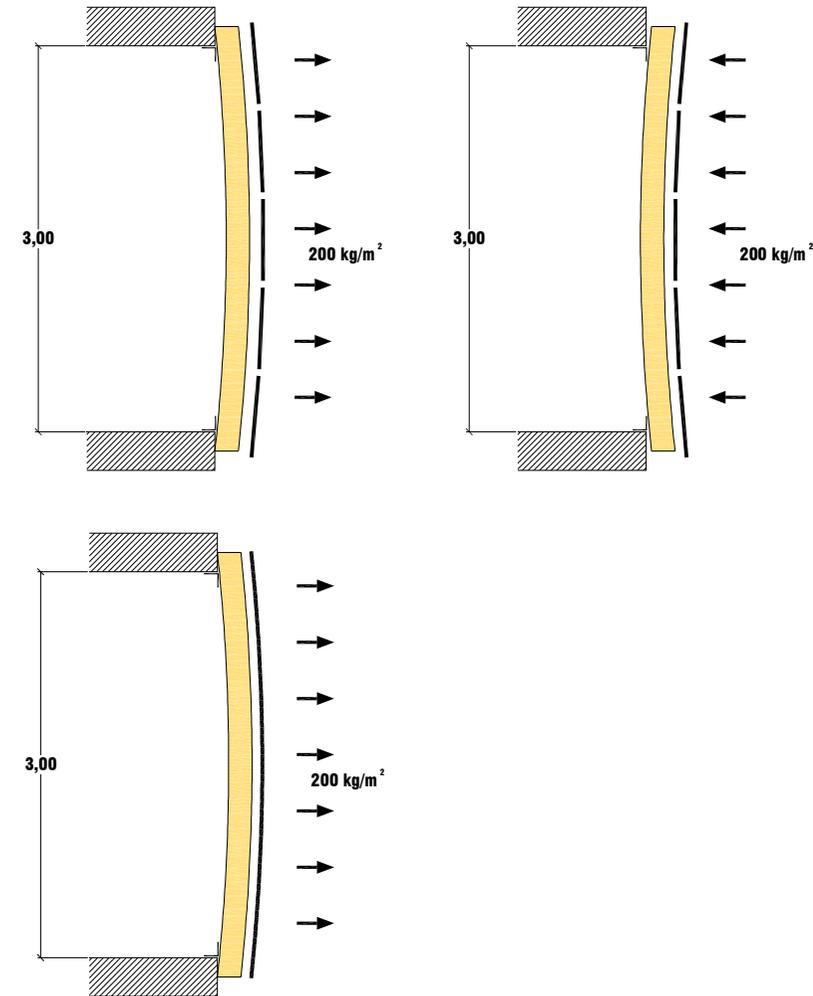
Flecha admisible: $L / 200$

Cargas excéntricas debidas al peso de la hoja exterior

La hoja interior portante respecto la acción del viento transmite todas las cargas que gravitan sobre ella a la estructura principal del edificio.

Ser autoportante y capaz de soportar la succión y empuje del viento no es suficiente, además debe soportar las acciones puntuales que le provocan cada una de las fijaciones de la hoja exterior.

El grueso del material de aislamiento térmico, sumado con el de la cámara de aire puede generar una excentricidad considerable para la carga vertical provocada por el peso



FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

propio de la hoja exterior. Este valor variará en función de una infinidad de parámetros que tienen que ver tanto con el diseño del propio panel como con el de la hoja exterior o el tipo de anclaje de la misma.

Un valor bajo para la conductividad térmica de un panel de ancho adecuado permite disminuir el espesor de aislamiento térmico añadido por su cara exterior; la junta demasiado abierta entre placas de la hoja exterior pide una cámara de mayor grueso, etc.

Por lo general estamos hablando de valores para la excentricidad del orden de los 5 a 10cm.

El peso que soporta cada anclaje depende de la densidad del material de la hoja exterior, su espesor y del despiece de fachada.

Un metro cuadrado de granito de 3 cm de grueso pesa del orden de los 84 kg. Esta placa de metro por metro es muy pesada para ser colocada por un único operario, pero la solución es viable por lo que se puede contemplar como valor límite superior para el peso de la placa.

Existen propuestas de placas de mayor grueso, como es habitual trabajando con pizarra, o de formatos mayores, pero se entiende que son soluciones excepcionales.

De las cuatro fijaciones que habitualmente anclan la placa, únicamente dos soportan peso, la función de las otras dos es simplemente de retención al vuelco.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Dando por válido el peso de 84 kg/placa y tomando un valor de 10 cm para la excentricidad, cada uno de los anclajes de carga soportará 42 kg, produciendo un momento en la unión sobre el panel ($M = e \cdot P$) de 42 Nm. (42.000 Nmm).

Cargas puntuales provocadas por las fijaciones de la hoja exterior sobre la interior

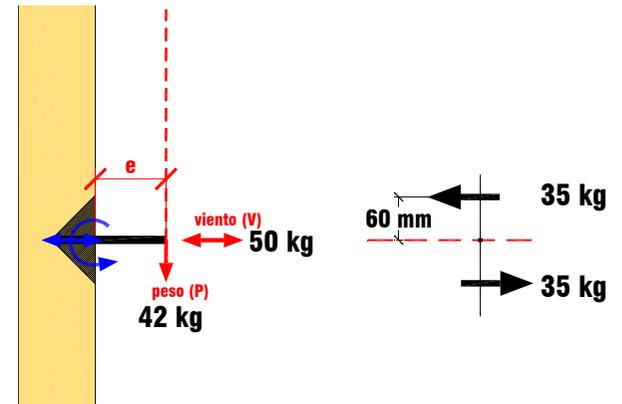
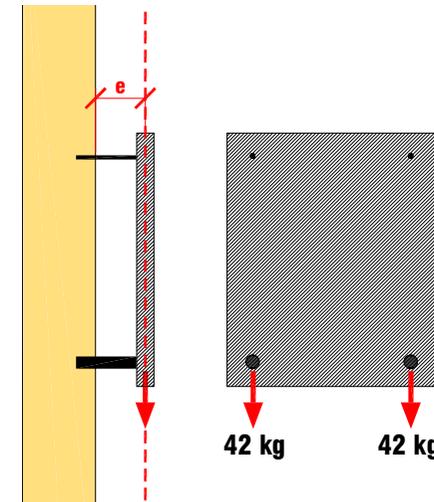
Desde el principio del capítulo estamos hablando de una carga repartida de 200 kg/m² actuando sobre el conjunto de la fachada. Esta carga repartida actúa sobre la hoja exterior y, en función de su despiece, se distribuye sobre la interior.

Siguiendo con el ejemplo anterior, donde las placas de la hoja exterior son de metro por metro, la transmisión de la acción del viento sobre el panel de soporte será poco repartida, y más bien deberíamos hablar de una sucesión de cargas puntuales horizontales de empuje o succión. Los cuatro anclajes que fijan la placa reaccionan frente acciones horizontales.

Desglosar la carga repartida que provoca el viento en fuerzas puntuales dispuestas de manera ordenada sobre el panel interior no se puede hacer sin conocer el despiece concreto de la hoja exterior.

Sí se puede asimilar despieces de pequeño formato con cargas repartidas y los de gran formato con acciones horizontales puntuales.

Para poder dar respuesta a la más amplia variedad de propuestas de despiece de hoja exterior, el panel planteado debe soportar, siguiendo con el ejemplo anterior, tanto la



FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

carga repartida de 200 kg/m² de empuje o succión, como posibles cargas puntuales de tracción o compresión de 50 kg (por viento), más la debida al momento que provoca la hoja exterior colgada (del orden de los 35 kg según sea la excentricidad y el diseño del anclaje).

Hipótesis de carga

Panel de dimensiones 3,30 x 1,00 x e m (espesor a determinar según propuestas).

Uniones a la estructura principal articuladas.

Luz aproximada entre apoyos 3 m.

Carga de viento a considerar: 200 kg/m².

Flecha admisible: L/200

Acción de cargas puntuales de tracción o compresión: 85 kg

❖ Resistencia al fuego.

El Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico: Seguridad en caso de incendio, subpartado “SI 2 – Propagación exterior”, plantea las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio en relación a la propagación del mismo por el exterior del edificio.

Este documento exige, para efectuar una sectorización por plantas, un valor mínimo de resistencia al fuego de la fachada EI 60 en un tramo de 1m a nivel de forjado; ó su equivalente contemplando el desarrollo de los elementos salientes; y una resistencia al

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

fuego también El 60 en un tramo de longitud variable según la geometría de la fachada, entre sectores dispuestos en horizontal.

El valor El 60 indica que el elemento de sectorización debe mantener su integridad y un aislamiento térmico suficiente para que la cara del cerramiento no expuesta al fuego se mantenga por debajo de los 120°C durante un periodo no inferior a 60 minutos.

Este requerimiento sólo es preciso que se cumpla considerando el foco del fuego en el interior del edificio, es decir que no exige simetría prestacional al elemento de fachada. El sentido en que debe considerarse la acción del fuego no está especificado en el documento correspondiente del CTE, pero lo aclara el Ministerio de la Vivienda en *“Criterios para la interpretación y aplicación del DB-SI – Seguridad en caso de incendio del CTE”*.

Los cerramientos de fachada que no deban cumplir una función de sectorización a efectos de propagación del fuego no se ven afectados por esta restricción. Edificios de uso residencial cuya superficie construida sea inferior a 2.500 m² pueden ser considerados un único sector de incendios. De todos modos, contemplar como requerimiento básico para la envolvente el valor de El 60 minutos parece adecuado de cara a potenciar las posibilidades de aplicación de las propuestas de hoja interior que se plantean.

Los valores que fija la normativa son prestacionales. Para determinar si el material cumple con la exigencia se deberá recurrir a la información que facilita el fabricante o a datos físico - químicos referentes a la naturaleza del mismo.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Las propiedades de los materiales dependen exclusivamente de su estructura interna, es decir de su composición y del tipo de enlace químico que poseen. Entrar en un análisis a nivel de estructura molecular conllevaría un trabajo que está fuera del alcance de esta tesis. Aún así, del estudio a nivel macroscópico de determinados materiales de construcción se desprenden las conclusiones que se resumen a continuación.

La temperatura que alcanza un fuego a los 60 minutos de su inicio es de 950 °C según la curva normalizada tiempo temperatura.

Curva normalizada Tiempo - Temperatura

Tiempo t, en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector Θ_g , en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150

Los metales, dada su bajo calor específico y alta conductividad son incapaces de mantener un valor EI de 60 minutos a 950 °C. Sí lo son algunos compuestos multicapa como es el caso de paneles sándwich con núcleo de lana mineral.

La cerámica sí resulta un material adecuado siempre y cuando haya sido cocida a temperatura superior a la que se ha de ver sometida en el incendio.

Los aglomerados con cemento o cal pierden agua y se disgregan a nivel molecular. En caso de incorporar armado de acero en barras, éste transmitirá el calor de forma más rápida que el aglomerado haciendo que, en determinados puntos del elemento de fachada, el salto térmico entre ambos materiales provoque dilataciones diferenciales y el consiguiente desconchamiento, “spalling”, del hormigón. Este fenómeno se agrava con

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

los hormigones de árido ligero, ya que al ser menos conductores la diferencia térmica es más grande y el desconchado se produce antes.

El buen dimensionado de la pieza y del recubrimiento del armado puede hacer que la propia carbonatación proteja la sección eficaz desde el punto de vista mecánico haciendo viable la solución.

El armado con fibras de acero, al incorporar la masa metálica de forma homogénea en todo el grueso de hormigón, minimiza el fenómeno de “spalling”.

Un mecanismo de protección similar se aplica a la madera, que aún siendo un material combustible, la baja velocidad a la que ésta se produce permite que un simple predimensionado preserve la sección útil el tiempo necesario.

En el caso de los compuestos multicapa es importante analizar la naturaleza del material de unión. Los de tipo polimérico, es decir resinas, no acostumbran a soportar las altas temperaturas llevando al colapso el panel.

Si las láminas se exfolian se puede producir un fenómeno de propagación acelerada del fuego por el interior del material debido a los canalillos que genera la propia exfoliación. Es un fenómeno similar al efecto chimenea que se produce en el conjunto de la cámara ventilada pero a escala menor.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Reacción al fuego

No se ha encontrado en la normativa vigente referencia alguna a las condiciones de reacción al fuego que debe satisfacer la hoja interior de la fachada ventilada, aún así es importante hacer una serie de consideraciones al respecto.

Dicha normativa sí hace referencia al resto de elementos del cerramiento en cuanto a su reacción al fuego. El CTE define las características que deben cumplir todos aquellos elementos que ocupan más del 10% de la superficie de acabado exterior de la fachada o de las superficies interiores de las cámaras ventiladas.

La característica que la normativa exige para estos materiales es ser **B-s3 d2**, es decir combustibles, con una contribución al fuego limitada, un valor para la cantidad y la velocidad de emisión de humo alta, y con posibilidad de caída de gotas o partículas inflamadas. Sorprende lo poco restrictivo que es el CTE a este respecto.

En el artículo 3º “Materials” de la “Ordenança Municipal de Condicions de Protecció Contra Incendis” aprobada en febrero del 2008, dice que los materiales de revestimiento exterior en fachadas y medianeras y los de las superficies interiores de las cámaras ventiladas que las fachadas puedan tener serán de clase de reacción al fuego no superior a **B-s3 d0**. Esta normativa resulta algo más restrictiva ya que no acepta la caída de gotas o partículas inflamadas durante los primeros 10 minutos de la combustión del material. Por otra parte, no limita la zona de fachada donde se debe cumplir este requerimiento, como sí hace el CTE.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

En definitiva, tal como se exige al resto de materiales de la fachada ventilada, la hoja interior debería ser como mínimo **B-s3 d2** ó **B-s3 d0** si nos acogemos a la propuesta de la Ordenanza Municipal.

No se ha encontrado referencia alguna que ligue los valores de la resistencia al fuego con los de la reacción, pero lógicamente, y tal como se da en el caso de la madera, un buen sobredimensionado de la sección puede hacer que un material con cierto grado de combustibilidad sea EI 60. De todas formas, mantener la integridad y el aislamiento térmico durante 60 minutos será una condición más restrictiva para el material de la hoja interior que la reacción al fuego ya que no incidirá únicamente en el panel, sino en el conjunto del sistema: resolución de juntas, fijaciones...

Resistencia al fuego: EI 60

Reacción al fuego: B-s3 d0

❖ Atenuación acústica.

El nivel de ruido en el interior de un recinto que linda con la fachada del edificio depende del nivel acústico exterior (Índice de ruido día - L_d), del volumen y forma del recinto a estudiar, de la capacidad de reducción acústica de la envolvente, de la relación entre ésta y los elementos de cerramiento interior verticales y horizontales, y del nivel acústico de los locales colindantes.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

La forma de la fachada, existencia de voladizos, balcones, retranqueos, etc. contribuye a cómo las ondas acústicas inciden sobre la envolvente pudiendo incrementar o disipar la acción de la fuente emisora.

El Código Técnico de la Edificación, en el documento DB-HR Protección frente al ruido, resume estos conceptos en la siguiente expresión:

$$D_{2m,nT,A} = R'A + \Delta L_{fs} + 10 \lg (V / 6 T_o S)$$

siendo:

- $D_{2m,nT,A}$ aislamiento global, ponderado A
- $R'A$ índice global de reducción acústica aparente, ponderado A
- ΔL_{fs} diferencia de niveles por la forma de la fachada (tabulado en anejo F)
- V volumen del recinto receptor
- T_o tiempo de reverberación de referencia $T_o = 0,5$ s
- S área de fachada vista desde el interior

El valor que se obtiene con esta expresión está ponderado según un ruido exterior dominante ferroviario o ruido rosa que es el que se usa habitualmente para definir valores globales. Para el aislamiento en fachadas debe corregirse con el valor de adaptación espectral para ruido de tráfico (Ctr).

$$D_{2m,nT,Atr} \approx D_{2m,nT,A} + Ctr$$

En el cálculo del índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, ($R'A$), se deben considerar tanto las transmisiones directas a través del propio cerramiento de fachada como las indirectas, es decir aquellas vibraciones que transmite el plano de

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

fachada a los cerramientos que entregan contra él, tabiques y forjados, y que estos a su vez transmiten al recinto interior.

La falta de definición del edificio donde puede ir colocado el panel a estudio y la gran cantidad de posibilidades de resolución de forjados, suelos, techos, tabiquerías, etc., hace inviable la obtención del valor R'A.

Si se obvian las transmisiones indirectas, la reducción acústica es directamente la del tramo tipo de hoja interior (RA), más la posible mejora debida a la hoja exterior.

Este valor simplificado tiene carácter orientativo y servirá para comparar diferentes soluciones de hoja interior, pero no puede utilizarse para establecer un límite exigencial de reducción acústica para el panel propuesto ya que existen demasiados parámetros sin definir de cara a determinar el cumplimiento del que es realmente el requerimiento: el nivel acústico del recinto interior.

La reducción acústica que aportan las distintas soluciones de panel se establecerá únicamente según la Ley de Masas y tal como la aplica el CTE:

Índice global de reducción acústica, ponderado A, (RA), de un elemento constructivo homogéneo, en función de su masa:

$$M \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad \boxed{RA = 16,6 * \lg M + 5 \text{ dBA}}$$

$$M \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad \boxed{RA = 36,5 * \lg M - 38,5 \text{ dBA}}$$

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

El nivel de ruido de cualquier espacio dependerá también de la correcta ejecución de la obra, del tratamiento de las juntas, de la incorporación de instalaciones empotradas, etc. La medición in situ es el único valor real.

Para establecer el nivel máximo de ruido admisible en un espacio según su uso, y al que tienen que adecuarse las solución constructivas tanto de fachada como del resto de elementos que limitan dicho espacio, es necesario conocer el índice de ruido día L_d .

Este valor varía en función del emplazamiento. Para sectores de uso residencial se puede adoptar $L_d = 60$ dBA, a no ser que se disponga del correspondiente mapa estratégico de ruido.

A partir de este valor, la exigencia de aislamiento acústico a ruido aéreo $D_{2m,nT,Atr}$ entre un recinto protegido y el exterior se deduce de valores tabulados en el documento correspondiente del CTE.

L_d dBA	USO DEL RECINTO	
	Dormitorios	Estancias
$L_d \leq 60$	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37
$L_d > 75$	47	42

Atenuación acústica: 32 dBA

❖ Estanqueidad al aire.

El requerimiento de resistencia al fuego obliga a garantizar la estanqueidad al aire de la hoja interior, y especialmente de sus juntas. Aún así, en el caso de que no sea necesaria la sectorización por plantas para evitar la propagación del fuego, la estanqueidad al aire debe igualmente exigirse.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO				FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

En la construcción convencional difícilmente se plantea la estanqueidad al aire como uno de los requerimientos básicos de la envolvente. Se da por hecho que a través del cerramiento ciego no se van a producir filtraciones. La adición de ladrillos con aglomerantes facilita que la pasta se adapte a cualquier irregularidad de los conformados a unir, taponando así todos los huecos que pueda haber.

No se puede decir lo mismo en el caso de las carpinterías. En sus uniones no hay “pastetas”, como mucho el cordón de silicona que sella la junta entre el vidrio y el marco. Fijaciones mecánicas y junquillos a presión son los sistemas de unión, mientras que burletes de material polimérico conformado y geometrías más o menos complejas garantizan el sellado al aire y al agua.

El CTE, en el documento DB HE Ahorro de Energía, únicamente trata la permeabilidad al aire referida a carpinterías, no al tramo ciego. Limita su valor en $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ($5 \text{ l}/\text{cm}^2$ en una hora) para las zonas de clima suave en invierno (A y B), y $27 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ($2,7 \text{ l}/\text{cm}^2$ en una hora) para las zonas de clima más severo (C, D y E).

Cuantifica las filtraciones de aire en los elementos practicables pero no en la resolución de las juntas entre estos y el tramo ciego, o en la unión entre las piezas que conforman propiamente dicho tramo. Se da por sentado que esta parte del cerramiento es absolutamente estanca al paso del aire.

La hoja interior para la fachada ventilada que propone esta tesis se plantea construir a partir de semiproductos o componentes aprovechando las ventajas del montaje en seco.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Las técnicas de unión habitualmente empleadas en sistemas formados por este tipo de elementos son mecánicas. La no incorporación de aglomerantes hidráulicos o poliméricos agiliza el proceso de obra ya que desaparecen los tiempos muertos de fraguado o secado, pero difícilmente se garantiza el correcto sellado entre las juntas si no es por medio de un diseño adecuado.

Volviendo al CTE, se puede justificar que no contemple el requerimiento de permeabilidad o estanqueidad al aire más que en las carpinterías al evidenciar en el documento DB HS 1 que la normativa siempre plantea soluciones de tramo ciego de fachada más o menos complejas pero incluyendo, en cualquier de los casos, una “hoja principal” que se caracteriza por estar formada por fábrica tomada con mortero.

La norma UNE EN 12207:2000 clasifica las carpinterías practicables exteriores según el grado de permeabilidad al aire. Las de tipo 1, clase que designa baja calidad, sólo son admisibles en edificaciones situadas en zonas A ó B.

No se ha encontrado ninguna norma que cuantifique el volumen de aire que se podría admitir atravesara un cerramiento ciego. Es más, asumir un cierto valor para la permeabilidad en este tramo de envolvente obligaría a revisar los volúmenes de aire según los cuales se clasifican las carpinterías. El intercambio final entre interior y exterior no puede ser excesivo ni concentrado en el tiempo ni por unidad de superficie. En cualquier caso no debe producirse.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

❖ Confort térmico. Aislamiento térmico e inercia térmica.

El CTE asigna valores límite medios para la transmitancia en los distintos cerramientos del edificio que varían según la ubicación de éste dentro de la geografía española. Son valores que, en el caso de los muros de fachada, van de los 0,94 W/m²K de Santa Cruz de Tenerife (zona A3), a los 0,57 W/m²K de una fachada de un edificio en Burgos (zona E1).

Para evitar diferencias térmicas excesivas dentro de un mismo paramento, esta normativa también limita los valores máximos, oscilando entre los 1,22 W/m²K de las zonas cálidas a los 0,74 W/m²K de las más frías.

El valor para la transmitancia en cerramientos sin cámara o con cámara estanca es fácil de calcular ya que sólo depende del coeficiente de conductividad térmica de cada material, de los distintos espesores, de las resistencias superficiales y de la resistencia de la cámara, dato conocido y que el propio CTE recoge en una tabla para tres espesores distintos.

Cuando la cámara esta ventilada la cosa cambia y la cuantificación de la transmitancia resulta mucho más compleja. ¿Cuál es la temperatura de la cámara?, ¿qué volumen de aire circula por unidad de tiempo?, ¿cuánto irradia la hoja exterior hacia el interior? Todas estas preguntas son difíciles de contestar y la respuesta varía para cada proyecto. Depende del material de la hoja exterior, del tamaño, longitud y geometría de las juntas, de la anchura de la cámara, de su posible sectorización, etc.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

El CTE hace una distinción entre una cámara de aire ligeramente ventilada y una muy ventilada, siendo el límite entre una y otra un valor para la superficie de juntas de 1.500 mm² por ml contado en horizontal para cámaras verticales; y el mismo valor aplicado a los m² de superficie para cámaras de aire horizontales.

Con una junta de 5 mm estaríamos hablando de una longitud de 300 mm, es decir 30cm. Este valor de aberturas es considerablemente pequeño tanto para un metro lineal de fachada como para un metro cuadrado.

Fácilmente la hoja exterior superará este valor.

En estos casos, la resistencia térmica de la cámara y la de la hoja exterior se despreciarán en el cálculo de la transmitancia. El CTE indica que, como resistencia superficial exterior se emplee el mismo valor que para la interior.

Inercia térmica

La inercia térmica depende de la masa en contacto con el espacio a climatizar y de la capacidad de esta masa de acumular calorías, es decir de su calor específico. La normativa no especifica nada al respecto así que su cuantificación dependerá, en cada caso, de las necesidades del proyecto y la voluntad del proyectista.

Es importante recordar que, así como es responsabilidad del cerramiento de fachada controlar la acción de los flujos que inciden sobre él; aportar inercia térmica al espacio

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

habitable no depende de forma exclusiva de la materia que forma este cerramiento. Techos, suelos y tabiques son otros posibles acumuladores de calor.

Transmitancia máxima: 0,57 W/m²K

ii - Funciones de servicio que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.

❖ Dar el acabado interior.

Una de las funciones de la hoja interior que en muchas ocasiones no se contempla, es la de dar el acabado al espacio habitable. La costumbre de enlucir o trasdosar con placa de yeso y luego pintar las superficies interiores nos hace olvidar que esta es una decisión voluntaria, y a la que se podría dar respuesta de muchas otras maneras, no sólo con panelados diversos, tapizados, etc.; sino recurriendo a elementos volumétricos aptos para albergar un determinado uso, o simplemente sumando esta función de acabado a las exigencias de la capa más interior de las que forma la sección de fachada.

Estos acabados pueden ir de las soluciones más cálidas que ofrecen por ejemplo los paneles contrachapados de madera KLH, pasando por la textura tradicional de la fábrica de ladrillo a la dureza del hormigón.

El “olvido” de la superficie interior es tanto más grave cuando se lee como lo que realmente es: el olvido de sus funciones. La luz, el sonido, la calidez de un espacio, etc.,

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

depende en gran medida de cómo las superficies que lo limitan absorben, reflejan o refractan las ondas incidentes, de la temperatura superficial, del tacto, etc.

❖ Albergar instalaciones.

La solución para el acabado interior del cerramiento está relacionada con la posibilidad de alojar instalaciones en el grueso de la fachada tanto desde el punto de vista de su colocación como del posterior mantenimiento o reubicación.

Es importante distinguir entre dos tipos de instalaciones: las de uso comunitario y las particulares de cada propietario o vivienda. Las primeras son responsabilidad de toda la comunidad y deben ser accesibles desde lugares que no supongan una servidumbre para ninguna de las unidades privativas. Este acceso se puede producir desde espacios comunes, vestíbulo, patios, etc., o por fachada.

Las segundas pertenecen de forma particular al propietario de la vivienda a la que dan servicio. No sólo éste es responsable de su mantenimiento sino que tiene libertad absoluta para incorporar las modificaciones que considere pertinentes siempre que no alteren el funcionamiento de la red comunitaria a la que conectan.

Dos conceptos de instalaciones de servicio tan distintos sugieren que su ubicación ha de manifestar esta diferenciación.

De las funciones que resuelve la fachada unas son aptas para ser modificadas por el usuario particular (las menos), mientras que otras forman parte de todos aquellos

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

elementos del edificio de carácter comunitario. El tendido de instalaciones se descompone entre estos dos territorios.

El usuario puede modificar el acabado interior, puede alterar las instalaciones, puede colocar mecanismos de protección solar en la parte interior de las carpinterías; pero no puede modificar el acabado exterior, interrumpir el aislamiento térmico, etc.

Debe existir un límite en el grueso de la sección de fachada que separe aquello a lo que puede acceder cada usuario particular de lo perteneciente a la comunidad; y que permita al usuario adaptar su vivienda a sus necesidades sin temor a dañar las capas que resuelven alguna de las funciones básicas, como son todas las de acondicionamiento.

Las instalaciones particulares deben colocarse entre este límite y el acabado interior, mientras que las de uso comunitario pueden disponerse en la parte exterior, preferiblemente ocultas tras la hoja exterior.

iii - Requerimientos no funcionales exigibles a la hoja interior de la fachada.

❖ Espesor y ligereza.

Si la satisfacción de las funciones de acondicionamiento, esas que dotan al espacio interior del adecuado nivel de confort, supone una exigencia indiscutible; las de servicio aportan un valor añadido al cerramiento.



Caixa Fórum. Madrid.
Herzog & de Meuron.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

Los requerimientos no funcionales son exigencias de carácter subjetivo que impone en cada caso el proyectista.

Dos de estos requerimientos que se contemplan en el diseño de los cerramientos son minimizar el grueso y el peso, incidiendo en los recursos empleados tanto económicos como medioambientales.

La reducción de espesor permite optimizar la relación entre superficie útil y superficie construida. Si se le suma la ligereza, se está minimizando el volumen de material empleado. El empleo de menos material implica una reducción en el coste medioambiental.

Las soluciones ligeras reducen las sobrecargas aplicadas a la estructura que posiblemente verá reducida su sección y el volumen de cimentación.

Obviamente no basta con limitar el peso de la fachada sino que esta voluntad de aligerar debería aplicarse a todos los elementos de la obra. De no ser así la repercusión es pequeña.

No existe limitación, por parte de la normativa vigente, en cuanto al grueso máximo o mínimo de los cerramientos de fachada. Aún así, el DB HS-1 “Protección frente a la humedad” plantea, para cualquiera de las soluciones de fachada que contempla, la existencia de una hoja principal de 12 o 24 cm, a la que se debe sumar el grueso de las capas adicionales necesarias para garantizar la satisfacción de todas las funciones de la fachada.

FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO					FUNCIONES DE SERVICIO		REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES
ESTABILIDAD	RESISTENCIA AL FUEGO	ATENUACIÓN ACÚSTICA	ESTANQUEIDAD AL AIRE	CONFORT TÉRMICO	ACABADO INTERIOR	ALBERGAR INSTALACIONES	ESPESOR Y LIGEREZA

En relación al peso, el CTE en el Documento Básico – HR “Protección frente al ruido” define la fachada ligera como: *Fachada continua y anclada a una estructura auxiliar, cuya masa por unidad de superficie es menor que 200 kg/m².*

El valor que incluye esta definición, que parece referirse a muros cortina, lo aplicaremos como límite máximo para el peso de cualquier cerramiento que deba considerarse ligero.

Desarrollo 3.- ANÁLISIS GENERAL DE LAS POSIBLES MORFOLOGÍAS DEL PANEL.

Índice

- i - Pérdida de homogeneidad morfológica según las tres direcciones del espacio.
- ii - Inercia mecánica. Geometría y capacidad mecánica.
- iii - Funciones simétricas y asimétricas.
- iv - Comportamiento solidario de elementos compuestos.
 - *Conexiones selectivas.*
 - *Incidencia del material de relleno.*
- v - Funciones continuas y discontinuas.
- vi - Forma y fuego.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

Desarrollo 3.- ANÁLISIS GENERAL DE LAS POSIBLES MORFOLOGÍAS DEL PANEL.

Si las propiedades físicas del material que forma un determinado elemento constructivo son básicas para entender su comportamiento, también lo es su geometría. El espesor y la distribución de la masa dentro de este espesor determinan tanto el cumplimiento de la función acústica como la capacidad portante, entre otros.

Las consideraciones geométricas incorporan datos relevantes en la definición del panel en relación al cumplimiento de los requerimientos mencionados y también en cuanto a criterios de puesta en obra. La resolución de los encuentros con el resto de elementos arquitectónicos, forjados, huecos, etc. así como la posibilidad de fijación de todos los subsistemas de fachada que dependen para su estabilidad del panel, se resolverán de una u otra manera en función de la geometría de la placa.

Si la geometría se limita a dibujar la forma, a definir un volumen o una superficie; los datos relacionados con la morfología serán los que enriquezcan la descripción con valores propios de la estructura interna: estratificados, nervados, gofrados.... en definitiva ritmo entre trama y aligeramiento.

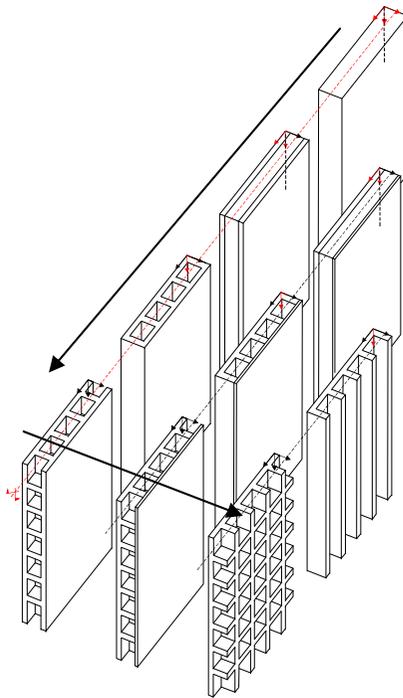
La forma de panel se caracteriza por tener dos de sus dimensiones muy superiores a la tercera. Mientras que para el ancho y largo podemos hablar de “metros”, el grueso lo definen “centímetros” o incluso “milímetros”. Esta geometría determina un volumen donde la casuística en cuanto a la morfología es diversa. Los recursos que se pueden

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCI A MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

emplear para conseguir inercia, sumados a posibles ritmos para el aligeramiento y a la opción de mantener cerrado el espacio aligerado o abrirlo mostrando el nervado interno, son variables que conforman las distintas posibilidades con las que podemos contar.

i - Pérdida de homogeneidad morfológica según las tres direcciones del espacio.

La diversidad morfológica existente entre una placa simple de sección rectangular y una estructura más compleja se puede ordenar según si la pérdida de homogeneidad geométrica se produce en una, dos o las tres direcciones principales del espacio. De esta manera se generan tres estructuras básicas: estratificadas, nervadas o plegadas unidireccionalmente y nervadas bidireccionales o gofradas. Cada una de ellas puede a su vez materializarse de innumerables maneras dependiendo del ritmo entre nervios, gruesos, etc.



Pérdida de homogeneidad:
Cada esquema pierde la isotropía según un eje.

El panel monolítico se caracteriza por su total isotropía geométrica. Al separar la masa del centro de gravedad colocando en la parte central un estrato de menor densidad de cara a no incrementar el peso, la isotropía según el espesor se pierde, pudiéndose mantener o no la simetría entre las sucesivas láminas.

La aplicación del panel en fachada, siempre con la cara de mayor superficie paralela al plano del cerramiento, hace que esta pérdida de isotropía no sea relevante mientras se mantenga la solidaridad entre las láminas. Tanto el panel monolítico como el sándwich se podrían comportar igual colocados en posición vertical o apaisada.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

Lógicamente esto no es así ya que la situación de los apoyos hace que el panel vertical se comporte como una viga biapoyada mientras que el horizontal lo hace normalmente en voladizo, cubriendo el canto del forjado.

Si el panel monolítico lo nervamos o plegamos únicamente según la dirección paralela al canto más largo, en respuesta al que puede ser su comportamiento mecánico más habitual, le estamos aportando anisotropía según su ancho.

El nervado o plegado unidireccional, es decir la heterogeneidad según el ancho, sí supone una caracterización muy particular del panel. Se ratifica una dirección preferente de trabajo que de hecho es inherente a la naturaleza de un panel destinado a ir anclado solamente por dos de sus lados opuestos en una dirección.

Cuando el panel se coloca en posición apaisada cubriendo los cantos de los forjados, el nervado unidireccional según el lado más largo no mejora la respuesta mecánica.

Otro problema de la heterogeneidad del panel según la sección longitudinal o la transversal surge cuando esta geometría se dibuja en la superficie de la placa creando posibilidades de entrega con el resto de los elementos de la obra que varían según si el encuentro es vertical u horizontal.

El nervado bidireccional o gofrado devuelve al panel la posibilidad de ir colocado tanto en vertical como apaisado. Los nervios paralelos al lado más corto favorecen el trabajo del panel en posición horizontal cubriendo el canto del forjado, a la vez que

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIAS MECÁNICAS.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	---------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

facilitan la resolución constructiva de los encuentros entre elementos al ofrecer siempre la misma geometría.

La heterogeneidad en el grueso del panel puede comportar la pérdida de solidaridad entre láminas en caso de un mal diseño o una mala ejecución. Existen mecanismos de conexión puntuales que asumen el esfuerzo cortante manteniendo el comportamiento unitario del panel.

Cuando la anisotropía según el grueso va ligada a la pérdida de simetría respecto a un plano paralelo a la cara de mayor superficie, posiblemente suponga la distinta respuesta a los requerimientos planteados en función de la cara que se sitúe en la parte exterior o interior.

De los requerimientos que debe satisfacer la fachada algunos le exigen un comportamiento simétrico mientras que otros no.

Posibilidades de aligeramiento.

Así como la disposición de la masa en el conjunto del panel se puede organizar según estos tres tipos: sándwich, nervado unidireccional y nervado bidireccional; la disposición del aligeramiento también participa en esta tipificación morfológica.

Su incidencia es doble. Por una parte en cuanto al ritmo, y por la otra, en cuanto a la localización en el grueso de la sección.

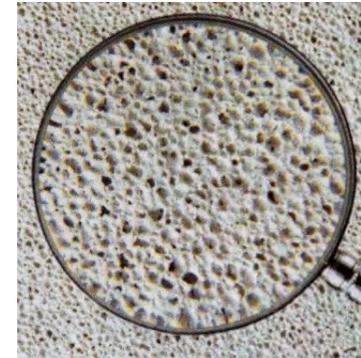
PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

El tamaño del aligeramiento en relación con el tamaño del macizo, y la frecuencia con la que se intercalan uno y otro, definen el ritmo.

Aligeramientos milimétricos alternados con partículas pesadas de tamaño similar y dispuestos ambos según un esquema que puede ser ordenado o no, definen materiales de baja densidad. El aligeramiento no afecta a la geometría del producto sino a su naturaleza. Son aligeramientos difusos y homogéneos en el conjunto de la masa que imitan esquemas propios de los materiales poco pesados que ofrece la naturaleza.

Cuando el aligeramiento aumenta de volumen se separa de la materia pesada que difícilmente podría contenerlo. Aumenta su tamaño a la par que su definición. Ligero y pesado pueden alternarse en la placa según un ritmo ágil y continuado. En este caso hablamos de aligeramientos tramados, estructuras tipo nido de abeja donde simplemente se ha producido un aumento de escala con respecto al difuso y probablemente una ordenación.

Aumentando aún más el volumen aligerado, su tamaño se aproxima al orden de magnitud en que se sitúan los productos que se emplean habitualmente en construcción. Pasa de ser una textura a una geometría definida. Cada macizo, cada celda, no se pierden en una trama sin fin sino que buscan una identidad propia y nos llevan a hablar de nervios, vaciados, refuerzos, zunchos... cada peculiaridad de la trama cobra protagonismo.



Aligeramiento difuso



Aligeramiento tramado



Aligeramiento rítmico

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCI A MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

El criterio que permite distinguir entre un aligeramiento tramado y uno de ritmo superior lo determina la relación entre la escala del aligeramiento y la del elemento constructivo.

En cuanto a la localización del aligeramiento en el grueso del panel, tanto puede estar cerrado en su interior como exponerse en una de las caras o en las dos. Únicamente el aligeramiento difuso o el tramado pueden mantener la isotropía del panel en las tres direcciones del espacio, cuando el volumen aligerado es demasiado grande indefectiblemente debe definirse su posición en relación al grueso de la placa.

El ritmo y la localización del aligeramiento tienen repercusión en la definición del panel tanto desde el punto de vista mecánico como geométrico.

Repercusión de las diversas morfologías desde el punto de vista mecánico.

Las propuestas de panel planteadas en esta tesis tanto son semiproductos como componentes, es decir que se debe contemplar para muchas de ellas la posibilidad del corte.

Los paneles con aligeramiento difuso o tramado no presentan ningún problema desde este punto de vista, pero los de estructura rítmica sí. El tramo de sección donde se localiza el volumen aligerado puede ver disminuida su capacidad mecánica si pierde alguno de los macizos que le rodean.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

La capacidad del material de soportar acciones puntuales de tracción o compresión debidas a las fijaciones de la hoja exterior es otro de los aspectos que exige una garantía de continuidad en la capacidad mecánica de toda la superficie de la placa. La alternancia de puntos débiles tras un plano continuo superficial puede dificultar mucho el anclaje.

Repercusión de las diversas morfologías desde el punto de vista geométrico.

La resolución de los encuentros entre el panel y el resto de la obra o los paneles colindantes es más simple, o al menos previsible, si la estructura es de aligeramiento difuso o tramado. Los aligeramientos de ritmo superior suponen tener que prever uniones tanto si el encuentro se realiza entre zonas macizas, zonas aligeradas o una de cada tipo.

La localización y ritmo del aligeramiento es importante de cara a la fijación de otros elementos sobre el panel, pero también en relación a la suya propia a la estructura principal del edificio.

Por otra parte, para el uso del panel como soporte interior donde anclar la hoja exterior de la fachada ventilada resulta más adecuado que la superficie sea plana ya que no compromete el sistema de fijación.

La cara interior también se ve beneficiada si el plano de soporte de posibles láminas añadidas es continuo. La bidireccionalidad de un posible nervado impide que el

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

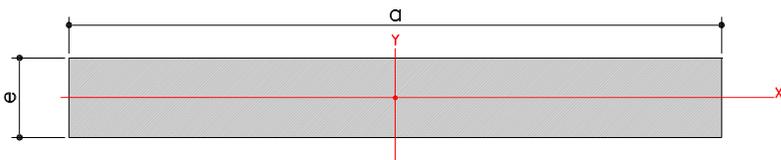
espacio aligerado se emplee para pasos de instalaciones, a no ser que el nervado sea perforado.

ii - Inercia mecánica. Geometría y capacidad mecánica.

Para incrementar la inercia del panel se debe alejar la masa del centroide en relación con la sección que define el plano de trabajo. Es decir aumentar el espesor. Esto se puede hacer sin perder la homogeneidad, pero aumentando el peso o bajando la densidad; o sacrificando la primera por medio de estratificados o vaciados interiores que permitan mantener un peso relativamente bajo.

Los plegados, gofrados, etc. forman parte de la segunda opción, con la diferencia de que dibujan secciones abiertas.

Mientras la sección de trabajo mantenga la simetría respecto al plano paralelo a la cara de mayor superficie que pasa por el centroide, la inercia del panel se podrá expresar según una de las siguientes cuatro expresiones, de manera que, para un ancho fijo, la única incógnita es el grueso:



- Inercia del panel de sección rectangular homogénea:

$$I_{\text{mono}} = (a * e^3)/12$$

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

- Inercia del panel sándwich:

$$I_{\text{sándwich}} = [I_{\text{lam}} + \text{área} * \text{distancia}^2] * 2;$$

$$I_{\text{sándwich}} = [(a * e_1^3)/12 + (a * e_1) * (e/2 - e_1/2)^2] * 2$$

- Inercia del panel sándwich nervado:

$$I_{\text{nervado}} = [I_{\text{lam}} + \text{área} * \text{distancia}^2] * 2 + \sum I_{\text{nerv}};$$

$$I_{\text{nervado}} = [(a * e_1^3)/12 + (a * e_1) * (e/2 - e_1/2)^2] * 2 + (\sum a_1 * e_2^3)/12$$

- Inercia del panel de plegado simétrico:

$$I_{\text{pleg}} = [I_{\text{lam}} + \text{área} * \text{distancia}^2] + \sum I_{\text{nerv}};$$

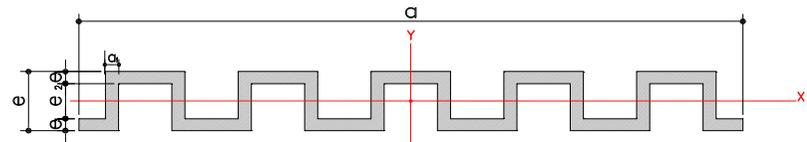
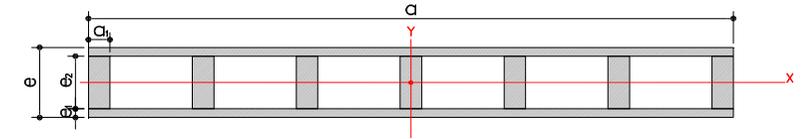
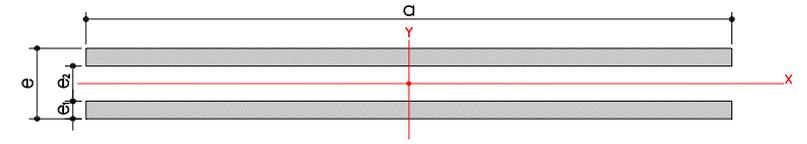
$$I_{\text{pleg}} = [(a * e_1^3)/12 + (a * e_1) * (e/2 - e_1/2)^2] + (\sum a_1 * e_2^3)/12$$

Si el panel pierde la simetría geométrica según el eje X, el centroide deja de coincidir con el centro de masas, pero se mantiene sobre el eje Y. La localización de este nuevo centro también se puede expresar en función del espesor total y los gruesos parciales de las diferentes partes que componen el panel.

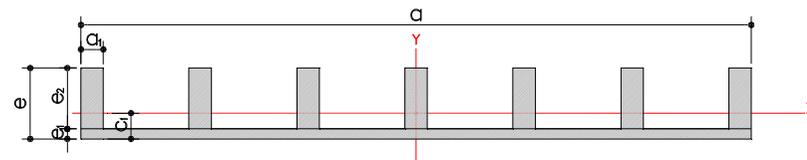
- Inercia del panel nervado tipo “peine”:

$$I_{\text{peine}} = [I_{\text{lam}} + \text{área} * \text{distancia}^2] + \sum [I_{\text{nerv}} + \text{área} * \text{distancia}^2];$$

$$I_{\text{peine}} = [(a * e_1^3)/12 + (a * e_1) * (c_1 - e_1/2)^2] + [(\sum a_1 * e_2^3)/12 + (\sum a_1 * e_2) * ((e_1 + (e_2/2)) - c_1)^2]$$

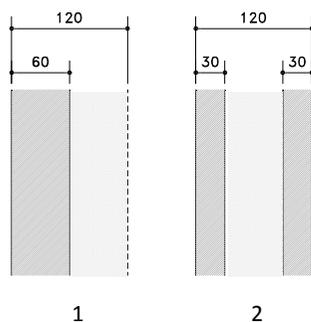


Siendo:		
Anchura del panel	a	1.000 mm
Anchura de un nervio	a1	variable
Espesor total del panel	e	variable
Espesor de cada lámina del sándwich	e1	variable
Espesor del nervado	e2	variable
Inercia de una lámina del sándwich	I lam	
Inercia del nervado	I nerv	
Coordenada Y del centroide	c1	variable



PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

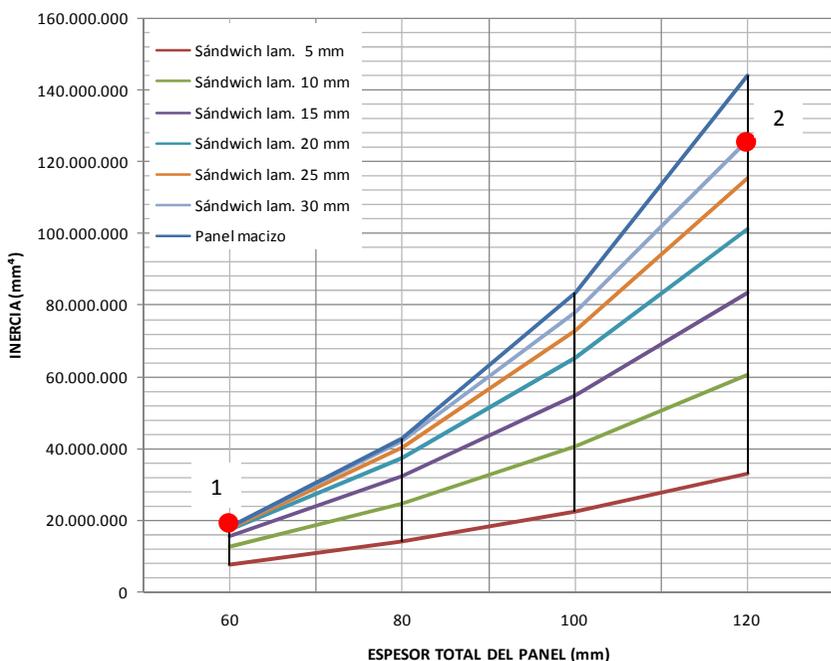
Panel macizo y panel sándwich.



Para un mismo grueso total del panel, la inercia será mayor si éste es macizo. Por el contrario, para una misma masa, la inercia es mayor si la estratificamos y situamos simétricamente a ambos lados del centroide, lo más alejada posible.

Un panel monolítico de 60 mm tiene una inercia seis veces inferior a la de un panel formado por la misma masa pero dividida en dos láminas de 30 mm separadas 60 mm entre ellas. Evidentemente este segundo panel tiene un grueso superior, pero equivalente al que requerirá la primera opción una vez colocada la manta de aislamiento térmico. Con la estructura tipo sándwich ésta se puede alojar entre las dos láminas.

INERCIA / GRUESO PANEL para diferentes casos de panel sándwich y macizo



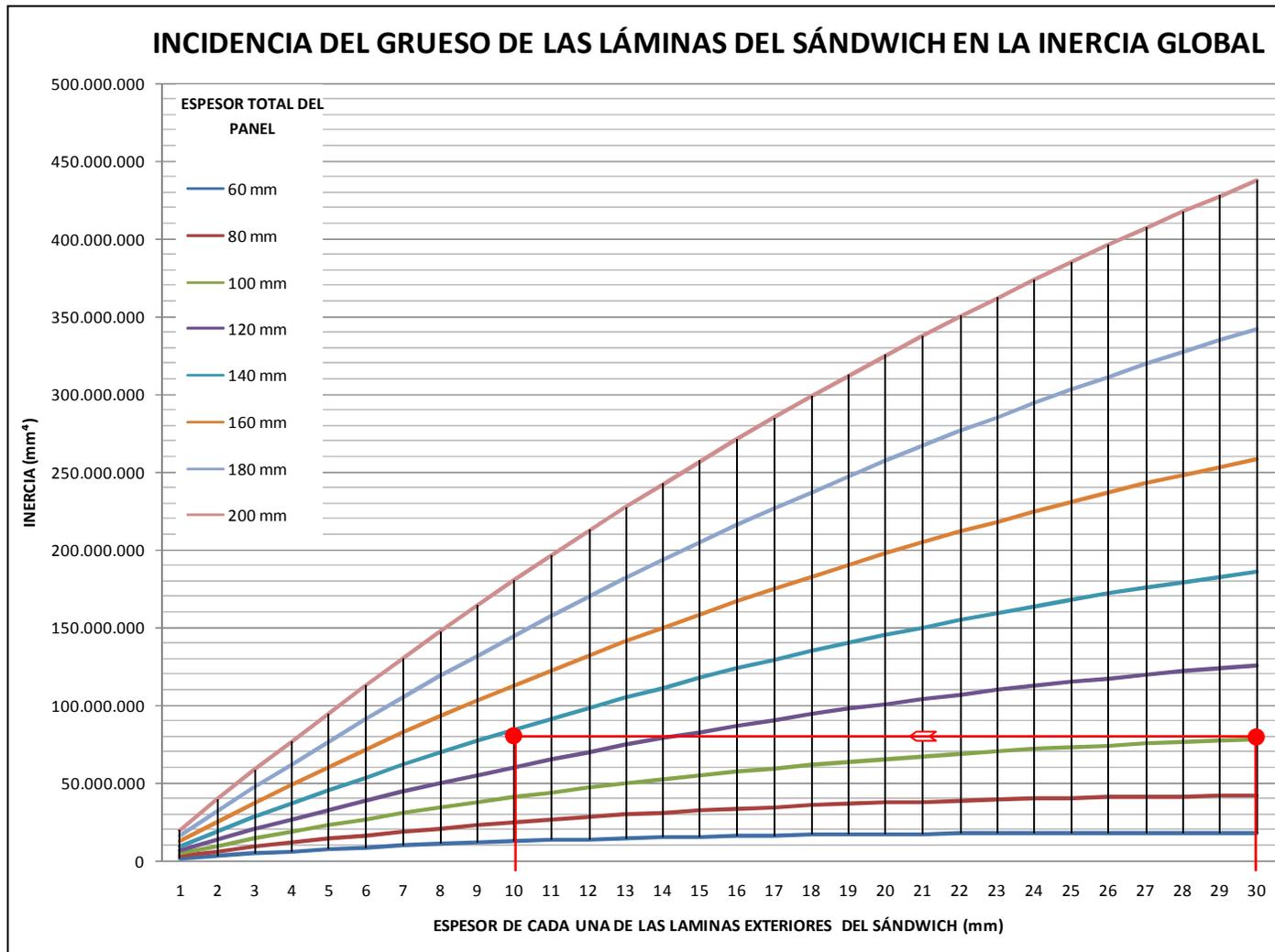
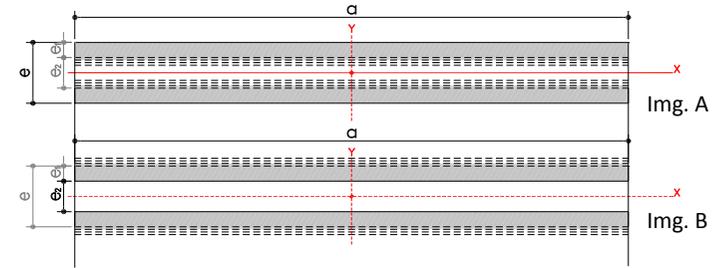
La siguiente gráfica muestra como varía la inercia con el espesor para un panel macizo y para distintos casos de sándwich. Si para el primero la masa aumenta con el espesor, en las estructuras sándwich ésta es constante y simplemente se modifica su distancia al centroide.

Cuanta más masa tiene el panel (mayor grueso de las láminas perimetrales), más aumenta la inercia con el espesor total. La masa que se aleja del centroide es mayor y por lo tanto también lo es su repercusión en el comportamiento global.

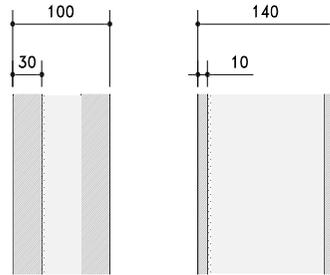
El aumento en la inercia será menor a medida que se incrementa el espesor de las láminas si éste se sitúa en la parte más cercana al eje de referencia para el cálculo de la inercia (img.A), y no en la parte exterior del sándwich (img.B).

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

La elección de la primera opción para este estudio se debe a haber primado mantener el espesor global de panel constante. Todas las curvas tienden a la horizontal. Cuando las dos hojas se tocan el panel pasa a ser macizo y a partir de allí la inercia no aumenta más.



PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTEAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------



Un panel de 100 mm de grueso formado por dos láminas de 3 cm tiene la misma inercia que uno de 140 mm pero con láminas de aproximadamente 1 cm. Suponiendo que éstas son de hormigón de densidad 2.500 kg/m^3 , la diferencia de peso entre los dos paneles es del orden de los 100 kg/m^2 . Con paneles de $3.300 \times 1.000 \text{ mm}$ corresponde a 330 kg menos por panel, valor que repercute en el estado de cargas total del edificio.

Los 80 mm que aumenta el espesor del núcleo aislante entre una solución y la otra pueden suponer un incremento en el aislamiento térmico (disminución de la transmitancia) de $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ con una λ de $0,030 \text{ W/mK}$.

Frente a la disminución de la sobrecarga y la mejora en el aislamiento térmico, dos aspectos negativos son la disminución en la amortiguación de la onda acústica por masa y la pérdida de superficie útil.

La elección de la mejor solución de panel desde el punto de vista de su morfología no depende exclusivamente ni de minimizar el espesor ni de reducir el peso, sino de la relación de ambos factores con el resto de variables implicadas en el diseño de la fachada.

Panel sándwich nervado.

El nervado del panel en el interior de la estructura del sándwich supone un ligero incremento de la inercia si lo comparamos con la estructura formada simplemente por láminas yuxtapuestas ya que existe un incremento de área.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

El ritmo entre nervios y aligeramiento es indiferente, así como la sección de cada uno de ellos. Únicamente la suma total de su ancho incide en el comportamiento mecánico del panel.

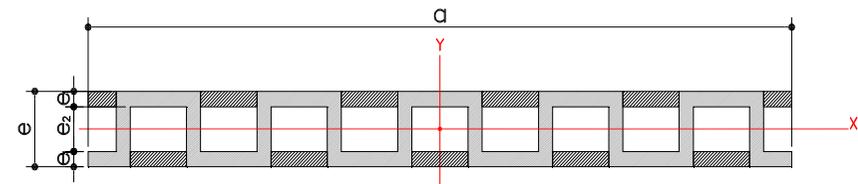
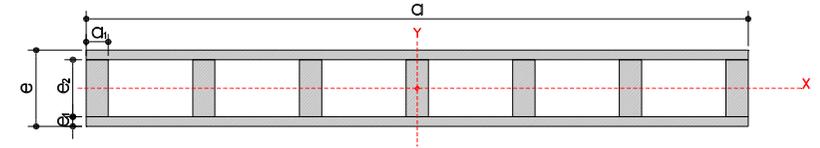
$$I_{\text{nervado}} = [I_{\text{lam}} + \text{área} * \text{distancia}^2] * 2 + \sum I_{\text{nerv}}$$

Cundo la suma del ancho de los nervios se iguala al ancho del panel evidentemente la inercia es la del panel macizo. Vaciando la mitad del panel, la inercia disminuye también a la mitad.

Si la distancia entre nervios no afecta a la inercia, sí afecta a la deformación de la lámina que conforma lo que por analogía con otros sistemas estructurales podemos llamar “entrevigado”. Para unas mismas características de lámina perimetral, a menor luz entre nervios menor flecha.

El panel grecado

El comportamiento de las láminas grecadas que conservan la simetría respecto al plano que pasa por el centroide y es paralelo a la superficie de mayor tamaño es similar al de los paneles sándwich nervados. Para un mismo grueso de lámina y espesor total de placa, la inercia es inferior a la de los paneles sándwich nervados al disponer de menos área en los extremos de los nervios.



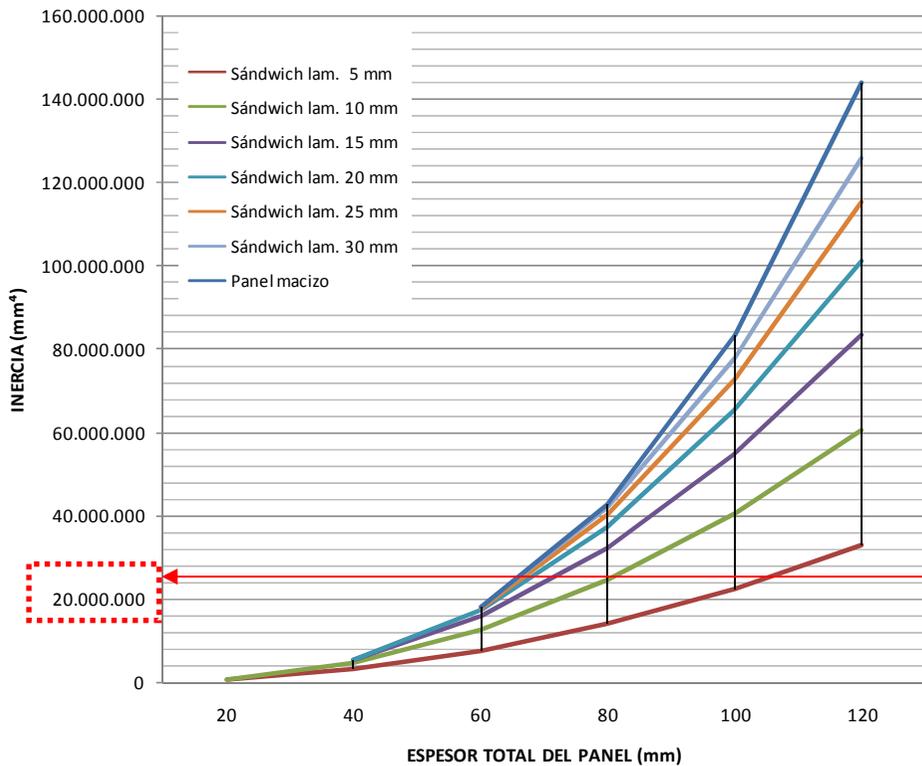
PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIÁ MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

Habitualmente el plgado o grecado se aplica a chapas metálicas. Su alta densidad exige trabajar con poco grueso de lámina. Hay que recurrir a geometrías más o menos elaboradas o a estructuras tipo sándwich para conseguir inercia.

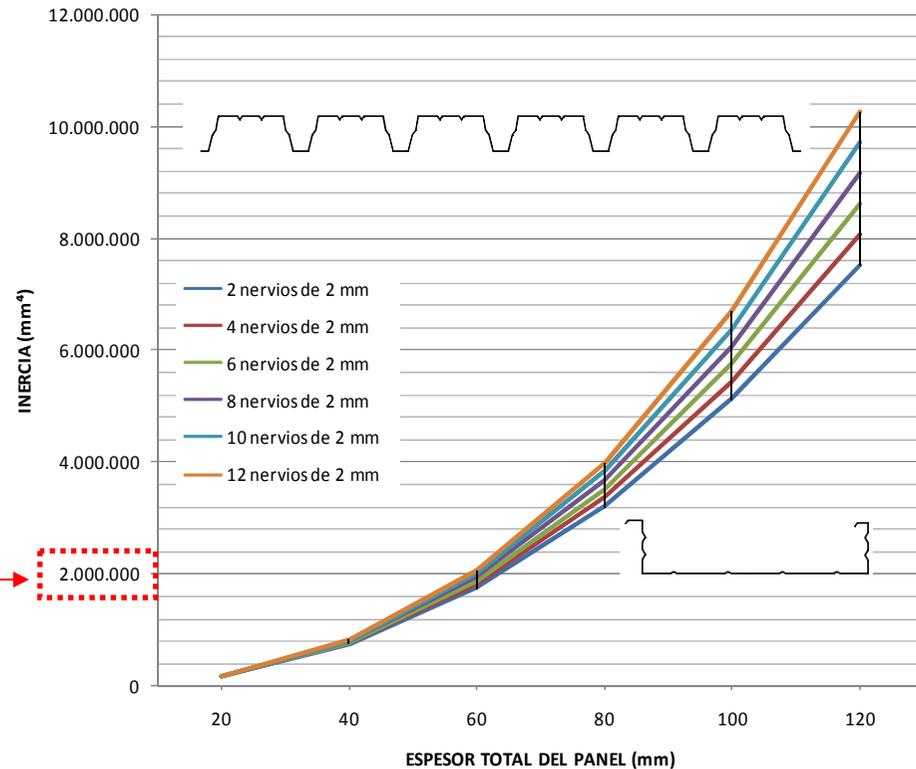
Las siguientes gráficas ponen de manifiesto la relativamente poca inercia de estos paneles sándwich, chapas plegadas y bandejas de poco espesor en comparación con paneles de sección plana de mayor grueso. El elevado valor para el módulo de elasticidad de muchos metales, y en concreto del acero, deberá compensar la baja inercia manteniendo una rigidez aceptable ($K = E \cdot I$).

RELACIÓN ENTRE LA INERCIÁ Y EL ESPESOR TOTAL DE LA PLACA

para diferentes casos de panel sándwich y macizo



Chapas plegadas de 2 mm de grueso



PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

El panel nervado

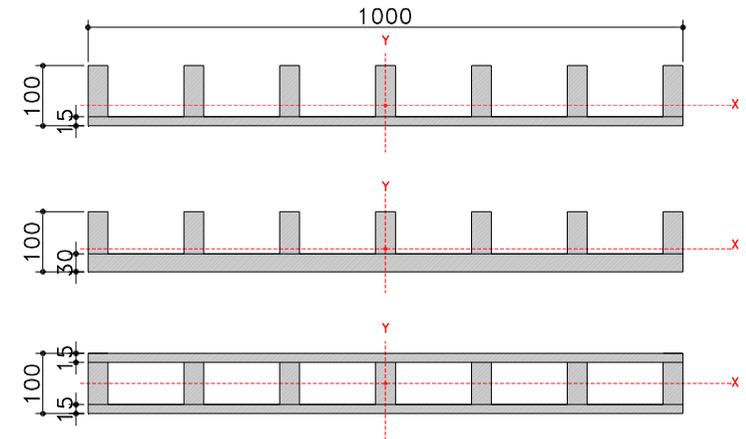
De las propuestas morfológicas planteadas, esta es la única cuyo centroide no coincide con el centro de masas. Su posición varía según aumenta o disminuye el grueso de la lámina continua en relación al conjunto, y en función de la mayor o menor área destinada a los nervios. El número o ritmo del nervado no tendrá incidencia mientras no pierda la simetría respecto el eje Y.

La pérdida de simetría favorece el valor del módulo resistente según el sentido de una de las flexiones pero no de la otra. Para conseguir un comportamiento simétrico con este tipo de paneles se debe compensar la asimetría formal con la diversidad de materiales.

iii - Funciones simétricas y asimétricas.

La pérdida de simetría, ya sea formal o material, del panel respecto a un plano paralelo a la cara de mayor superficie situado en la mitad del grueso hace que su respuesta a las distintas funciones no sea igual según la cara que se coloque en el interior o el exterior.

Por otra parte, la transmisión de flujos a través del cerramiento se debe contemplar en los dos sentidos para determinadas funciones pero no para otras.



Inercias correspondientes a cada uno de los paneles:

33.623.129 mm⁴

35.413.312 mm⁴

61.434.879 mm⁴

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIAS MECÁNICAS.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	---------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

El CTE en el Documento Básico SE-AE aplicado al cálculo de la acción de viento localizada para un determinado elemento de fachada, aplica un coeficiente eólico de signo negativo (succión) superior al positivo (empuje) en la parte más desfavorecida de la fachada. El panel debe tener un comportamiento simétrico, adecuado al signo positivo o negativo de la acción, aunque formalmente no guarde esta simetría.

Por el contrario la retención del fuego se exige se satisfaga del interior hacia el exterior del cerramiento pero no al revés. No es una función que requiera un comportamiento simétrico del panel.

El control térmico precisa un análisis en los dos sentidos y según las condiciones climáticas de las distintas épocas del año. Este análisis debe ir acompañado de un estudio del comportamiento higrométrico de la fachada, controlando la temperatura y el nivel de humedad que se puede dar en los diferentes estratos del cerramiento.

Respecto a la estanqueidad al aire, tanto su entrada a una temperatura distinta a la del espacio interior, como la pérdida del que ya está climatizado, suponen un desconfort que se suma al que produce la discontinuidad térmica. Los flujos puntuales de aire a través de la envolvente, independientemente de la temperatura de éste, resultan muy molestos.

El aislamiento acústico normalmente se estudia en un único sentido, del exterior hacia el interior. Lo que se persigue es dotar al espacio habitable de un nivel de ruido bajo.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

Existen casos particulares de centros de ocio donde lo que se precisa es que el ruido interior no moleste en el exterior. Aquí el análisis se produce de forma inversa.

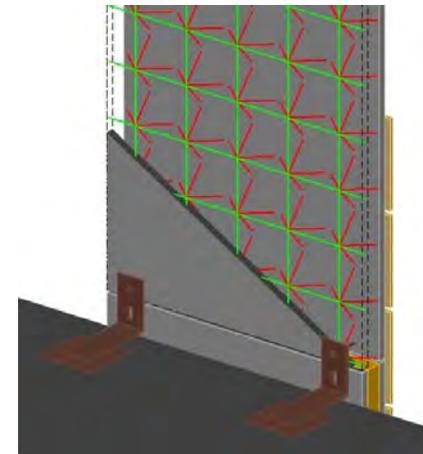
Salvo la retención del fuego y normalmente la función acústica, el resto de flujos se deben contemplar en ambos sentidos, pero no por ello el cerramiento ha de simétrico. De hecho, la mayoría de cerramientos habituales no homogéneos son asimétricos, lo importante es colocar las sucesivas capas en el orden adecuado.

iv - Comportamiento solidario de elementos compuestos.

Los paneles formados por láminas yuxtapuestas tienen que responder de forma conjunta frente a la acción del viento, a la vez que soportar un importante esfuerzo cortante debido a su peso propio y al de la hoja exterior.

Garantizar el comportamiento solidario entre capas por medio de su unión química o mecánica, sumado a la necesidad de que el panel trabaje de la misma manera independientemente de si se coloca en posición vertical o apaisada es el reto.

La unión física se basa en conexiones en sentido transversal a la placa que unen todas las láminas. La química confía en la adherencia entre las distintas superficies y la resistencia frente a la exfoliación de los distintos materiales.

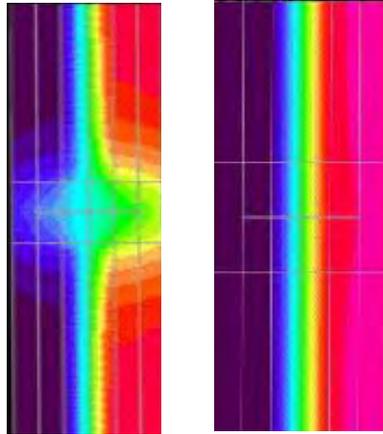


Laminas unidas por conexiones trianguladas en las dos direcciones principales.

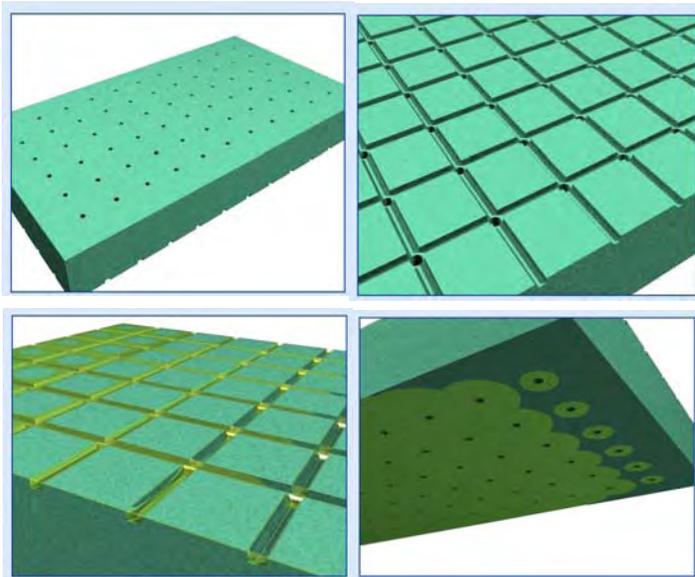
PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCI MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------



Conectores puntuales de fibra de vidrio y resinas. Thermomass.



Termografía de dos paneles sándwich, el primero con conectores convencionales y el segundo con Thermomass.



Sándwich de resinas aplicadas por infusión al vacío. La resina de las láminas perimetrales conforma las conexiones.

Conexiones selectivas.

La diversidad de soluciones de fachada a las que debe dar respuesta el panel impide definir la posición de la junta horizontal en relación con el canto del forjado por lo que la sujeción no se puede hacer apoyando la testa. Este apoyo permitiría que unas láminas no cargaran sobre las otras, pero no evitaría la exfoliación por pandeo o por flexión.

Colgar el panel por medio de una fijación pasante que ligue todas las láminas nuevamente favorece el comportamiento solidario ante el peso propio del conjunto, y esta vez sí se evita el pandeo, pero no el cortante que produce la deformación por flexión.

Independientemente de cómo se resuelva la unión del panel a la estructura principal, ya sea por medio de apoyos o anclajes pasantes, la integridad del panel depende de la conexión entre láminas en toda su superficie.

Los conectores pasantes perpendiculares al plano principal o dibujando diagonales son adecuados desde el punto de vista mecánico pero establece puntos de discontinuidad para el resto de envolventes.

Si esta conexión no se realiza por medio de uniones elásticas, la solución de panel no amortigua la onda acústica. Se deberá confiar en la masa para dar respuesta a este requerimiento.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	-------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

Las conexiones mecánicas pueden suponer un puente térmico que, no únicamente afecta a la transmitancia, sino también a la retención del fuego ya que permite que las altas temperaturas alcancen al conjunto de la placa.

Se deben diseñar conectores que den continuidad a la transmisión de ciertas acciones o flujos a través de la envolvente pero no a otros. Conexiones selectivas que disipen la onda acústica y establezcan la rotura del puente térmico.

Pasadores diseñados a partir de materiales de baja conductividad, como puede ser la fibra de vidrio aglomerada con resina, y que permitan un cierto desplazamiento relativo entre las láminas del panel en sentido horizontal pero impidan los desplazamientos verticales que producen la exfoliación.

El empleo de materiales amorfos para conformar el panel permite insertar antes del fraguado elementos de unión, favoreciendo así el monolitismo.

Incidencia del material de relleno.

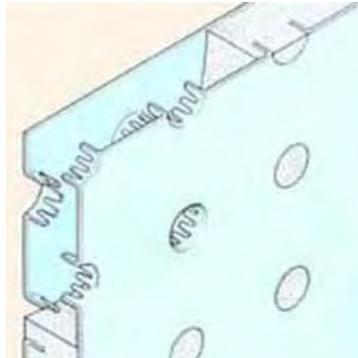
Cuando la unión entre las láminas del panel compuesto es química tanto puede requerir de la incorporación de un producto adhesivo como aprovechar las propiedades adherentes de ciertos materiales de relleno. Las geometrías rugosas favorecen esta adherencia.

El correcto comportamiento del panel va a depender de la unión entre las distintas láminas y de la integridad de los materiales que las forman, su cohesión interna y capacidad mecánica principalmente.



Proceso de fabricación de un panel sándwich con conectores puntuales Thermomass.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCI A MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------	-------------------------------------	---	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------



Posible mecanismo para mejorar la solidaridad con el material aislante.

De la misma manera que pasaba con los conectores puntuales, el material de relleno establece una conexión entre la cara exterior y la interior permitiendo, según sus características, el progreso de las acciones y flujos que actúan sobre la fachada.

La acción mecánica es prioritaria a la hora de definir las características del material de conexión ya que de él depende la integridad del conjunto. En base a ello se han realizado una serie de ensayos para cuantificar la repercusión de este material en paneles laminados tipo sándwich.

De estos ensayos se desprende el muy distinto comportamiento que han tenido materiales tan diversos como la lana de roca, la placa rígida de fenol y el poliestireno extruido.

Si la placa de lana de roca colapsaba al desvincularse las distintas hojas debido a la exfoliación del material del núcleo, el fenol se rompía por cortante pero seguía manteniendo las láminas unidas en la parte central. El poliestireno extruido es el material que ha dado un mejor resultado.¹

v - Funciones continuas y discontinuas.

Los flujos que atraviesan la fachada se producen principalmente en sentido perpendicular al plano. Desde este punto de vista, es lógico pensar que un panel

¹ Desarrollo 4: Ensayo del panel sándwich de hormigón.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

multicapa formado por láminas adecuadas para dar respuesta a las distintas funciones tiene más sentido que uno donde la heterogeneidad se produzca según el ancho.

Salvo la función portante, que se puede resolver por medio de una lámina de espesor variable, el resto precisan una sección continua en el material que las satisface.

La continuidad de la acción a lo largo del plano de fachada precisa que la respuesta sea igualmente continua. Únicamente mejorar la respuesta mecánica puede plantear la incorporación de elementos que alteren la homogeneidad según este plano, pero siempre sin interrumpir la continuidad del resto de las envolventes.

vi - Forma y fuego. Repercusión de la exigencia de mantener la integridad frente la acción del fuego durante 60 minutos en la geometría del panel.

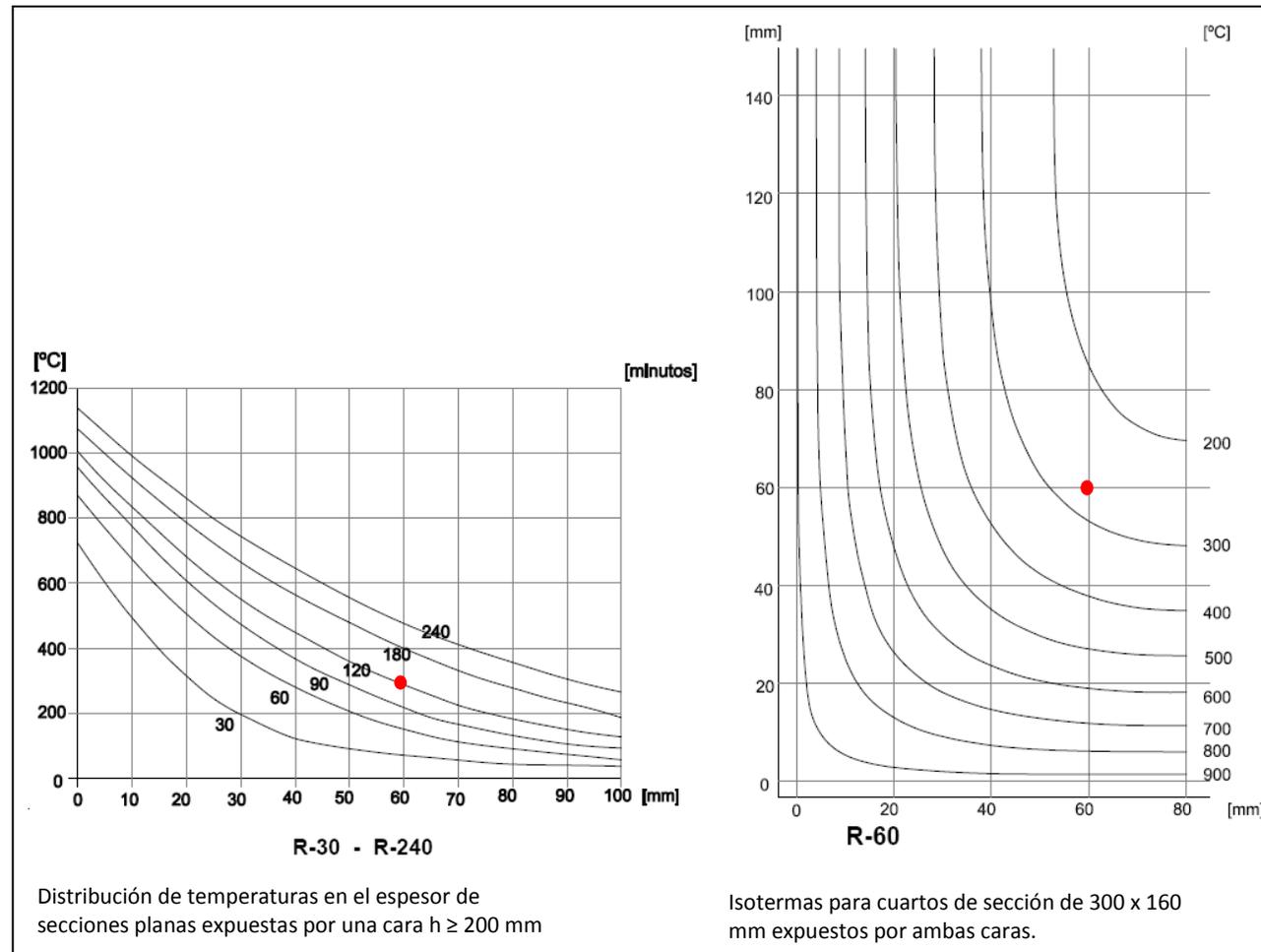
La acción térmica del fuego actuando sobre dos estructuras, una de geometría plana continua expuesta por una sola cara y la otra con dos caras perpendiculares ambas expuestas, resulta más desfavorable en el segundo caso.

En las gráficas que muestran las isotermas para diferentes secciones de hormigón se puede observar que, el tiempo que se tarda en alcanzar una determinada temperatura para una misma profundidad es el doble en el caso de la geometría plana.

PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCI A MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS. CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
--------------------------------------	--------------------	-------------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------

A 60 mm de profundidad, en el primer caso se llega a una temperatura aproximada de 300°C a los 120 minutos, mientras que en el segundo esta temperatura se alcanza a los 60 minutos.

Cuanto menor sea la superficie expuesta al fuego más tardará la estructura en alcanzar altas temperaturas en su interior.



PÉRDIDA DE HOMOGENEIDAD MORFOLÓGICA.	INERCIA MECÁNICA.	FUNCIONES SIMÉTRICAS Y ASIMÉTRICAS.	COMPORTAMIENTO SOLIDARIO DE ELEMENTOS COMPUESTOS.	FUNCIONES CONTINUAS Y DISCONTINUAS.	FORMA Y FUEGO.
			CONEXIONES SELECTIVAS.	INCIDENCIA DEL MATERIAL DE RELLENO.	

La función de retención al fuego lleva a plantear una lámina de sección rectangular y caras planas independientemente de cuál sea el material que la resuelva.

Este criterio justifica el interés que han suscitado los paneles contrachapados de madera KLH para resolver estructuras resistentes al fuego sin revestimientos añadidos y a partir de elementos industrializados, en contraposición a las ya muy recurrentes estructuras tipo “ballon frame”.



Development 4.- CONCRETE SANDWICH PANEL TESTS.

Index

- i - Objective of the test
- ii - Method

- iii - Description of the test samples
- iv - Technical data of materials
- v - Fabrication of samples

- vi - Summary of test results
- vii Visual analysis of panel breakage

- viii- Conclusions
- ix- Photographic report

Development 4.- CONCRETE SANDWICH PANEL TESTS

i. Objective of the test

The objective of the test is to measure how the insulation material placed in the core of a concrete sandwich panel can improve the stiffness modulus of the assembly.

ii. Method

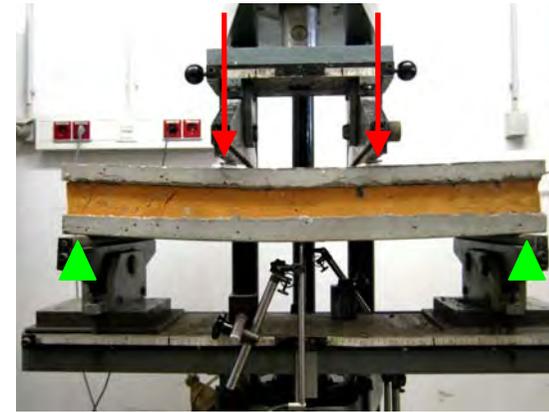
The method involved applying an increasing load to different specimens placed horizontally over two linear supports. The load was applied with two linear elements. Deflection was measured gradually as the load increased.

This procedure was repeated for each of the specimens.

iii. Description of the test samples

The test was performed on twelve specimens. There were four different types of panels and three specimens of each type. They were identified by their initials followed by the test order number:

- XPS: Sandwich panel with an extruded polystyrene core.
- Ph: Sandwich panel with a phenol insulation core.
- MW-s: Sandwich panel with a mineral wool core.
- MW-m: Monolithic panel with a mineral wool layer added to one side.



The length and width of the specimens were limited by the equipment used. Their thickness depended on the functions of the panel, which are described in the main text of the thesis.

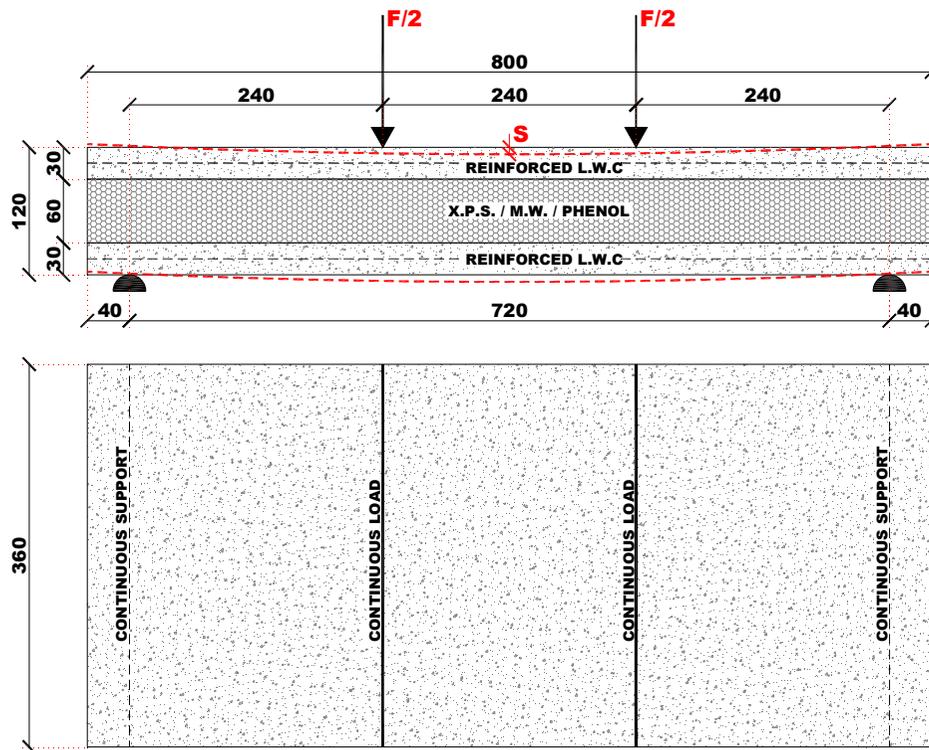
All specimens were 800 x 360 x 120 mm. The 120 mm thickness of the sandwich structures was divided into two 30 mm layers of low-weight concrete reinforced with steel and a 60 mm insulation core placed in the middle.

The monolithic panel had a 60 mm layer of low-weight concrete reinforced with two steel meshes placed on the top and bottom. A 60 mm layer of mineral wool insulation was added to one of the sides.

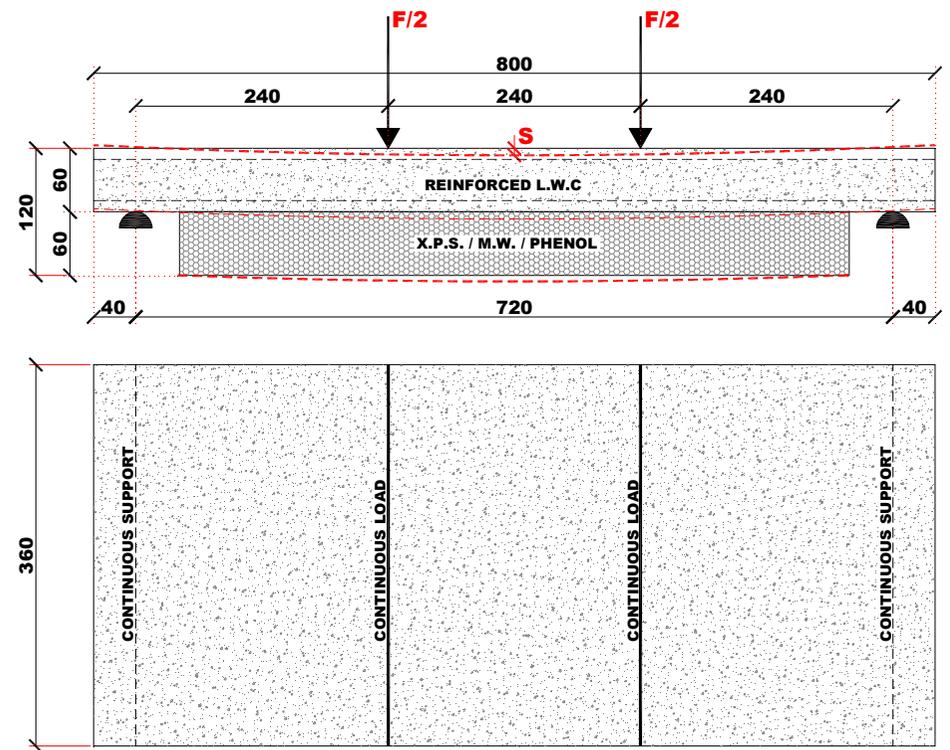
No additional material was placed between the different layers, nor were they connected in the cross section, so adherence was achieved by pouring concrete over the insulation material.

All the reinforcements were made with a 150 x 150 mm, 6 mm diameter steel mesh placed in the middle of each layer of the sandwich panels and symmetrically on both sides of the monolithic one.

The specimens were made in one of the TU Dortmund laboratories and kept in optimal temperature and humidity conditions during the 28 days required to achieve total mechanical resistance.



Cross section and plan view. (Units in mm)



Cross section and plan view. (Units in mm)

iv. Technical data of materials

- Concrete:

Low-weight concrete made with expanded clay aggregates, polycarboxylic ether hyperplasticiser for high-performance concrete additive, sand, water, cement and KS Meal as flue ash.



	for 1 m ³	for 0.3 m ³
Sand 0-2	605 kg	181.5 kg
Liapor aggregates	320 kg	96 kg
CEM I 52,5	400 kg	120 kg
KS Meal	100 kg	30 kg
Water	210 kg	63 kg
BASF Glenium 51	266 ml	80 ml

- Cube specimens for obtaining the standard compressive strength:

The cubes measure 150 x 150 x 150 mm, corresponding to a volume of 0.003375 m³, and they have a 22 500 mm² surface for applying the load.

Number	Weight kg	Density kg/m ³	Load kN	$\sigma_{\text{compression}}$ N/mm ²
1	5.60	1659	758.6	34
2	5.46	1618	738.4	33
3	5.58	1653	741.5	33
Average		1643		33

- Reinforcement:

150 x 150 mm steel mesh made with 6 mm diameter corrugated bars.

- Core materials:

- Mineral wool: MW Flumroc Compact. Flumroc S.A.

Density (ρ): 90 kg/m³

Thermal conductivity (λ): 0.036 W/mK

Modulus of elasticity (E): 1.3 N/mm²

Fire reaction: A1

Compressive stress (σ_{com}): 20 kPa = 0.02 N/mm²

- Extruded polystyrene plate: Wedi Bauplatte. Dow Europe S.A.

Extruded polystyrene plate with one thin layer of mortar coating a fibreglass mesh on each side.

Density (ρ): 30 kg/m³

Thermal conductivity (λ): 0.036 W/mK

Modulus of elasticity (E): 10 N/mm²

Fire reaction: B1

Compressive stress (σ_{com}): 250 kPa = 0.25 N/mm²

- Rigid phenolic insulation: Kooltherm. K5WDV-L. Kingspan Insulation B.V.

Density (ρ): 35 kg/m³

Thermal conductivity (λ): 0.021 W/mK

Modulus of elasticity (E): 2 N/mm²

Fire reaction: C-s2,d0

Compressive stress (σ_{com}): 120 kPa = 0.12 N/mm²



Mineral wool
Extruded polystyrene
Phenol insulation

v. Fabrication of samples

All of the specimens were made at the same time using twelve casts placed on a vibratory table.

All of the reinforcements of the inferior layer as well as those corresponding to one side of the monolithic panel were prepared before the first concrete mixture was poured. The mineral wool thermal insulation of the second panel was also placed into the cast (Fig. 1).

After the concrete had been poured making one side of the sandwich panels, and the monolithic ones (Figs. 2 to 4), the insulation plates of all the sandwiches were placed over them (Fig. 5). A small gap was left in the entire perimeter to allow the insulation to be scrubbed over the concrete in order to improve its adherence (Fig. 6).

Once the reinforcement of the top concrete layer had been placed (Fig. 7) and the gap between the insulation and the cast had been sealed (Fig. 8), the second concrete mixture was poured (Figs. 9 and 10).

After one day, part of the casting was removed (Fig. 11).



Figure 1



Figure 2



Figure 3



Figure 4



Figure 5



Figure 6



Figure 7



Figure 8



Figure 9



Figure 10



Figure 11

vi. Summary of test results

Summary of test results for the three samples of each type:

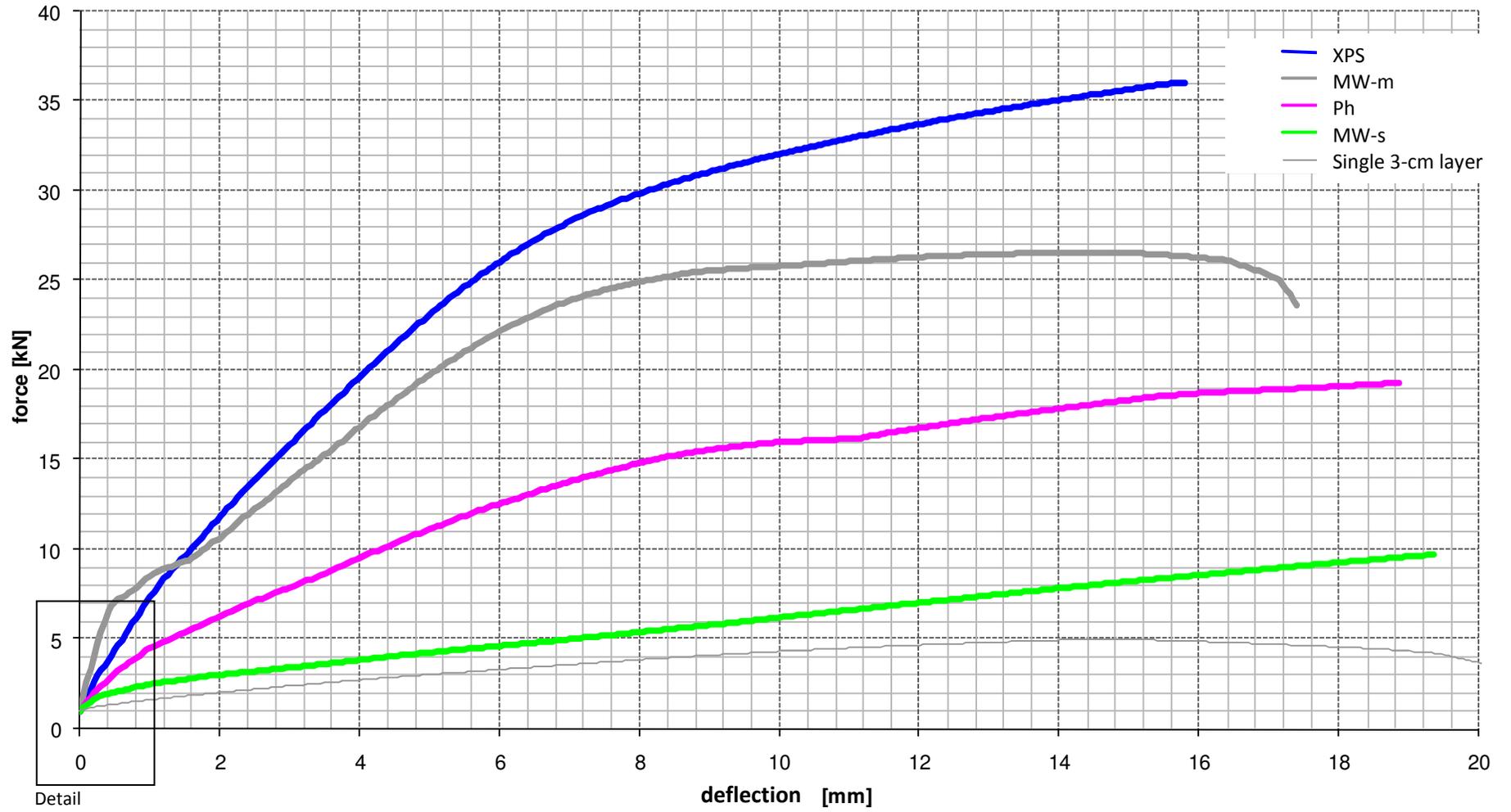
EXTRUDED POLYSTYRENE	XPS 1st	XPS 2nd	XPS 3rd	Unit
Total panel weight	34.53	35.137	34.82	kg
Max. load before breaking	39.0	35.3	36.55	kN

PHENOL	Ph 1st	Ph 2nd	Ph 3rd	Unit
Total panel weight	35.08	33.84	34.08	kg
Max. load before breaking	22.0	20.0	21.33	kN

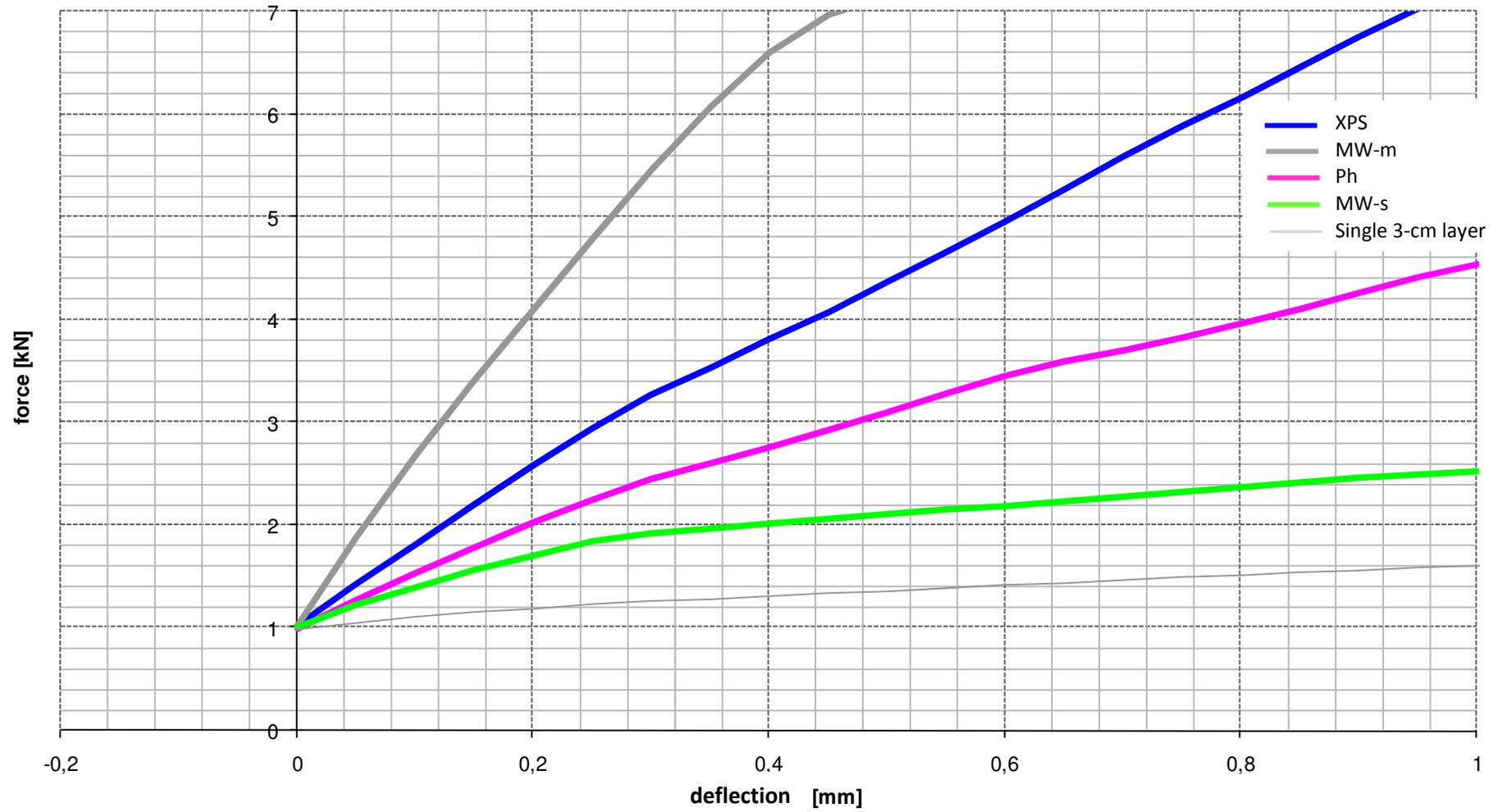
MINERAL WOOL sandwich	RW-s 1st	RW-s 2nd	RW-s 3rd	Unit
Total panel weight	33.76	33.38	33.33	kg
Max. load before breaking	11.7	8.3	11.68	kN

MINERAL WOOL monolithic	RW-m 1st	RW-m 2nd	RW-m 3rd	Unit
Total panel weight	-	35.02	34.74	kg
Max. load before breaking	-	27.48	33.13	kN

mean values



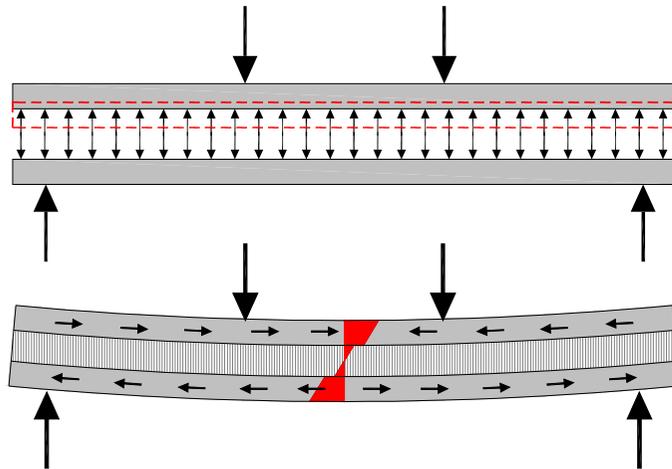
mean values - detailed at the beginning of the tests



vii. Visual analysis of panel breakage

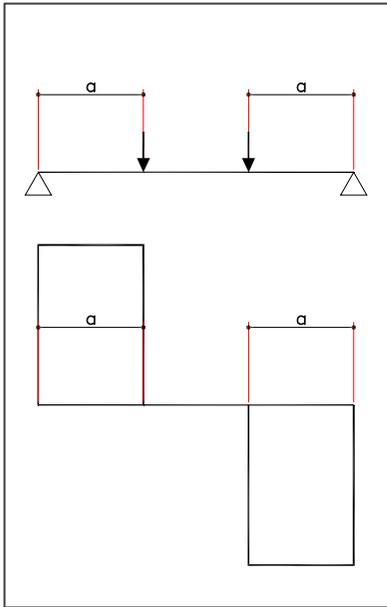
The compressive and tensile stress plus the modulus of elasticity are the characteristics of the insulation material placed in the core of the sandwich that determine the behaviour of the assemblies when the load is applied.

The first change of the panel is a decrease in the thermal insulation thickness, whose value depends on the modulus of elasticity of the material. Bending deformation starts almost simultaneously. At this point, the assembly acts as a whole element, so the concrete layer placed on top is compressed while the bottom layer is subjected to a tensile effort.



Depending on the capacity of the insulation to support shear efforts and its modulus of elasticity, the load can be increased without changing the behaviour of the assembly. Obviously, higher tensile and compressive forces will appear in reinforced concrete.

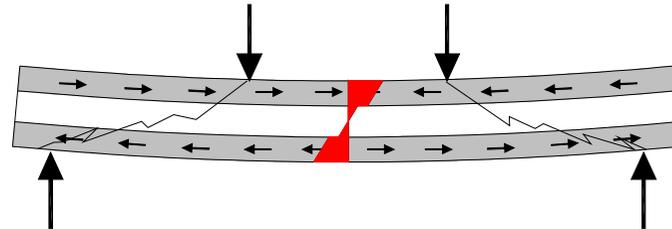




This state was not exhausted for the XPS samples. The panels broke in contact with the supports due to a mistake made during the fabrication process. The reinforcement was too short and ended at that point.

The core material may collapse in two different ways, and shear efforts are the cause of both of them. The phenol and mineral wool samples illustrate the two situations.

With a phenol core, the failure of the sample corresponds exactly to the shear efforts diagram for a plate with two supports and two applied loads.



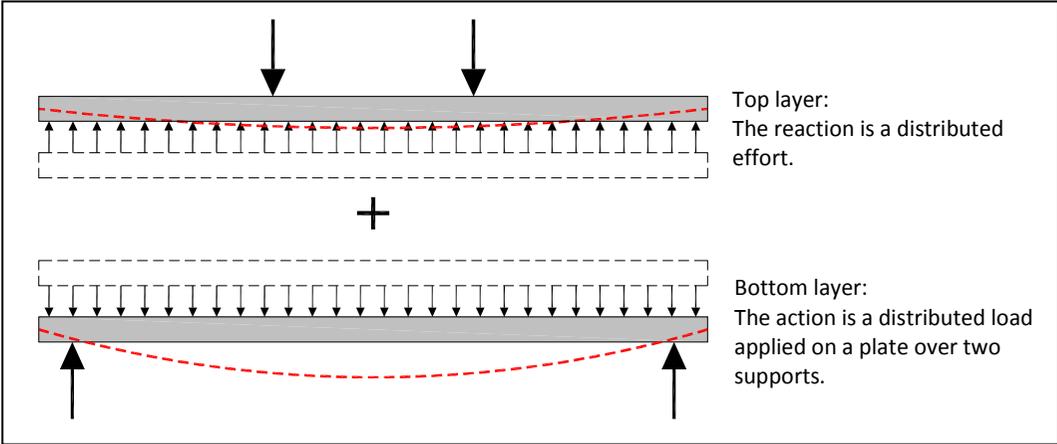
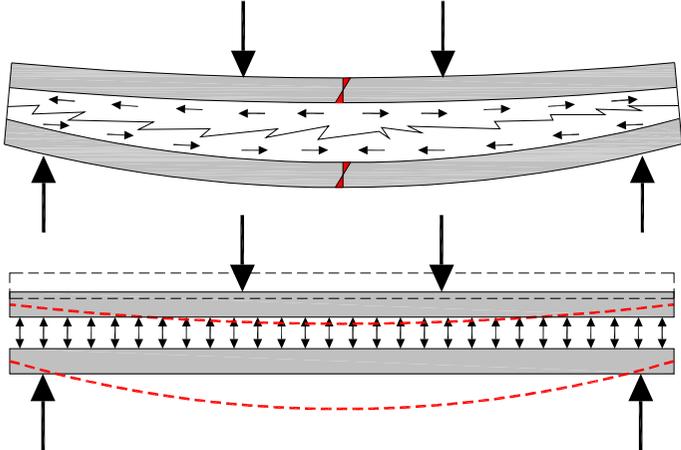
Although the core material is broken, it still acts as a connector in the centre of the assembly where the bending moment is worst. Deflection occurs keeping the whole panel working together.

Mineral wool is the weakest of the three materials tested. It tends to exfoliate as tensions on the top and bottom sides act in different directions. When this occurs, the panel starts to behave like two separate layers, which allows for the free displacement of one over the other.



The top layer was suffering compression and now has an added bending effort, while the bottom layer adds new bending to a tensile effort. Inner forces increase but the effective section is now thinner.

The vertical load is still transmitted through the thermal insulation from the top to the bottom layer, so the bending of the two layers keeps increasing.



The different deflection of each layer is due to the different load that acts over it when the assembly stops reacting as a whole.

A monolithic panel made with exactly the same concrete, the same reinforcement and a thickness corresponding to the sum of the two exterior layers of the sandwich panel was tested to compare it with the other samples.

Its behaviour did not offer any new information, but it is interesting to compare the admissible bending strength and its maximal deflection with the values obtained for the other panels.

After determining the behaviour of the tested samples, the next step is to obtain their stiffness modulus.

As the diagrams show, and as observed in the visual analysis, the behaviour of sandwich panels is of such complexity that it deserves a detailed study. The values of the stiffness modulus are not essential for the development of this doctoral thesis so this area of study will be the subject of subsequent analysis.

viii. Conclusions

Testing the panels in a horizontal position cannot provide data about their real behaviour when used on a façade. In this test there is no horizontal effort equivalent to the one caused by an exterior cladding hanging from the panel. Furthermore, the weight of the panel itself acts in a different manner.

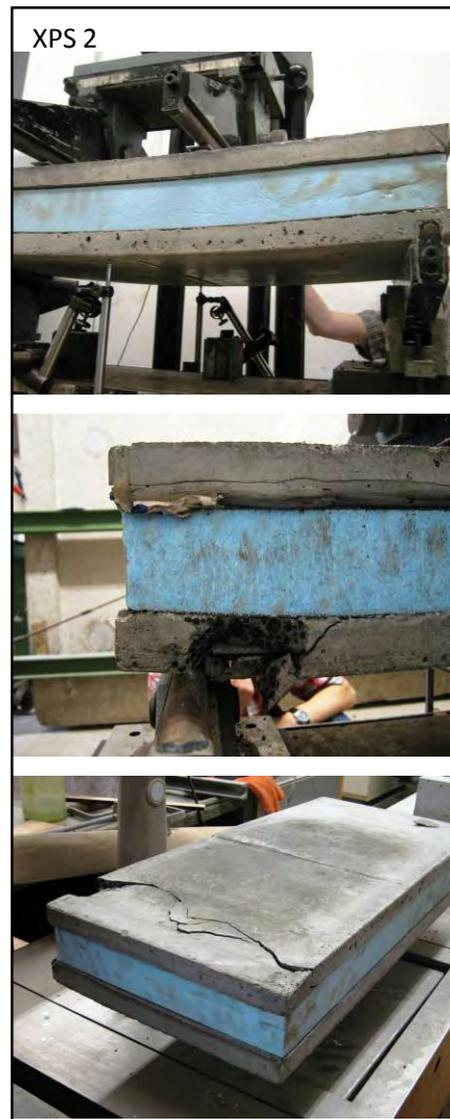
As stated at the beginning of this text, the objective of this test is simply to measure how the insulation material placed in the core of a concrete sandwich panel can improve the stiffness modulus of the assembly.

The visual analysis confirms the importance of the core material in the mechanical behaviour of the sandwich panels. It is not possible to quantify its load-bearing capacity only by considering the two exterior layers. The stiffness and the capacity for supporting shear efforts of some core materials may completely change the data obtained only considering the two concrete layers.

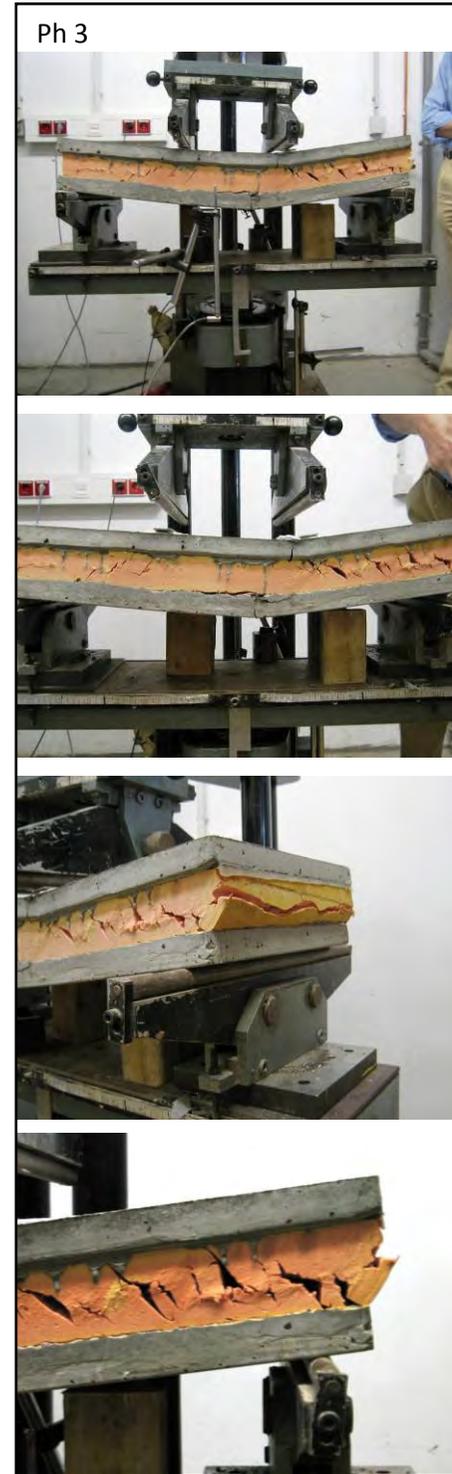
The mechanical behaviour of sandwich panels can only be evaluated from experimental tests.

It is interesting to observe from the diagrams that for applied loads over 9 kN the sandwich panel with an XPS core has a better behaviour than the 6 cm monolithic one. When the deflection is $1/200$ of the span (3.6 mm), both panels have reached the plastic zone. In this case, the admissible load for the sandwich panel is 3 kN higher than in the case of the monolithic panel.

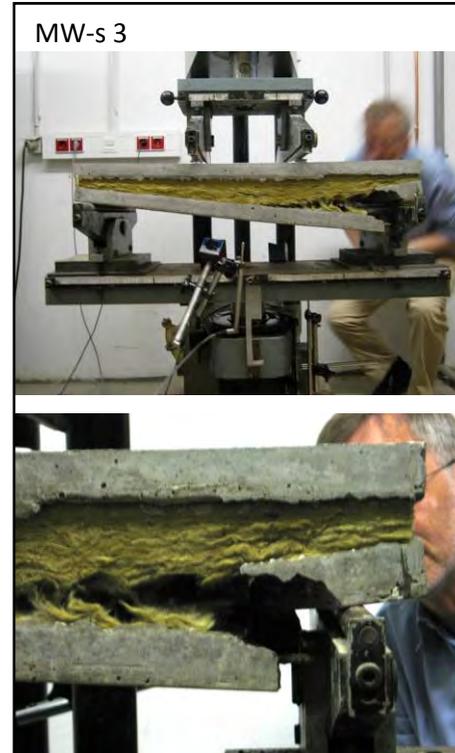
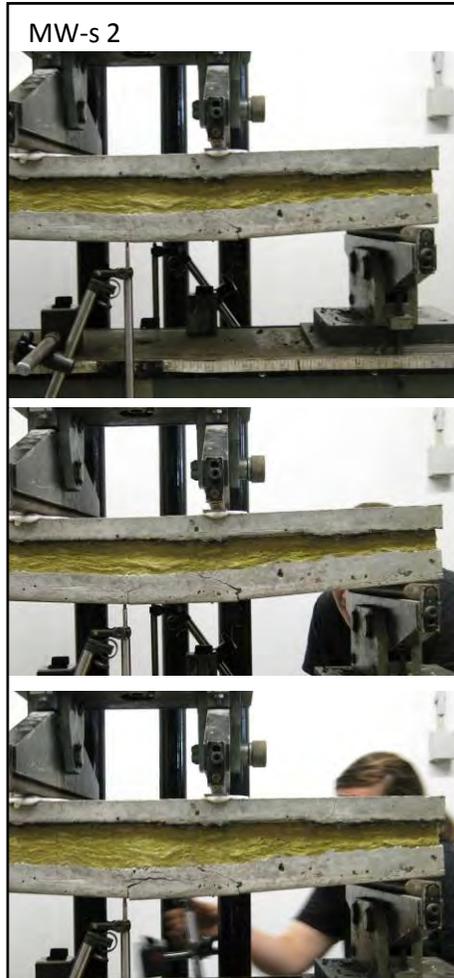
ix. Photographic report



SANDWICH PANEL WITH EXTRUDED POLYSTYRENE CORE



SANDWICH PANEL WITH PHENOL INSULATION CORE

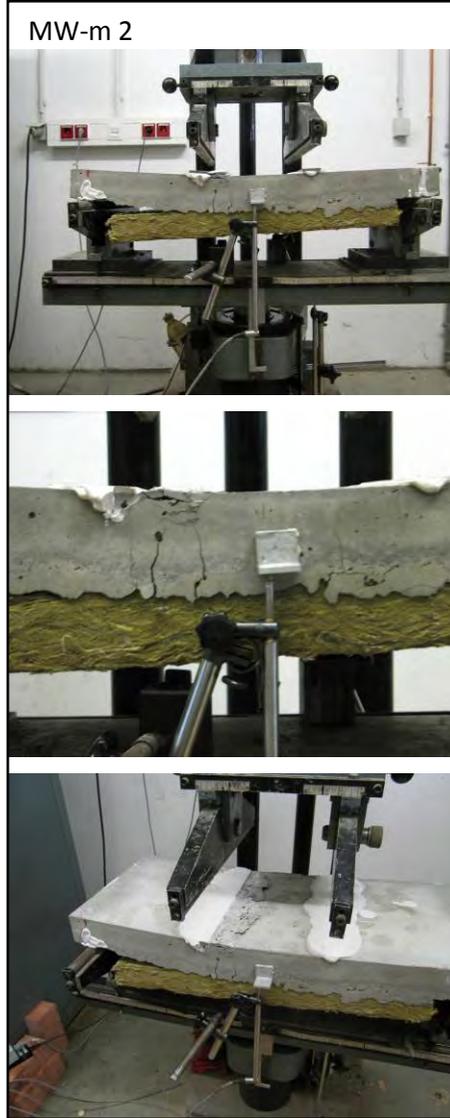


SANDWICH PANEL WITH MINERAL WOOL CORE

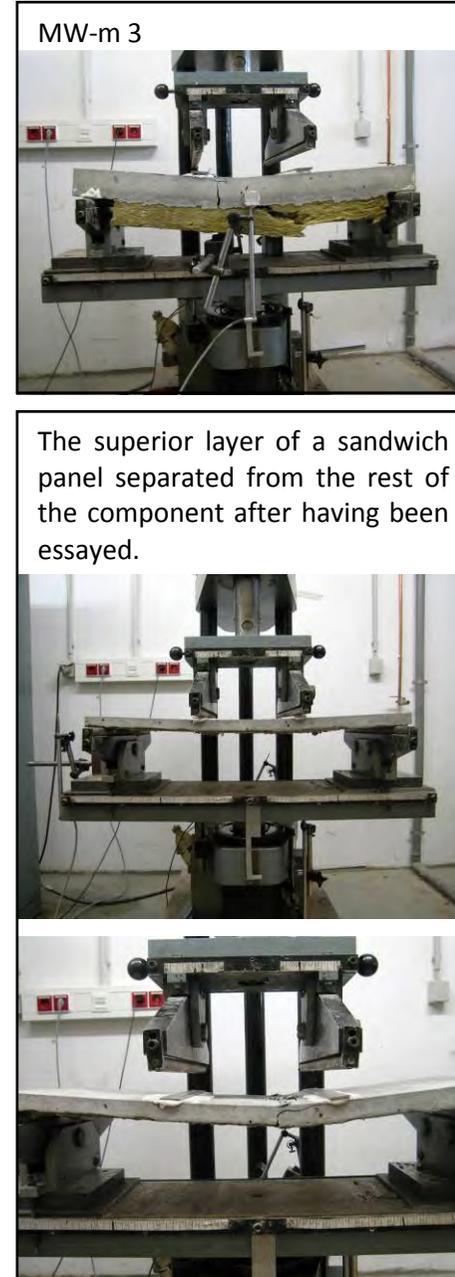
MW-m 1



MW-m 2



MW-m 3



The superior layer of a sandwich panel separated from the rest of the component after having been essayed.

Desarrollo 5.- JUSTIFICACIÓN DE LOS VALORES CONTEMPLADOS EN EL ANÁLISIS.

Índice

- i – Espesor.
- ii – Peso.
- iii – Valoración económica.
- iv – Valoración medioambiental.

ESPESOR					
Tipos	Propuestas		Espesor panel (mm)	Espesor fachada (mm)	Diferencia espesores (mm)
5	Panel de hormigón aireado tratado en autoclave.	1 (5)	200	293	93
	Sándwich de hormigón y poliestireno extruido.	2 (5)	120	213	93
	Panel nervado de hormigón y lana de roca.	3 (5)	120	213	93
	Panel contrachapado de madera. 200 mm	4 (5)	200	293	93
	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 160 mm	5 (5)	160	253	93
	Sándwich de acero y lana de roca.	6 (5)	80	173	93
4T	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 120 mm	7 (4T)	120	268	148
4F	Panel de hormigón de árido ligero.	8 (4F)	95	238	143
	Panel contrachapado de madera. 117 mm	9 (4F)	117	230	113
3	Panel de hormigón de alta resistencia armado con fibras.	10 (3)	50	198	148
	Panel nervado de hormigón de alta resistencia.	11 (3)	30p+70nrv	248	148
	Panel contrachapado de madera. 94 mm	12 (3)	94	242	148
2	Panel contrachapado de madera. 60 mm	13 (2)	60	230	170
	Bandejas de acero galvanizado.	14 (2)	1,2ch; 150 bdja	320	170
	Tablero de cemento con entramado de acero galvanizado	15 (2)	95	235	140

PESO					
Tipos	Propuestas		Peso panel (kg/m ²)	Peso fachada (kg/m ²)	Diferencia de pesos (kg/m ²)
5	Panel de hormigón aireado tratado en autoclave.	1 (5)	100	188	88
	Sándwich de hormigón y poliestireno extruido.	2 (5)	97,80	185,80	88
	Panel nervado de hormigón y lana de roca.	3 (5)	111,60	199,6	88
	Panel contrachapado de madera. 200 mm	4 (5)	96	184	88
	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 160 mm	5 (5)	55	143	88
	Sándwich de acero y lana de roca.	6 (5)	21,10	109,10	88
4T	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 120 mm	7 (4T)	45	150,00	105,00
4F	Panel de hormigón de árido ligero.	8 (4F)	152	242,00	90
	Panel contrachapado de madera. 117 mm	9 (4F)	56,16	144,96	88,80
3	Panel de hormigón de alta resistencia armado con fibras.	10 (3)	125	230	105,00
	Panel nervado de hormigón de alta resistencia.	11 (3)	100	205,00	105,00
	Panel contrachapado de madera. 94 mm	12 (3)	45,12	150,12	105,00
2	Panel contrachapado de madera. 60 mm	13 (2)	28,80	135,80	107
	Bandejas de acero galvanizado.	14 (2)	15,70	124,70	109
	Tablero de cemento con entramado de acero galvanizado	15 (2)	35,70	142,70	107

JUSTIFICACIÓN DE LOS PESOS

TIPOS	PROPUESTAS	panel					hoja exterior			aislamiento adicional			trasdosado		TOTAL kg/m ²
		densidad1 kg/m3	densidad2 kg/m3	espesor1 m	espesor2 m	peso kg/m2	densidad kg/m3	espesor m	peso kg/m2	densidad kg/m3	espesor m	peso kg/m2		peso kg/m2	
5	Panel de hormigón aireado tratado en autoclave.	500,00		0,200		100,00	2.500,00	0,03	75				1 placa con omegas	13	188,00
	Sándwich de hormigón y XPS.	1.600,00	30,00	0,060	0,060	97,80			75				1 placa con omegas	13	185,80
	Panel nervado de hormigón y lana de roca.	2.500,00	145,00	0,040	0,08	111,60			75				1 placa con omegas	13	199,60
	Panel contrachapado de madera. 200 mm	480,00		0,200		96,00			75				1 placa con omegas	13	184,00
	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 160 mm					55,00			75				1 placa con omegas	13	143,00
	Sándwich de acero y lana de roca.					21,10			75				1 placa con omegas	13	109,10
4T	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 120 mm					45,00			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 48	28	150,00
4F	Panel de hormigón de árido ligero.	1.600,00		0,095		152,00			75	40	0,05	2	1 placa con omegas	13	242,00
	Panel contrachapado de madera. 117 mm	480,00		0,117		56,16			75	40	0,02	0,8	1 placa con omegas	13	144,96
3	Panel de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.	2.500,00		0,050		125,00			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 48	28	230,00
	Panel nervado de hormigón de alta resistencia.	2.500,00		0,040		100,00			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 48	28	205,00
	Panel contrachapado de madera. 94 mm	480,00		0,094		45,12			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 48	28	150,12
2	Panel contrachapado de madera. 60 mm	480,00		0,060		28,80			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 70	30	135,80
	Bandejas de acero galvanizado.					15,70			75	40	0,1	4	2 placa perfil de 70	30	124,70
	Tablero de cemento con entramado de acero.	1.250,00		0,015		35,71			75	40	0,05	2	2 placa perfil de 70	30	142,71
	Fábrica de ladrillo.	1.200,00		0,115		138,00			75	40	0,05	2	1 placa con omegas	13	228,00

VALORACIÓN ECONÓMICA

Valores por partidas de las capas añadidas:

partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Trasdossat directe de plaques de guix laminat fixades mecànicament al parament vertical mitjançant mestres de perfileria de planxa d'acer galvanitzat col·locades cada 600 mm amb 1 placa tipus estàndard (A) de 15 mm de gruix	h	Oficial 1a muntador	22,72	0,26	5,91	
	h	Ajudant muntador	19,53	0,09	1,76	
	cu	Visos per a plaques de guix laminat	9,02	0,30	2,71	
	cu	Visos, galvanitzats	1,95	0,12	0,23	
	u	Tac de niló de 6 a 8 mm de diàmetre, amb vis	0,15	6,00	0,90	
	m2	Placa de guix laminat estàndard (A) i gruix 15 mm, segons la norma UNE-EN 520	4,50	1,03	4,64	
	kg	Massilla per a junt de plaques de cartró-guix	1,11	0,80	0,89	
	m	Cinta de paper resistent per a junts de plaques de guix laminat	0,07	4,00	0,28	
	m	Perfileria de planxa d'acer galvanitzat amb perfils entre 75 a 85 mm d'amplària	1,24	2,45	3,03	
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	7,66	0,02	0,11	
					TOTAL PARTIDA	20,46
partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Trasdossat arriostrat format per dues plaques Knauf Tallafo (DF) de 15 mm de gruix amb estructura metàl·lica d'acer galvanitzat de 48 mm cada 400 mm e/e. Segons sistema W-626	h	Oficial 1a col·locador	21,99	0,32	7,04	
	h	Ajudant col·locador	19,53	0,10	1,95	
	cu	Visos per a plaques de guix laminat	9,02	0,42	3,79	
	cu	Visos, galvanitzats	1,95	0,12	0,23	
	u	Tac de niló de 6 a 8 mm de diàmetre, amb vis	0,15	6,00	0,90	
	m2	Placa de guix laminat Knauf Cortafuego (DF) de 15 mm de espesor	9,58	1,03	9,87	
	m2	Placa de guix laminat Knauf Cortafuego (DF) de 15 mm de espesor	9,58	1,03	9,87	
	m	Muntant de planxa d'acer galvanitzat, en paraments verticals amb perfils 48 mm d'amplària	1,18	3,50	4,13	
	m	Canal de planxa d'acer galvanitzat, en paraments horitzontals amb perfils 48 mm d'amplària	1,15	0,95	1,09	
	m	Banda acústica autoadhesiva fins a 50 mm d'amplària per a junts de plaques de guix laminat	0,46	0,47	0,22	
	kg		1,11	0,80	0,89	
	m		0,07	4,00	0,28	
	%		8,99	0,02	0,13	
						TOTAL PARTIDA

partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²
Trasdossat arriostrat format per dues plaques tipus estàndard (A) de 15 mm de gruix amb estructura metàl·lica d'acer galvanitzat de 48 mm cada 400 mm e/e.	h	Oficial 1a col.locador	21,99	0,32	7,04
	h	Ajudant col.locador	19,53	0,10	1,95
	cu	Visos per a plaques de guix laminat	9,02	0,42	3,79
	cu	Visos, galvanitzats	1,95	0,12	0,23
	u	Tac de niló de 6 a 8 mm de diàmetre, amb vis	0,15	6,00	0,90
	m2	Placa de guix laminat estàndard (A) i gruix 15 mm, segons la norma UNE-EN 520	4,50	1,03	4,64
	m2	Placa de guix laminat estàndard (A) i gruix 15 mm, segons la norma UNE-EN 520	4,50	1,03	4,64
	m	Muntant de planxa d'acer galvanitzat, en paraments verticals amb perfils 48 mm d'amplària	1,18	3,50	4,13
	m	Canal de planxa d'acer galvanitzat, en paraments horitzontals amb perfils 48 mm d'amplària	1,15	0,95	1,09
	m	Banda acústica autoadhesiva fins a 50 mm d'amplària per a junts de plaques de guix laminat	0,46	0,47	0,22
	kg	Massilla per a junt de plaques de cartró-guix	1,11	0,80	0,89
	m	Cinta de paper resistent per a junts de plaques de guix laminat	0,07	4,00	0,28
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	8,99	0,02	0,13
	TOTAL PARTIDA				

partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²
Trasdossat autoportant format per dues plaques tipus estàndard (A) de 15 mm de gruix amb estructura metàl·lica d'acer galvanitzat de 70 mm cada 400 mm e/e.	h	Oficial 1a col.locador	21,99	0,32	7,04
	h	Ajudant col.locador	19,53	0,10	1,95
	cu	Visos per a plaques de guix laminat	9,02	0,42	3,79
	cu	Visos, galvanitzats	1,95	0,12	0,23
	u	Tac de niló de 6 a 8 mm de diàmetre, amb vis	0,15	6,00	0,90
	m2	Placa de guix laminat estàndard (A) i gruix 15 mm, segons la norma UNE-EN 520	4,50	1,03	4,64
	m2	Placa de guix laminat estàndard (A) i gruix 15 mm, segons la norma UNE-EN 520	4,50	1,03	4,64
	m	Muntant de planxa d'acer galvanitzat, en paraments verticals amb perfils 70 mm d'amplària	1,42	3,50	4,97
	m	Canal de planxa d'acer galvanitzat, en paraments horitzontals amb perfils 70 mm d'amplària	1,22	0,95	1,16
	m	Banda acústica autoadhesiva fins a 50 mm d'amplària per a junts de plaques de guix laminat	0,46	0,47	0,22
	kg	Massilla per a junt de plaques de cartró-guix	1,11	0,80	0,89
	m	Cinta de paper resistent per a junts de plaques de guix laminat	0,07	4,00	0,28
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	8,99	0,02	0,13
	TOTAL PARTIDA				

partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Placa rígida de llana de roca de densitat 106 a 115 kg/m3 de 40 mm de gruix.	h	Oficial 1a paleta	21,99	0,06	1,32	
	h	Manobre	18,39	0,03	0,55	
	m2	Placa rígida de llana de roca de densitat 106 a 115 kg/m3 de 40 mm de gruix	7,36	1,05	7,73	
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	1,87	0,02	0,03	
					TOTAL PARTIDA	9,63
partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Placa semirígida de llana de roca de densitat 36 a 40 kg/m3 de 50 mm de gruix amb vel negre.	h	Oficial 1a paleta	21,99	0,08	1,76	
	h	Manobre	18,39	0,04	0,74	
	m2	Placa semirígida de llana de roca de densitat 36 a 40 kg/m3 de 50 mm de gruix amb vel negre	8,08	1,05	8,48	
	u	Tac i suport de niló per a fixar materials aïllants de 60 mm de gruix com a màxim	0,24	3,00	0,72	
%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	2,49	0,02	0,04		
					TOTAL PARTIDA	11,74
partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Paret de tancament recolzada de gruix 11,5 cm, de totxana, LD, de 240x115x100 mm, per a revestir, categoria I, segons la norma UNE-EN 771-1, col.locat amb morter per a ram de paleta industrialitzat M 5 (5 N/mm2) de designació (G) segons norma UNE-EN 998-2	h	Oficial 1a paleta	21,99	0,70	15,39	
	h	Manobre	18,39	0,35	6,44	
	h	Manobre especialista	19,03	0,18	3,43	
	m3	Aigua	1,01	0,01	0,01	
	t	Morter per a ram de paleta, classe M 5 (5 N/mm2), a granel, de designació (G) segons norma UNE-EN 998-2	37,83	0,03	1,17	
	u	Totxana de 240x115x100 mm, categoria I, LD, segons la norma UNE-EN 771-1	0,15	36,72	5,51	
	h	Mesclador continu amb sitja per a morter preparat a granel	1,66	0,18	0,30	
%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	25,25	0,03	0,63		
					TOTAL PARTIDA	32,87
partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Full exterior de façana ventilada a una alçària >3 m, amb pedra granítica nacional, amb una cara flamejada, preu mitjà, amb forats per a fixacions i aresta viva a les quatre vores, preu mitjà, de 30 mm de gruix i de 2501 a 6400 cm2, col.locada amb sistema de rastrells.	h	Oficial 1a col.locador	21,99	1,25	27,49	
	h	Manobre	18,39	0,73	13,33	
	m2	Pedra granítica nacional amb una cara flamejada preu mitjà, de 30 mm de gruix amb forats per a fixacions i aresta viva a les quatre vores	129,38	1,01	130,67	
	u	Ganxo d'acer inoxidable per a l'ancoratge d'apacats	0,22	10,00	2,20	
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	40,82	0,03	1,22	
	m	Rastrell d'alumini				
					TOTAL PARTIDA	174,92
partida	unitat	concepte	preu	quantitat	€/m ²	
Pintat de parament vertical de guix, amb pintura plàstica amb acabat llis, amb una capa segelladora i dues d'acabat	h	Oficial 1a pintor	21,99	0,10	2,20	
	h	Ajudant pintor	19,53	0,01	0,20	
	kg	Pintura plàstica per a interiors	3,33	0,40	1,32	
	kg	Segelladora	6,15	0,15	0,94	
	%	Despeses auxiliars sobre la mà d'obra	2,39	0,02	0,04	
					TOTAL PARTIDA	4,70

Valores por partidas aplicados a las distintas soluciones constructivas:

	TIPO 5							TIPO 4T	TIPO 4F	TIPO 3			TIPO 2			
Precios en €/m ²	Fabrica de ladrillo	Hormigón aireado	Sándwich hormigón XPS	Nervado hormigón LR	Contrachapado madera 200	Hueco madera LR 160	Sándwich acero	Hueco madera LR 120	Hormigón arido ligero	Contrachapado madera 117	Hormigón alta resistencia	Nervado hormigón alta resistencia	Contrachapado madera 94	Contrachapado madera 60	Bandeja de acero	Tablero de cemento con entramado de acero
	-	1 (5)	2 (5)	3 (5)	4 (5)	5 (5)	6 (5)	7 (4T)	8 (4F)	9 (4F)	10 (3)	11 (3)	12 (3)	13 (2)	14 (2)	15 (2)
Pintura	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Trasdosado	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	40,4	20,5	20,5	29,9	29,9	29,9	30,8	30,8	30,8
Manta aislante interior											9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Panel	32,9	41,4	62,2	70,0	186,0	160,0	48,9	150,0	46,0	137,0	50,1	50,1	94,0	78,0	30,4	44,9
Manta aislante exterior	11,7								11,7	11,7					11,7	
Hoja exterior	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9	174,9
TOTAL	245	241	262	270	386	360	249	370	258	349	269	269	313	298	262	265

VALORACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Valores por partidas:

CAPES AFEGIDES

E898J2A0 m2 Pintat de parament vertical de guix, amb pintura plàstica amb acabat llis, amb una capa segelladora i dues d'acabat.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	0,55	27,12	4,00	139.842	20.625
pintura acrílica	0,4	9,83	1,45	24.575	3.625
silicona	0,15	17,29	2,55	115.267	17.000
Total	0,55	27,12	4	139.842	20.625

E83ED4BA m2 Trasdossat de plaques transformades de guix laminat **fixades mecànicament al parament vertical mitjançant mestres de planxa d'acer galvanitzat** col.locades cada 600 mm amb una placa transformada tipus laminar de **15 mm** de gruix.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	14,922	201,41	15,19	234.016	25.613
acer galvanitzat	2,48	103,33	7,75	41.665	3.125
acer	0,21	7,35	0,59	35.000	2.810
guix laminat	11,38	71,46	4,09	6.279	359
massilla acrílica	0,8	16	2,36	20.000	2.950
nylon	0,024	2,4	0,35	100.000	14.583
paper	0,028	0,87	0,05	31.071	1.786
Total	14,922	201,41	15,19	234.016	25.613

E652HB4A m2 Trasdossat de plaques de guix laminat format per estructura senzilla normal amb perfil·leria de planxa d'acer galvanitzat, muntants cada 400 mm de **48 mm** d'amplària i canals de 48 mm d'amplària, **2 plaques tipus Talla·foc de 15 mm** de gruix cada una, fixades mecànicament.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	28,607	306,15	21,185	278.146	32.128
acer galvanitzat	2,89	120,55	9,05	41.713	3.131
acer	0,5	17,64	1,42	35.280	2.840
betum asfàltic	0,071	3,11	0,46	43.803	6.479
guix laminat	24,72	155,215	8,875	6.279	359
massilla acrílica	0,4	8	1,18	20.000	2.950
nylon	0,012	1,2	0,175	100.000	14.583
paper	0,014	0,435	0,025	31.071	1.786
Total	28,607	306,15	21,185	278.146	32.128

E6524B4A m2 Trasdossat de plaques de guix laminat format per estructura senzilla normal amb perfil·leria de planxa d'acer galvanitzat, muntants cada 400 mm de 48 mm d'ampl·lria i canals de 48 mm d'ampl·lria, 2 plaques tipus estàndard (A) de 15 mm de gruix cada una, fixades mecànicament.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	27,577	299,685	20,815	278.146	32.128
acer galvanitzat	2,89	120,55	9,05	41.713	3.131
acer	0,5	17,64	1,42	35.280	2.840
betum asfàltic	0,071	3,11	0,46	43.803	6.479
guix laminat	23,69	148,75	8,505	6.279	359
massilla acrílica	0,4	8	1,18	20.000	2.950
nylon	0,012	1,2	0,175	100.000	14.583
paper	0,014	0,435	0,025	31.071	1.786
Total	27,577	299,685	20,815	278.146	32.128

E83EMK5A m2 Barrera de vapor d'alumini sobre placa de guix laminat.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	0,072	11,65	0,67	161.806	9.306
alumini	0,072	11,65	0,67	161.806	9.306
Total	0,072	11,65	0,67	161.806	9.306

E6524BAAC71G m2 Trasdossat de plaques de guix laminat format per estructura senzilla normal amb perfil·leria de planxa d'acer galvanitzat, muntants cada 400 mm de 70 mm d'ampl·lria i canals de 70 mm d'ampl·lria, 2 plaques tipus estàndard (A) de 15 mm de gruix cada una, fixades mecànicament.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	28,196	325,775	22,985	278.851	32.149
acer galvanitzat	3,44	143,52	10,77	41.721	3.131
acer	0,5	17,64	1,42	35.280	2.840
betum asfàltic	0,14	6,23	0,91	44.500	6.500
guix laminat	23,69	148,75	8,505	6.279	359
massilla acrílica	0,4	8	1,18	20.000	2.950
nylon	0,012	1,2	0,175	100.000	14.583
paper	0,014	0,435	0,025	31.071	1.786
Total	28,196	325,775	22,985	278.851	32.149

E7C9G504 m2 Placa rígida de llana de roca de densitat 126 a 160 kg/m3 de 40 mm de gruix.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	6,01	133,95	8,49	22.288	1.413
llana de roca	6,01	133,95	8,49	22.288	1.413
Total	6,01	133,95	8,49	22.288	1.413

E7C9P501 m2 Aïllament amb placa semirígida de llana de roca de densitat 36 a 40 kg/m3 de 40 mm de gruix, col.locada sense adherir.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	1,6	35,59	2,26	22.244	1.413
llana de roca	1,6	35,59	2,26	22.244	1.413
Total	1,6	35,59	2,26	22.244	1.413

E7C9H814 m2 Aïllament amb placa semirígida de llana de roca de densitat 26 a 35 kg/m3 de 60 mm de gruix amb paper kraft, col.locada amb fixacions mecàniques.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	2,06	53,27	4,14	163.508	19.368
llana de roca	1,92	42,85	2,72	22.318	1.417
nylon	0,09	9	1,33	100.000	14.778
paper	0,042	1,31	0,076	31.190	1.810
quitrà	0,011	0,11	0,015	10.000	1.364
Total	2,06	53,27	4,14	163.508	19.368

E83C66VE m2 Aplacat de parament vertical exterior a una alçària >3 m, amb pedra granítica nacional, amb una cara flamejada, preu mitjà, amb forats per a fixacions i aresta viva a les quatre vores, preu mitjà, de 30 mm de gruix i de 2501 a 6400 cm2, col.locada amb rastrells d'alumini i fixacions regulables.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	78,91	410,22	23,97	244.177	13.815
acer inox.	1,44	118,77	6,52	82.479	4.528
alumini	1,72	277,81	15,94	161.517	9.267
pedra natural	75,75	13,64	1,51	180	20
Total	78,91	410,22	23,97	244.177	13.815

PANELLS

E43FA130 m3 Pilar de fusta laminada GL24h, amb gruix de laminat 33/45 mm, de secció constant, de a 100x20 cm de secció, i llargària fins a 15 m, treballada al taller i amb tractament insecticida-fungicida per a tipus de protecció mitja, muntat sobre suport.						kg/m ² para un gruoso de 200 mm PANELL DE 200 mm 4 ₍₅₎			
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T	Pes Kg/m ²	Pes panell Kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	122	96,00	258,46	14,49
adhesiu copolímer acrílic	8,40	378,00	55,79	45.000	6.642	1,68	1,33	59,64	8,80
fusta	600,00	1.260,00	36,04	2.100	60	120,00	94,67	198,82	5,69
Total	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	122	96,00	258,46	14,49

E43FA130 m3 Pilar de fusta laminada GL24h, amb gruix de laminat 33/45 mm, de secció constant, de a 100x20 cm de secció, i llargària fins a 15 m, treballada al taller i amb tractament insecticida-fungicida per a tipus de protecció mitja, muntat sobre suport.						kg/m ² para un gruoso de 117 mm PANELL DE 117 mm 9 _(4F)			
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T	Pes Kg/m ²	Pes panell Kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	71	56,16	151,20	8,48
adhesiu copolímer acrílic	8,40	378,00	55,79	45.000	6.642	0,98	0,78	34,89	5,15
fusta	600,00	1.260,00	36,04	2.100	60	70,20	55,38	116,31	3,33
Total	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	71	56,16	151,20	8,48

E43FA130						PANELL DE 94 mm				12 ⁽³⁾	
m3						Pilar de fusta laminada GL24h, amb gruix de laminat 33/45 mm, de secció constant, de a 100x20 cm de secció, i llargària fins a 15 m, treballada al taller i amb tractament insecticida-fungicida per a tipus de protecció mitja, muntat sobre suport.				kg/m ² para un grueso de 94 mm	
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T	Pes Kg/m ²	Pes panell Kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²		
Components constitutius de materials	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	57	45,12	121,48	6,81		
adhesiu copolímer acrílic	8,40	378,00	55,79	45.000	6.642	0,79	0,62	28,03	4,14		
fusta	600,00	1.260,00	36,04	2.100	60	56,40	44,50	93,44	2,67		
Total	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	57	45,12	121,48	6,81		

E43FA130						PANELL DE 60 mm				13 ⁽²⁾	
m3						Pilar de fusta laminada GL24h, amb gruix de laminat 33/45 mm, de secció constant, de a 100x20 cm de secció, i llargària fins a 15 m, treballada al taller i amb tractament insecticida-fungicida per a tipus de protecció mitja, muntat sobre suport.				kg/m ² para un grueso de 60 mm	
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T	Pes Kg/m ²	Pes panell Kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²		
Components constitutius de materials	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	37	28,80	77,54	4,35		
adhesiu copolímer acrílic	8,40	378,00	55,79	45.000	6.642	0,50	0,40	17,89	2,64		
fusta	600,00	1.260,00	36,04	2.100	60	36,00	28,40	59,64	1,71		
Total	608,40	1.638,00	91,83	47.100	6.702	37	28,80	77,54	4,35		

E83Q9D32						SAFATA AMB NERVI DE 150mm				14 ⁽²⁾	
m2						Safata perfilada de planxa d'acer galvanitzada, a més de 3,00 m d'alçària, de 82 mm d'alçària i 1,2 mm de gruix, acabat llis, col.locat amb fixacions mecàniques .					
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T	Pes panell Kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²			
Components constitutius de materials	14,91	621,87	46,67	41.708	3.130	15,70	654,82	49,14			
acer galvanitzat	14,91	621,87	46,67	41.708	3.130	15,70	654,82	49,14			
Total	14,91	621,87	46,67	41.708	3.130	15,70	654,82	49,14			

m2						6 ⁽⁵⁾			
Panell sandwich de planxa llisa d'acer galvanitzat, de 80 mm de gruix format per dues planxes de 0,80 mm de gruix, amb aïllament interior de 8 cm de llana de roca de densitat 145 kg/m ³ .									
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T				
Components constitutius de materials	26,93	889,77	63,65	63.996	4.543				
acer galvanitzat	14,91	621,87	46,67	41.708	3.130				
llana de roca	12,02	267,90	16,98	22.288	1.413				
Total	26,93	889,77	63,65	63.996	4.543				

m2						5 ⁽⁵⁾			
Panell foradat de fusta (160mm) reomplert amb 80 mm de llana de roca.									
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T				
Components constitutius de materials	47,70	164,62	7,19	24.344	1.473				
fusta	44,50	93,44	2,67	2.100	60				
llana de roca	3,20	71,18	4,52	22.244	1.413				
Total	47,70	164,62	7,19	24.344	1.473				

m2 Panell foradat de fusta (120mm) reomplert amb 60 mm de llana de roca.					
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	30,80	113,03	5,10	24.344	1.473
fusta	28,40	59,64	1,71	2.100	60
llana de roca	2,40	53,39	3,39	22.244	1.413
Total	30,80	113,03	5,10	24.344	1.473

7
(4T)

m2 Paret per a tancament de gruix 20 cm amb panell prefabricat, de formigó cel.lular, categoria I, segons la norma UNE-EN 771-4, per a revestir, col.locat amb morter adhesiu.					
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	103,00	494,41	47,36	4.800,13	459,81
formigó cel.lular prefabricat	103,00	494,41	47,36	4.800,13	459,81
Total	103,00	494,41	47,36	4.800,13	459,81

1
(5)

Dades referencials extretes de la METABASE de l' iTec				
ciment	1.000,00	3.778,00	1.049,44	833,00
aigua	162,50	0,98	0,27	0,05
	1.000,00	6,03	1,66	0,29
àrid	1.941,55	291,23	80,90	15,53
	1.000,00	150,00	41,67	8,00
acer	1,05	36,75	10,21	2,96
	1.000,00	35.000,00	9.723,81	2.819,05

Genèric: Formigó d'alta resistència armat amb fibres d'acer.		PANELL HPC ARMAT AMB FIBRES (50mm)				
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials	100	284,64	37,70	125	355,80	47,12
ciment	28,33	107,03	23,60	35,41	133,79	29,50
sorra	49,71	7,46	0,40	62,14	9,32	0,50
aigua	8,10	0,05	0,002	10,13	0,06	0,00
aditius	9,00			11,25		
fibres d'acer	4,86	170,10	13,70	6,08	212,63	17,13
Total	100	284,64	37,70	125	355,80	47,12

10
(3)

Nota: Dosificació corresponent a proves experimentals realitzades amb formigó d'alta resistència armat amb fibres d'acer.

Genèric: Formigó d'alta resistència armat amb fibres d'acer. PANELL NERVAT HPC ARMAT AMB FIBRES (30+70mm)

11⁽³⁾

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials	100	284,64	37,70	100	284,64	37,70
ciment	28,33	107,03	23,60	28,33	107,03	23,60
sorra	49,71	7,46	0,40	49,71	7,46	0,40
aigua	8,10	0,05	0,002	8,10	0,05	0,002
aditius	9,00			9,00		
fibres d'acer	4,86	170,10	13,70	4,86	170,10	13,70
Total	100	284,64	37,70	100	284,64	37,70

Genèric: Formigó d'alta resistència armat amb fibres d'acer. PANELL NERVAT HPC I LLANA DE ROCA ARMAT AMB FIBRES

3⁽⁵⁾

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials	100	284,64	37,70	112,02	552,54	54,68
ciment	28,33	107,03	23,60	28,33	107,03	23,60
sorra	49,71	7,46	0,40	49,71	7,46	0,40
aigua	8,10	0,05	0,002	8,10	0,05	0,00
aditius	9,00			9,00		
fibres d'acer	4,86	170,10	13,70	4,86	170,10	13,70
llana de roca				12,02	267,90	16,98
Total	100	284,64	37,70	112,02	552,54	54,68

Genèric: Formigó lleuger armat amb fibres d'acer. PANELL DE LWC ARMAT AMB FIBRES

8^(4F)

Consum	Pes kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials				152,00	487,93	43,50
ciment	24,39	92,15	20,32	37,07	140,06	19,87
sorra	35,98	5,40	0,29	54,68	8,20	0,28
arcilla expandida	17,07			25,95	81,00	2,52
aigua	12,20	0,07	0,004	18,54	0,11	0,01
superfluidificant						
fibres d'acer	4,86	170,10	13,70	7,39	258,55	20,82
Total					487,93	43,50

Genèric: Formigó lleuger armat amb fibres d'acer. PANELL SANDVITX DE LWC I POLIESTIRÈ EXTRUÏT ARMAT AMB FIBRES

2⁽⁵⁾

Consum	Pes kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials				99,67	563,96	68,71
ciment	24,39	92,15	20,32	23,85	90,12	19,87
sorra	35,98	5,40	0,29	35,18	5,28	0,28
arcilla expandida	17,07			16,70	81,00	2,52
aigua	12,20	0,07	0,004	11,93	0,07	0,00
superfluidificant						
fibres d'acer	4,86	170,10	13,70	4,75	166,36	13,40
bettosilice- fum de silice	5,49			5,37		
poliestirè extruït				1,89	221,13	32,64
Total				99,67	563,96	68,71

Genèric: Formigó lleuger.

	per 1 m ³		densitat
Sand 0-2	590,00 kg		1.640,00 kg/m ³
Liapor aggregates	280,00 kg		volum per 100 kg
CEM I 52,5	400,00 kg		0,06 m ³
KS-Meal	90,00 kg		
Water	200,00 kg		
BASF Glenium 51	266,00 ml		

Nota: Dosificació aproximada a la de les proves experimentals realitzades amb formigó lleuger armat amb malla d'acer.

E7C21631

m2

Aïllament de planxa de poliestirè extruït (XPS) UNE-EN 13164, resistència a compressió >=100 kPa, resistència tèrmica >= 2,15 m2K/W, de gruix 60 mm amb la superfície llisa i cantell encadellat.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	1,89	221,13	32,64	117.000	17.270
poliestirè extruït	1,89	221,13	32,64	117.000	17.270
Total	1,89	221,13	32,64	117.000	17.270

B03E1531

m3

Argila expandida de granulometria 8 a 16 mm i densitat 300 kg/m3, preparats per a ser impulsats en sec.

Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg
Components constitutius de materials	300	1350	41,99
argila expandida	300	1350	41,99
Total	300	1350	41,99

Genèric:

PLACA DE CIMENT AMB ENTRAMAT D'ACER GALVANITZAT

15₍₂₎

Consum	Pes kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Pes kg/m ²	Cost energètic MJ/m ²	Emissió CO2 Kg/m ²
Components constitutius de materials				12,39	197,29	17,76
acer galvanitzat				3,97	165,44	12,42
nylon				0,024	2,4	0,35
ciment				5,46	20,63	4,55
fibra natural				2,94	8,82	0,44
Total				12,39	197,29	17,76

E612L11V	m2	Paret de tancament recolzada de gruix 11,5 cm, de totxana, LD, de 240x115x100 mm, per a revestir, categoria I, segons la norma UNE-EN 771-1, col.locat amb morter per a ram de paleta industrialitzat M 5 (5 N/mm2) de designació (G) segons norma UNE-EN 998-2			
Consum	Pes Kg	Cost energètic MJ	Emissió CO2 Kg	Cost energètic MJ/T	Emissió CO2 Kg/T
Components constitutius de materials	121,67	242,87	20,52	6.698	1.051
aigua	10,00	0,06	0,00	6,00	0,29
àrid	26,87	4,03	0,21	150	8
ceràmica	80,78	223,61	16,96	2.768	210
ciment	4,02	15,17	3,35	3.774	833
Total	121,67	242,87	20,52	6.698	1.051

Valores por partidas aplicados a las distintas soluciones constructivas:

		TIPO 5										TIPO 4T					
		Fabrica de ladrillo		Hormigón aireado		Sándwich hormigón XPS		Nervado hormigon LR		Contrachapado madera 200		Hueco madera LR 160		Sándwich acero		Hueco madera LR 120	
		-		1 (5)		2 (5)		3 (5)		4 (5)		5 (5)		6 (5)		7 (4T)	
por m ²		Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2
		MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg
Pintura		27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0
Trasdosado		201,4	15,2	201,4	15,2	201,4	15,2	201,4	15,2	201,4	15,2	201,4	15,2	201,4	15,2	306,2	21,2
Barrera de vapor						11,7	0,7	11,7	0,7			11,7	0,7			11,7	0,7
Manta aislante interior																	
Panel		242,9	20,5	494,4	47,4	564,0	68,7	552,5	54,7	258,5	14,5	164,6	7,2	889,8	63,7	113,0	5,1
Manta aislante exterior		53,3	4,1			410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0
Hoja exterior		410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0
TOTAL		935	68	1.133	91	1.214	113	1.203	99	897	58	815	51	1.529	107	868	55

		TIPO 4F				TIPO 3				TIPO 2							
		Hormigón arido ligero		Contrachapado madera 117		Hormigón alta resistencia		Nervado hormigón alta resistencia		Contrachapado madera 94		Contrachapado madera 60		Bandeja de acero		Tablero de cemento con entramado de acero	
		8 (4F)		9 (4F)		10 (3)		11 (3)		12 (3)		13 (2)		14 (2)		15 (2)	
por m ²		Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2	Coste energético	Emisiones CO2
		MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg
Pintura		27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0	27,1	4,0
Trasdosado		201,4	15,2	201,4	15,2	299,7	20,8	299,7	20,8	299,7	20,8	325,8	23,0	325,8	23,0	325,8	23,0
Barrera de vapor						11,7	0,7	11,7	0,7	11,7	0,7	11,7	0,7	11,7	0,7	11,7	0,7
Manta aislante interior						35,6	2,3	35,6	2,3	35,6	2,3	53,4	3,4	53,4	3,4	53,4	3,4
Panel		487,9	43,5	151,2	8,5	355,8	47,1	284,6	37,7	121,5	6,8	77,5	4,3	654,8	49,1	197,3	17,8
Manta aislante exterior		44,4	3,5	17,8	1,4			410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	53,3	4,1	410,2	24,0
Hoja exterior		410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0	410,2	24,0
TOTAL		1.183	91	808	53	1.140	99	1.069	89	906	59	906	59	1.536	108	1.025	73

Nota: Los datos considerados en la valoración económica y la medioambiental son relativos.

Para la primera, el coste de mercado es fluctuante y depende de valores imposibles de cuantificar en un estudio de estas características.

En la segunda no se contemplan parámetros como la vida útil, la posibilidad de reciclaje, etc. Son valores que resultan de la cuantificación de emisiones y consumos energéticos para un edificio tipo pero que en su aplicación a casos concretos pueden variar de forma considerable.

El objetivo de estas valoraciones es establecer una comparación entre las distintas propuestas.

**Desarrollo 6.-
CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS A TENER EN CUENTA
EN EL FUTURO DESARROLLO DE SOLUCIONES DE FACHADA
VENTILADA CON PANELES DE HOJA INTERIOR COMO
SOPORTE DEL CONJUNTO.**

Índice

- i - Posición de las distintas envolventes respecto al canto del forjado.
- ii - Criterios de anclaje.
- iii - El hueco.
- iv - Tendido de instalaciones.

Desarrollo 6.- CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS A TENER EN CUENTA EN EL FUTURO DESARROLLO DE SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA CON PANELES DE HOJA INTERIOR COMO SOPORTE DEL CONJUNTO.

Independientemente de la solución de panel que se adopte para la hoja interior de la fachada ventilada, la resolución de los encuentros con el resto de elementos de la obra va a estar guiada por criterios que son válidos para todos ellos.

En este anejo no se pretende definir soluciones constructivas precisas para estos puntos de encuentro entre sistemas, sino dar unas indicaciones de cuáles son las consideraciones a tener en cuenta en su diseño.

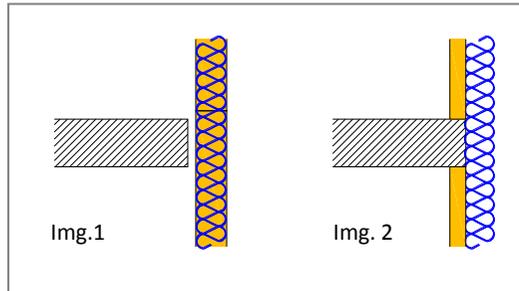
i - Posición de las distintas envolventes respecto al canto del forjado.

Un punto singular que origina muchas patologías en soluciones de fachada convencionales, es el encuentro con el forjado. La primera decisión que orientará la resolución de este encuentro es si el plano definido por el panel ha de ser pasante o alojarse encajado entre la estructura principal.

Recuperando el análisis funcional que ha guiado la elaboración de la taxonomía de la fachada se observa que algunos de estos requerimientos exigen resolverse por delante de los cantos de los forjados mientras que otros no. Depende de si el forjado, dadas sus características, puede contribuir a satisfacer la función a la que se debe dar continuidad.

- Aislamiento térmico

Suponiendo una estructura a base de losas de hormigón, la función térmica no se ve resuelta en el tramo del forjado, por lo que esta envolvente sí precisa situarse de forma tangencial a su canto.



Las soluciones de panel que incluyan en sus funciones la térmica deberán situarse en posición pasante (Img. 1), mientras que el resto pueden alojarse entre forjados (Img. 2).

El confort térmico no sólo depende del correcto aislamiento. La mayor o menor inercia térmica regula la velocidad de enfriamiento y calentamiento de los espacios habitables. El aporte de inercia térmica no se ha considerado una de las funciones básicas de la envolvente ya que no depende exclusivamente de ella. Es importante destacar que la mayoría de los forjados que se construyen hoy en día tienen una inercia térmica considerable. En el caso de una losa maciza de hormigón de 20 cm, ésta es del orden de 100 kcal/°C por cada metro cuadrado. A no ser que se coloquen materiales aislantes entre la masa de los techos y el espacio habitable, su aportación en cuanto a la regulación térmica es más importante que la de las fachadas y está mejor repartida en el conjunto de la planta.

- Retención del fuego

Dado que la sectorización por plantas exige a los techos que resistan al fuego un tiempo superior al de las fachadas, estos sí contribuyen a dar continuidad a la función de retención frente a la propagación del incendio. Los paneles que satisfacen esta función sí

pueden ir alojados entre forjados. Esta posición facilita la resolución de la junta entre los dos sistemas: estructura y cerramiento.

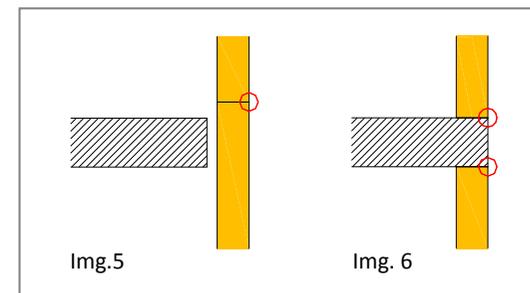
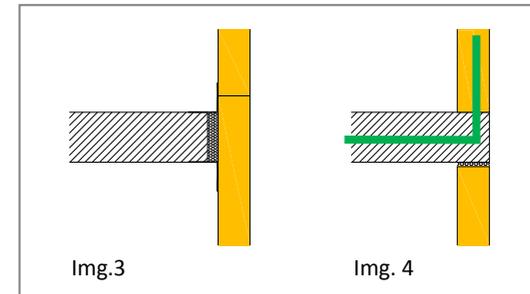
En el caso de las soluciones pasantes (Img.3), el margen de error de centímetros admisible en la ejecución de una estructura de hormigón “in situ” no permite mantener la equidistancia entre el plano de fachada y los cantos de los forjados, no sólo entre los distintos techos, sino también para cada uno de ellos. Esta junta de centímetros rompe la continuidad de la función de retención del fuego por lo que debe ser cerrada con materiales que garanticen la resistencia El 60 min.

También existe una junta, en este caso provocada y con la función de absorber movimientos, cuando el cerramiento se sitúa entre los forjados. Esta junta no sólo es de menor dimensión, sino que únicamente rompe la continuidad entre estructura y cerramiento en el encuentro superior, no en el inferior. Sí se conserva la continuidad de la función de resistencia al fuego en el macizo de la parte baja del cerramiento superior al forjado (Img.4).

- Estanqueidad al aire

Esta función es más fácilmente resoluble si se minimiza el número de juntas y se procura que éstas se establezcan entre elementos sometidos a movimientos similares. Colocar el panel pasante reduce las juntas con los forjados a la mitad (Img.5,6), y evita los encuentros con posibles pilares situados en el plano de fachada.

Con la voluntad de minimizar las juntas se puede plantear ejecutar paneles de altura doble. La solución estará limitada por el transporte, la fácil manipulación en obra y el



peso. La exigencia de no sobrepasar con el conjunto de la fachada el límite establecido para cerramientos ligeros (200 kg/m^2) permite trabajar con paneles capaces de cerrar más de una planta en altura.

- Función portante de fachada

Las acciones que actúan sobre el cerramiento se deben transmitir a la estructura principal del edificio sin permitir que los movimientos de ésta sometan a esfuerzos no previstos a la fachada. La transmisión de esfuerzos se debe producir única y exclusivamente en un sentido, del cerramiento a la estructura.

Las acciones a las que se ve sometida la fachada son principalmente: el peso propio, la producida por el viento, y muy ocasionalmente el sismo. Consideraremos únicamente las dos primeras al no ser nuestra geografía una zona de alto riesgo sísmico.

Si desglosamos la acción del viento en sus dos componentes X e Y, una se suma al peso propio mientras que la otra introduce una acción horizontal que tanto puede ser de succión como de empuje.

La estructura del edificio también se ve sometida a acciones de dirección vertical: su peso propio sumado al del resto de los elementos que conforman el edificio más las cargas de uso; y acciones horizontales provocadas por los mismos fenómenos citados anteriormente.

Todas estas acciones que actúan sobre el cerramiento y la estructura, y los movimientos que provocan, dictan como se debe producir la unión entre los dos sistemas para conseguir que el descenso de cargas se produzca según lo proyectado.

- Acciones de componente vertical:

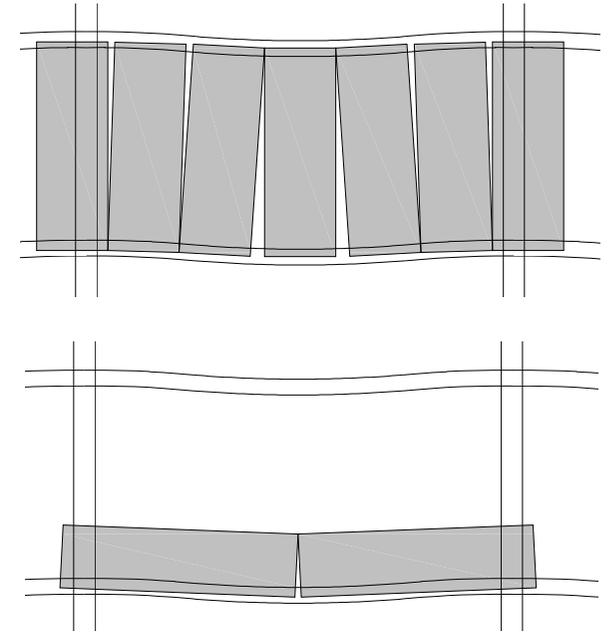
Respecto a las acciones de componente vertical, el cerramiento debe apoyar o colgar de los forjados sin permitir que éstos, sometidos a movimientos diferenciales, le transmitan cargas no previstas. La fachada no debe suponer una conexión entre los sucesivos forjados.

No únicamente se debe preservar esta libertad de movimientos, sino que, en cada tramo de forjado con su correspondiente cerramiento, se debe garantizar que la flecha del primero no merma las condiciones de apoyo del segundo.

- Acciones de componente horizontal:

La discontinuidad en los apoyos de los forjados permite una cierta deformación por flecha (vertical). La deformación de un forjado convencional en sentido horizontal es prácticamente nula dado el monolitismo que aporta el hormigón vertido “in situ” y la geometría de la placa.

Sí es posible el desplazamiento horizontal relativo entre los distintos forjados en caso de no existir un adecuado sistema de estabilización en vertical, nudos rígidos entre losas y pilares, etc. Para este trabajo de investigación se considera que el cerramiento se aplica sobre estructuras intraslacionales (solución más habitual), es

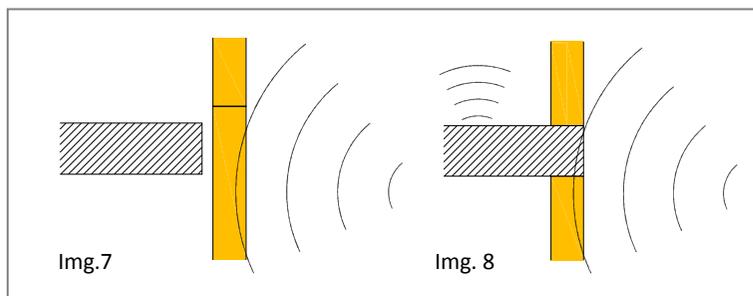


decir con un coeficiente que caracteriza la traslacionalidad $r \leq 0,1$ (desplazamiento relativo reducido).

La posición del panel respecto del canto del forjado difícilmente lo desvinculará de los movimientos de la estructura principal. Será el diseño del sistema de fijación lo que determine la relación a nivel mecánico entre los dos sistemas.

No obstante, la localización pasante permite optar por soluciones de panel de gran altura resolviendo la fachada por medio de tramos verticales continuos. En estos casos el cerramiento cuelga o apoya únicamente de un forjado y simplemente se estabiliza al vuelco en el resto.

Es importante destacar que todos estos movimientos diferenciales y las juntas que conllevan no son un problema en cuanto a la envolvente portante. Es en el caso de los paneles multifuncionales cuando la junta mecánica puede llegar a establecer una discontinuidad en la envolvente térmica, de estanquidad al aire, etc.



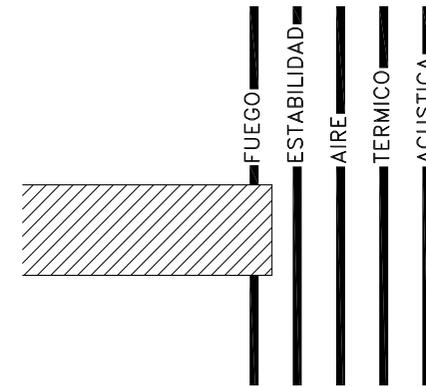
▪ Reducción acústica

La adecuada reducción de la propagación de la onda acústica tiene mucho que ver con cómo se resuelve la unión entre fachada y estructura. Si esta unión es elástica, el panel pasante reduciría considerablemente el contacto entre la onda vibratoria y la estructura principal (Img.7), absorbiéndola ya sea por masa o por medio de un sistema de masas combinadas. El panel apoyado sobre los cantos de los forjados deja sus testas más expuestas (únicamente protegidas por la hoja exterior) de manera que la onda acústica puede incidir de forma más directa (Img.8).

- Resumen

El siguiente esquema resume cual es la mejor posición para cada envolvente respecto al canto del forjado. Dependiendo de las funciones que satisfaga cada panel, según al tipo funcional al que pertenezca, será más adecuado colocarlo en una u otra posición.

La decisión dependerá de cada caso, pero la tendencia hacia soluciones pasantes es clara. Evidentemente la voluntad formal de la fachada incidirá en esta decisión. La existencia de balcones obliga a interrumpir la continuidad entre paneles pero no debería interrumpir la continuidad de las envolventes.



ii - Criterios de anclaje.

La compleja relación desde el punto de vista mecánico y de tolerancias dimensionales que existe entre la estructura y la fachada obliga a que la fijación de ésta sobre la primera no se realice de forma directa. Normalmente existe un anclaje, más o menos sofisticado, que resuelve la unión entre ambos garantizando que la transmisión de esfuerzos se realice de forma correcta.

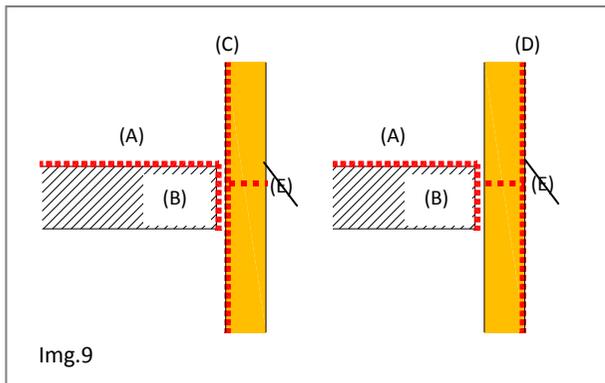
El diseño de la fijación queda fuera del ámbito de estudio de este trabajo de investigación, aún así, los criterios generales, válidos para resolver la unión al forjado de cualquiera de las soluciones de panel planteadas, sí merece dedicarle un espacio.

Hemos dicho que el anclaje relaciona el panel de fachada con la estructura principal, normalmente los forjados, por lo que deberá fijarse a ambos. La unión al forjado acostumbra a realizarse en su cara superior salvo en los casos en que, por distintos

motivos como puede ser la posición de los pilares, deba realizarse en el canto. Esto no implica que la fijación al panel se realice en esta misma cota ya que el anclaje puede ser una angular que cuelga o sobresale.

Los criterios que acompañan esta decisión son el óptimo comportamiento mecánico y la facilidad de puesta en obra. Siempre será mejor trabajar desde el interior del edificio que desde el exterior accediendo mediante estructuras auxiliares.

La unión entre el anclaje y el panel está condicionada por aspectos compositivos. La diversidad de soluciones de fachada a las que debe dar respuesta el panel impide definir la posición de la junta horizontal en relación con el canto del forjado. La fijación no se puede realizar a testa (E) sino que deberá ser a cara (C) y (D).



Img.9

Los planos de fijación para anclajes de carga son pues los que muestra la imagen 9:

Forjado: Cara superior (A)

Panel: Cara interior (C)

Canto (B)

Pasante desde la cara exterior (D)

A: Fijación del anclaje a la cara superior del forjado:

Este sistema de anclaje es de fácil ejecución desde el punto de vista de la puesta en obra ya que el operario se sitúa en el interior del edificio. No se precisa andamio. La fijación es muy accesible pero queda expuesta al fuego por lo que deberá ir debidamente protegida.

B: Fijación del anclaje al canto del forjado:

Para la puesta en obra será necesario un sistema auxiliar que permita el acceso a la fachada desde el exterior.

El grueso del sistema de fijación obliga a contemplar la distancia mínima que se precisa entre el canto del forjado y el plano de fachada. Su localización en la testa del forjado, donde se realizará la barrera cortafuegos, evita tener que disponer una protección específica para la fijación.

Como muestran las imágenes adjuntas, el lugar donde se produce la unión entre el sistema de fijación y la estructura principal (A) ó (B), no limita las posibilidades de anclaje al panel. Se puede apreciar como tres formas de soportar elementos propios del cerramiento exterior resuelven su unión a la estructura indistintamente sobre el plano horizontal o el vertical. Incluso se da el caso de montantes encajados parcialmente entre forjados que van a buscar las testas de estos como lugar de anclaje.

La resolución de la retención al vuelco vendrá condicionada por la posición de la junta entre paneles. Si la junta se establece próxima al punto de fijación a carga, este mismo anclaje se puede aprovechar para la retención del panel vecino. De no ser así, se deberá disponer de un sistema independiente de fijaciones frente a las acciones horizontales que tanto puede buscar el apoyo en la estructura principal del edificio como en los paneles colindantes.

Estas reflexiones se basan en haber asumido la condición pasante del panel. Para las soluciones donde éste se aloja entre los forjados la fijación al canto queda desechada,

FIJACIÓN A LA ESTRUCTURA

PLANO HORIZ. SUPERIOR (A)

PLANO VERTICAL (B)

Cerramiento pasante. Fijación accesible desde el exterior.



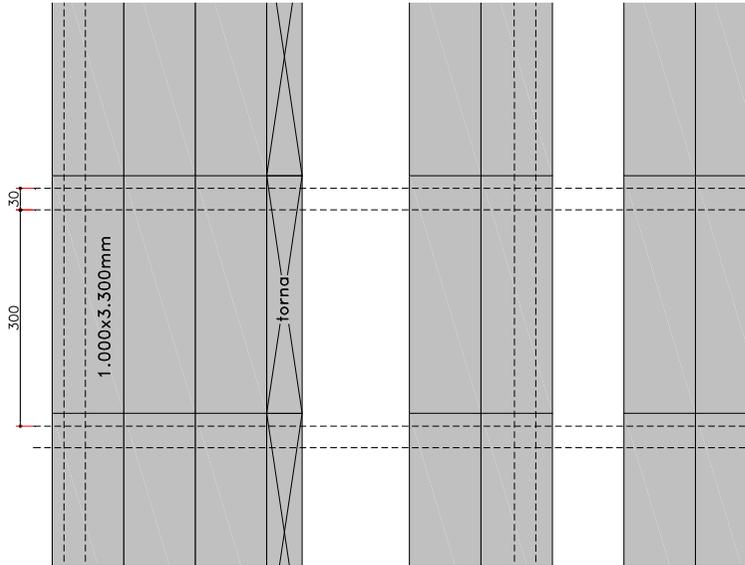
Cerramiento pasante. Fijación accesible desde el interior.



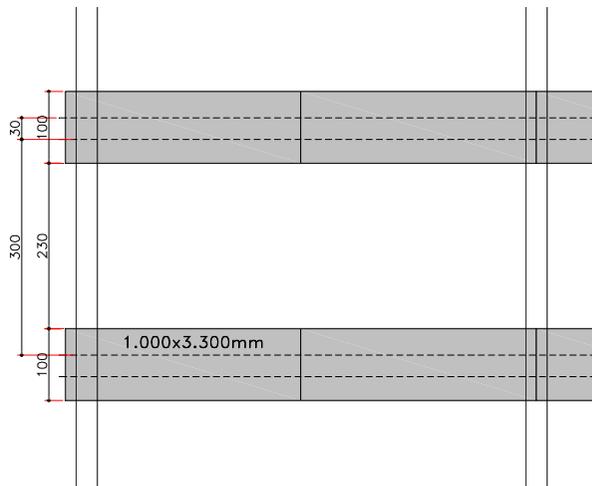
Cerramiento entre forjados. Fijación accesible desde el interior o el exterior.



igual que la posibilidad de retener al vuelco con la misma fijación que soporta el panel vecino en posición superior o inferior.



Img.10



Img.11

iii - El hueco.

Para cada tipo funcional de hoja interior portante se han planteado unas posibilidades de panel que, dependiendo de su condición de semiproducto en una o dos direcciones, componente estándar o componente a medida, podrán resolver un mayor número de soluciones de fachada.

Por ejemplo, las bandejas de acero que se incluyen como solución al tipo "2" son muy adecuadas para resolver fachadas con prevalencia de huecos verticales, pero no son válidas si las ventanas tienen una geometría apaisada de ancho considerable. El doblado de la bandeja le da unas características mecánicas muy distintas según si se aprovecha la inercia del nervado o no.

Cualquier panel homogéneo o nervado de forma bidireccional es susceptible de ser colocado tanto en posición vertical como apaisada.

Cuando la distribución de los huecos dibuja claramente una trama vertical (Img.10) u ocupa prácticamente el total de la fachada, manteniendo como único tramo ciego el metro de sectorización a nivel de forjado (Img.11), la resolución con paneles del formato planteado en este trabajo de investigación es sencilla. En el primer caso todos se pueden fijar a dos forjados sucesivos, mientras que en el segundo el ancho del forjado, comparado con el ancho del panel, no permite que se den vuelcos excesivos.

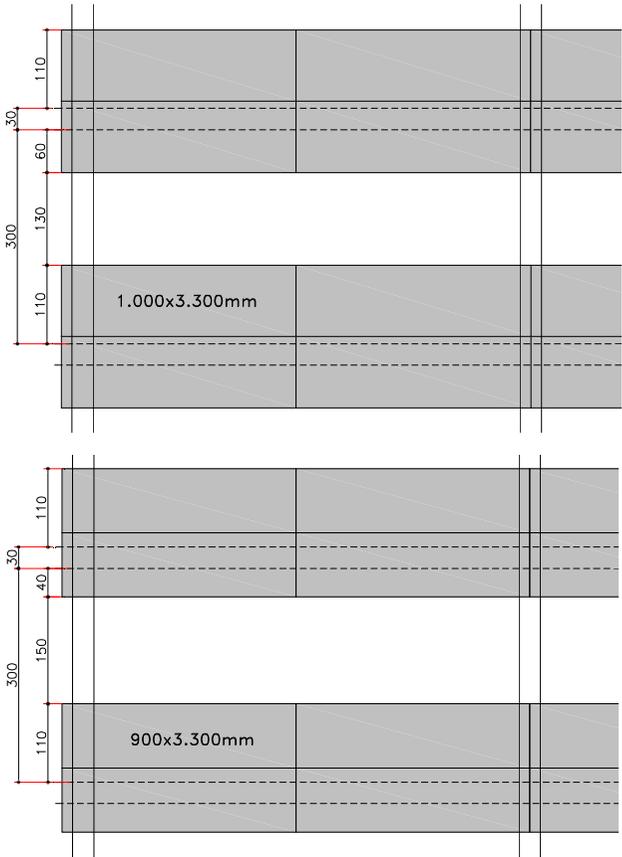
Desarrollo 6: Consideraciones constructivas a tener en cuenta en el futuro desarrollo de soluciones de fachada ventilada con paneles de hoja interior como soporte del conjunto – pg. 12

La formalización de cerramientos con ventanas apaisadas de poca altura obliga a la disposición en horizontal de dos paneles solidarios entre sí, ambos anclados al canto del forjado (Img.12). Dado que el vuelo del conjunto puede ser del orden de un metro, el premarco de la carpintería deberá participar en la estructura de fachada minimizando el desplazamiento horizontal de los extremos de los voladizos. Aún así, la unión de los paneles superiores e inferiores a este premarco difícilmente será un nudo rígido por lo que en estos puntos se producirá un giro. Anclar los premarcos a modo de bastidor de forjado a forjado permite establecer una estructura secundaria de fachada que evita el vuelo de los paneles de la hoja interior.

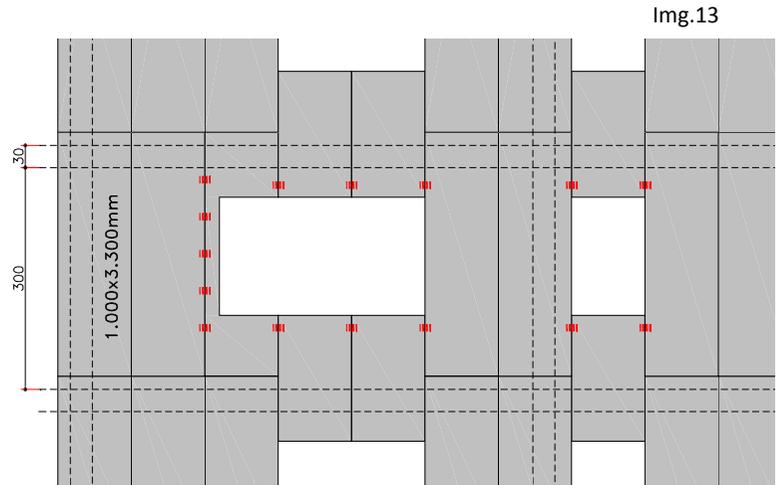
En las fachadas de huecos de tamaño medio y formato rectangular, donde la distancia entre estos no coincida con el módulo del panel, aparecerán paneles partidos pero no según cortes paralelos a alguno de los cantos en toda la longitud del panel sino creando formas en “L” o “C”. La sección del panel sufrirá un estrechamiento produciéndose una concentración de esfuerzos (Img.13).

El cosido por medio de fijaciones repartidas a lo largo de las juntas entre los paneles cortados y sus contiguos evitará la concentración de esfuerzos haciendo trabajar las dos placas como una sola. Esta misma solución se adoptará para evitar el vuelo de las placas que forman los antepechos en ventanas de poco ancho de cara a evitar la solución planteada para huecos apaisados. La fijación entre las placas de antepecho y las de las jambas también se puede llegar a resolver por medio de un premarco dimensionado para tal fin y capaz de garantizar el movimiento vertical independiente entre las placas superiores y las inferiores.

Desarrollo 6: Consideraciones constructivas a tener en cuenta en el futuro desarrollo de soluciones de fachada ventilada con paneles de hoja interior como soporte del conjunto – pg. 13



Img.12



Img.13

POSICIÓN DE LAS DISTINTAS ENVOLVENTES RESPECTO AL CANTO DEL FORJADO	CRITERIOS DE ANCLAJE	EL HUECO.	TENDIDO DE INSTALACIONES.
--	----------------------	-----------	---------------------------

Para las fachadas caracterizadas por la existencia de balcones, la solución del tramo ciego se resolverá con el panel situado lógicamente entre los forjados, anclado a sus caras, y con los criterios para la definición de huecos mencionados anteriormente.

iv - Tendido de instalaciones.

A las funciones de acondicionamiento que reúne cada solución de panel dependiendo del tipo funcional al que pertenece, se pueden sumar funciones de servicio no contempladas en la taxonomía. Una de ellas es la de incorporar instalaciones. Estas se pueden situar:

- en el interior del propio panel;
- alojadas entre sus pliegues sin alterar la sección de la fachada;
- insertas en las capas añadidas.

Las dos primeras opciones son las que permiten considerar que el panel satisface la función de albergar instalaciones. En el caso de la tercera ésta se agrupa a las funciones segregadas.

Independientemente del grado de segregación en capas yuxtapuestas de la fachada, identificamos tres planos como principales en cuanto a la localización del tendido de las instalaciones:

- en la cara interior del panel portante;
- alojadas en el grueso del panel portante;
- en la cara exterior del panel portante.

La importancia del panel como definidor del plano en base al cual se organiza el tendido de las instalaciones no se debe a su función portante, sino a la de garantizar la estanquidad al aire. Únicamente el panel entramado no satisface esta función.

Dependiendo del nivel de accesibilidad que requiera cada tipo de instalación se situará en una posición u otra.

Las instalaciones alojadas en la cara exterior del panel, en el grueso de una cámara lo suficientemente ancha como para que el tendido no interrumpa el drenaje, deben ser de tipo comunitario: suministros y evacuaciones generales. No se plantea la posibilidad de que el usuario deba alterar las envolventes portante, térmica, de retención del fuego, acústica o de estanquidad al aire para hacer modificaciones de tipo doméstico.

El paso de instalaciones por la cara interior del panel se limita a las particulares de cada unidad, de manera que pueda tener acceso el usuario en caso de que desee realizar cambios en la distribución.

La posibilidad de que el usuario altere las capas añadidas por la cara interior del panel sugiere que estas no deben desempeñar funciones de acondicionamiento del espacio habitable. La interrupción en la continuidad de alguna de las envolventes principales podría suponer fallos en el comportamiento global del cerramiento, perjudicando al conjunto del edificio. Este es el caso de una discontinuidad en la envolvente de retención del fuego.

Las soluciones de panel multifuncionales, o aquellas que satisfacen menos funciones pero cuyas capas añadidas se sitúan sobre la cara exterior, son las más adecuadas para



Viviendas VPO en Guadalajara. Artefacto Arquitectos.



Canaletas empotradas en el grueso del panel KLH.

edificios de uso particular. Las capas añadidas por el interior deben ser preferiblemente de acabado.

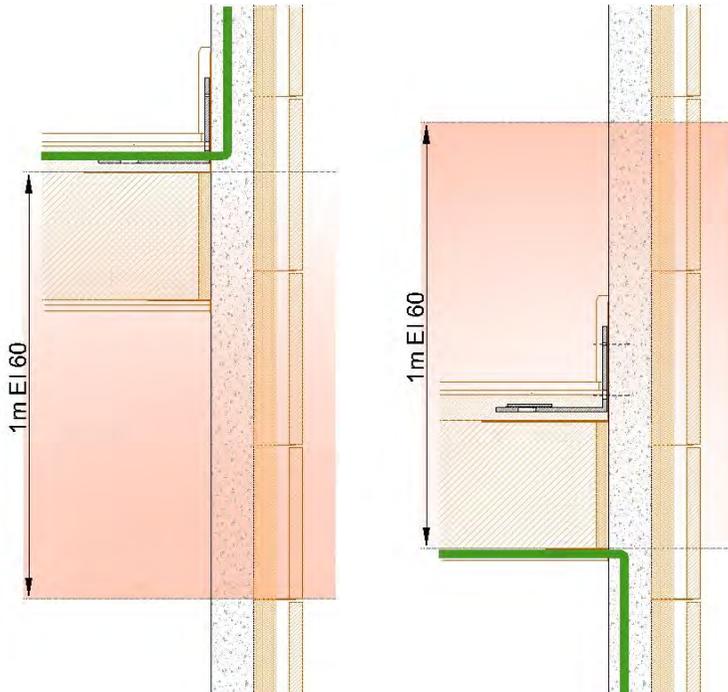
Esta condición favorece a las propuestas para los tipos "5" y "4F" frente a las del "4T", "3" y "2".

El panel formado por bandejas con nervios de 150 mm es el único de los planteados que permite alojar las instalaciones en la parte exterior sin necesidad de sobredimensionar la cámara para este fin.

Las instalaciones empotradas en el panel requieren que éste tenga un grueso suficiente para que sean alojadas sin sacrificar ninguno de los requerimientos que se le exigen al soporte. Si el panel es hueco o nervado este empotramiento se producirá de forma sencilla en las cavidades que genera la propia geometría. En el caso de los paneles sándwich la posibilidad de empotramiento dependerá del proceso de fabricación.

Los paneles macizos admiten la ejecución de rozas para alojar pasatubos. En el panel de hormigón aireado tratado en autoclave la roza se cierra con mortero elaborado a partir del material de desecho que genera su ejecución. Los paneles de madera contrachapada se pueden perforar por el interior sin alterar la superficie más que en los puntos de entrada y salida del tubo.

Independientemente de que el panel deba cumplir con la función de sectorización, se podrán empotrar tubos a una altura que no interrumpa el tramo de un metro a nivel del canto de forjado donde se debe satisfacer el valor EI de 60 min.



FICHAS DE LAS DISTINTAS PROPUESTAS DE PANEL.

Índice

i - Cuadro resumen de valores para las propiedades físicas en el caso de paneles homogéneos de sección rectangular.

ii - Fichas

Ficha 1 Panel de hormigón aireado curado en autoclave y armado con redondos de acero protegidos frente a la corrosión.

Ficha 2 Sándwich de hormigón ligero y poliestireno extruido.

Ficha 3 Paneles de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero: plano, nervado, nervado exento a la lámina continua unido por conectores.

Ficha 4 Panel contrachapado de madera.

Ficha 5 Panel hueco de madera y lana de roca.

Ficha 6 Panel sándwich con núcleo de lana de roca y laminas perimetrales de acero galvanizado.

Ficha 7 Panel de hormigón de árido ligero armado con redondos de acero.

Ficha 8 Bandejas de acero.

Nota: En el desarrollo de cada ficha se contempla la problemática específica que plantea cada panel. En unos casos versa en torno a las características del material, mientras que en otros a las posibilidades de fabricación o adecuación de un panel ya existente al nuevo uso que se plantea.

i - Cuadro resumen de valores para las propiedades físicas en el caso de paneles homogéneos de sección rectangular.

REQUIREMENTS

VARIABLE	ACOUSTIC INSULATION (CTE)		FLEXURAL STRENGTH (CTE)					THERMAL INSULATION (CTE)		LOAD		
	32 dBA		Wind load = 200 kg/m ²					0,57 W/m ² K		200 kg/m ² FACADE		
rectangular section and monolithical structure												
mm	kg/m ²	kg/m ³	N/mm ²	N/mm ²	mm ³	Nmm ²	mm ⁴	W/mK	W/m ² K	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ³
thickness	mass min.	ρ min	fk min	E min	W(rectg)	E*I	I (rectg)	λ max.	U	mass Ext. Ly	mass max.	ρ max
3	43	14.333	4.002,08	8,E+07	1.500	2,E+11	2,E+03	0,002	0,57	75	125	41.667
30	"	1.433	40,02	8,E+04	150.000		2,E+06	0,020	"		"	4.167
50	"	860	14,41	2,E+04	416.667		1,E+07	0,033	"		"	2.500
60	"	717	10,01	1,E+04	600.000		2,E+07	0,040	"		"	2.083
80	"	538	5,63	4,E+03	1.066.667		4,E+07	0,054	"		"	1.563
100	"	430	3,60	2,E+03	1.666.667		8,E+07	0,067	"		"	1.250
120	"	358	2,50	1,E+03	2.400.000		1,E+08	0,080	"		"	1.042
150	"	287	1,60	7,E+02	3.750.000		3,E+08	0,100	"		"	833
200	"	215	0,90	3,E+02	6.666.667		7,E+08	0,134	"		"	625
300	"	143	0,40	8,E+01	15.000.000		2,E+09	0,201	"		"	417

Ficha 1

PANEL DE HORMIGÓN AIREADO CURADO EN AUTOCLAVE Y ARMADO CON REDONDOS DE ACERO PROTEGIDOS FRENTE A LA CORROSIÓN.

Una de las propuestas al tipo “5” se materializa en un panel monolítico de hormigón aireado tratado en autoclave (AAC) y armado con acero protegido frente a la corrosión que colabora con la estructura principal del edificio.

Las características para el panel de hormigón aireado son las siguientes:

Espesor	$e \approx 200 \text{ mm}$
Densidad	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$
Resistencia media a flexión	$\sigma \text{ flex} = 0,54 \text{ N/mm}^2$
Resistencia media a compresión	$\sigma \text{ com} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
Resistencia al fuego	$\geq \text{EI } 60$
Aislamiento acústico ($\rho = 700 \text{ kg/m}^3$)	$R_w = 46 \text{ dB}$

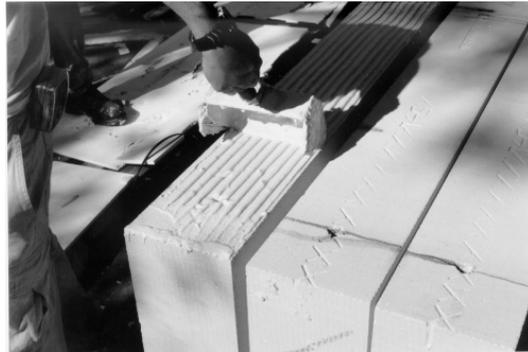
Las losas de cubierta Hebel CC 3/500 de la empresa alemana Xella han sido tomadas como producto de referencia para verificar la viabilidad de la solución.

La función térmica es la que más condiciona las características del panel.

Para dar respuesta a los requerimientos mecánicos basta con una placa de 150 mm, pero la obtención del aislamiento térmico adecuado exige un grueso de 200 mm.



Hebel (Xella). Losa de cubierta CC 3/500.



Paneles portantes verticales Hebel.

Propiedades térmicas

La conductividad térmica del panel de hormigón aireado tratado en autoclave de densidad 500 kg/m^3 no es suficiente para conseguir satisfacer la transmitancia exigida por el CTE para la zona climática más exigente del territorio (zona E) con el grueso de 200 mm. El panel debería tener una conductividad térmica de $0,13 \text{ W/mK}$ en lugar de $0,14 \text{ W/mK}$, aún así, la diferencia es tan poca que no resulta relevante a la hora de considerar la viabilidad de la solución. Para situaciones excepcionales siempre se puede recurrir a una capa añadida.

El panel de densidad 400 kg/m^3 tienen una conductividad térmica de $0,094 \text{ W/mK}$ y un valor para la tensión admisible a compresión de 3 N/mm^2 . Estos valores se adaptan a los requerimientos exigidos por la hipótesis de partida, pero el hecho de que la densidad de 400 kg/m^3 sea el límite inferior para considerar este material un hormigón y no un aislamiento térmico, sumado a que no se hayan encontrado referencias de la aplicación de paneles de esta densidad en fachadas o cubiertas, y sin poder verificar por medio de ensayos su óptimo comportamiento, lleva a adoptar la losa de 500 kg/m^3 como solución.

En Estados Unidos, el panel de densidad mínima empleado en fachadas, forjados y cubiertas por la empresa alemana ya citada es de 600 kg/m^3 .

Existen paneles de densidad inferior a 400 kg/m^3 pero que ya no se consideran hormigones aptos para fabricar bloques capaces de constituir paredes de cerramiento. Son paneles de revestimiento empleados como aislantes térmicos. La "Thermopierre", con una densidad de 370 kg/m^3 , es el panel de menor densidad aun de aplicación en la

ejecución de muros. Su conductividad térmica ronda valores del orden de los 0,080 W/mK.

Clases en función de la resistencia	Resistencia media a compresión		Densidad bruta		Conductividad térmica λ (W/mK)
	Valor medio (N/mm ²)	Valor mínimo (N/mm ²)	Clase	Valor medio (kg/m ²)	
3,3	3,5	3,3	0,50	≥ 400 a 500	0,14
			0,60	≥ 500 a 600	0,16
4,4	5,0	4,4	0,70	≥ 600 a 700	0,18
6,6	7,5	6,6	0,80	≥ 700 a 800	

Si comparamos las prestaciones de este material multifuncional con las de otro también empleado como cerramiento portante de fachada, la termoarcilla, vemos que el valor que alcanza su λ equivalente, 0,29 W/mK, dista considerablemente de lo requerido por la hipótesis de partida.

Este valor para la conductividad térmica se desprende de la experimentación in situ sobre muretes de diferentes groesos, donde por ejemplo, la transmitancia para el muro de 29 cm es de 0,70 W/m²K (datos extraídos de documentación del producto aún basados en la NBE-CT-79).

Para conseguir la transmitancia planteada como valor mínimo 0,57 W/m²K con termoarcilla necesitaríamos un grueso de muro del orden de 45 cm.



Paneles portantes verticales Hebel.

Comportamiento frente al fuego

Según la documentación del fabricante, un grueso de 200 mm de hormigón aireado curado en autoclave (no especifica la densidad) tiene una resistencia al fuego de 6 horas, y un comportamiento frente al mismo que permite clasificar al material como A1.

Aislamiento acústico

Los datos de que se dispone dan información del panel de densidad 700kg/m³ con acabado adicional. Para este panel la resistencia acústica es de 46 dBA.

Estanqueidad al aire

La estanquidad al aire se consigue con el sellado de juntas, aplicando pasta de sellado en los laterales de la placa antes de su colocación.

Características mecánicas

El valor de la conductividad condiciona la densidad del material que, no pudiendo ser excesiva, es suficiente para obtener la resistencia mecánica necesaria tanto a flexión como a compresión, tal como muestra el cuadro adjunto. Recordemos que a esta solución de panel se le exige formar parte de la estructura portante del edificio asumiendo cargas de hasta 200 kN/ml.

Comportamiento frente al agua

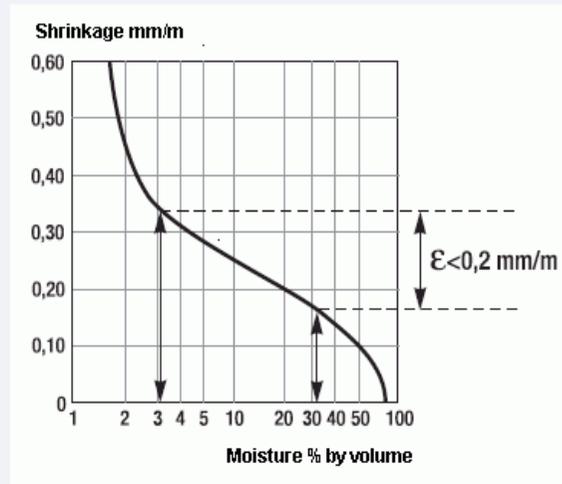
La porosidad del material, que en soluciones de fachada sin cámara drenada obliga a protegerlo por medio de una capa de acabado, supone el mayor problema de cara a evitar la corrosión del armado. El correcto diseño de las fijaciones de la hoja exterior, su geometría y el tamaño de las juntas es fundamental para evitar que el agua llegue a la hoja interior.

W: coeficiente de absorción de agua.

Material de construcción	W kg/m ² · h ^{0,5}
1 Ladrillo macizo de arcilla	22 – 30
2 Ladrillo hueco de arcilla	9 – 25
3 Ladrillo o bloque de cal y arena	4 – 8
4 Bloque de HCA Siporex Hebel	2,5 – 7
5 Hormigón con agregados ligeros (piedra pómez)	1,5 – 2,5
6 Yeso	35
7 Revoco (cal y cemento)	2 – 4
8 Enfoscado de cemento	2 – 3
9 Recubrimiento con material artificial por dispersión (imprimado)	0,05 – 0,2

Shrinkage due to drying

For cellular concrete, the shrinkage due to drying does not exceed 0.2 mm/m (see table below).



Thermal expansion coefficient

The linear expansion coefficient of a material is the variation in length of a 1 metre element per 1°K of temperature variation. The linear expansion coefficient of cellular concrete is $8 \cdot 10^{-6} \text{ m/mK}$ (in accordance with standard NBN B 21-004).

Compression strength

Category CC 3/500:

$f_{ck} \geq 3.00 \text{ N/mm}^2$ (characteristic value)

Category CC 4/600:

$f_{ck} \geq 4.00 \text{ N/mm}^2$ (characteristic value)

(in accordance with standard NBN 21-004)

Modulus of elasticity

Category CC 3/500: 1500 N/mm^2

(in accordance with standard NBN 21-004)

Bending tensile strength

Short term

Category CC 3/500: $f_{ctk} = 0.81 \text{ N/mm}^2$ (charact. val.)

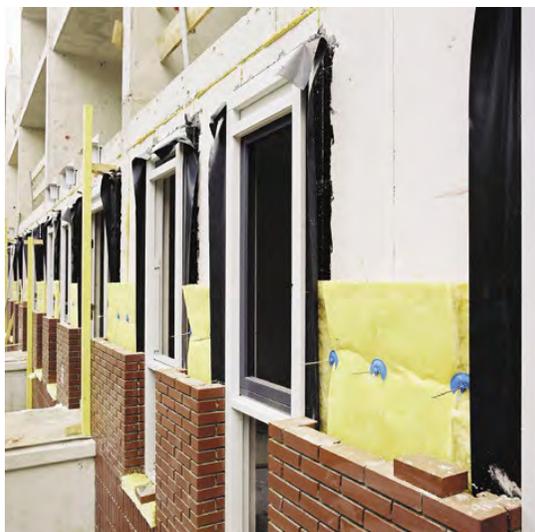
Category CC 4/600: $f_{ctk} = 1.08 \text{ N/mm}^2$ (charact. val.)

Long term

Category CC 3/500: $f_{ctk} = 0.54 \text{ N/mm}^2$ (charact. val.)

Category CC 4/600: $f_{ctk} = 0.72 \text{ N/mm}^2$ (charact. val.)

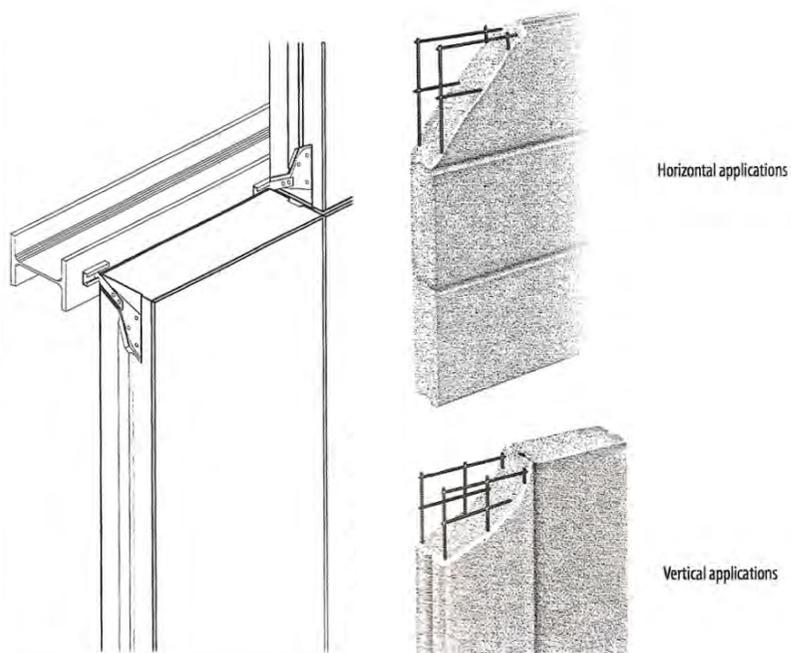
(in accordance with standard NBN B 21-004)



Aplicaciones más habituales del panel

Esta primera propuesta de panel estructural multifuncional, al que sólo falta añadir para completar la fachada portante los acabados interior y exterior, es un panel que ya existe en el mercado y por lo tanto no abre una nueva línea de desarrollo.

El uso más común para este tipo de panel Hebel es el de cerramiento de fachada en naves industriales, losa de cubierta, muros de carga y de cerramiento en viviendas aisladas de poco volumen y tabiquería en general. Los formatos, la resolución de las juntas y el sistema de fijación varían para cada una de estas aplicaciones. La exigencia estructural añadida debido al excesivo grosor que requiere la función térmica hace que el sistema constructivo y la técnica de puesta en obra para este primer caso de propuesta de panel no impliquen ningún cambio con respecto al producto comercial ya existente. Este panel ya se utiliza como pared portante en construcciones de poca entidad que normalmente se acaban con un revoco exterior y pintado con pintura plástica sobre un tejido de fibra de vidrio en el interior. También se puede trasdosar. La disposición de una cámara drenante y una hoja exterior simplemente modifican el mecanismo empleado para conseguir la estanquidad al agua a la vez que amplían las posibilidades en cuanto a la imagen del edificio. Existen algunos ejemplos donde el panel ya se emplea como hoja interior de fachada ventilada.



Sistema de fijación

Estos paneles disponen de sistemas de fijación específicos pero distintos en cada país según las normativas, técnicas constructivas y requerimientos propios del lugar, que en algunos casos precisan de una geometría concreta de entrega con la placa.

Desde el punto de vista de la forma del material, existen paneles de hormigón aireado curado en autoclave semiproductos y componentes. Cuando el sistema de fijación exija una geometría precisa el panel no podrá ser cortado por los cantos conformados pero si en la otra dirección.

En cuanto a la fijación de la hoja exterior sobre el panel de hormigón aireado curado en autoclave, existen tacos especiales para transmitir cargas puntuales a este tipo de material.

Precio del panel colocado

Partida del presupuesto para la construcción de 40 viviendas en la Parada, Manresa.

Codi	UA	Descripció	Preu
E61BYTX1	m2	<p>Sumministre i col·locació per part de mà d'obra homologada i acreditada pel fabricant, de full interior de façana format per plafons de formigó cel·lular CHE de YTONG o equivalent, de densitat nominal 800Kg/m3, amb elements de 0.50 m d'amplà i 2.55 m d'alçada i gruix de 10 cm, col·locats amb l'ajuda d'un carretó de muntatge. Execució de junts amb cola especial de CHE. Inclòs part proporcional de tacs de neoprè superiors (dos per panell), una peça d'acer galvanitzat (dues per panell) fixada a peu d'obra al panell i a la prelosa, falques de fusta a la part inferior per a la nivellació de la peça i reple de junta superior amb espuma de PU, i amb morter a l'inferior, així com la col·locació de L de xapa d'acer galvanitzat inferior de 70x140x3 mm i superior de 70x70x3. Inclou també la part proporcional de talls amb serra de circular connectada a un aspirador, i segellat de junts de muntatge segons plànols. Element totalment acabat segons plec de prescripcions i DTU del fabricant. C.Amid.: m2 d'envà real.</p>	41,4

For heavy objects (washbasin, kitchen cabinet or radiator)			
make	Type		F _u max kN
Kunkel	Aerated concrete anchor	PBD 6 x 20	3,7
		PBD 8 x 20	3,8
Upat (Fischer)	Aerated concrete anchor	KTP-K6	2,1
Fischer	Frame Fixing	KTP-K8	2,8
		FUR 8	3,9
Comat	Comat nail	95-8	2,7
Hilti (into 600 kg Acrete)	Frame Anchor	HRD-U10	4,0

Codi	UA	Descripció	Preu	Factor	Rendiment	Import
B0E8X001	m2	Pannell CHE YTONG o equivalent, de formigó cel·lular, 255x50x10 cm, d:800kg/m3	29,58 x	1,000 x	1,000 =	29,58
B0E8X002	sac	Cola YTONG-FIX, o equivalent, per formigó cel·lular	11,00 x	1,000 x	0,056 =	0,62
B0E8X004	100	Parell de falques de fusta per al muntatge	33,00 x	1,000 x	0,020 =	0,66
	u					
B0E8X003	100	Tacs de virutes de neoprè de e:1.5 cm.	33,00 x	1,000 x	0,014 =	0,46
	u					
B0E8X005	u	Plaquetes ondulades de reclatge d'acer galvanitzat	33,00 x	1,000 x	0,004 =	0,13
B0E8X006	100	Peça d'acer galvanitzat que realitzen la funció de ancoratge elàstic de les plaques de formigó cel·lular	28,60 x	1,000 x	0,004 =	0,11
	u					
B0E8X007	u	Lloger de elements auxiliars suplementaris per la manipulació i col·locació de les plaques de formigó cel·lular.	825,00 x	1,000 x	0,001 =	0,83
B0E8X008	u	Transports suplementaris	480,00 x	1,000 x	0,001 =	0,48
A0150000	h	Manobre especialista	14,94 x	1,000 x	0,265 =	3,96
A0121000	h	Oficial 1a	17,23 x	1,000 x	0,265 =	4,57

Información comercial consultada:

- *Siporex Hebel: GUÍA TÉCNICA. Características técnicas / Gama de productos.*
- *Siporex Hebel Documentación del producto.*
Losa de cubierta CC 3/500 espesor 200 - 240 - 300 mm
- *Ytong-Siporex DAU 03/012 Ed. B*
Este documento hace referencia a los muros de albañilería contruidos a partir de bloques de AAC Ytong-Siporex, no a los cerramientos a base de paneles de gran formato. Sólo se ha considerado en esta ficha la información que comparten, independientemente del formato.
- *Hiliti Documentación del producto.*

Ficha 2

SÁNDWICH DE HORMIGÓN LIGERO Y POLIESTIRENO EXTRUIDO.

Una sección total de 120 mm compuesta a partir de dos láminas de 30 mm de hormigón de árido ligero armado con fibras de acero, conectadas entre sí por elementos puntuales a través del relleno de poliestireno extruido es una solución adecuada para el tipo "5" en formato sándwich.

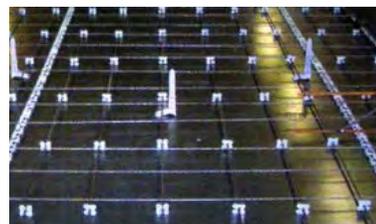
El empleo de hormigón ligero se debe al peso. Para poder incluir la fachada entre las consideradas ligeras ($\leq 200 \text{ kg/m}^2$) la densidad debe ser del orden de los 1.600 kg/m^3 .

Las características para el panel sándwich de hormigón ligero y poliestireno extruido en el interior son las siguientes:

Espesor	$e = 120 \text{ mm (30 + 60 + 30)}$
Resistencia al fuego	Pendiente de comprobación experimental
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.
Hormigón ligero armado con fibras de acero	
Densidad	$\rho = 1.650 \text{ kg/m}^3$
Resist. media a compresión	$\sigma_{\text{com}} = 20\text{-}25 \text{ N/mm}^2$
Poliestireno extruido	
Densidad	$\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$

Los aspectos clave en la definición de esta propuesta son:

- La elección del material del núcleo,
- La definición de la composición del hormigón,
- La determinación del grueso de las láminas exteriores.



1



2



3



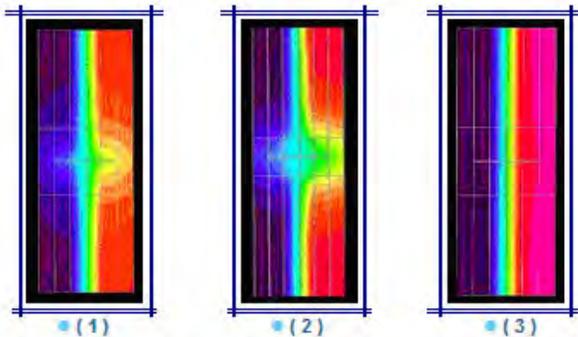
4 Proceso de fabricación de un panel sándwich con conectores puntuales Thermomass.

- Reduced heat loss or gain (no thermal bridges)



Fibre Composite Connectors (3) are....

- Thermally superior to steel connection devices (1)
- Thermally superior to solid concrete connections (2)



Para ello se deben considerar tanto las propiedades térmicas del material aislante como la capacidad mecánica y el comportamiento frente al fuego del conjunto. El resto de requerimientos tienen una incidencia menor en el diseño de la placa.

Propiedades térmicas

El núcleo del panel que aquí se propone es de poliestireno extruido (XPS) con un valor para la conductividad térmica de 0,036 W/mK. El aislamiento térmico queda encomendado a este material ya que limita la transmitancia a los valores exigidos con un grueso de 60 mm.

Los conectores de fibra de vidrio y resinas que unen las distintas láminas garantizando el comportamiento solidario tienen baja conductividad térmica, minimizando el puente térmico entre las caras del panel

Resistencia al fuego

Al poliestireno extruido le corresponde la categoría B1 en cuanto a la reacción al fuego. No es incombustible, pero con la colaboración de las dos láminas de hormigón posiblemente aportará una resistencia al fuego suficiente. Únicamente ensayos experimentales pueden garantizar el buen comportamiento frente al fuego de un panel de estas características.

La retención del fuego es pues determinante a la hora de definir el grueso de las láminas de hormigón y la composición del mismo.

Según la documentación técnica de Thermomass, producto de referencia empleado para elaborar esta propuesta,

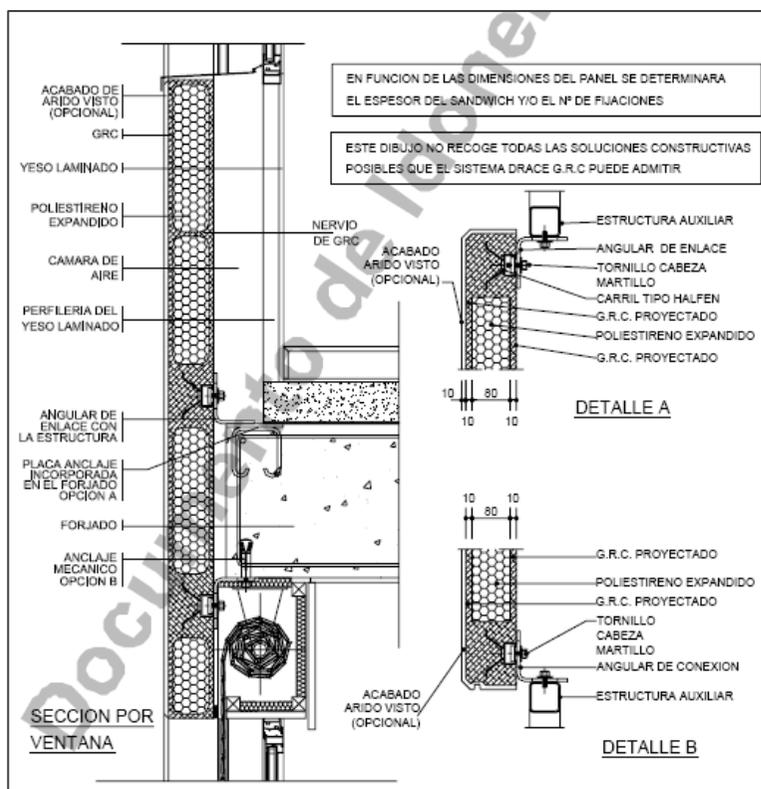
The connectors have been tested by a leading United States fire testing agency where a panel constructed with THERMOMASS® fiber composite connectors was subjected to 1093° C (2000 °F) for 4 hours with no degradation. The temperature of the surface of the wall opposite the fire rose only 20.8 °C (37.6 °F) during the testing period. The standard for passing this test was 121 °C (250 °F). THERMOMASS Building Insulation System actually improved the overall fire resistance of the wall versus a solid cast concrete wall.

In separate tests, THERMOMASS connectors installed in only 75 mm (3 in) of concrete were exposed to a standard time-temperature profile while subjected to high tensile loads. Even under these extreme conditions, the connectors withstood over one hour of fire exposure!

Láminas de hormigón de 75 mm sí darían garantías de un adecuado comportamiento frente al fuego. La voluntad de diseñar soluciones de fachada de poco grueso, y teniendo presente que las propuestas de Thermomass pueden formar parte de la estructura portante del edificio, se ha planteado reducir el grueso del hormigón a 30 mm para cada lámina.

A minimum thickness of 50 mm (2 in) is recommended. This will provide 13 mm (.5 in) cover over the end of the shorter (MS) connectors. The thickness of the wythe should be increased from this minimum by adding the depth of any architectural reveals or rustication lines.

Thermomass recomienda un grueso mínimo para las láminas de hormigón de 50 mm. Con este grueso el conector se empotra 37 mm y quedan 13 de recubrimiento. En este trabajo de investigación, y dado que los requerimientos mecánicos no son excesivos, se plantea la posibilidad de diseñar conectores de fibra de vidrio y resinas que permitan el



Sistema DRACE – Seis6.

comportamiento solidario del panel frente a acciones horizontales y cuyo empotramiento se produzca en un grueso de 3 cm de hormigón ligero armado con fibras de acero.

El armado con fibras en lugar de barras de acero facilita la reducción del espesor de las láminas de hormigón.

Ante la imposibilidad de realizar ensayos de retención del fuego del panel, se ha buscado un sistema que pueda servir de referencia. El sándwich de G.R.C y núcleo de poliestireno expandido del sistema DRACE ¹ es una de las soluciones próximas que permite intuir la respuesta del panel propuesto frente a distintas acciones.

Este producto, colocado en un sistema de fachada con un trasdosado de placa estándar de yeso laminado en la cara interior, cumple con un valor E 120 min. Los ensayos se detuvieron de forma voluntaria a los 210 min sin haberse perdido la integridad del panel.

Si esto pasa con un grueso de G.R.C. de 10 mm sobre poliestireno expandido con una clasificación de resistencia al fuego E ², el comportamiento de 30 mm de hormigón armado con fibras de acero recubriendo un material clasificado como B1 ³ deberá ser similar o mejor. El armado con fibras de acero en lugar de redondos evita la pérdida de masa de hormigón por “spalling” ya que homogeniza el valor de la conductividad térmica del conjunto.

¹ DIT 367-R.

² Clasificación E según EN 13501-1.

³ Clasificación B1 según DIN 4102.

Aislamiento acústico

Continuando con la comparativa con los paneles del sistema DRACE, el sándwich de G.R.C. aporta un aislamiento acústico de 33 – 40 dBA. Estos valores hacen pensar que el panel sándwich formado por láminas de hormigón ligero de mayor grueso y el mismo material de relleno tendrá un comportamiento similar o superior. En ambos casos existe solidaridad entre las láminas.

Estanqueidad al aire

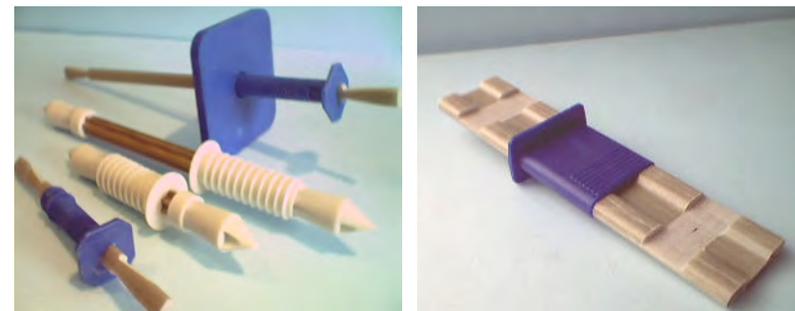
La estanquidad al aire queda encomendada al diseño de las juntas.

Características mecánicas

Un hormigón ligero de resistencia a compresión del orden de los 20-25 N/mm², armado con fibras de acero, y dispuesto en dos laminas de 30 mm cada una separadas 60 mm pero conectadas de tal manera que su comportamiento sea solidario no presenta problemas para soportar una carga de 200 kg/m² con luces de 3 m. La limitación en el grueso de estas dos láminas perimetrales la impone el fuego, y la necesidad de empotrar los conectores en un macizo que reparta las tensiones.

Por otra parte, el poliestireno extruido del núcleo, colabora con los conectores para conseguir un comportamiento solidario del conjunto.

Según los ensayos realizados, incluidos en el documento de “Desarrollo 4”, el excelente comportamiento a cortante de este material, comparado con otros materiales de aislamiento térmico, mejora la resistencia a flexión del panel.

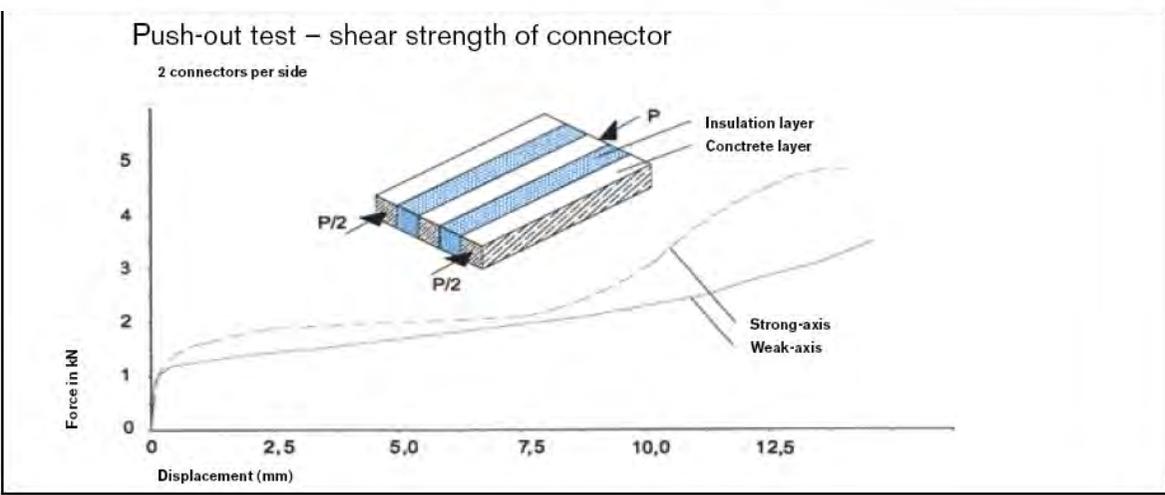
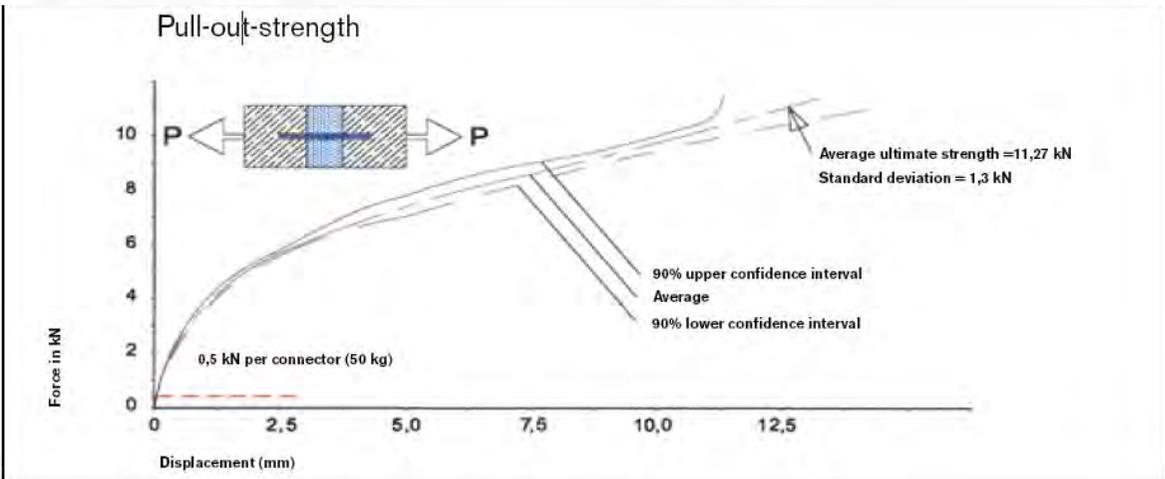
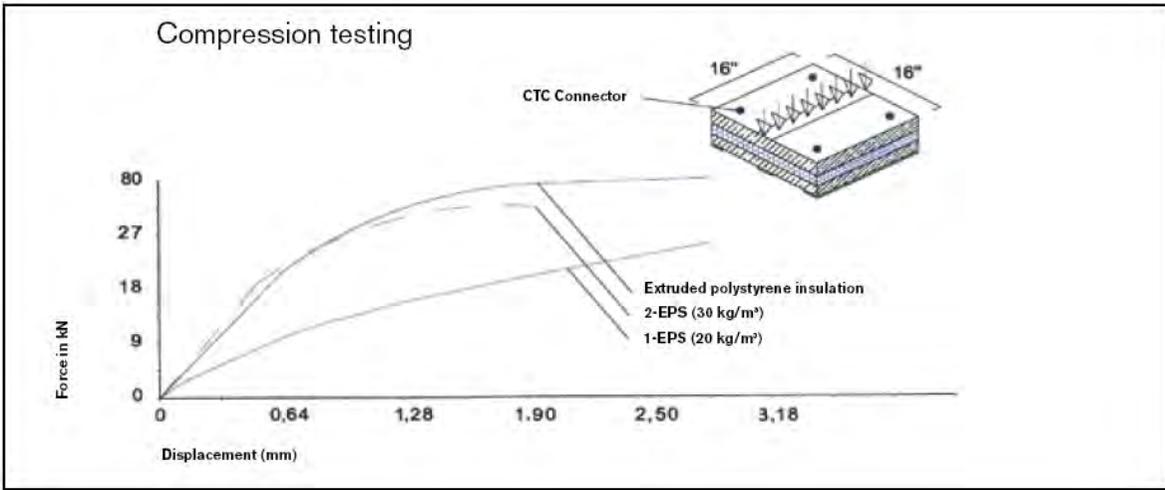


Conectores de fibra de vidrio y resinas Thermomass.



- Tensile strength of the composite materials used in the connectors is up to 145,000 psi. (1.450 MPa)
- Pullout capacities 5,000 lbs. (2.250 kg)
- Shear capacities 4,500 lbs. (2.025 kg)
- Post-dynamic tension and shear capacities exceeding 80 percent of their static capacities, when tested in accordance with ICBO ES AC01.
- Connector shall have been shown, by testing laboratory certified by ICBO ES, to resist 300 lb tension loads for over 90 minutes when embedded in 3 inches of concrete and subjected to a furnace exposure per Section 7.8 of ASTM E1512.

- 1 psi (libra/pulgada²) ≈ 0,01 MPa (N/mm²)
- 1 lbs (libra) ≈ 0,45 kg
- 1 inch (pulgada) ≈ 25,4 mm



Información comercial consultada:

- *Thermomass - documentación técnica.*

Ficha 3

PANELES DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO.

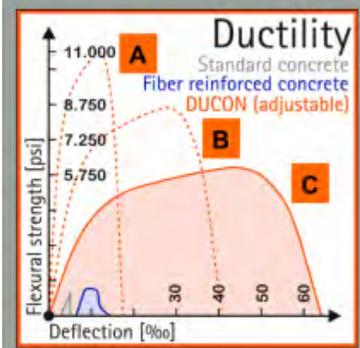
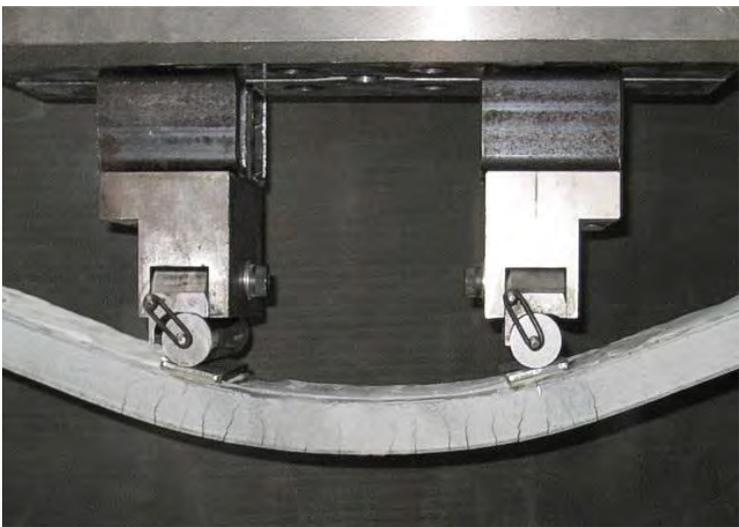
- **PLANO**
- **NERVADO**
- **NERVADO EXENTO A LA LÁMINA CONTINUA UNIDO POR CONECTORES**

Estas tres propuestas de panel se incluyen en la misma ficha ya que se basan en un material común: el hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.

Densidad	$\rho \approx 2.500 \text{ kg/m}^3$
Tensión admisible a compresión	90 - 200 N/mm ²
Tensión admisible a flexión	16 - 75 N/mm ²
Tensión admisible a tracción	8 - 20 N/mm ²
Tensión admisible a cortante	3 - 16 N/mm ²
Módulo de elasticidad	> 38.000 N/mm ²

Table 4
Properties of special concretes

Classification	Compressive strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)	Tensile strain at failure (%)	Relative abrasion resistance	Density (kg m ⁻³)
Normal weight (structural)	35	28	6	0.1	1	2300
Heavyweight	35	28	6	0.1	1	> 3200
Ultralightweight (insulating)	3	13	0.5	0.1	1	< 750
Fiber-reinforced (steel fibers)	40	28	25	~1	1.5	2300
Latex-modified (acrylic)	30	~16	13	0.35	3.0	2300
Polymer-impregnated (methyl methacrylate)	135	~45	17	0.15	3.3	2400

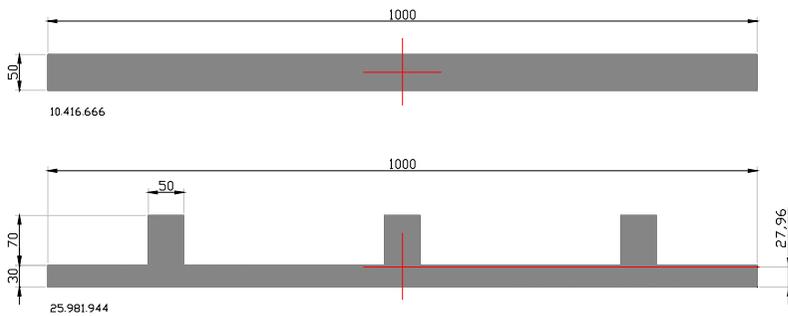


The material performance of DUCON is programmable and can be adjusted to the required characteristics. For example the flexural strength varies from high load bearing capacity (A) to extremely ductile behaviour (C). The ductile behaviour (C) is required for high energy absorbing structural elements (explosion, earthquake, impact), see right.

Technical Data

Main structural data:

Compressive strength	90 - 200 N/mm ²	13,000 - 29,000 psi
Flexural strength	16 - 75 N/mm ²	2,300 - 11,000 psi
Tensile strength	8 - 20 N/mm ²	1,100 - 2,900 psi
Shear strength	3 - 16 N/mm ²	430 - 2,300 psi
Modulus of elasticity	> 38.000 N/mm ²	> 5,500 ksi
Thickness	> 10 mm	> 0.39 inch



Tanto el panel plano como el nervado pertenecen al tipo funcional “3”, por lo que sólo se les pide que satisfagan las funciones de: aislamiento acústico, estanquidad al aire, y la portante respecto acciones horizontales.

Las características particulares del panel de hormigón de alta resistencia plano son las siguientes:

Espesor	$e \approx 50 \text{ mm}$
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.

y las del nervado:

Espesor	$e \approx 30\text{mm placa} + 70\text{mm nervio}$
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.

El hormigón de alta resistencia es adecuado para formar láminas de poco grueso y gran capacidad mecánica. Con espesores del orden de los 50 mm se puede dar respuesta a la función portante a la vez que un valor para la masa superior al que podría dar una chapa metálica, es decir que la reducción acústica es mayor.

El desarrollo de hormigones de alta resistencia, la búsqueda de un material aglomerado cuya tensión admisible se aproxime a la del acero, pierde sentido cuando dicho aglomerado no aporta demasiadas ventajas frente al empleo del metal. La diferencia más relevante es la masa. Frente a los $15,70 \text{ kg/m}^2$ de las bandejas de acero de 1,2 mm, un grueso de 30 mm de hormigón de alta resistencia, espesor mínimo para cumplir con la función acústica, aporta una masa de 75 kg/m^2 .

Aislamiento acústico

Tanto el panel de 50 mm de placa continua como el de 30 mm más un nervado satisfacen, según la Ley de Masas, el aislamiento acústico requerido en este trabajo de investigación.

Índice global de reducción acústica, ponderado A, (RA), de un elemento constructivo homogéneo, en función de su masa:

- Un panel de 50 mm de grueso y densidad 2.500 kg/m³ tiene una masa por metro cuadrado de 125 kg. $M=125 \text{ kg/m}^2$.
- $M \leq 150 \text{ kg/m}^2$ $RA = 16,6 * \lg M + 5 \text{ dBA}$ $RA= 39 \text{ dBA}$
- Un panel de 30 mm de grueso y densidad 2.500 kg/m³ tiene una masa por metro cuadrado de 75 kg sin considerar el nervado. $M=75 \text{ kg/m}^2$.
- $M \leq 150 \text{ kg/m}^2$ $RA = 16,6 * \lg M + 5 \text{ dBA}$ $RA= 36 \text{ dBA}$

Estanquidad al aire

La estanquidad al aire queda encomendada en ambos casos al diseño y sellado de las juntas.

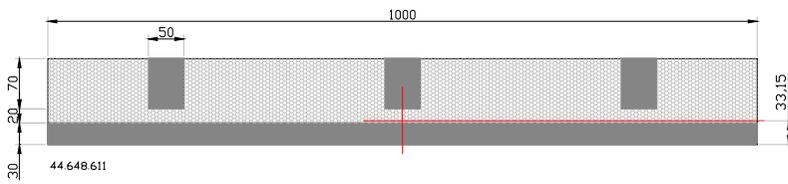
Características mecánicas

Mientras que para el panel plano se dimensiona la sección de la placa en base a la función portante y manteniendo un espesor continuo, el nervado optimiza el material recurriendo a una geometría más elaborada.

Los valores para la tensión admisible del hormigón de alta resistencia hacen viable trabajar con espesores pequeños.

DATOS DE PARTIDA	Estructura de fachada a base de paneles de HAR de 5 cm de espesor anclados de forjado a forjado.			
	Carga de viento:	Q	=	200 kg/m ²
VALOR DE CÁLCULO DEL EFECTO DE LAS ACCIONES	Sección	a	=	1000 mm
		b	=	50 mm
	Resist. característica	R_k	=	16,00 N/mm ²
	Módulo de elasticidad	E	=	38.000 N/mm ²
	Módulo resistente	W	=	$\frac{I}{y}$ = 416.666,7 mm ³
	Carga de viento sobre el panel	Superficie de fachada:	S	=
				$L=$ 3,00 m $X=$ 1,00 m
	Carga de viento en la superficie:	Q_s	=	$Q * S$ = 600 kg
	Carga lineal sobre el panel:	Q_L	=	Q_s / L = 2 N/mm
ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	EXIGENCIA BÁSICA SE 1: Resistencia y estabilidad			
	Verificación de la capacidad portante			
	condición	R_c	≤	R_d
	Resist. límite	R_d	=	$\frac{R_k}{\gamma}$ = 10,67 N/mm ²
	Coef. de seguridad del material	γ	=	1,5
	R_c	≤	R_d	CUMPLE
	8,10	≤	10,67 N/mm ²	
ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	EXIGENCIA BÁSICA SE 2: Aptitud al servicio			
	Comprobación de la deformación			
	condición	flecha	≤	L/ 200
	Flecha de cálculo	flecha	=	$\frac{5 * Q_L * L^4}{384 * I * E}$
		flecha	=	5 mm
	flecha	≤	L/200	CUMPLE
	5	≤	15 mm	

DATOS DE PARTIDA	Estructura de fachada a base de paneles de HPC de 3 cm de espesor de placa más 7 cm de nervio anclados de forjado a forjado.			
	Carga de viento:	Q	=	200 kg/m ²
	Sección	a	=	1000 mm
		b	=	30+70 mm
	Resist. característica	R_k	=	10,00 N/mm ²
	Módulo de elasticidad	E	=	38.000 N/mm ²
VALOR DE CÁLCULO DEL EFECTO DE LAS ACCIONES	Módulo resistente			
		W	=	$\frac{I}{y}$ = 929.254,1 mm ³
	Carga de viento sobre el panel			
	Superficie de fachada:	S	=	$L * X$ = 3,00 m ²
				L = 3,00 m
				X = 1,00 m
	Carga de viento en la superficie:	Q_s	=	$Q * S$ = 600 kg
	Carga lineal sobre el panel:	Q_L	=	Q_s / L = 2 N/mm
ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	EXIGENCIA BÁSICA SE 1: Resistencia y estabilidad			
	Verificación de la capacidad portante			
	condición	R_c	≤	R_d
	Resist. límite	R_d	=	$\frac{R_k}{\gamma}$ = 6,67 N/mm ²
	Coef. de seguridad del material	γ	=	1,5
		R_c	≤	R_d
	3,63	≤	6,67 N/mm ² CUMPLE	
ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	EXIGENCIA BÁSICA SE 2: Aptitud al servicio			
	Comprobación de la deformación			
	condición	flecha	≤	$L / 200$
	Flecha de cálculo	flecha	=	$\frac{5 * Q_L * L^4}{384 * I * E}$
	flecha	=	2 mm	
	flecha	≤	$L/200$	
	2	≤	15 mm CUMPLE	



La tercera propuesta, el panel nervado que separa los nervios de la lámina continua, busca sumar más funciones incorporando un grueso de lana de roca que aporta aislamiento térmico y mejora el comportamiento frente al fuego. Este panel se incluye en el tipo funcional “5”.

Espesor	$e \approx 30 \text{ mm HAR} + 90 \text{ mm LR}$ y nervios HAR
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.
Lana de roca tipo Conlit HC de Rockwool (LR)	
Densidad	$\rho \approx 165 \text{ kg/m}^3$
Conduct. Térmica	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$

Es lógico pensar que si un panel nervado puede funcionar desde el punto de vista mecánico y acústico, separar los nervios de la placa rompiendo el puente térmico pero manteniendo una conexión mecánica puede ser una solución adecuada para mejorar las prestaciones del mismo.

Propiedades térmicas

Un grueso de 90 mm de lana de roca con un valor para la conductividad térmica de 0,037 W/mK es suficiente para satisfacer la transmitancia requerida.

Los dos centímetros de material aislante que se disponen entre el nervio y la placa evitan el puente térmico en estos puntos, dejando el nervado en el lado caliente del cerramiento. Aún así, se deberá disponer una barrera de vapor en el trasdosado interior para evitar posibles condensaciones entre la lámina continua y la lana mineral.

Comportamiento frente al fuego

Únicamente ensayos experimentales pueden garantizar el correcto comportamiento de este panel como elemento de sectorización. Aún así, el armado con fibras de acero y la

lana de roca que rodea el nervio por tres de sus caras minimizando la superficie de contacto con el fuego permiten pensar que el panel es capaz de aportar un valor EI de 60 minutos.

Aislamiento acústico

El panel de 30 mm de placa continua de hormigón con un grueso de 90 mm de lana de roca adosado en una de las caras e interrumpido por nervios de 50 mm de ancho cumple, según la Ley de Masas, el aislamiento acústico requerido en este trabajo de investigación. Si la placa nervada simple, sin lana de roca, aísla 36 dBA, la placa mixta también satisface las prestaciones acústicas exigidas.

Estanquidad al aire

La estanquidad al aire queda encomendada al diseño y sellado de las juntas.

Características mecánicas

Ante esfuerzos de signo variable, ambas caras del panel deben ser capaces de soportar tanto tensiones de tracción como de compresión.

La lámina exterior continua y los nervios son de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero. El grueso de 30 mm de la lámina permite alojar la cabeza de los conectores de fibra de vidrio y resina a la vez que aporta masa. Su continuidad constituye un buen soporte para la hoja exterior.

El nervado se plantea de 70 mm de espesor y 50 mm de ancho.

DATOS DE PARTIDA	Estructura de fachada a base de paneles de HPC de 3 cm de espesor de placa más 7 cm de nervio separados de la placa 2 cm.						
	Carga de viento:	Q	=	200 kg/m ²			
Sección	a	=	1000 mm				
	b	=	30+20+70 mm				
Resist. característica	R_k	=	10,00 N/mm ²				
Módulo de elasticidad	E	=	38.000 N/mm ²				
VALOR DE CÁLCULO DEL EFECTO DE LAS ACCIONES	Módulo resistente						
		W	=	$\frac{I}{y}$ = 1.346.866,1 mm ³			
	Carga de viento sobre el panel						
	Superficie de fachada:	S	=	$L * X$ = 3,00 m ²			
				L = 3,00 m			
				X = 1,00 m			
	Carga de viento en la superficie:	Q_s	=	$Q * S$ = 600 kg			
	Carga lineal sobre el panel:	Q_L	=	Q_s / L = 2 N/mm			
	Momento flector del perfil sometido a la carga de viento						
		M_f	=	$\frac{(Q_L * L^2)}{8}$ = 2.250.000 Nmm			
			aplicando el coeficiente de mayoración para acciones variables 1,5				
			3.375.000 Nmm				
	R_c	=	$\frac{M_f \text{ max}}{W}$ = 2,51 N/mm ²				
	Resistencia de cálculo						
ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	EXIGENCIA BÁSICA SE 1: Resistencia y estabilidad						
	Verificación de la capacidad portante						
	condición	R_c	≤	R_d			
	Resist. límite	R_d	=	$\frac{R_k}{\gamma}$ = 6,67 N/mm ²			
	Coef. de seguridad del material	γ	=	1,5			
	R_c	2,51	≤	R_d	6,67	N/mm ²	CUMPLE
ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	EXIGENCIA BÁSICA SE 2: Aptitud al servicio						
	Comprobación de la deformación						
	condición	<i>flecha</i>	≤	$L / 200$			
	Flecha de cálculo	<i>flecha</i>	=	$\frac{5 * Q_L * L^4}{384 * I * E}$			
		<i>flecha</i>	=	1 mm			
	<i>flecha</i>	1	≤	$L/200$	15	mm	CUMPLE

SISTEMAS Y PRODUCTOS DE REFERENCIA

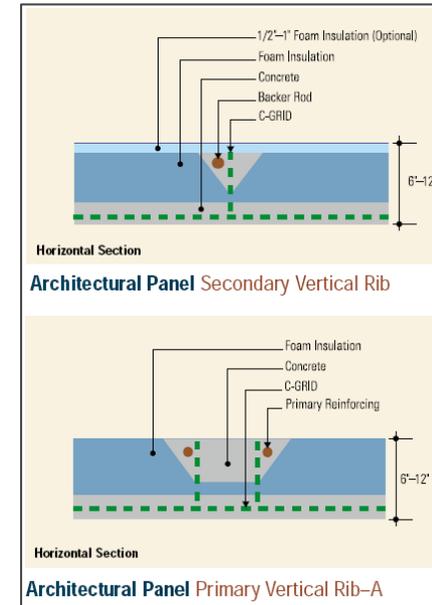
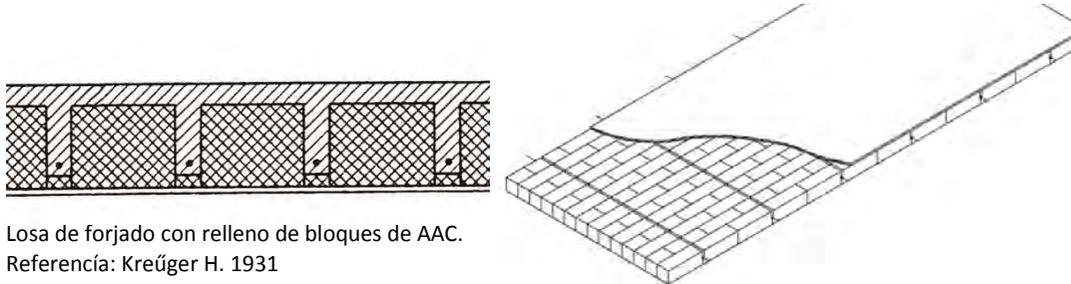
Los paneles nervados de hormigón de Altus Group, armados con malla de fibra de carbono y refuerzos puntuales de acero muestran la viabilidad y el interés del sistema.

Este panel separa el nervio de la placa dejando pasar el aislamiento térmico entre ambos. Los conectores de fibra de carbono mantienen el comportamiento mecánico solidario del conjunto.

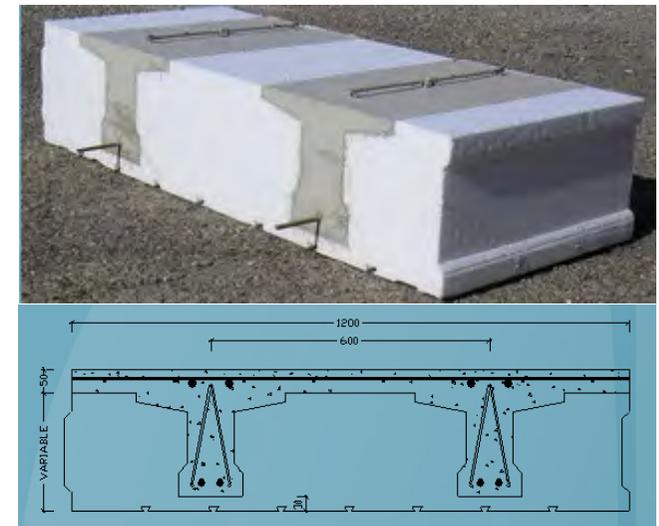
Otro ejemplo de componentes nervados que incluyen el material de aislamiento o aligeramiento son las placas de forjado que desarrolla Isotravis entre otros. En este caso el material de aislamiento rodea los nervios por su cara exterior.

Existen otros ejemplos de losas mixtas nervadas como los compuestos a base de hormigón aireado curado en autoclave con nervios pretensados y lámina superficial continua de hormigón de alta resistencia.

Prestressed hybrids of AAC and HPC. The BCE (Block Composed Element) building system.
Hamid Bagheri. Royal Inst. of Technology, School of Architecture and the Built Environment, Stockholm



Panel prefabricado de hormigón.
Altus Group.



Isotravis

Información comercial consultada:

- *Ducon GmbH – Ducon, información de producto.*
- *Altus Group, información de producto.*
- *Isotravis, información de producto.*

PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA.

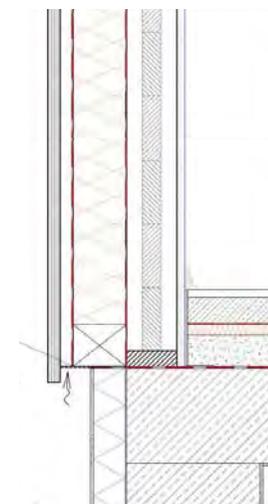
La madera es una alternativa al hormigón que permite hacer, por medio de contrachapados, paneles monolíticos de secciones considerables y resistentes al fuego.

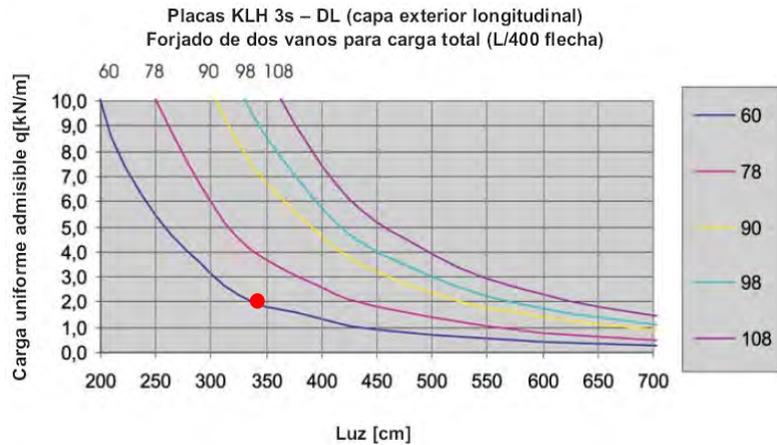
Según la documentación del producto KLH, empleada como referencia para analizar estas soluciones, las prestaciones del panel disminuyen con el grueso en el mismo orden como se han ido segregando las funciones en la taxonomía plantada en este trabajo de investigación.

Comportamiento mecánico

El grueso mínimo para cubrir una luz de 3,30 m con una carga repartida aplicada de 200 kg/m² (2 kN/m²) es de 60 mm admitiendo una flecha de 1/400 de la luz. Dado que la flecha según la hipótesis de partida es de 1/200, la carga que podría llegar a admitir el panel es superior. El panel de 60 mm es adecuado como solución al tipo funcional “2”.

Espesor	e = 60 mm
Tensión admisible a tracción	0,12 N/mm ²
Tensión admisible a compresión	2,7 N/mm ²
Tensión admisible a cortante	1,5 N/mm ²

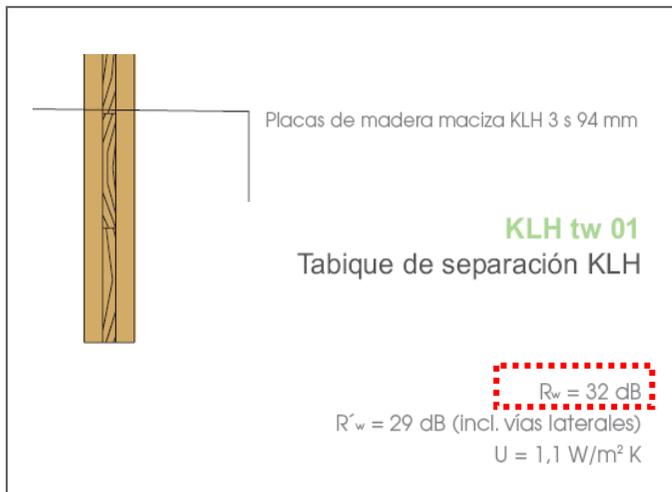




Para deformaciones admisibles superiores, el valor de la tabla se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$q_{\text{admis L/300}} = q_{\text{admis L/400}} \times \frac{400}{300}$$

$$q_{\text{admis L/250}} = q_{\text{admis L/400}} \times \frac{400}{250}$$



LOAD APPLIED PARALLEL TO FACING GRAIN

MECHANICAL STRENGTH	VERIFICATION PROCEDURE	STRENGTH
Modulus of Elasticity – Parallel to the direction of the panel grain $E_{0, \text{mean}}$ – Normal to the direction of the panel grain $E_{90, \text{mean}}$	I_{eff} , Annex 4, CUAP 03.04/06, 4.1.1.1 EN 338	12.000 MPa 370 MPa
Shear modulus – Parallel to the direction of the panel grain G_{mean} – Normal to the direction of the panel grain, Roll shear module $G_{R, \text{mean}}$	EN 338 CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	690 MPa 50 MPa
Bend strength – Parallel to the direction of the panel grain $f_{m, k}$	W_{eff} , Annex 4, CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	24 MPa
Tensile strength – Normal to the direction of the panel grain $f_{t, 90, k}$	EN 1194, reduced	0,12 MPa
Compressive strength – Normal to the direction of the panel grain $f_{c, 90, k}$	EN 1194	2,7 MPa
Shear strength – Parallel to the direction of the panel grain $f_{v, k}$ – Normal to the direction of the panel grain (Roll shear strength) $f_{R, v, k}$	EN 1194 A_{gross} , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.3	2,7 MPa 1,5 MPa

Aislamiento acústico

Con este grosor de panel no se satisface la función de aislamiento acústico. Se deberá aumentar la sección a 94 mm para obtener un valor R_w de 32 dB. Este grosor permite incluir el panel en las propuestas al tipo “3”.

Espesor	$e = 94 \text{ mm}$
Densidad	$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$
Aislamiento acústico	$R_w = 32 \text{ dB}$
(Datos correspondientes al panel KLH 3-s TL 90)	

Comportamiento frente al fuego

La velocidad de combustión del panel KLH, 0,76 mm/min, obliga a incrementar el grosor en 46 mm respecto al panel mínimo para soportar la acción mecánica, es decir que el

panel resultante podría ser de 106 mm. La documentación técnica de KLH indica que para una resistencia al fuego de 60 minutos se debe emplear placa de 5 capas, por lo que el grueso adecuado será 117 mm, el espesor menor correspondiente al panel de cinco capas tipo TL (capa superior paralela a la dirección principal del panel). Panel adecuado para satisfacer las funciones que definen el tipo “4F”.

The charring rate of KLH panels is 0.76 mm/min. This figure takes account of the faster combustion at seams and joints and also the board joint by means of a rebate joint. If other covering layer burns, a charring rate of 0.67 mm/min should be used.

Should a layer burn away entirely, the effective stiffness of the panel reduces accordingly. Panels with a 3-layer construction generally have a fire resistance period of 30 min (REI 30). A 5-layer panel of the same or similar thickness generally has a fire resistance period of 60 min (REI 60), depending on the load.

Espesor	e = 117 mm
Resistencia al fuego	REI 60
(Datos correspondientes al panel KLH 5-s TL 117)	

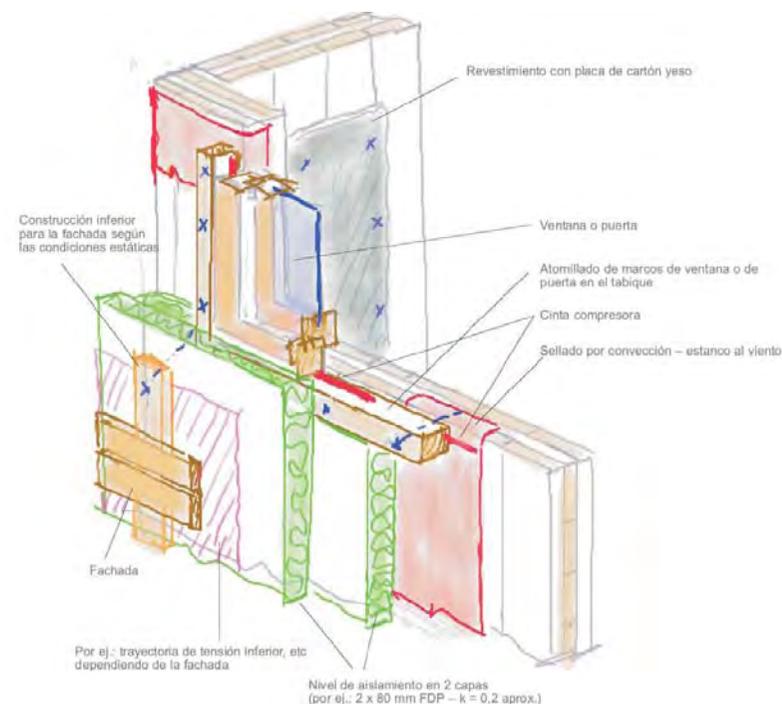
Propiedades térmicas

Por último, la conductividad térmica del abeto rojo, 0,13 W/mK, requiere una sección de panel de 200 mm para conseguir la transmitancia de 0,57 W/m²K. Panel correspondiente al tipo “5”.

Espesor	e = 200 mm
Densidad	$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
(Datos correspondientes al panel KLH 5-s TL 200)	

Estabilidad dimensional

In the plane of the panel: negligible. Normal to the panel: 0.24 mm/m per % moisture



Estanqueidad al aire

La estanquidad al aire de los paneles de madera contrachapada depende espacialmente del diseño de las juntas.

The air tightness of a cross-laminated timber panel construction depends on the density of the panels and on the design of the panel joints.

Tests on cross-laminated panels (1000 mm x 1000 mm) showed that 3-Layer panels in visible industrial quality [isi] and 5-Layer panels in non-visible quality [nsi] act as air tight panels. 1

En definitiva, en el caso de la madera contrachapada formando placas de geometría homogénea y de caras planas, la función portante resulta la menos restrictiva en cuanto al grueso. A partir de ella, la acústica, la retención del fuego y el aislamiento térmico van incrementando la sección.

Tipo 2 – Aire, Portante	e: 60 mm
Tipo 3 – Acústica, Aire, Portante	e: 94 mm
Tipo 4 – Fuego, Acústica, Aire, Portante	e: 117 mm
Tipo 5 – Térmica, Fuego, Acústica, Aire, Portante	e: 200 mm

Igual que pasa con los paneles de hormigón aireado tratado en autoclave, el grueso del panel de 200 mm, o el de 117 mm tienen sentido si forman parte de la estructura portante del edificio.

Estos paneles ya se están empleando como hoja interior de fachada ventilada.

¹ (NSI) – panel revestido al interior; (ISI) – paneles para quedar visto.

Precio panel colocado

PRECIOS POR M2 DE PARAMENTO SUMINISTRADO Y EJECUTADO PARA VARIOS TIPOS DE PANEL



CALIDAD INDUSTRIAL		
	UD	EUR
DQ 57 - c.industrial	M2	79
DQ 72 - c industrial	M2	89
DQ 94 - c. industrial	M2	94
DQ 95 - c. industrial	M2	112
DQ 128 - c. industrial	M2	123
DQ 158 - c. industrial	M2	132
DL 60 - c. industrial	M2	78
DL 78 - c. industrial	M2	89
DL 90 - c. industrial	M2	94
DL 95 - c. industrial	M2	94
DL 108 - c.industrial	M2	107
DL 120 - c industrial	M2	110
DL 117 - c.industrial	M2	116
DL 125 - c industrial	M2	121
DL 140 - c industrial	M2	123
DL 146 - c. industrial	M2	128
DL 162 - c industrial	M2	136
DL 182 - c. industrial	M2	158
DL 200 - c. industrial	M2	165
DL 202 - c.industrial	M2	167
DL 226 - c. industrial	M2	179
DL 208 - c. industrial	M2	170
DL 230 - c.industrial	M2	183
DL 248 - c.industrial	M2	201

CALIDAD VISTA INDUSTRIAL		
	UD	EUR
DQ 57 - c.vista industrial	M2	89
DQ 72 - c.vista industrial	M2	99
DQ 94 - c.vista industrial	M2	104
DQ 95 - c.vista industrial	M2	122
DQ 128 - c.vista industrial	M2	133
DQ 128 - c.vista industrial	M2	142
DL 60 - c.vista industrial	M2	88
DL 78 - c.vista industrial	M2	99
DL 90 - c.vista industrial	M2	104
DL 95 - c.vista industrial	M2	104
DL 108 - c.vista industrial	M2	117
DL 120 - c.vista industrial	M2	120
DL 117 - c.vista industrial	M2	126
DL 125 - c.vista industrial	M2	131
DL 140 - c.vista industrial	M2	133
DL 146 - c.vista industrial	M2	138
DL 162 - c.vista industrial	M2	146
DL 182 - c.vista industrial	M2	168
DL 200 - c.vista industrial	M2	175
DL 202 - c.vista industrial	M2	177
DL 226 - c.vista industrial	M2	189
DL 208 - c.vista industrial	M2	180
DL 230 - c.vista industrial	M2	193
DL 248 - c.vista industrial	M2	211

CALIDAD VISTA DOMÉSTICA		
	UD	EUR
DQ 57 - c.vista doméstica	M2	100
DQ 72 - c.vista doméstica	M2	110
DQ 94 - c.vista doméstica	M2	115
DQ 95 - c.vista doméstica	M2	133
DQ 128 - c.vista doméstica	M2	144
DQ 128 - c.vista doméstica	M2	153
DL 60 - c.vista doméstica	M2	99
DL 78 - c.vista doméstica	M2	110
DL 90 - c.vista doméstica	M2	115
DL 95 - c.vista doméstica	M2	115
DL 108 - c.vista doméstica	M2	128
DL 120 - c.vista doméstica	M2	131
DL 117 - c.vista doméstica	M2	137
DL 125 - c.vista doméstica	M2	142
DL 128 - c.vista doméstica	M2	144
DL 146 - c.vista doméstica	M2	149
DL 162 - c.vista doméstica	M2	157
DL 182 - c.vista doméstica	M2	179
DL 200 - c.vista doméstica	M2	186
DL 202 - c.vista doméstica	M2	188
DL 226 - c.vista doméstica	M2	200
DL 208 - c.vista doméstica	M2	191
DL 230 - c.vista doméstica	M2	204
DL 248 - c.vista doméstica	M2	222

*ESPESOR MÁXIMO 500 MM

Recomendaciones:

- Muros de carga de edificios de pocas planta plantas o con estabildades a incendio del orden de 30 minutos.
- Muros de carga de mayores prestaciones
- Cubiertas no transitables en zonas con poca carga de nieve, así como forjados de pequeñas luces.
- Cubiertas y forjados de luces habituales y cargas residenciales habituales

TARIFAS VÁLIDAS HASTA JUNIO 2007

Información comercial consultada:

- *KLH Massivholz GmbH, Documentación del producto KLH.*

Ficha 5

PANEL HUECO DE MADERA Y LANA DE ROCA.

Paneles formados por nervios de madera arriostrados con placas del mismo material colocadas en ambas caras y con un relleno interior de lana de roca son otra propuesta que recurre a la madera como material principal.

Los paneles de Lignatur sirven de producto de referencia para esta propuesta.

Estos paneles dan respuesta a los tipos funcionales “5” y “4T” dependiendo del grueso empleado: 160 mm y 120 mm respectivamente.

Propiedades térmicas

El panel de 120 mm aporta una resistencia térmica de 1,67 m²K/W equivalente a una transmitancia de 0,59 W/m²K. No es suficiente para satisfacer lo requerido por la hipótesis de partida, pero se puede corregir con un grueso mínimo de aislamiento térmico añadido en una de las caras.

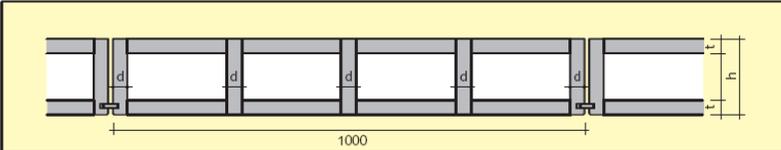
Igual que pasaba con la propuesta de hormigón aireado curado en autoclave el panel únicamente no cumple en la zona climática E por un exceso en la transmitancia lo suficientemente pequeño como para que no invalide la solución.

El panel de 160 mm aporta una transmitancia de 0,40 W/m²K, valor que cumple de sobras lo necesario.



Hauteur de de l'élément mm	Caisson madrier LKE			Caisson multiple LFE		
	Air 0.3 – 0.8 W/mK Vide	Isolation WLG		Air 0.3 – 0.8 W/mK Vide	Isolation WLG	
		0.040 W/mK Fibres de bois	0.036 W/mK Fibres minérales		0.040 W/mK Fibres de bois	0.036 W/mK Fibres minérales
120	0.67	1.42	1.47	0.65	1.58	1.67
140	0.70	1.72	1.78	0.66	1.95	2.02
160	0.70	2.02	2.10	0.66	2.31	2.44
180	0.71	2.32	2.41	0.67	2.67	2.83
200	0.71	2.62	2.72	0.67	3.03	3.21
220	0.74	2.91	3.03	0.68	3.39	3.59
240	0.77	3.22	3.35	0.71	3.75	3.97
280	0.84	3.81	3.96	0.77	4.46	4.73
320	0.91	4.41	4.59	0.83	5.18	5.49

Resistencia térmica (R)



Type	Masse 470 kg/m ³		Dimensions de la section			Valeurs statiques		Résistances admissibles de la section		
LFE	m kg/m ¹	m kg/m ²	h mm	d mm	t mm	A mm ² /m ¹	J _y mm ⁴ /m ¹ ·10 ⁶	N _{x,ad} kN/m ¹	V _{z,ad} kN/m ¹	M _{y,ad} kNm/m ¹
120	33	33	120	31	31	70990	130.3	497	13	20.5
140	35	35	140	31	31	74090	195.3	519	15	25.1
160	36	36	160	31	31	77190	275.1	540	18	29.9
180	38	38	180	31	31	80290	370.3	562	20	34.8
200	39	39	200	31	31	83390	481.6	584	22	39.9
220	41	41	220	31	31	86490	609.6	605	25	45.2
240	42	42	240	31	31	89590	754.9	627	27	50.6
280	45	45	280	31	31	95790	1099.8	671	32	61.8
320	48	48	320	31	31	101990	1521.4	714	37	73.7

Valeurs caractéristiques du caisson multiple
LIGNATUR (LFE) 1000

Largeur de référence: 1.00 m

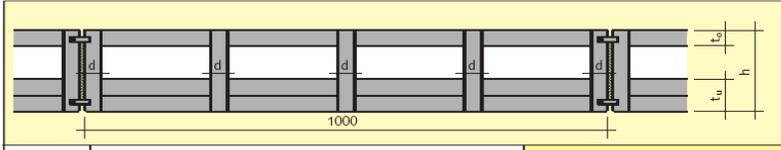
Las características para el panel hueco de madera y lana de roca en el interior perteneciente al tipo funcional "4T" son las siguientes:

Espesor $e = 120 \text{ mm}$ (31 int + 58 + 31 ext)
 Ancho $a = 1.000 \text{ mm}$
 Peso $p \approx 45 \text{ kg/m}^2$
 Resistencia térmica $R = 1,67 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$
 Transmitancia $U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Conduct. térmica lana mineral $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
 Resistencia mecánica del panel biapoyado:
 Luz $5,30 \text{ m}$; Carga 200 kg/m^2 ; Flecha $L/300$
 Aislamiento acústico Cumple según Ley de Masas.
 (Datos correspondientes al panel para forjados LIGNATUR)

Comportamiento frente al fuego

La función de retención al fuego exige aumentar el espesor de 120 mm a 160 mm colocando doble placa arriostrante en la cara interior de la fachada. El incremento en el grueso está en función de la velocidad de combustión de la madera.

Las características para el panel hueco de madera y lana de roca en el interior perteneciente al tipo funcional "5" son las siguientes:



Type	Dimensions de la section					Résistances de la section		
LFE	h mm	d mm	t _o mm	t _u mm	t _{u,R} mm	R _{Lx,d,R} kN/m ¹	R _{Vz,d,R} kN/m ¹	R _{M,y,d,R} kNm/m ¹
160	160	31	31	64	9	701	22	14.7
180	180	31	31	64	9	745	27	19.0
200	200	31	31	64	9	788	32	23.8
220	220	31	31	64	9	831	38	28.9
240	240	31	31	64	9	875	43	34.4
280	280	31	31	64	9	962	53	46.5
320	320	31	31	64	9	1048	63	59.9

Valeurs caractéristiques R 60
Caissons multiples LIGNATUR (LFE)

Largeur de référence: 1.00 m

Espesor $e = 160 \text{ mm}$ (55 int + 74 + 31 ext)
 Ancho $a = 1.000 \text{ mm}$
 Peso $p \approx 55 \text{ kg/m}^2$
 Resistencia térmica $R = 2,44 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$
 Transmitancia $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Conduct. térmica lana mineral $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
 Resistencia mecánica del panel biapoyado:
 Luz $6,75 \text{ m}$; Carga 200 kg/m^2 ; Flecha $L/300$
 Resistencia al fuego EI 60
 Aislamiento acústico $R_w \geq 32 \text{ dB}$
 (Datos correspondientes al panel para forjados LIGNATUR)

Aislamiento acústico

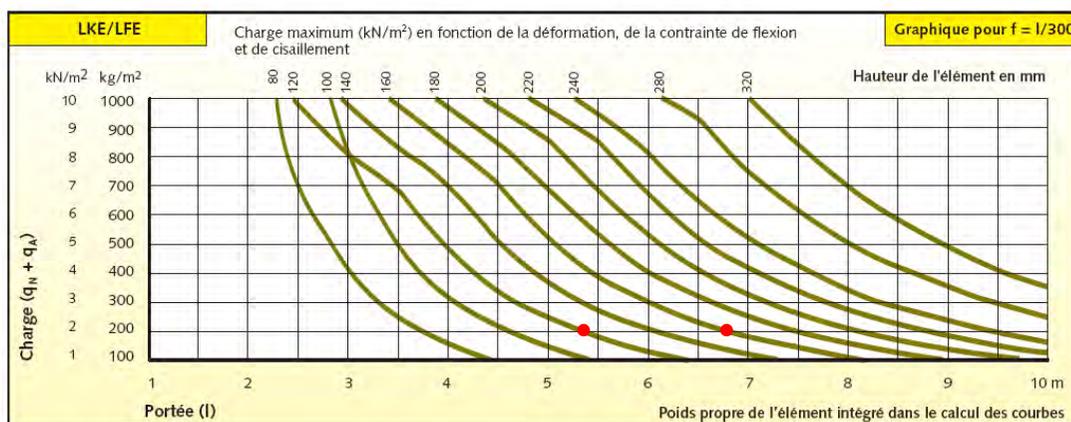
En cuanto al aislamiento acústico, únicamente se han encontrado datos referentes a sistemas completos de placas colocadas en una solución constructiva compleja, o para la placa simple de 140 mm. Su reducción al ruido aéreo R_w es de 32 dB.

Estanquidad al aire

La estanquidad al aire está encomendada al diseño de las juntas.

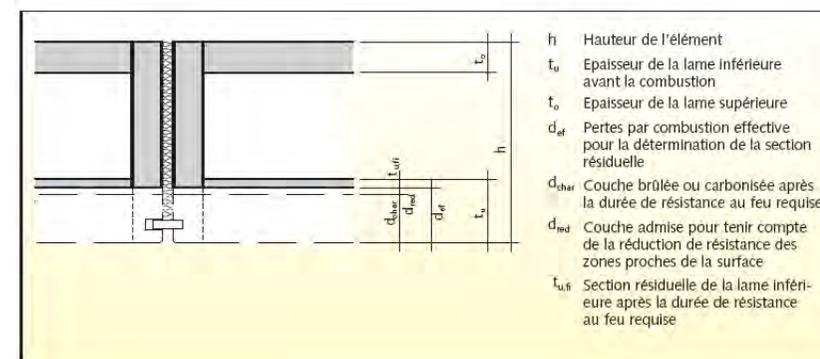
Características mecánicas

Recurriendo a los paneles de Lignatur como producto de referencia debemos partir de un espesor mínimo de 120 mm. Existen placas de 80 mm y de 100 mm suficientes para satisfacer la función portante, pero no son huecas.



Dimensiones

Este tipo de paneles se trabajan en dos anchos estándar 514 y 1.000 mm, y en longitudes de hasta 16 m.



Section résiduelle

Tous les calculs et illustrations suivants supposent:

- une combustion unilatérale par en-dessous
- une vitesse de combustion $\beta_0 = 0.8$ mm/mn
- une couche pour tenir compte de la réduction de résistance $d_{red} = 7$ mm

Les pertes par combustion effectives d_{ef} sont les suivantes:

R 30: 31 mm (30 mn x 0.8 mm/mn + 7 mm)

R 60: 55 mm (60 mn x 0.8 mm/mn + 7 mm)

R 90: 79 mm (90 mn x 0.8 mm/mn + 7 mm)

El ancho y nervado estándar limita las posibilidades compositivas de la fachada en cuanto a la distribución de huecos. El corte del panel en sentido longitudinal es inviable ya que merma la capacidad mecánica de la placa.

La fabricación de placas huecas de madera según anchos y ritmos de nervado establecidos por el cliente variaría la condición de componente estándar del panel pasando a ser un componente a medida. Esta posibilidad es perfectamente viable y permitiría una mejor adecuación al nuevo uso que se plantea dar a los paneles huecos de madera.

Información comercial consultada:

- *Lignatur. L'élément porteur en bois. Manual de producto.*

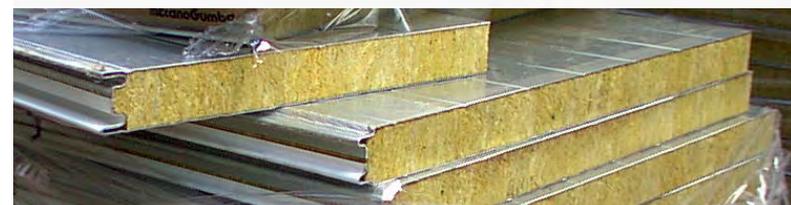
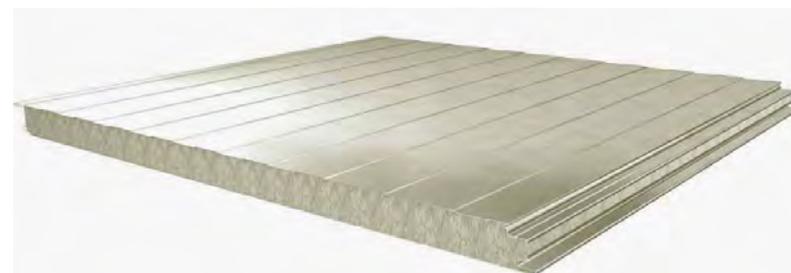
Ficha 6

PANEL SÁNDWICH CON NÚCLEO DE LANA DE ROCA Y LAMINAS PERIMETRALES DE ACERO GALVANIZADO.

El acero aparece en dos de las propuestas de hoja interior que se plantean en este trabajo de investigación. La primera, el panel sándwich, pertenece al tipo funcional "5", mientras que la segunda, la bandeja, se incluye en el "2".

Las características para el panel sándwich de chapa de acero galvanizado y lana de roca en el interior son las siguientes:

Espesor	$e = 80 \text{ mm}$
Peso	$\rho = 21,10 \text{ kg/m}^2$
Transmitancia	$U = 0,455 \text{ W/m}^2\text{K}$
Densidad lana de roca	$\rho = 145 \text{ kg/m}^3$
Resistencia mecánica del panel triapoyado:	
Luz	3,24 m
Carga	150 kg/m^2
Flecha	L/180
Coeficiente de seguridad	2,5
Resistencia al fuego	EI 90
Aislamiento acústico	$R_a = 34,60 \text{ dBA}$
(Datos correspondientes al panel ACH fijaciones ocultas)	



La solución de hoja interior a base de paneles sándwich de chapa de acero y núcleo aislante térmico plantea dos problemas:

- Solidaridad entre láminas.
- Libertad compositiva a partir de un soporte modular.

Solidaridad entre láminas

La libertad en cuanto a la colocación del panel que exige la diversidad de soluciones de fachada impide ligar la posición de la junta al canto del forjado, por lo que no es posible fijar el panel apoyado en el canto, ha de ser un anclaje a cara.

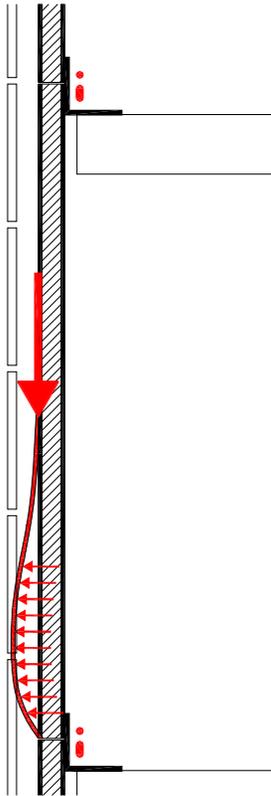
La fijación del panel a la estructura por medio de un anclaje pasante que lo soporte a carga por la parte superior haciéndolo trabajar a tracción parece la mejor solución. En la parte inferior se localizaría el sistema de retención frente esfuerzos horizontales permitiendo cierto movimiento vertical.

El comportamiento a tracción del panel minimiza la deformación de la hoja exterior limitando la tensión a la que se ve sometido el material de relleno.

La condición pasante de la fijación obligará a protegerla del fuego ya que establece una conexión térmica entre las dos caras que reduce el valor EI del panel.

Respecto a las fijaciones de otros elementos sobre el panel, en concreto la hoja exterior, los ejemplos hallados de sistemas similares muestran como el anclaje puede ser a una de las chapas del sándwich, es decir no pasante.

La solución pasante ayudaría a garantizar el comportamiento solidario entre láminas, pero de nuevo, y dependiendo del material de las fijaciones, se establecería una conexión entre las láminas de acero que mermarían el comportamiento frente el fuego.



El proceso de fabricación de estos paneles no permite colocar conectores de forma previa al laminado como sí se hace en el caso del sándwich de hormigón.

Libertad compositiva a partir de un soporte modular

Los paneles sándwich son semiproductos únicamente según una de sus dimensiones, el largo. La anchura está limitada a unos módulos que fija el fabricante y que, en principio, no se pueden variar. Este modulado no puede coartar las posibilidades compositivas de la fachada, se debe independizar lo que sucede en la hoja exterior respecto del interior.

Planteamientos:

a- Elaboración de paneles de distintos anchos adecuados a cada proyecto

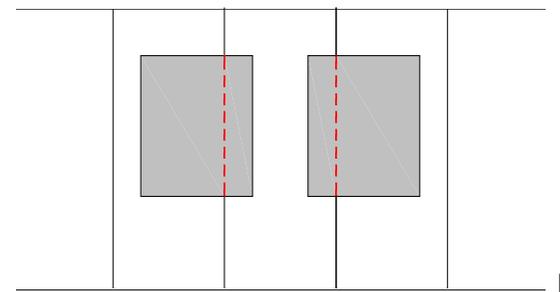
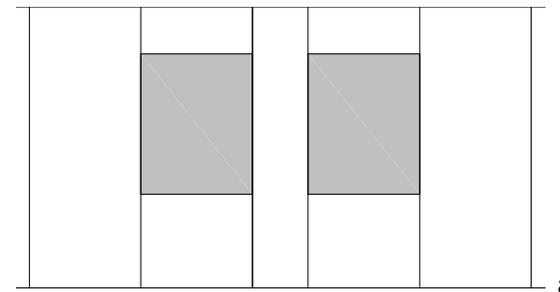
Depende de las posibilidades de fábrica de producir paneles de ancho variable que a su vez está limitada por el ancho de las bobinas de chapa.

Esta posibilidad es poco viable hoy en día ya que los sistemas de producción tienen anchos fijos.

b- Corte del panel para adaptarlo al diseño de fachada

El corte del panel hace aparecer juntas de geometría no elaborada con los consiguientes problemas de estanqueidad y resistencia al fuego.

La total independencia en cuanto a despieces de la hoja interior y la exterior no permite controlar la sección maciza que conserva cada panel una vez practicados los huecos para las ventanas y balconeras por lo que no se puede confiar en ellos



para la estabilidad. Se deberá reforzar los huecos por medio de bastidores lineales específicos.

El planteamiento que resulta más adecuado para la optimización del panel y aprovechar la geometría de las juntas longitudinales es el “a”, pero posiblemente esta opción también requiera refuerzos en los huecos para reconstruir el comportamiento de placa biapoyada del panel.

Dimensiones

Si la anchura va ligada a un módulo estándar limitado por las dimensiones de la bobina, la longitud no. Los paneles sándwich se pueden cortar en sentido transversal por cualquier punto sin alterar la geometría de la junta, o recurrir a paneles de gran longitud aprovechando al máximo el desarrollo de la bobina y las posibilidades de fabricación.

Para la aplicación como hoja interior de fachada ventilada es adecuado limitar el número de juntas por lo que se recurrirá a grandes formatos, únicamente limitados por el transporte.

La continuidad de las funciones de estanqueidad al aire o retención al fuego en las juntas transversales no conformadas no está garantizada por lo que requiere un refuerzo adicional o, en el segundo caso, localizarse fuera del tramo de un metro, ligado a los cantos de forjados, entre sectores de incendios.

Recurrir a grandes formatos obliga a considerar las dilataciones térmicas tanto en relación a su absorción en las juntas como para minimizar las deformaciones diferenciales entre la chapa exterior, el material del núcleo y la chapa interior.

Elección del material de relleno

La elección del material de relleno está condicionada por:

- Comportamiento mecánico:
 - La resistencia a flexión.
 - La cohesión interna (evitar la exfoliación).
 - La adherencia a las chapas.
- La resistencia y reacción al fuego.
- La conductividad térmica.
- La elasticidad (absorber dilataciones diferenciales entre chapas).

En el documento de “Desarrollo 4” se estudia la incidencia del material de relleno en el comportamiento mecánico de paneles sándwich de hormigón. Las conclusiones son aplicables también en el caso de paneles de chapa de acero o de cualquier otro material para las láminas perimetrales, siempre que exista adherencia entre los diversos materiales.

Considerando únicamente la función mecánica del panel, el mejor material para el núcleo es aquel con mayor resistencia a flexión, gran cohesión interna y capacidad de adherencia a las chapas de acero.

Pero el panel debe cumplir otras funciones que resultan más restrictivas en cuanto a la elección del material del núcleo: la resistencia al fuego y el asilamiento térmico. En estas dos funciones la chapa apenas contribuye, mientras que en la portante juega un papel fundamental.

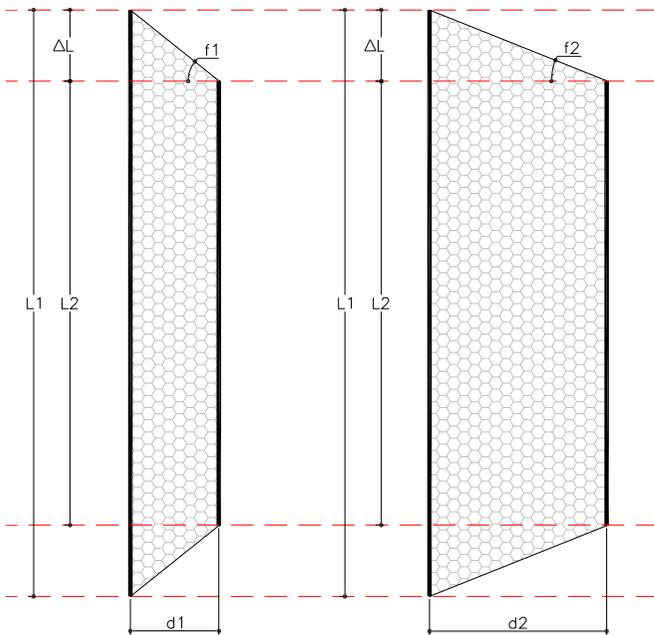
La elasticidad del material del núcleo está ligada con la función portante, pero también es fundamental para garantizar la durabilidad del panel.

El panel sándwich se localiza detrás de la hoja exterior por lo que no recibe radiación directa del sol. Aún así, se producirán deformaciones diferenciales entre la chapa interior, sometida a una temperatura prácticamente constante, y la exterior. Esta diferencia de deformaciones puede ser asumida por un material elástico, o soportada por uno que tenga un buen comportamiento a cortante. Si el material es muy elástico difícilmente se conseguirá un comportamiento mecánico solidario entre todas las láminas del sándwich.

Para una misma resistencia térmica, a mayor grueso la elasticidad puede ser menor ya que, la deformación relativa entre cada una de las sucesivas láminas en que se podría exfoliar el aislamiento es menor.

$$\Delta L/d1 = \text{tg } f1; \quad \Delta L/d2 = \text{tg } f2$$

El material del núcleo deberá combinar de forma adecuada los valores de la conductividad térmica, el espesor y la elasticidad para conseguir un buen comportamiento térmico, con un espesor no excesivo y una elasticidad que no merme la función mecánica del conjunto.



A menor espesor (d) mayor es el ángulo (f) por lo que mayor es la deformación entre láminas sucesivas y por lo tanto el material del núcleo debe ser más elástico o ser capaz de soportar el esfuerzo cortante.

SISTEMAS Y PRODUCTOS DE REFERENCIA

El panel sándwich de chapa de acero con un núcleo de baja densidad y baja conductividad térmica es una solución para la hoja interior de la fachada ventilada que ya existe en el mercado. Los dos sistemas que a continuación se describen sirven de referencia para diseñar esta propuesta al tipo funcional.

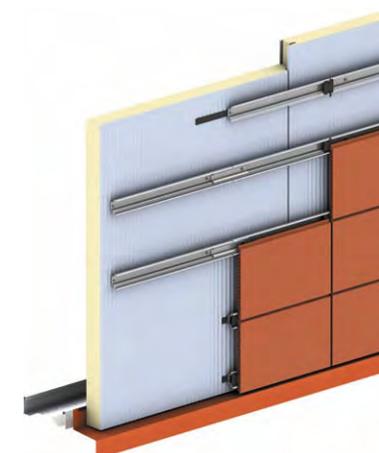
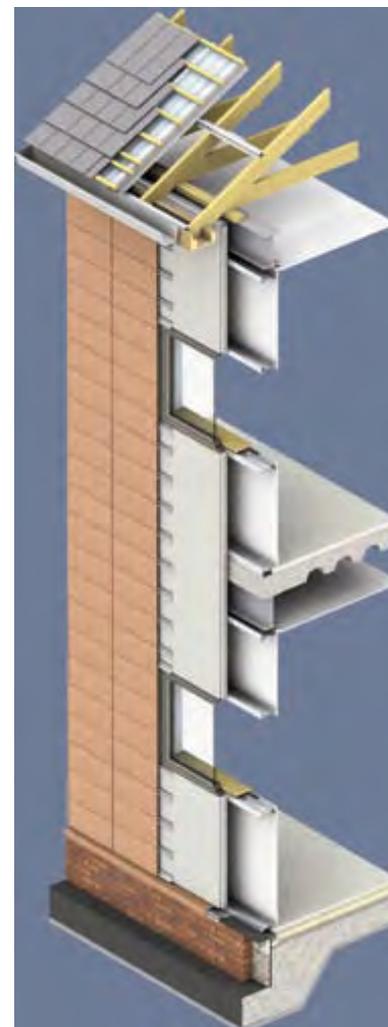
KINGSPAN

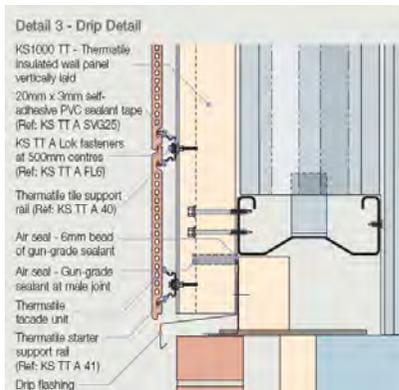
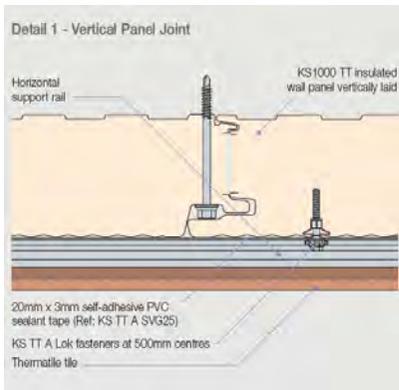
La empresa inglesa Kingspan ha desarrollado un sistema que resuelve la fachada a partir de paneles de chapa de acero galvanizado de espesores 0,63 mm para la lámina exterior y 0,4 mm la interior, con un relleno de poliisocianurato (PIR). El grueso total del panel que ellos proponen es de 45, 70 o 80 mm según sea la necesidad de aislamiento térmico.

Con estos espesores, la satisfacción de la función de retención del fuego no está garantizada. Se deberá colocar un trasdosado interior con las características adecuadas.

El grueso mínimo de panel con núcleo de poliisocianurato (PIR) necesario para poder retener el fuego durante una hora es de 175 mm, prácticamente el doble de lo requerido por las fibras minerales.

El panel de 80 mm si es suficiente para cubrir la luz entre forjados con una carga de viento del orden de los 150 a 200 kg/m², pero precisa refuerzos en los perímetros de los huecos. Las canales de chapa galvanizada que resuelven las entregas con los forjados permiten alojar en su alma los montantes de refuerzo localizados en las jambas y a los que se unen en perpendicular perfiles a nivel de alfeizar y dintel.





Kingspan

La empresa Kingspan sí dispone de paneles con mejor comportamiento mecánico y frente al fuego, pero posiblemente por que esta segunda función no la contemplan como propia de la hoja principal, y el panel de 80 mm da respuesta a cargas de viento habituales en casco urbano para edificios de no mucha altura, no los emplean para esta aplicación.

Las funciones que este sistema asigna al panel de hoja interior son básicamente la de soporte de fachada, aportar estanqueidad al aire y la de aislamiento térmico. Para satisfacer las funciones acústica y de retención del fuego se cuenta con la aportación del trasdosado interior.

INNOWALL – (Favemanc)

Innowall es un sistema similar al de Kingspan ya que también emplea paneles sándwich de chapa de acero para resolver la hoja interior de la fachada ventilada. En este caso los paneles van rellenos de lana de roca por lo que el comportamiento frente al fuego es mejor pero no la respuesta mecánica.



Innowall

Los paneles sándwich que emplea Innowall son de 50 mm de grueso con nervios perimetrales de 90 mm.

Según su documentación, para conseguir una resistencia al paso del fuego de 60 minutos se requiere un panel de 60 mm.

Para satisfacer la función de soporte el sistema precisa perfiles de refuerzo en la parte posterior. Esta estructura no aparece en las primeras propuestas del sistema, pero si en la documentación actual.

A diferencia de Kingspan que emplea paneles planos, Innowall aprovecha el grueso del nervio perimetral para fijar la hoja exterior, quedando definido el ancho de la cámara. Recurrir a rastreles horizontales desligaría el módulo del sándwich del despiece de la hoja exterior; pero la libertad compositiva en cuanto a la localización de los huecos es más compleja en el caso del panel nervado.

El cambio en el formato de la pieza cerámica de trasdosado de una solución a otra demuestra que su preocupación está, entre otras cosas, en el grueso de fachada. El espesor que ganan con la colocación del montante lo restan al trasdosado interior.

PROPUESTA

El panel de referencia que se ha tomado para acotar los valores de la propuesta de hoja interior es el de la empresa ACH de Saint Gobain. Este panel no se emplea hoy en día como hoja interior portante de la fachada ventilada, pero sí satisface todas las características para poderlo hacer.

El panel de fachada o el de sectorización interior de 80 mm reúnen las características de planeidad de la solución de Kingspan y las ventajas de la lana de roca de Innowall.

Propiedades térmicas

Se trata de un panel de 80 mm de espesor con un valor para la transmitancia de 0,455 W/m²K.

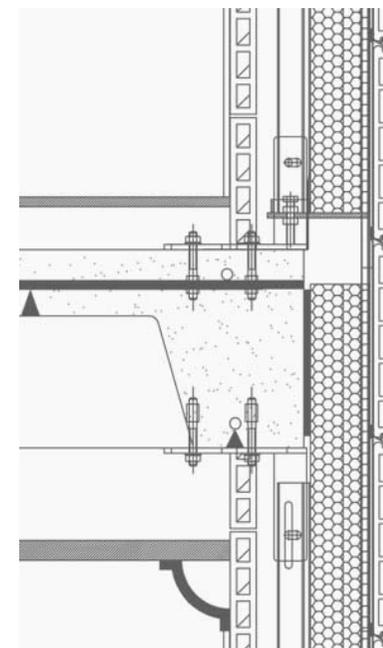
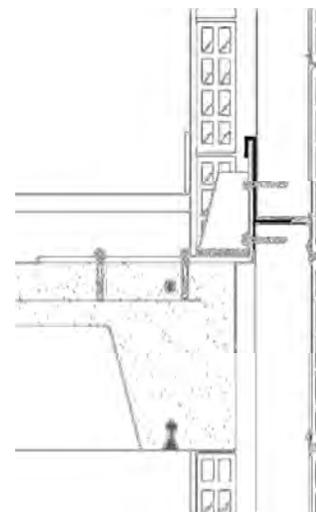
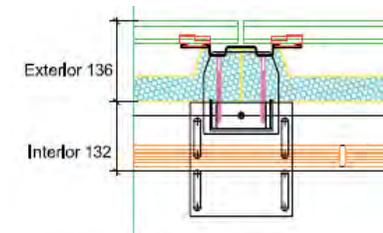
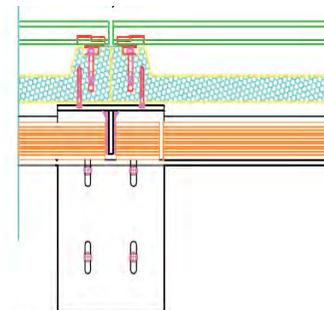


Imagen correspondiente a las primeras propuestas donde el panel se ancla directamente a los cantos de los forjados.

Solución actual (Con refuerzo estructural)

CARACTERÍSTICAS

Espesor (mm)	Peso Paneles (Kg/m ²)	K (W/m ² K)	RF (min) Resistencia al fuego	EF (min) Estabilidad al fuego
50	16,7	0,690	30	60
80	21,1	0,455	90	90
100	24,0	0,370	120	120
150	31,2	0,253	180	180
200	38,5	0,192	-	-

Comportamiento frente al fuego

El panel de 80 mm cumple con una resistencia al fuego de 90 minutos. Este valor de resistencia al fuego no se cumple en las juntas transversales (no conformadas). Se necesita un regruesado con una banda de unos centímetros de fibra mineral. La longitud del panel hace que esta unión no se dé muy a menudo.

Aislamiento acústico

La reducción acústica que permite este panel es de 34,6 dBA. Este dato corresponde a la misma solución de panel pero con la cara interior de la chapa microperforada para obtener un buen nivel de absorción acústica. No se dispone de datos referentes al comportamiento acústico de placas no microperforadas.

Estanquidad al aire

Para lograr la adecuada estanquidad al aire se confía en las juntas según la dirección de la extrusión machihembradas y con sellado incorporado de fábrica en el fondo. Las juntas transversales se intentan minimizar recurriendo a paneles de gran formato. Estas deben ir selladas en superficie.

GRÁFICO SOBRECARGA PANEL TRIAPOYADO

Coefficiente Seguridad 2,5
 Flecha L/180
 d145 kg/m³

VALORES DE LA GRÁFICA

LUZ	30	60	80	100	120	150
E50	7,80	4,95	3,77	3,01	2,52	2,01
E80	9,22	6,26	5,15	4,47	4,07	3,24
E100	10,98	7,46	6,07	5,42	4,95	4,07

Características mecánicas

Este panel es apto para soportar cargas de 150 kg/m² con luces de 3 m.

El grueso de las chapas puede ser de 0,5 mm ó 0,8 mm según sean los requerimientos mecánicos.

Dimensiones

El ancho de bobina con el que trabaja las empresas del sector es de 1.250 mm, por lo que esta es la medida que limita el ancho del panel para todos los casos.

En concreto ACH trabaja con paneles de 1.150 mm y 1.000 mm y están a punto de sacar al mercado los de 600 y 900 mm. La longitud máxima de fabricación es de 14 m (mínima de 2 m).

Precio del panel colocado

PANEL DE FACHADA FIJ. OCULTAS E80 MM EI90 48,94 €/m²

"Panel de fachada fijaciones ocultas ACH (PF1) en 80mm de espesor machihembrado en cara exterior e interior, núcleo de lana de roca tipo "M" dispuesto en lámelas con chapas de acero prelacadas 0,5/0,5, aislamiento acústico certificado según UNE ENE ISO-140-3 como Rw=32 dB, certificado según norma europea de reacción al fuego EN-13501-1:2002 como A2-S1,d0 y resistencia al fuego durante 90 minutos (EI90). Incluso p.p de accesorios ACH, mano de obra y medios auxiliares. Totalmente instalado y terminado.

Información comercial consultada:

- *ACH, Saint Gobain, Documentación del producto.*
- *Kingspan, información de producto.*
- *Innowall, información de producto.*

Ficha 7

PANEL DE HORMIGÓN DE ÁRIDO LIGERO ARMADO CON REDONDOS DE ACERO.

Una de las propuestas que se incluyen dentro del tipo “4F” es un panel de hormigón de árido ligero armado con redondos de acero. Las secciones vertical y horizontal son rectangulares y macizas.

La gran variedad de áridos, aditivos, dosificaciones, etc., que intervienen en la formulación del hormigón hacen posible su diseño “a medida” ajustándose a los valores de referencia.

Las características para el panel macizo de hormigón ligero armado con redondos de acero son las siguientes:

Espesor	$e \approx 95 \text{ mm}$
Densidad	$1.600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 1.800 \text{ kg/m}^3$
Resistencia media a flexión	$\sigma_{\text{flex}} \approx 5 \text{ N/mm}^2$
Resist. media a compresión	$\sigma_{\text{com}} = 20\text{-}25 \text{ N/mm}^2$
Resistencia al fuego	EI 60
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de masas.
Límite elástico aparente del acero	5.000 kg/cm^2



Hormigón de árido ligero en distintas dosificaciones.

El empleo de hormigón ligero se debe al peso. Para poder incluir la fachada entre las consideradas ligeras ($\leq 200 \text{ kg/m}^2$) la densidad debe ser del orden de los 1.600 kg/m^3 .

Competir con las soluciones al tipo "5", y ya que este panel satisface una función menos, obliga a resolverlo con un espesor inferior a los 15 cm. El grueso mínimo lo determina poder satisfacer el requerimiento de retención al fuego con un panel de hormigón ligero. Esta función precisa continuidad en todo el plano de fachada, por lo que exige un grueso mínimo constante.

Comportamiento frente al fuego

El requerimiento de resistencia al fuego exige un espesor que no permite optimizar las propiedades mecánicas de un aglomerado de alta resistencia.

El panel que nos ocupa sólo es portante respecto a la acción del viento, suficiente para considerar que, en caso de incendio, debe seguir siendo capaz de soportar esta acción los 60 minutos que se le exige asuma la sectorización entre plantas.

La temperatura del incendio es el dato de referencia que nos debe servir para poder determinar si el material de sectorización empleado es capaz de, como mínimo, mantener su integridad 60 minutos. De cumplir con este primer requerimiento entraríamos a valorar la condición de aislamiento térmico durante el mismo periodo de tiempo.

Según la curva normalizada tiempo-temperatura definida en la norma UNE EN 1363:2000 la temperatura que puede alcanzar un fuego totalmente desarrollado en un sector de incendio durante un periodo de 60 minutos es de $950 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los materiales compuestos aglomerados se componen por lo general de material a aglomerar que pueden ser áridos varios cuya única condición básica es ser inertes, agua, aditivos diversos y material aglomerante. De la naturaleza, dosificación y cohesión de estos componentes dependerá el comportamiento en cuanto a la resistencia al fuego del compuesto.

- **El árido**

Un factor determinante de cara a mejorar el rendimiento de la sección es el empleo del árido adecuado. En el caso de los hormigones, el árido de roca caliza tiene mejor comportamiento que el de silicio ya que al exponerse al fuego absorbe calor en el proceso de combustión y cambio de estado. Es decir que cualquier material inerte y endotérmico se podría contemplar como posible árido de cara a mejorar la resistencia al fuego. Los materiales de baja densidad también resultan adecuados, no sólo por cuestiones de resistencia al fuego, sino también de mejora del aislamiento térmico. Todo ello sin descuidar la resistencia mecánica final del panel.

La incidencia que puede tener la variación del árido de cara a optimizar la sección de panel es de todas formas poco relevante ya que únicamente permitiría adelgazar la sección del orden del 10% con áridos calizos o ligeros, según datos extraídos del *Eurocodigo 2 - Proyecto de estructura de hormigón*.

La siguiente tabla presenta los datos que aporta el International Building Code (IBC-2000) correspondientes a los gruesos necesarios para diferentes tipos de hormigón de cara a

obtener un determinado valor para la resistencia al fuego. Las variaciones de espesor según el tipo de árido también son del orden del 10 al 20 %.

Tipo de hormigón	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min
	Espesores en mm.				
Árido de roca silíceo	88,9	109,2	127,0	157,5	117,8
Árido de roca caliza	81,3	101,6	114,3	144,8	167,6
Aligerado 1.681/ 1.922 kg/m ³	68,6	83,8	96,5	116,8	137,2
Aligerado 1.361/ 1.842 kg/m ³	63,5	78,7	91,4	111,8	129,5

Nota: La tabla original presenta los espesores en pulgadas y las densidades en libras/pies³. Las equivalencias adoptadas en el cambio de unidades son:

1 pulgada = 25,4 mm

1 libra / pie³ = 16,019 kg / m³

El empleo de hormigones de árido ligero es un arma de doble filo en cuanto al comportamiento frente al fuego. Si por un lado el árido de arcilla expandida permite ir a secciones menores que los habituales de roca silíceo o caliza, la diferencia en la conductividad térmica del hormigón respecto a la del acero es mayor con este tipo de árido, por lo que el “spalling” debido a dilataciones diferencial se produce antes.

- **El agua**

Por un lado absorbe calor en el proceso de vaporización haciendo bajar levemente la temperatura del entorno, pero el mismo fenómeno de vaporización desestructura el compuesto y provoca roturas por estallido.

La desestructuración se debe a la pérdida de moléculas de agua, pero la rotura es un fenómeno de origen muy distinto. Va ligada al grado de porosidad del material.

Si la porosidad es baja, será más difícil disipar el vapor de agua que se forma en el interior de la masa al subir la temperatura. Al haber pocos huecos estos tardarán menos en llenarse del vapor a alta presión. Las tensiones internas generadas en el compuesto harán que se desprenda de forma violenta parte del material.

Agregar materiales fundentes al compuesto mejora su comportamiento ya que favorece que, en caso de incendio, aumente la porosidad. La fusión del nuevo agregado genera huecos que se suman a los que tiene el material en origen, de esta manera el vapor de agua se reparte más, produciéndose menos tensiones internas. Un posible material a agregar son las fibras de polipropileno.

Las fibras de polipropileno añadidas en la masa evitan la fisuración a altas temperaturas dando mayor protección al armado. En contrapartida reducen la tensión residual a compresión del hormigón tras el incendio.

▪ Aglomerantes

Con respecto a los materiales aglomerantes, en contacto con altas temperaturas se vuelven a dar las reacciones endotérmicas propias de la manufacturación del polvo de yeso, cal o cemento. Se absorbe calor pero se rompe la estructura molecular que garantiza la integridad del compuesto.

- Application of synthetic fibres, both in case of quartz gravel and expanded clay aggregates, slightly decreased the residual compressive strength at room temperature and also after fire exposure (see Figs. 7,8)
- In the case of concrete with expanded clay, the specimens were deteriorated during the heating process up to 800°C. This was the consequence of the high (36 mass%) water absorbing capacity of the aggregate.
- When synthetic fibres were used, the concrete with expanded clay did not deteriorate even after heating it up to 800°C.

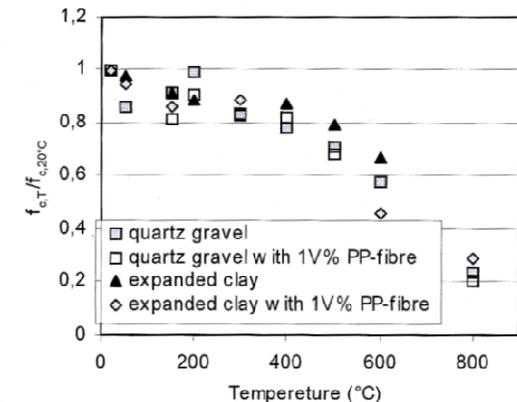


Fig. 9. Change of compressive strength after exposing the concrete to high temperature, measured at room temperature

En el caso particular del hormigón, el siguiente cuadro reproducido de la publicación de Jiménez-Montoya resume la acción de las altas temperaturas sobre el material.

<i>Temperatura</i>	<i>Efecto sobre el hormigón</i>
< 100 °C	Ninguna influencia
100 °C a 150 °C	El hormigón cede su agua capilar y de adsorción
150 °C durante un tiempo bastante largo	Ligera disminución de la resistencia a compresión y fuerte caída de la resistencia a tracción
Hasta 250 °C en períodos cortos	Disminución de la resistencia a tracción sin afectar a la de compresión
300 °C a 500 °C	Pérdida de un 20% de la resistencia a compresión; la de tracción puede haber desaparecido
A 500 °C y más	La cal hidratada se destruye por pérdida del agua de cristalización (agua combinada químicamente)
Hacia 900 °C – 1.000 °C	La deshidratación es total y provoca la destrucción total del hormigón

Aislamiento acústico

El panel satisface, según la Ley de Masas, el aislamiento acústico requerido en este trabajo de investigación.

Índice global de reducción acústica, ponderado A, (RA), de un elemento constructivo homogéneo, en función de su masa:

- Un panel de 95 mm de grueso y densidad 1600 kg/m³ tiene una masa por metro cuadrado de 152 kg. $M=152 \text{ kg/m}^2$.
- $M \geq 150 \text{ kg/m}^2$; $RA = 36,5 * \lg M - 38,5 \text{ dBA}$; $RA = 41 \text{ dBA}$

Estanquidad al aire

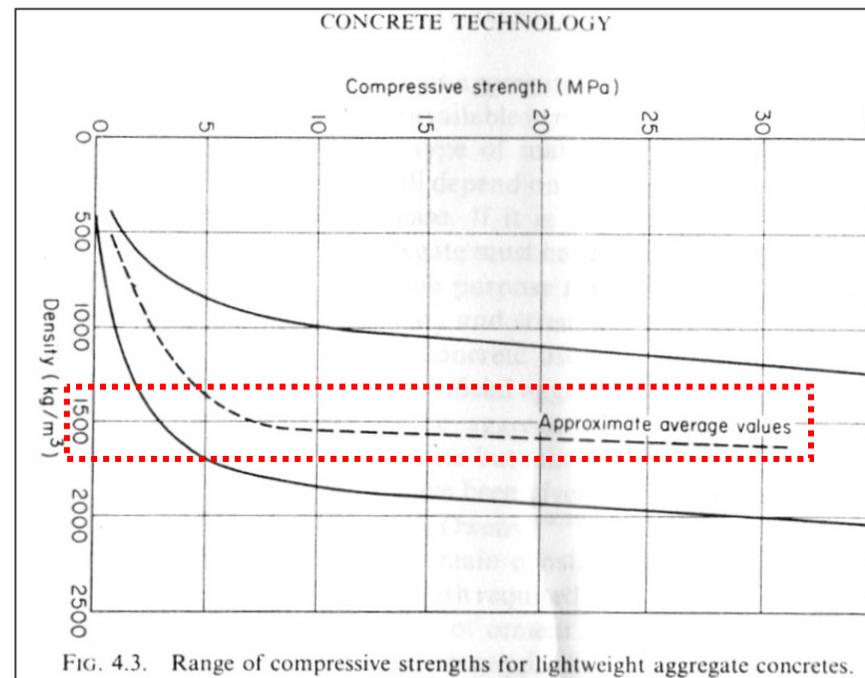
La estanquidad al aire queda encomendada al diseño y sellado de las juntas.

Características mecánicas

Las tablas adjuntas muestran valores para la tensión admisible a compresión, tracción y flexión que se pueden conseguir con hormigones ligeros.

Table 2
Typical properties of structural concrete

Classification	Typical w/c	Compressive strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Ultimate specific creep (10^6 MPa^{-1})	Density (kg m^{-3})	Ultimate drying shrinkage (%)
Low strength	0.6	17	20	1.5	3	160	2300	0.08
Medium strength	0.5	35	28	3	6	100	2300	0.075
High strength	0.4	70	36	6	12	30	2300	0.07
Lightweight	~ 0.5	28	12	2.5	5	150	1800	0.1
Cement paste	0.3	140	32	12	25	~ 300	2100	0.4
Cement paste	0.6	70	14	6	12	~ 600	1800	0.8



De las probetas realizadas en los ensayos incluidos en el documento “Desarrollo 4” se desprende el valor para la resistencia a compresión de un hormigón de árido ligero de densidad 1.643 kg/m^3 : $\sigma_{\text{com}} 33 \text{ N/mm}^2$.

La cuantía mecánica de la armadura de tracción (ω) para un momento flector máximo del orden de $M_f \approx 5.000.000 \text{ Nmm} = 0,5 \text{ Tm}$, se traduce en: $11\phi 6\text{mm}$, $6\phi 8\text{mm}$ ó $4\phi 10\text{mm}$.

Recurrir a redondos de poca sección facilita el corte y minimiza el grueso del recubrimiento, por lo que el panel se armará con redondos de diámetro 6 mm dispuestos de forma equidistante en todo el ancho del panel (mínimo 11 barras). El mismo criterio se aplicará para el armado en sentido perpendicular.

Ficha 8

BANDEJAS DE ACERO.

La propuesta que de forma más sencilla se adecua a los requerimientos que exige el tipo funcional "2" es una bandeja de acero galvanizado fijada en posición vertical a los cantos de los forjados por medio de perfiles en "L". Las juntas horizontales se resuelven por medio de solapes mientras que en las verticales se recurre al engatillado o el doblado de nervios superpuestos. La geometría plegada y el alto valor para la tensión admisible a flexión de este material permiten resolver el cerramiento con chapas de muy poco grueso.

Las características de las bandejas de acero son las siguientes:

Espesor	$e \approx 1,2 \text{ mm}$
Anchura	600 mm
Peso	$15,70 \text{ kg/m}^2$
Geometría	Bandeja con nervios de 150mm
Capacidad mecánica	Soporta $\approx 178 \text{ N/m}^2$ con luces de 5,5 m.
(Datos correspondientes a la bandeja Eurobac 150 de Europerfil).	

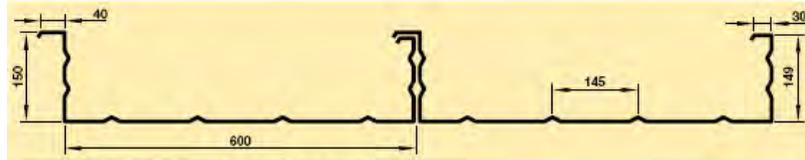
La resolución de cerramientos con bandejas autoportantes es propia de construcciones industriales. Para su utilización en edificios de distinta tipología y uso únicamente se precisa añadir las capas necesarias para poder satisfacer todos los requerimientos exigidos.



Fabrica SIMON, Riudellots de la Selva, Girona. Arq. Clotet - Paricio

Las **CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS** de los perfiles de **EUROPERFIL®** se han obtenido a partir de los ensayos realizados en la estación de Haironville, S.A. siguiendo la Norma P 34-503 y DTU 43.3, bajo el control y supervisión de BUREAU VERITAS y Laboratorios SOCOTEC.

Calidad de acero	Galvanizado	Prelacado
	UNE 36-130-86 (Le=240 N/mm ²)	UNE 36-137-87 (Le=320 N/mm ²)
δa	160 N/mm ²	213 N/mm ²
Flecha	L/200	



Tablas de sobrecarga no ponderadas en da N/m²

Distancia entre apoyos (m)	ESPESOR (mm)				ESPESOR (mm)			
	0,6	0,75	1	1,2	0,6	0,75	1	1,2
4,50	48	97	175		78	123		
5,00	47	88	158		68	105	167	
5,50	80	136	178		56	90	143	
6,00	73	105	150		79	124		
6,50	64	82	122		69	108	175	
7,00	55	66	97		59	95	155	
7,50	48	54	79		52	84	136	

APLICACIONES:	ESPESOR (mm)	PESO (Kg/m ²)
Fachada sandwich	0,6	7,85
	0,75	9,81
	1	13,08
	1,2	15,70

Las bandejas de acero, igual que pasa con los paneles sándwich del mismo material, son semiproductos según una de sus dimensiones, la longitud, pero el ancho está limitado por el proceso de fabricación. La disposición de rastreles horizontales permite desligar el despiece de la hoja exterior del módulo de la interior, pero la localización de los huecos está limitada por el ancho de la bandeja.

Características mecánicas

Las bandejas de acero conformadas a partir de chapa de 1,2 mm y con nervios de 150mm soportan cargas de hasta 178 N/mm² con apoyos cada 5,5 metros, suficiente para su aplicación como hoja interior de fachada ventilada cubriendo luces de 3 metros.

Información comercial consultada:

- Europrofil, información de producto.

TERMINOLOGÍA.

CERRAMIENTO: Límite entre el espacio exterior y aquel al que se quiere dotar de unas condiciones de confort controladas.

ENVOLVENTE: Concepto que no designa un elemento material. Empleado al referirse a cada una de las funciones que debe satisfacer el cerramiento y que por lo tanto “envuelven” el espacio habitable.

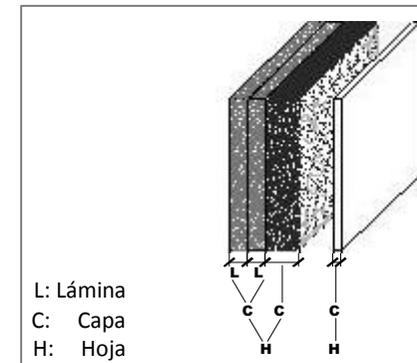
FACHADA: Cerramiento vertical.

HOJA: Cada una de las capas o grupos de capas que limitan la cámara drenante. Se distinguen dos hojas, la exterior y la interior, en función de su posición: entre la cámara y el exterior o entre ésta y el espacio habitable.

CAPA: Semiproducto o componente de geometría plana y de gran formato, integrado en el grueso de alguna de las hojas que forman la fachada. Puede ser simple o estar formado por una estructura heterogénea a partir de la combinación de varios materiales. En ambos casos la respuesta será siempre unitaria ante esfuerzos de flexión.

PANEL: Capa situada en la hoja interior y que asume las acciones horizontales y el peso propio del conjunto de la fachada.

LAMINA: Plano formado por un único material. Puede estar incorporado a una capa o definir el solo una capa simple.



ESPECIALIZACIÓN: Adecuación de las propiedades de una lámina a la satisfacción de una única función. Tanto se puede producir en una de las láminas que forman la capa como en una capa simple y, por lo tanto, monofuncional.

SEGREGACIÓN: Proceso por el cual una función deja de ser resuelta por la capa principal y, o bien se integra en otra capa, o pasa a ser resuelta por una nueva, especializada para tal fin.

OPTIMIZACIÓN: Búsqueda de la máxima eficiencia del elemento constructivo a partir de la economía de espacio, material y energía. La optimización se puede producir tanto en elementos multifuncionales como especializados.

FUNCIÓN: Tarea que debe satisfacer, en este caso, el cerramiento o alguna de sus partes.

FUNCIÓN DE ACONDICIONAMIENTO: Función relacionada con el control de flujos, tanto de material como de energía, a través del cerramiento.

FUNCIÓN DE SERVICIO: Función relacionada con la condición de soporte material del cerramiento, apto para la incorporación de otros elementos.

REQUERIMIENTO: Exigencia no funcional. Ej: Espesor, peso, coste, color, textura, etc.

CARACTERÍSTICA: Condición indispensable para que se puedan satisfacer las funciones o requerimientos durante el tiempo de vida útil del edificio y según las demandas de la sociedad. Ej: Durabilidad, bajo impacto ambiental, salubridad, etc.

BIBLIOGRAFÍA.

1. CYRIL SWEETT - Global knowhow. *Kingspan Off-site Architectural Facade Benchmark Study Issue Report*. Agosto 2006. Reference IM/240806/15612/Word.
2. KIERAN, Stephen; and TIMBERLAKE, James. *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*. New York: McGraw-Hill, 2004. ISBN 007143321X.
3. *Projecte Casa Barcelona 2005*. Edición: Construmat – Fira de Barcelona. ISBN 84-933114-7-2 DL B-8615-2006.
4. PARICIO, Ignacio. *La Construcción de la Arquitectura – Vol. 2 “Los Elementos”*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITEC. 3ª edición Marzo 1996.
5. AVELLANEDA, Jaume, PARICIO, Ignacio. *Los revestimientos de piedra*. Ed. Bisagra, 1999.
6. PARICIO, Ignacio. *Construcciones para iniciar un siglo*. Ed. Bisagra, 2000.
7. AVELLANEDA, Jaume. *Façanes lleugeres ventilades. Criteris per al disseny constructiu*. Papers de Construcció, 1997 – Departament de Construccions Arquitectòniques I.
8. AVELLANEDA, Jaume. *Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras con juntas abiertas*. I Congreso de Ventanas y Fachadas ligeras, 1997. Centro de Investigación Tecnológica, CIDEMCO .
9. A.J. BROOKES. *Cladding of buildings*. Construction Press, London and New York. 1983.

10. RUSSELL, Barry. *Building Systems, Industrialization, and Architecture*. John Wiley & Sons. London, New York, Sydney, Toronto. 1981.
11. BROCK, Linda. *Designing the exterior wall. An architectural guide to the vertical Envelope*. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
12. JIMÉNEZ MONTOYA, Pedro. *Hormigón Armado*. 5ª ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1970.
13. ORCHARD, Dennis F. *Concrete Technology*. 4th ed. London: Applied Science, 1979. ISBN 0853348375.
14. WEBER, Helmut; and HULLMANN, Heinz. *Porenbeton Handbuch*. ISBN-10: 3762535205 ISBN-13: 978-3762535201
15. MOAVENZADEH, Fred. *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*. MIT, Cambridge, MA, USA. Pergamon Press. ISBN-10: 0262132486 ISBN-13: 978-0262132480
16. ADDLESON, Lyall; and RICE, Colin. *Performance of Materials in Buildings: A Study of the Principles and Agencies of Change*. Oxford England; Boston: Butterworth-Heinemann, 1991. ISBN 0750619619.
17. GUSTAFSON, J.A. (Chairman); BAY, R.D.; CREED T.C.; OPBROEK, E.G.; SKOG, F.I.; GUSTAFSON D.P. (Editor). *Reinforced Concrete Fire Resistance*. CRSI - Concrete Reinforcing Steel Institute, Chicago, Illinois, USA.
18. *Manual De Producto: Fachadas Ligeras*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas ASEFAVE, 2006. ISBN 8481434655.

19. DHIR, R.K.; *Durability potential of lightweight aggregate concrete*. University of Dundee. Concrete ISSN 0010-5317. 1987, vol. 21, nº4. Concrete Society, Slough, ROYAUME-UNI (Revista)
20. KAYALI, O.; HAQUE, M.N.; ZHU B. *Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete*. Cement & concrete composites ISSN 0958-9465. 2003, vol. 25, nº2, pp. 207-213. Elsevier Science, Oxford, ROYAUME-UNI (Revista)
21. GAO, J.; SUN, W.; MORINO, K. *Mechanical Properties of steel fiber-reinforced, High-strength, lightweight concrete*. Cement & concrete composites ISSN 0958-9465. 1997, vol. 19, pp. 307-313. Elsevier Science, Oxford, ROYAUME-UNI (Revista)
22. BALENDRAN, R.V.; ZHOU, F.P.; NADEEM, A.; LEUNG, A.Y.T. *Influence of steel fibers on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete*. Building and Environment ISSN 0360-1323. 2002, vol. 37, nº12, pp. 1361-1367 Elsevier, Oxford, ROYAUME-UNI (Revista)
23. R. ARAUJO y X. FERRÉS. *Muro Cortina*. Tectónica nº16 – Diciembre 2003. (Revista)
24. BAGHERI, H. (KTH, Architecture). *Prestressed hybrids of AAC and HPC: The BCE (Block Composed Element) building system. A conceptual study*. Royal Institute of Technology. School of Architecture and Built Environment, Stockholm. 2006. ISBN 91-7178-441-1 (Tesis)
25. G.O. HANDEGORD. *The Performance of Exterior Walls*. Building Science Forum – 1982. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.
26. HUTCHEON, N.B. *Fundamental Considerations in the Design of Exterior Walls for Buildings*. Annual Meeting of the Engineering Institute of Canada, Halifax, May 1953. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.

27. G.A. CHOWN, W.C. BROWN y G.F. POIRIER. *Evolution of Wall Design for Controlling Rain Penetration*. Construction Technology Update No. 9, Dec. 1997. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.
28. M.Z. ROUSSEAU, G.F. POIRIER y W.C. BROWN. *Pressure Equalization in Rainscreen Wall Systems*. Construction Technology Update No. 17, July 1998. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.
29. W.C. BROWN, G.A. CHOW, G.F. POIRIER y M.Z. ROUSSEAU. *Designing Exterior Walls According to the Rainscreen Principle*. Construction Technology Update No. 34, 1999. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.
30. G.K. GARDEN. *Rain Penetration and his control*. Canadian Building Digest nº 40, 1963. National Research Council Canada - Institute for Research in Construction.
31. MACKECHNIE, J.R.; SAEVARSDOTTIR, T. *New insulating precast concrete panels*. Canterbury University, New Zealand. SB07 New Zealand Sustainable Building Conference 2007. Paper number: 065. (Ponencia)
32. RIVERA LOZANO, J. *Aislamientos térmicos reflectivos*. CEMCO – XVII Edición: *Curso de Estudios Mayores de la Construcción. La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. Seminario S8 – Evaluación de productos innovadores de construcción: DIT, DITE y DIT plus*. Madrid abril 2007. Instituto Eduardo Torroja.
33. *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Ministerio de la Vivienda, Madrid: BOE, 2008. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. ISBN 9788434017375 Colección: Separatas del Boletín Oficial del Estado.
34. *Criterios para la interpretación y aplicación del DB-SI – Seguridad en caso de incendio del CTE*. Ministerio de la Vivienda.

35. *Ordenança Reguladora De Les Condicions De Protecció Contra Incendis* [Recurso Electrónico]: Aprovada Definitivament Pel Plenari Del Consell Municipal De l'Ajuntament De Barcelona En Sessió De 29 De Febrer De 2008. En: BOPB. N. 83 (5 Abr. 2008).
36. España. Dirección General para la Vivienda y Arquitectura. *Revestimientos: R: Diseño, Cálculo, Construcción, Valoración, Control, Mantenimiento*. 5ª ed. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Dirección General para la Vivienda y Arquitectura, 1991. ISBN 8474334489.
37. SANZ, Enrique; and Hispalyt. *Manual: Ejecución De Fachadas Con Ladrillo Cara Vista*. Madrid: Hispalyt, 1998.
38. Asociación Española de Normalización y Certificación. *Eurocódigo 1 : Bases De Proyecto y Acciones En Estructuras. Parte 2-4, Acciones En Estructuras, Acciones Del Viento*. Madrid: AENOR, DL, 1998.
39. Asociación Española de Normalización y Certificación. *Eurocódigo 2 : Proyecto De Estructuras De Hormigón. Parte 1-4, Reglas Generales: Hormigón De Árido Ligero De Textura Cerrada*. Madrid: AENOR, DL, 1996.
40. Asociación Española de Normalización y Certificación. *Eurocódigo 2 : Proyecto De Estructuras De Hormigón. Parte 1-2, Reglas Generales: Proyecto De Estructuras Frente Al Fuego*. Madrid: AENOR, DL, 1996.
41. Asociación Española de Normalización y Certificación. *Eurocódigo 2 : Proyecto De Estructuras De Hormigón. Parte 1-1, Reglas Generales y Reglas Para Edificación*. Madrid: AENOR, DL, 1993.
42. *DAU 03/012*. Titular del DAU: Xella Thermpierre SA; Denominación comercial: Ytong-Sipoerx. ITeC.

43. *DAU 09/051 A*. Titular del DAU: Knauf GmbH España; Denominación comercial: Aquapanel® Outdoor Sistema W384. ITeC.
44. *DIT 478*. Aislamiento térmico reflectivo POLYNUR HR para cerramientos con cámara de aire (cubiertas, fachadas y suelos o techos). Instituto Eduardo Torroja.
45. *DIT 185*. Sistema para cerramiento ligero de fachadas con panel plano PERFRISA. Instituto Eduardo Torroja.
46. *DIT 367-R*. Sistema DRACE para cerramiento de fachadas con paneles prefabricados de G.R.C. Instituto Eduardo Torroja.
47. *DITE 06/0138 KLH* – Marca comercial: KLH Paneles de madera contralaminada. Österreichisches Institut für Bautechnik.
48. *BRE Certification 118/06 Supplement 2*. Kingframe Offsite Architectural Façade Systems with approved rainscreen systems. Enero 2006. Kingspan Metl-Con Ltd.