

GUÍA TÉCNICA

El hormigón celular YTONG, material de construcción



YTONG

multipor

Índice

Introducción p. 5

1. Datos generales p. 6

- 1.1. Historia p. 6
- 1.2. Composición del material p. 7
- 1.3. Fabricación p. 8
- 1.4. Documentos de referencia para consultar p. 9

2. Características físicas y mecánicas p. 10

- 2.1. Estructura del hormigón celular YTONG p. 10
- 2.2. Densidad y resistencia a la compresión p. 11
- 2.3. Propiedades físicas p. 12

3. Control del confort térmico p. 16

- 3.1. Acumulación de calor y enfriamiento p. 16
- 3.2. Coeficiente de penetración de calor:
 - conductividad térmica p. 16
- 3.3. Comportamiento de enfriamiento p. 17
- 3.4. Aislamiento térmico en verano p. 17

4. Medio ambiente y sostenibilidad p. 18

- 4.1. Análisis del ciclo de vida (ACV) p. 18
- 4.2. El hormigón celular YTONG y el enfoque HQE p. 18
- 4.3. Indicadores p. 21
- 4.4. Comentarios sobre los principales indicadores p. 22
- 4.5. Higiene y salud p. 23

5. Estructuras de hormigón celular YTONG p. 24

- 5.1. Introducción p. 24
- 5.2. Los elementos constructivos para las cargas verticales: muros de carga p. 24
- 5.3. Los elementos constructivos para las cargas horizontales: muros de cortante o de arriostramiento p. 28
- 5.4. Dinteles p. 29
- 5.5. Estructuras YTONG en zonas de riesgo sísmico p. 30
- 5.6. Las placas armadas de hormigón celular YTONG p. 31

6. Muros no estructurales YTONG p. 39

- 6.1. Ámbito de empleo de muros no estructurales p. 39
- 6.2. Metodología de dimensionamiento de muros no estructurales p. 39
- 6.3. Ejemplo de cálculo p. 40
- 6.4. Tablas de consulta p. 41
- 6.5. Refuerzo de muros p. 41
- 6.6. Fijaciones p. 42
- 6.7. Reducción de puentes térmicos p. 42

7. Características térmicas p. 43

- 7.1. La limitación de la demanda energética y las nuevas reglamentaciones p. 43
- 7.2. El aislamiento térmico p. 44
- 7.3. Puentes térmicos p. 48
- 7.4. Comportamiento térmico en condiciones reales: la inercia térmica p. 50
- 7.5. Protección frente a la humedad p. 54

8. Características acústicas p. 57

- 8.1. Introducción p. 57
- 8.2. Principios generales p. 57
- 8.3. Definiciones: aislamiento a ruido aéreo y aislamiento a ruido de impactos p. 58
- 8.4. Exigencias de la normativa p. 61
- 8.5. Soluciones del sistema de construcción YTONG p. 62
- 8.6. Absorción acústica p. 64
- 8.7. Resumen de índices de aislamiento acústico de elementos divisorios de hormigón celular YTONG p. 65

9. Resistencia al fuego p. 68

- 9.1. Definiciones y requerimientos de la normativa p. 68
- 9.2. Las características del hormigón celular YTONG p. 69

10. Sistema de construcción YTONG p. 72

- 10.1. Elementos para muros portantes p. 72
- 10.2. Placas de forjado y cubiertas p. 75
- 10.3. Elementos no portantes p. 77
- 10.4. El mortero-cola PREOCOL p. 78

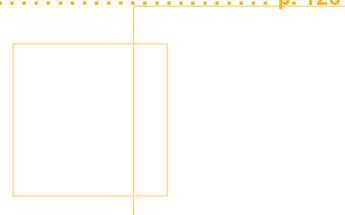
11. Sistema de aislamiento térmico exterior (SATE) con paneles aislantes minerales Ytong Multipor p. 79

12. Acabados p. 84

- 12.1. Acabados exteriores p. 84
- 12.2. Acabados interiores p. 88
- 12.3. Rozas p. 88
- 12.4. Fijaciones p. 89

13. Detalles técnicos p. 92

14. Oficina técnica YTONG y formaciones p. 120



El hormigón celular YTONG, material de construcción



El hormigón celular fabricado por Xella es un material de construcción de elevada flexibilidad de uso y excelentes cualidades físicas, permitiendo a los profesionales responder con gran eficacia a las necesidades del mercado.

El hormigón celular YTONG combina resistencia y aislamiento en un solo material, siendo posible aumentar considerablemente la velocidad de ejecución de la obra gruesa y agregando un valor añadido a la obra.

Esta guía ha sido desarrollada con el fin de dar apoyo a los prescriptores, sacar el mayor provecho y obtener el mejor rendimiento utilizando el hormigón celular YTONG en sus proyectos de obra nueva y de rehabilitaciones, tanto a nivel residencial como a nivel de obra industrial.

La guía hace especial énfasis en el Código Técnico de la Edificación (CTE), la aplicación de los documentos básicos que afectan al sistema constructivo, y el empleo o la combinación de las soluciones YTONG para dar cumplimiento a los mismos. Aparte se incluye un amplio capítulo con los detalles técnicos más habituales.

1. Datos generales



1.1. Historia

El hormigón celular YTONG que conocemos actualmente surgió de la combinación de dos invenciones anteriores: el tratamiento en autoclave de la mezcla de arena, cal y agua y la aplicación de un agente de expansión sobre una mezcla de arena, cemento, cal y agua.

La primera invención data del 1880. Se le atribuye a W. Michaelis, que expuso una mezcla de cal, arena y agua al vapor de agua saturado, bajo alta presión. Así, logró crear silicatos de calcio hidratados resistentes al agua.

La segunda invención está referida a la expansión de morteros.

En 1889 se le adjudicó esta invención a E. Hoffmann.

En 1924, el arquitecto sueco J.A Eriksson comenzó a producir y a comercializar el hormigón celular YTONG, compuesto de una mezcla de arena fina, cal y agua, con una pequeña cantidad de polvo metálico. Tres años más tarde, combinó este procedimiento con el curado en autoclave, tal como se describe en la patente de Michaelis.

El actual hormigón celular YTONG se obtuvo tras una tercera etapa:

la fabricación en serie de elementos de pequeño y gran formato, y de elementos reforzados, que se obtienen colocando en el molde, antes de la colada, armaduras metálicas anticorrosivas.

Para llegar a este fin, a mediados de los años 40 se desarrolló un método de producción que consiste en cortar los productos según las dimensiones deseadas mediante alambres de acero finos, muy tensos, lo que permite obtener un producto final de gran precisión.



1.2. Composición del material

Para fabricar el hormigón celular YTONG se utilizan las siguientes materias primas:

- Arena blanca muy pura (95% de sílice)
- Cal
- Cemento
- Agua
- Agente de expansión

Todas estas materias primas se encuentran en la naturaleza en gran cantidad. La cal, en presencia del agua, reacciona con la sílice de la arena, formando silicatos cálcicos hidratados, o tobermorita. La cal y el cemento actúan como aglomerantes. El agente de expansión, presente en forma de polvo muy fino (50 µm aprox.), en una ínfima cantidad (± 0,05%), sirve para que la pasta expanda y se creen células o alveolos, que se llenan de aire rápidamente.

En un medio alcalino, la reacción química que origina la expansión del hormigón celular YTONG es:



El aluminio fijado se transforma en alúmina y no representa ningún peligro, ya que los óxidos de aluminio son estables y constituyen el 7% de la corteza terrestre.

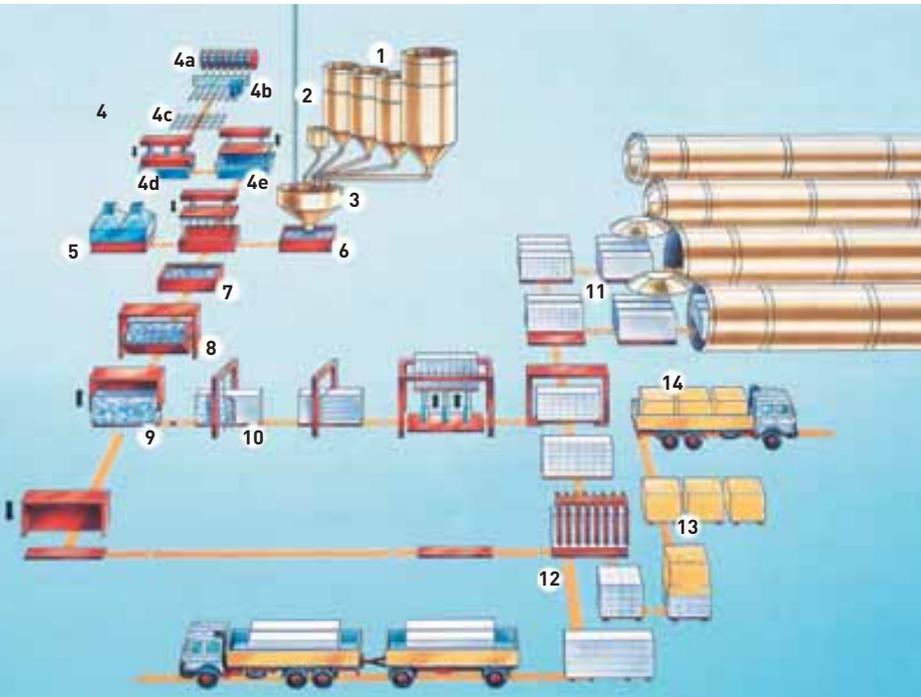
En promedio, la proporción de materias primas utilizadas durante la fabricación es la siguiente:

arena de sílice ≈ 70%,
 cemento ≈ 16%, cal ≈ 14%,
 agente de expansión ≈ 0,05%, agua

Según la densidad deseada, la proporción de los materiales varía levemente.

Ejemplo de análisis de una muestra de hormigón celular

SiO ₂ (dióxido de silicio, como cuarzo)	60,52%
Al ₂ O ₃ (trióxido de aluminio, como alúmina)	2,29%
Fe ₂ O ₃ (trióxido de hierro, como herrumbre)	0,77%
MnO (óxido de manganeso)	0,02%
MgO (óxido de magnesio)	0,23%
CaO (óxido de calcio, como cal viva)	25,61%
Na ₂ O (óxido de sodio)	0,05%
K ₂ O (óxido de potasio)	0,78%
SO ₃ (trióxido de azufre)	1,33%
Pérdida en la combustión	8,43%



1. Silo de almacenamiento
2. Agua
3. Mezcladora
4. Preparación de armaduras:
 - 4a- Desenrollado
 - 4b- Estiramiento, soldado
 - 4c- Montaje
 - 4d- Inmersión (anticorrosión)
 - 4e- Secado
5. Preparación de moldes
6. Colada
7. Expansión, endurecimiento
8. Basculamiento
9. Transbordo
10. Línea de corte con:
 - Rectificación
 - Corte horizontal
 - Corte vertical
 - Terminación
11. Curado en autoclave
12. Clasificación, embalaje y control de calidad
13. Almacenamiento
14. Carga

1.3. Fabricación

El hormigón celular YTONG se fabrica en unidades de producción de última generación. Para fabricarlo no se necesita mucha energía: la producción de 1 m³ de hormigón celular YTONG tratado en autoclave, consume sólo 250 Kw/h, lo que representa una cifra muy inferior a la de los ladrillos cerámicos macizos. De este modo la producción respeta el medio ambiente. Además, la fabricación no produce ningún gas tóxico, ningún residuo sólido y no contamina el agua.

Las principales fases de la fabricación son:

- Preparación, dosificación y mezclado de las materias primas
- Si se producen elementos armados, fabricación y tratamiento anticorrosivo de las armaduras
- Preparación de los moldes
- Colada, expansión y endurecimiento de la pasta
- Corte y perfilado de los productos
- Curado en autoclave
- Paletización y embalaje plástico.

Primero se vierte en los moldes una mezcla homogénea de las materias primas. Se deja reposar algunas horas hasta que la materia se endurezca lo suficiente para ser desmoldada. En este estado el bloque es equiparable a una torta y se realizan los cortes con alambres de acero, ya sea a lo largo, en el caso de elementos reforzados, o transversalmente, en el caso de bloques o modulbloques. Los productos obtenidos se someten durante 10 a 12 horas a un tratamiento térmico en autoclave, bajo una presión de 10 bares y a una temperatura de 180 °C aproximadamente.

En estas condiciones se produce una reacción higrótérmica, durante la cual se unen la arena y la cal, formando cristales de forma y composición muy particulares (tobermorita). Este tratamiento térmico en autoclave es el que le confiere al hormigón celular YTONG sus propiedades mecánicas definitivas. La gama de densidades se obtiene adaptando con precisión y rigor la dosificación de las materias primas. Cada fase del proceso de producción se controla en el laboratorio de la fábrica.

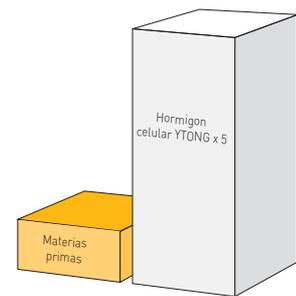
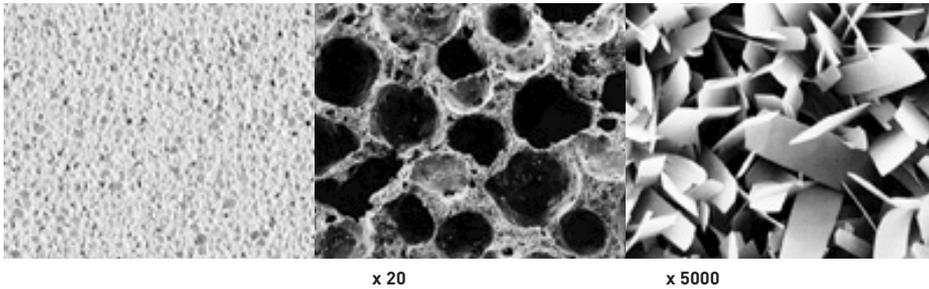
Estos controles comienzan al llegar las materias primas y finalizan con los productos terminados, realizándose también controles de calidad en todas las etapas intermedias. En Francia, las fábricas de la empresa están certificadas con las normas ISO 9001:2000 e ISO 14001.



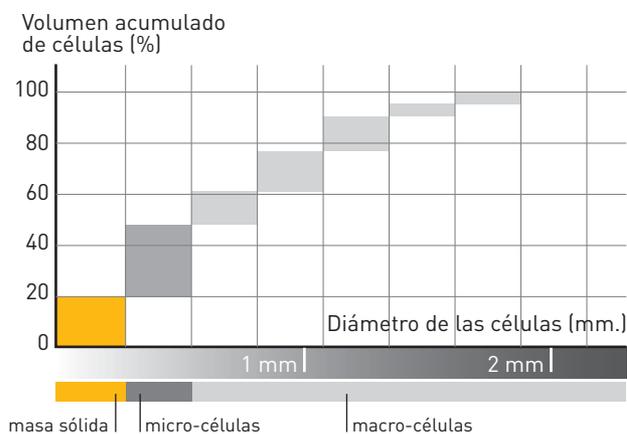
1.4. Documentos de referencia para consultar

- DAU 03 /12
- Código Técnico de la Edificación
 - DB SE-F (Seguridad Estructural Fábrica)
 - DB SE-AE (Acciones en la Edificación)
 - DB SI (Seguridad en caso de Incendio)
 - DB HS (Salubridad)
 - DB HE (Ahorro de Energía)
 - DB HR (Protección frente al Ruido)
- UNE-EN 771-4 : Bloques de hormigón celular curado en autoclave
- NCSE 02: Norma de construcción sismorresistente
- Eurocódigo 8: Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes
- Eurocódigo 6: Proyectos de estructuras de fábrica
- Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios

2. Características físicas y mecánicas



Distribución de las células en función de su diámetro



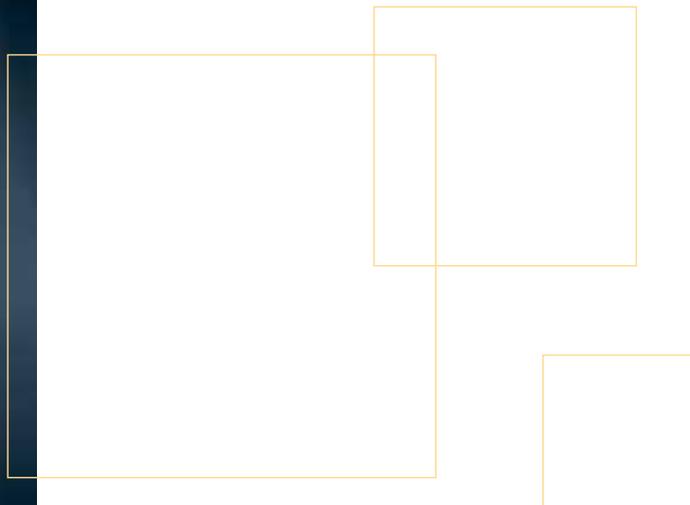
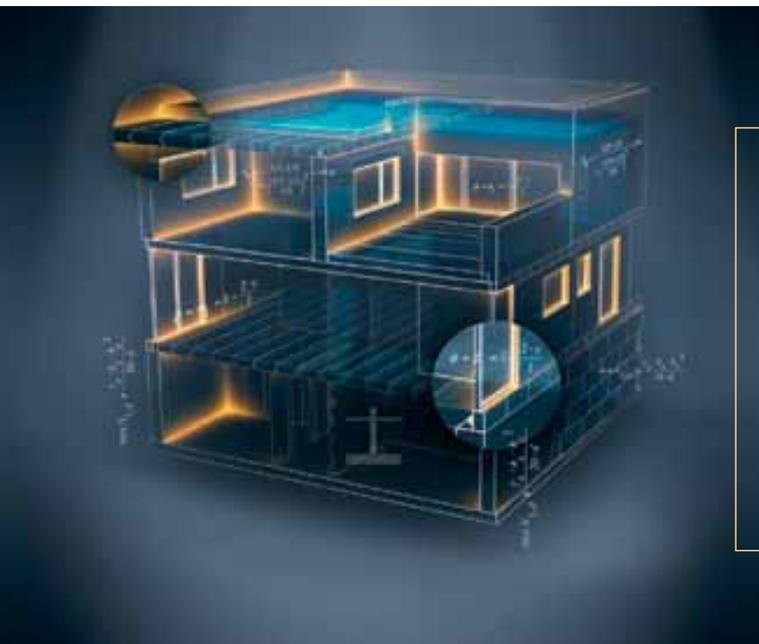
2.1. Estructura del hormigón celular YTONG

El factor determinante en la estructura del hormigón celular YTONG es la presencia de numerosas células o alveolos pequeños. Se fabrica con diferentes densidades, que pueden variar entre 350 y 800 kg/m³ (hormigón común = 2400 kg/m³). Las células ocupan un 80% del volumen total. Se distinguen dos tipos de células: las macro-células (0,5 - 2 mm.) y las micro- células, formadas durante la expansión del aire repartido en la estructura.

Para el hormigón celular YTONG de 500 kg/m³ de densidad, la distribución en volumen de las células es la siguiente:

- Macro-células: 50%
- Micro-células capilares repartidas en la masa sólida: 30%.

Las partes macizas representan un 20 % del volumen. Así, 1 m³ de materias primas permite producir 5 m³ de hormigón celular YTONG. Este ahorro de materias primas constituye una de las propiedades ecológicas del hormigón celular YTONG.



2.2. Densidad y resistencia a la compresión

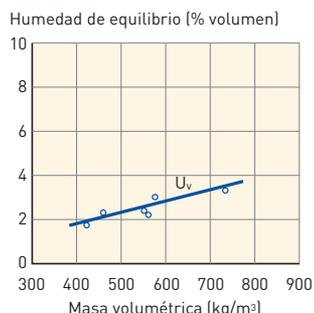
La norma europea armonizada para bloques de hormigón celular en autoclave (UNE-EN 771-4), a la que hace referencia el CTE en el DB SE-F, exige una resistencia a compresión declarada mínima de 1,5 Mpa.

El hormigón celular se caracteriza por una resistencia a la compresión muy elevada. La resistencia a compresión del hormigón celular varía en función de la densidad del material, siendo mayor con una densidad elevada.

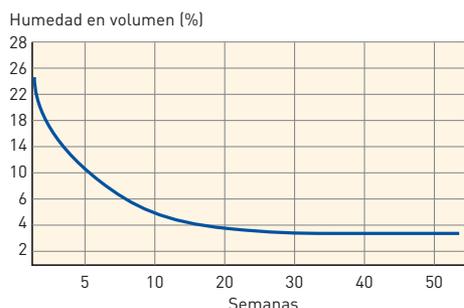
La resistencia de los muros del sistema de construcción YTONG permite realizar viviendas colectivas de varios niveles.

Densidad y resistencia a la compresión		
Densidad MVn kg/m ³	Resistencia a la compresión Rcn	
	kg/cm ²	MPa
350	30	3,0
400	30	3,0
450	35	3,5
500	40	4,0
550	45	4,5
600	50	5,0

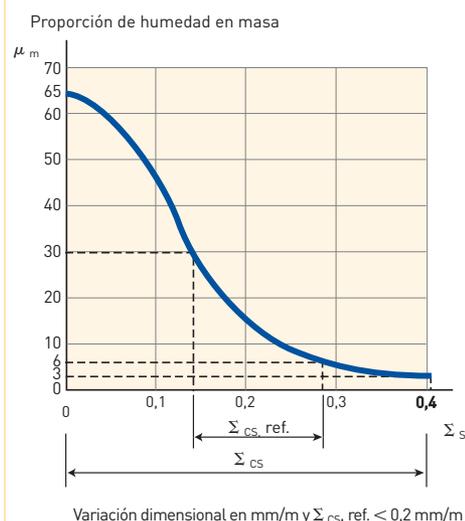
Proporción de humedad de equilibrio (en volumen) en función de la masa volumétrica



Curva de secado de los bloques de hormigón celular YTONG de 20 cm de espesor en temperatura ambiente interior



Retracción debida al secado del hormigón celular YTONG



2.3. Propiedades físicas

2.3.1. Secado y variaciones de dimensiones en función de la higrometría

Al salir del autoclave, el contenido de humedad del hormigón celular YTONG representa aproximadamente un 25% del volumen. Tres meses después, como puede verse en el siguiente gráfico, la mayor parte de la humedad desaparece, mientras que la construcción aún se encuentra en la etapa de obra gruesa. Al igual que muchos materiales de construcción, el hormigón celular YTONG presenta una retracción originada por el secado. En su caso, no supera los 0,2 mm/m.

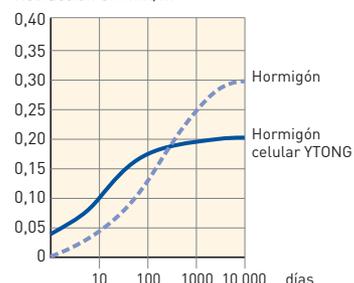
2.3.2. Variaciones de dimensiones originadas por el fraguado

El hormigón celular YTONG fragua en la autoclave, cuando se forman cristales de silicato de calcio hidratados (tobermorita), que le otorgan su resistencia característica. Las variaciones de dimensiones registradas durante el ciclo en autoclave son despreciables (<1μ/m).

2.3.3. Variaciones de dimensiones en función de la temperatura

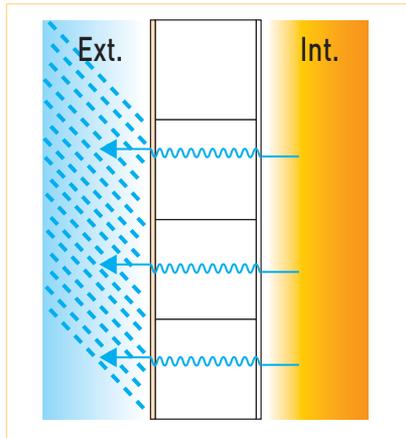
El coeficiente de dilatación lineal de un material es la variación de longitud de un elemento de 1 m con una variación de temperatura de 1°K. Para el hormigón celular YTONG, este coeficiente de dilatación es de $8 \cdot 10^{-6} \text{ mK}^{-1}$.

Retracción en mm/m



Valores indicativos de diferentes coeficientes de dilatación lineal en mK^{-1}

Hormigón	$10 \cdot 10^{-6}$
Hormigón celular	$8 \cdot 10^{-6}$
Ladrillo	$5 \cdot 10^{-6}$
Granito	$5 \cdot 10^{-6}$



Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)		
Material	seco	húmedo
Hormigón celular*	10	5
Ladrillo	16	10
Madera no resinosa	200	50
Hormigón armado	130	80
Hormigón en masa	150	120
Poliestireno expandido	60	60
Asfalto	50 000	50 000
PVC	50 000	50 000
Vidrio	∞	∞
Cubiertas metálicas	∞	∞

* Valores tabulados según EN 1745

2.3.4. Difusión del vapor (regulación higrométrica)

La difusión del vapor de agua a través de una pared tiene su origen en la diferencia de presión del vapor que existe entre las dos caras de esta pared. Todo material de construcción opone cierta resistencia a esta difusión y se expresa mediante el valor μ , denominado "coeficiente de resistencia a la difusión de vapor". El valor μ para el aire es 1. Este valor indica en cuánto es superior la resistencia de un material a la difusión del vapor con respecto a la de una capa de aire del mismo espesor. Para el hormigón celular YTONG, el valor varía entre 5 y 10, dependiendo de su masa volumétrica. Para un material impermeable, este valor es infinito (∞). Cuanto más bajo sea el valor μ , mayor será la difusión al vapor, que en consecuencia se evacua más rápidamente. Como el valor para el hormigón celular YTONG es muy bajo, se dice que es un material que

"respira". Constituye un verdadero regulador de humedad, ya sea suavizando el aire seco, mediante la difusión de vapor, o absorbiendo el exceso de humedad. De este modo contribuye a crear un ambiente sano y agradable en toda la casa.

2.3.5. Resistencia a los agentes químicos

La resistencia del hormigón celular YTONG a los agentes químicos es similar a la de todos los productos de hormigón.

2.3.6. Absorción de agua

Los materiales, al estar en contacto directo con el agua (incluyendo la lluvia), absorben por capilaridad, según la siguiente fórmula:

$$M(t) = A \cdot \sqrt{t_w}$$

$M(t)$ = agua absorbida por unidad de superficie (kg/m^2) durante un período t

A = coeficiente de absorción de agua ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$)

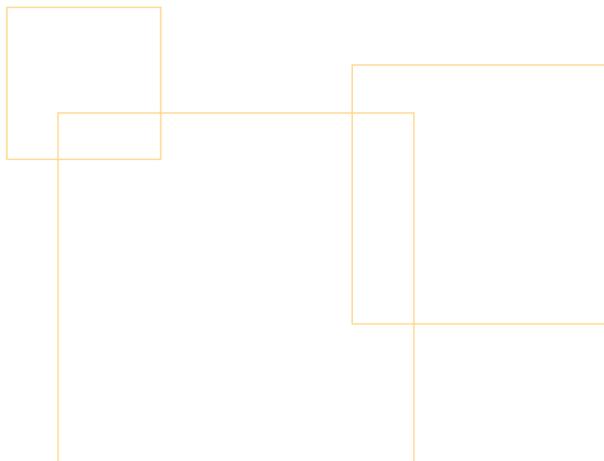
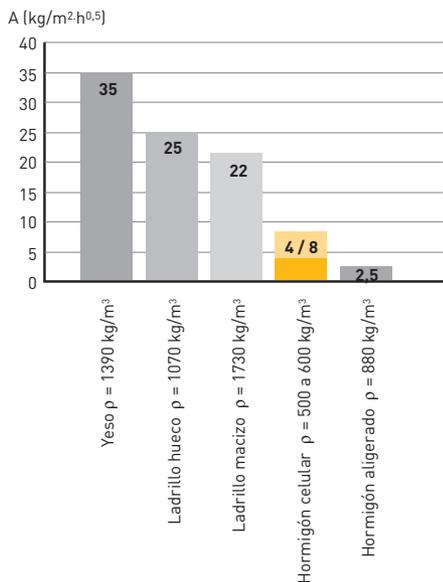
t_w = tiempo de contacto con el agua (segundos)

Absorción de agua de diferentes materiales



El valor A del hormigón celular YTONG varía entre $70 \cdot 10^{-3}$ y $130 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$. Es muy inferior al de la cerámica o al del yeso. El hormigón celular YTONG, al disponer de una estructura de poros cerrados, sólo absorbe agua a través de la materia sólida, que representa un 20 % del volumen. Esto hace que el proceso de absorción sea muy lento. Poco tiempo después de haber ocupado el edificio, la tasa de humedad en volumen, se estabiliza en un 2%. Si los muros exteriores de hormigón celular YTONG no están protegidos o tratados, esta tasa puede llegar a un 5%.

Coefficiente de absorción de agua de diferentes materiales



Valor de λ útil certificado

MVn kg/m³	Lambda : λ
350	0,090
400	0,100
450	0,110
500	0,125
550	0,140



Los valores de condiciones térmicas certificadas por el CERIB y el CSTB son determinados para un estado de equilibrio de 4% de humedad en masa o 2% en volumen. (CERIB = Centro de Estudios e Investigación de la Industria del Hormigón, CSTB = Centro Científico y Técnico de la Edificación)

2.3.7. Resistencia a la congelación y a la descongelación

Por lo general, los ciclos de congelación y descongelación no causan daños en el hormigón celular YTONG, gracias a su estructura celular y a la escasa capilaridad que ésta implica.

2.3.8. Resistencia al fuego

El hormigón celular YTONG es un material mineral ignífugo, cuyo punto de fusión se encuentra en los 1200°C, aproximadamente. Clasificación al fuego A1 (anteriormente M0).

2.3.9. Conductividad térmica

El coeficiente de conductividad térmica λ expresa la cantidad de calor que se transmite a través de un material de 1 m² de superficie y de 1 m de espesor, cuando la diferencia de temperatura entre las dos caras es de 1 grado Kelvin (símbolo K).

El valor λ depende del tipo de material y de la cantidad de humedad contenida. Cuanto menor es el valor λ de un material, mayor es su capacidad de aislamiento térmico.

2.3.10. Inercia térmica

Además del aislamiento térmico de un edificio, existen otros parámetros que influyen sobre el confort térmico general: el tiempo de enfriamiento, la temperatura superficial, la atenuación térmica y el desfase. El conjunto de estos parámetros se denomina "inercia térmica" y se desarrolla en el capítulo dedicado a las características térmicas (Capítulo 7).

Módulo de Young de varios materiales corrientes	
Materiales	Módulo (MPa)
Acero de construcción	210 000
Hormigón	27 000
Ladrillo	14 000
Roble	12 000
Kevlar	34 500

Para densidades mas corrientes	
MVn / R _c	E _o en N/mm ²
350 / 3,0	1 000
400 / 3,0	1 200
500 / 4,0	1 700

2.3.11. Condensaciones

En condiciones de utilización normales del hormigón celular YTONG, no se observan problemas de condensación en los muros exteriores.

2.3.12. Módulo de Young

Existen diversas fórmulas que proporcionan el módulo de elasticidad E del hormigón celular YTONG, en función de su densidad y de su resistencia a la compresión. El valor E está influenciado por el porcentaje de humedad que contiene el material. Este porcentaje también influye sobre la resistencia a la compresión. La siguiente fórmula da un valor bastante aproximado del módulo de elasticidad del hormigón celular YTONG cuando su densidad es de 400-700 kg/m³, con una tasa de humedad que representa el 3 al 10% del volumen:

$$E_o = k \rho_{\text{seco}} \sqrt{\sigma'}$$

donde:

E_o = módulo de elasticidad tangente en MPa

ρ_{seco} = densidad aparente en seco, kg/m³

σ' = resistencia a la compresión en MPa

k = 1,5 a 2

El módulo de deformación instantánea del hormigón celular YTONG, en seco (E_i), está determinado por la relación:

$$E_i = 1,5\mu \sqrt{k \cdot f_c}$$

donde:

E_i y f_c se expresan en MPa

μ = densidad en seco en kg/m³

k·f_c = resistencia a la compresión promedio del hormigón celular YTONG en seco

k = 1,18

Datos físicos

Espesor (cm)	5	7	10	15	20	22,5	25	30	36,5	42
MVn (kg/m ³)	550	550	550	500	500	450	350	350	350	350
Difusibilidad al vapor de agua	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
Dilatación térmica 1/K	8 x 10 ⁻⁶									
Módulo elasticidad E (Mpa)	2300	2300	2300	1750	1750	1750	1000	1000	1000	1000
λ (W/mK)	0,14	0,14	0,14	0,125	0,125	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
U (W/m ² K)					0,56	0,204	0,34	0,29	0,24	0,21
Aislamiento acústico Ra (dBA)		35*	38*	39**	43,4**	45**	45**	47**	48**	49**
Resistencia a compresión (Mpa)	4,5	4,5	4,5	4	4	4	3	3	3	3
Carga máxima centrada (ton/ml)					16,8	18,9	16,5	19,8	24,1	27,7
Carga máxima descentrada (ton/ml)					11,2	12,6	11	13,2	16,1	18,5
Resistencia al fuego (minutos)		90	180	240	240	240	240	240	240	240

* valor calculado ** valor de ensayo

3. Control del confort térmico



3.1. Acumulación de calor y enfriamiento

En los materiales de construcción, existen otros factores, además del aislamiento térmico, que influyen en el ambiente interior: la capacidad de acumulación de calor y el comportamiento frente al enfriamiento. La siguiente comparación ilustra la correlación existente entre el aislamiento térmico, la acumulación de calor y el enfriamiento.

3.2. Coeficiente de penetración de calor: conductividad térmica

Un recinto se calentará más rápidamente, cuanto más pequeño sea el coeficiente de penetración térmica b de sus superficies murales, particularmente el de los muros exteriores. El coeficiente de penetración térmica b se define de la siguiente manera:

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho} \text{ en } \text{kJ/h}^{0,5} \cdot \text{m}^2\text{K}$$

c = calor específico del material
(para todos los minerales) 1000 J/kgK

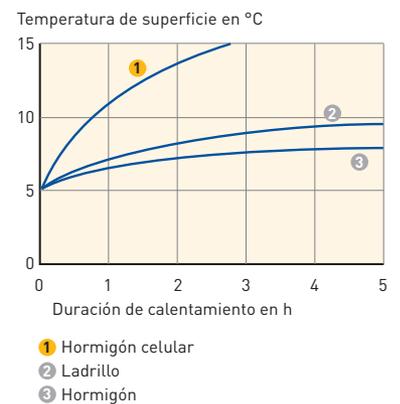
λ = valor de cálculo de la conductividad térmica (W/mK)

ρ = densidad aparente (kg/m³)

Calor específico						
Matériau	Espesor d (cm)	λ	ρ	Calor específico c	Cantidad de calor	Tiempo de enfriamiento
Hormigón celular	25	0,11	400	1,00	105	57,78 h
	30	0,11	400	1,00	126	83,34 h
Hormigón	30	2,03	2400	1,00	720	30,00 h
PSE	30	0,04	20	1,50	9	18,75 h

Espesor en m, λ en W/mk, Calor específico en kJ/kgK, Cantidad de calor en J/m²K
 Cantidad de calor almacenado = $Q_s = c \cdot \rho \cdot d$ (J/m²K)
 Tiempo de enfriamiento = $t_e = Q_s \cdot d/\lambda$ (h)

Curva de temperatura en superficie de diferentes materiales en función de la duración del calentamiento





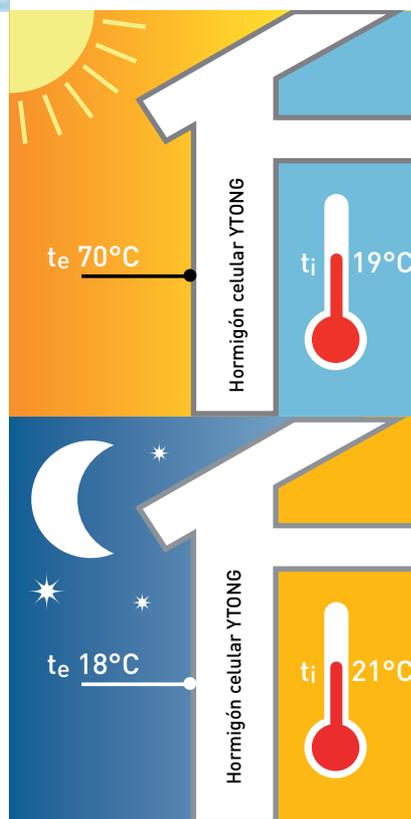
3.3. Comportamiento de enfriamiento

El comportamiento de enfriamiento depende de la difusividad térmica del material. Cuanto menor sea este valor, más rápidamente se enfriará la superficie de contacto del material con el exterior (ver tabla). De este modo, el material libera menos energía: la conserva más tiempo, para una superficie de contacto igual.

Difusividad térmica en m ² /sec.	
Aluminio	860,00 10 ⁻⁷
Madera	4,50 10 ⁻⁷
Hormigón celular	2,73 10 ⁻⁷

3.4. Aislamiento térmico en verano

En verano, los elementos estructurales están sometidos a fluctuaciones de temperatura muy importantes; ésta puede llegar, en casos extremos, a 70°C sobre la fachada. Para mantener un ambiente interior fresco y agradable, se deben reducir y equilibrar estas fluctuaciones dentro del edificio. Gracias a la conjunción favorable del aislamiento térmico, la capacidad de acumulación de calor y la masa del material de construcción, los muros del Sistema de construcción YTONG pueden minimizar estas fluctuaciones de temperatura. Como consecuencia, en verano garantizan un ambiente agradable y fresco, con temperaturas en equilibrio casi constante.



4. Medio ambiente y sostenibilidad



Eco-construcción	Eco-gestión	Confort	Salud
Relación armoniosa de los edificios con el medio ambiente inmediato	Gestión de la energía	Confort higrotérmico	Condiciones sanitarias
Elección integral de procesos y productos de construcción	Gestión del agua	Confort acústico	Calidad del aire
Obras poco contaminantes	Gestión de los residuos	Confort visual	Calidad del agua
	Gestión del cuidado y del mantenimiento	Confort olfativo	

La utilización del hormigón celular YTONG en la construcción permite aportar beneficios para la protección medioambiental en diferentes ámbitos (marcados en amarillo en la tabla).

4.1. Análisis del ciclo de vida (ACV)

En la actualidad, la calidad ambiental de un material de construcción forma parte de los criterios de calidad técnica, al igual que las prestaciones y la durabilidad. El mercado de la construcción se orienta cada vez más hacia soluciones innovadoras que permitan reducir el impacto sobre el medio ambiente y sigan las directrices de reducción de emisiones de CO₂ impulsadas por la Comunidad Europea. A petición de Xella, el CSTB⁽²⁾ realizó un análisis del ciclo de vida del hormigón celular YTONG. Las conclusiones de este estudio confirman oficialmente el carácter natural del hormigón celular YTONG, así como también el respeto de criterios energéticos y económicos durante su producción y utilización. Finalmente, el estudio concluye que este material se integra adecuadamente dentro de una perspectiva de desarrollo sostenible.

4.2. El hormigón celular YTONG y el enfoque HQE⁽¹⁾

La Alta Calidad Ambiental es un sello voluntario destinado a controlar los impactos de un edificio sobre el medio ambiente, garantizando al mismo tiempo a sus ocupantes condiciones de vida sanas y confortables, durante todo el ciclo de vida de la construcción. Lanzado en Francia hace algunos años, por el Plan urbanismo construcción y arquitectura (Puca) y el CSTB⁽²⁾, el enfoque de Alta Calidad Ambiental tiende a conciliar la protección del medio ambiente con la calidad de la construcción y la mejora de la calidad de uso.

Este enfoque ha sido formalizado por la asociación francesa HQE, en torno a catorce metas que permiten lograr dos grandes objetivos:

- Controlar los impactos sobre el medio ambiente exterior: metas eco-construcción y eco-gestión
- Crear un ambiente interior sano y confortable: metas de confort y de salud.

⁽¹⁾ HQE (Haute Qualité Environnementale) para Alta Calidad Ambiental

⁽²⁾ Centro Científico y Técnico de la Edificación (Francia)

4.2.1. Meta: elección integral de productos, sistemas y procesos de construcción

La norma europea que ha servido de referente para el ACV del hormigón celular YTONG apunta a favorecer esta elección. Los indicadores que permiten evaluar el impacto ambiental de la unidad funcional (UF) hormigón celular YTONG se detallan y explican en el punto 4.3.

4.2.2. Meta: obras poco contaminantes

La técnica de implementación del hormigón celular YTONG requiere un equipo de herramientas liviano y medios de mezclado transportables manualmente, lo que permite limitar las contaminaciones sonoras.

La colocación de los bloques con junta fina reduce la cantidad de agua necesaria para el preparado de la cola y minimiza el impacto producido por la limpieza de las herramientas al final del día.

Gracias a la facilidad de recorte por un lado, y a la posibilidad de utilizar los recortes durante la colocación de la fábrica, el hormigón celular YTONG permite reducir considerablemente la cantidad de residuos producidos en obra. Como el hormigón celular YTONG es un producto neutro, los restos pueden utilizarse de relleno en obra, sin ningún riesgo para el suelo. El hormigón celular YTONG es aceptado en los vertederos autorizados de residuos inertes. El aserrado en seco del hormigón celular YTONG con sierra de cinta o sierra térmica genera una pequeña cantidad de polvo y granulados, cuyo tamaño y composición no representan riesgos para los operarios.



Durante la ejecución se puede recuperar este polvo y mezclarlo con cola en partes iguales, para fabricar un mortero seco con el que se pueden rellenar las rozas fácilmente. Los análisis realizados sobre el polvo del hormigón celular YTONG muestran que no representa ningún peligro para el hombre.

4.2.3. Meta: gestión de la energía

La repercusión de la obra gruesa sobre las pérdidas energéticas de un edificio es de un 15 %. Un edificio bien aislado presenta grandes ventajas, ya que permite reducir las necesidades energéticas de los equipos de climatización. La pared de hormigón celular YTONG responde a esta exigencia, al mismo tiempo que cumple la función de muro de carga. Entre otras cosas permite reducir significativamente los puentes térmicos en las uniones forjado/muro exterior, cubierta/muro exterior, forjado/tabique y tabique/muro exterior (ver capítulo 7).

4.2.4. Meta: confort higrotérmico

Las ventajas del hormigón celular YTONG en este campo son innegables. Son el resultado de un óptimo equilibrio entre su rendimiento en materia de aislamiento y su inercia térmica. Estos aspectos fundamentales relacionados con el confort, tanto en verano como en invierno, se desarrollan en el capítulo 7.

4.2.5. Meta: confort acústico

El muro de hormigón celular YTONG responde a las exigencias acústicas definidas en las reglamentaciones actuales, tanto para viviendas unifamiliares como para viviendas colectivas pequeñas. Según los sistemas utilizados, los niveles de atenuación de ruidos de las paredes pueden variar entre 38 dB y 67 dB.



4.2.6. Meta: confort olfativo

Gracias al aislamiento térmico repartido en la masa y a los tratamientos de los puentes térmicos en las uniones, el muro de hormigón celular YTONG evita cualquier fenómeno de condensación que pueda generar moho y malos olores.

4.2.7. Meta: condiciones de salud de los espacios

Los logros del material en este campo se traducen en:

- Ausencia de compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Niveles de radioactividad muy inferiores a los valores europeos admisibles.

Radón y radioactividad gamma

Se realizaron mediciones sobre dos muestras de bloques de hormigón celular YTONG, producidos en sitios diferentes. En la tabla de la derecha pueden verse los valores promedio de actividad específica. A título indicativo, según el UNSCEAR*, las concentraciones promedio de ^{40}K , ^{226}Ra y ^{232}Th de la corteza terrestre son 400 Bq /kg., 40 Bq /kg. y 40 Bq /kg., respectivamente.

*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

Análisis en espectrometría „gamma“ de las muestras sólidas de hormigón celular

Muestras	Bloque 1	Bloque 2
^{40}K	33±5	218±16
^{226}Ra	9,4±1	12,5±1
^{232}Th	7,5±0,6	13,7±0,6
^{238}U	8,9±0,8	11,8±0,9
^{235}U	0,41±0,05	0,54±0,05
Indice I	0,08	0,18

*Medidas efectuadas en el ISN de Grenoble. (Bq/kg)

Emisiones radioactivas medianas (pCi/g) de diferentes materiales de construcción

	^{226}Ra	^{232}Th
Ladrillo	2,5	2,3
Hormigón	0,8	1
Yeso	19	0,7
Hormigón celular*	0,3	0,3

*Medidas efectuadas en el laboratorio de ciencias naturales de la Universidad de Gand Ci = $3,7 \cdot 10^{-10}$ Bq.

Resumen de las características sanitarias y de respeto del medio ambiente de los bloques en hormigón celular de 25 cm y 30 cm. de esp.

Unidad funcional (UF) = 1 m² de muro de carga y aislante de hormigón celular YTONG, o sea, 100 kg. de bloques de 25 cm. de espesor o 120 kg. de bloques de 30 cm. de espesor, ejecutados con mortero-cola, que garantiza durante 100 años (duración de vida normal) las características técnicas fundamentales mencionadas en esta tabla. Los valores de la tabla se expresan por anualidad.

Impacto ambiental	Unidad	Bloque espesor 25 cm.	Bloque espesor 30 cm.
Consumo de recursos energéticos			
Energía primaria total	MJ/UF	4,6	5,6
Energía renovable	MJ/UF	0,1	0,1
Energía no renovable	MJ/UF	4,5	5,5
Consumo de recursos no energéticos			
	kg/UF	1,4	1,7
Consumo de agua			
	l/UF	1,8	2,2
Residuos sólidos			
Residuos valorizados (total)	kg/UF	0,9	1,0
Residuos peligrosos eliminados	kg/UF	0	0
Residuos no peligrosos eliminados	kg/UF	0,2	0,3
Residuos inertes eliminados	kg/UF	0,2	0,3
Residuos radioactivos eliminados	kg/UF	0	0
Cambio climático			
	g eq. CO ₂ /UF	436	523,0
Acidificación del aire			
	g eq. CO ₂ /UF	0,568	0,670
Polución del aire			
	m ² /UF	9	10
Polución del agua			
	m ² /UF	7	9
Polución del suelo			
	m ² /UF	0	0
Destrucción del ozono estratosférico			
	g eq. CFC R11/UF	no pertinente	no pertinente
Formación de ozono fotoquímico			
	g eq. etileno/UF	0,073	0,093
Modificación de la biodiversidad			
	cualitativo	extracción de canteras en conformidad con las reglamentaciones ICPE	

Los valores de índice de actividad $I = AK/3000 + ARa/300 + ATh/200$ (con las tres actividades expresadas en Bq /kg) de los bloques de hormigón celular YTONG son muy inferiores al valor límite europeo de 0,5 (correspondiente a una dosis gamma recibida inferior a 0,3 mSv/año).

Según esto y la recomendación del informe 112 de la Comisión Europea, los bloques pueden clasificarse como productos exentos de toda restricción de utilización que pudiera resultar de una eventual radioactividad.

Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y aldehídos

Este ensayo fue realizado por el CSTB según el protocolo europeo ECA/IAQ, utilizando un muro modelo. Demuestra que el hormigón celular YTONG no contiene compuestos orgánicos volátiles.

El bloque de hormigón celular YTONG es totalmente neutro y no contribuye de ningún modo a la contaminación del aire de los edificios mediante COVs y aldehídos.

Microorganismos

El hormigón celular YTONG evita la aparición de moho gracias a dos razones: por su origen mineral y porque no está en contacto directo con el aire en el interior de los edificios.

Fibras y partículas

Al no tener fibras en su composición, los bloques de hormigón celular YTONG no originan emisiones de fibras o de partículas que puedan contaminar el aire en el interior de los edificios.

4.3. Indicadores

Los indicadores dependen directamente de criterios ambientales o de categorías ambientales elegidas. En el marco de este estudio, hemos retenido los ocho criterios obligatorios para todos los productos de construcción de la norma francesa:

- Consumo de recursos energéticos
- Consumo de recursos no energéticos
- Consumo de agua
- Residuos sólidos
- Cambios climáticos
- Acidificación del aire
- Polución del agua
- Polución del aire.

Hemos agregado las siguientes categorías de impacto, ya que nos parecían oportunas:

- Polución fotoquímica
- Polución del suelo.

4.4. Comentarios sobre los principales indicadores

Para simplificar, los siguientes comentarios se refieren al muro de hormigón celular YTONG de 25 cm. de espesor, que representa nuestro muro de referencia.



4.4.1. Consumo de recursos energéticos

Durante su ciclo de vida, el bloque en hormigón celular YTONG consume recursos energéticos: no renovables (90%) y renovables (10%). Durante este período, que dura 100 años, una unidad funcional (UF) de bloque en hormigón celular YTONG, o sea 1m² de muro, requiere 4,57 megajoules. Este valor es bajo, y eso se debe a que por un lado durante todo el proceso de fabricación se recicla energía, y por otro a que se pueden transportar grandes volúmenes de producto debido a su ligereza.

Para el hormigón celular YTONG los indicadores ambientales se pueden utilizar directamente, mientras que en las soluciones tradicionales multicapa hay que considerar los indicadores para la fábrica y los del aislamiento por separado.

4.4.2. Consumo de recursos no energéticos

El hormigón celular YTONG se fabrica a partir de arena, cal y cemento, que constituyen la estructura rígida del producto. Gracias a la multitud de burbujas de aire atrapadas en su estructura, el producto no sólo es aislante, sino también muy ligero (100 kg/m² de muro). Teniendo en cuenta estos elementos, la cantidad de recursos no energéticos consumidos es muy pequeña, del orden de 1,42 kg/UF. El bloque de hormigón celular YTONG utiliza recursos naturales disponibles en grandes cantidades: es completamente reciclable.

4.4.3. Consumo de agua

El consumo de agua necesario para la fabricación de una UF es de 1,83 l. El 99 % de esta agua se consume durante la fase de producción, en la elaboración de la mezcla y durante el tratamiento en autoclave. Este valor se mejora constantemente, gracias a los esfuerzos que realizan nuestros equipos, tanto para reciclar totalmente la materia, la energía y el agua durante el ciclo de fabricación, como para reducir los consumos de agua y de energía durante la obra. La colocación con junta fina (~2-3 mm.) permite reducir significativamente la cantidad de agua consumida.

4.4.4. Residuos sólidos

La masa de residuos producida por UF de hormigón celular YTONG es de 0,46 kg por anualidad. Estos residuos son inertes y no pueden contaminar el agua o el suelo. Los residuos provenientes de la fase de producción son valorizados en un 90 %.

Durante la implementación, gran parte de los recortes pueden volver a utilizarse directamente en la construcción. En cuanto al fin del ciclo de vida, es difícil prever qué técnicas de reciclaje se utilizarán dentro de cien años. De todas formas después de la separación de los residuos, el hormigón celular YTONG se puede reciclar completamente, utilizándolo como terraplén de cantera, relleno de carreteras, etc.

4.4.5. Cambio climático

Su principal causa se encuentra en la intensificación de un fenómeno natural, denominado efecto invernadero, originado por la actividad humana principalmente. El impacto generado por la fabricación de una UF es de 0,436 kg de CO₂ equivalente.

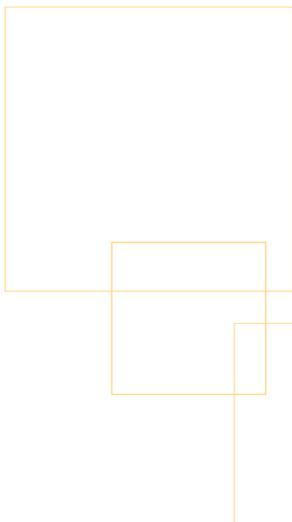
La principal fuente de energía utilizada durante la producción es el gas natural. La producción de CO₂ es pequeña en comparación con las emisiones provenientes de la actividad cotidiana. En efecto, el gas con efecto invernadero emitido durante el ciclo de vida de una casa en hormigón celular YTONG (muros interiores y exteriores) equivale a las emisiones producidas por una familia de cuatro personas, durante un mes aproximadamente (calefacción, electricidad y utilización del automóvil).

4.4.6. Acidificación de la atmósfera

Este indicador permite evaluar la contribución del producto a la acidificación del aire y, en consecuencia, a la generación de lluvias ácidas. En el caso del hormigón celular YTONG, este valor es muy pequeño.

4.4.7. Polución del aire

El volumen de aire contaminado durante el ciclo de vida de una UF es de 9 m³. Este impacto, para una casa de hormigón celular YTONG para cuatro personas, durante toda la duración de vida, equivale al de un recorrido de 100 km. en automóvil.



4.4.8. Polución del agua

El principio consiste en calcular el volumen hipotético de agua que se necesitaría en m^3 para diluir los residuos líquidos para adecuarlos al valor estipulado en los decretos. Se trata de un valor absoluto, que conviene cotejar con los de otros productos que cumplan una función equivalente.

4.4.9. Polución del suelo

Este criterio no se considera pertinente para los productos de construcción. Sin embargo, la introducción de datos sobre el suministro de energía llevó a considerar también este impacto. El principio consiste en calcular el volumen hipotético de agua que se necesitaría, en m^3 para diluir los residuos líquidos para adecuarlos al valor estipulado en los decretos y luego sumar los volúmenes hipotéticos así obtenidos. Esta suma representa el indicador de polución del suelo. Se expresa en m^3 de agua.

4.4.10. Formación de ozono fotoquímico

Esta categoría de impacto no se considera pertinente para los productos de construcción. Sin embargo, el transporte de éstos tiene su origen en ciertos productos contaminantes, como los hidrocarburos, que reaccionan con los fotones solares para formar ozono en la troposfera.

4.5. Higiene y salud

4.5.1. Termitas

Las termitas que se encuentran en las construcciones son termitas subterráneas que se alimentan de madera, papel, cartón, telas, en los que encuentran la celulosa necesaria para su metabolismo. El hormigón celular YTONG, siendo un material mineral, no posee celulosa en su composición. Esta ausencia de celulosa hace que las casas construidas con hormigón celular YTONG estén protegidas contra las invasiones de termitas.

4.5.2. Amianto

El amianto no se encuentra, ni siquiera en forma de traza, en la composición química del hormigón celular YTONG: $Ca_5 Si_6 (O,OH)_{18} 5H_2O$.

4.5.3. Campos electromagnéticos

Las construcciones en hormigón celular YTONG constituyen verdaderas protecciones frente a los efectos de los campos electromagnéticos. Frente a campos electromagnéticos de 50 Hz, tienen un índice de protección superior al 99 %.

Los chalets, las viviendas colectivas y los edificios industriales que se encuentran cerca de líneas eléctricas o de transformadores de alta tensión están sometidos a emisiones electromagnéticas artificiales de 50 Hz. Se han analizado otros materiales de construcción y las tasas medias de atenuación registradas fueron mucho menores, de un orden del 80 al 90 %, dependiendo de su composición y de la exposición.

5. Estructuras de hormigón celular YTONG

5.1. Introducción

El sistema de construcción YTONG dispone de todos los elementos necesarios para realizar edificios integrales con una estructura de hormigón celular:

- bloques para realizar muros de carga de diferentes espesores y densidades
- dinteles prefabricados portantes de hasta 3 m de longitud
- piezas especiales para realizar zunchos y dinteles de mayor longitud (bloques U y canales en U de hasta 6 m de longitud)
- piezas especiales para realizar zunchos verticales (bloques O), especialmente indicados para obras en zonas de riesgo sísmico moderado
- placas armadas y aislantes para forjados de diferentes espesores (hasta 6,75 m de longitud)
- placas armadas y aislantes para cubiertas de diferentes espesores (hasta 6,75 m de longitud)

A continuación se describe el funcionamiento y el comportamiento de las estructuras realizadas en hormigón celular YTONG.

Es importante señalar que los principios son esencialmente los correspondientes a edificios de elementos de fábrica y que para los muros de carga aplica el DB SE-F del CTE, teniendo en cuenta que adicionalmente, la modulación buscará eliminar al máximo los materiales y elementos tradicionales tales como pilares, vigas, jácenas de hormigón armado o perfiles metálicas.

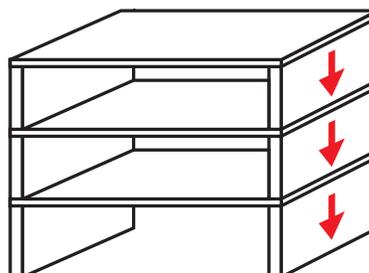


Los bloques de hormigón celular YTONG son piezas que cumplen con la normativa UNE EN 771-4:2000 (Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería Parte 4: Bloques de hormigón celular), normativa referenciada en el CTE, siendo su cumplimiento requisito para obtener los certificados CE.

5.2. Los elementos constructivos para las cargas verticales: muros de carga

5.2.1. El concepto de los muros de carga

Los muros de carga son los principales transmisores de las cargas verticales. En un edificio de varios niveles, la transmisión de cargas es vertical, descendente, lo que significa que los esfuerzos disminuyen conforme aumenta la altura.



Hay que indicar que los esfuerzos verticales en los muros resultan principalmente de la acción de las cargas verticales. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, las acciones horizontales como el viento, o eventualmente la acción de sismo, podrán representar una parte del esfuerzo vertical en los muros debido al momento de vuelco que inducen en la estructura.

Los muros de carga se deberán realizar con bloques de un espesor mínimo de 20 cm, siendo habitual el uso de bloques de 25cm de espesor y 400 kg/m³ de densidad para los muros de carga exteriores (buena combinación de aislamiento térmico y resistencia mecánica) y de bloques de 20cm de espesor y 500 kg/m³ de densidad para muros interiores de carga (buena combinación de aislamiento acústico y resistencia mecánica).

Para los muros entre viviendas y en caso de realizarse el muro de una sola hoja, es necesario el empleo de bloques de mayor espesor y densidad para aumentar el rendimiento acústico.



5.2.2 Comprobación de los muros de carga vertical

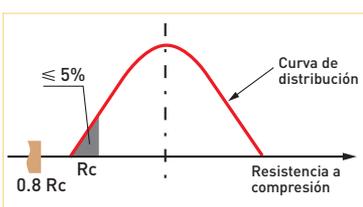
Cargas máximas admisibles

El cálculo de la resistencia a compresión de los muros de hormigón celular YTONG se realiza siguiendo el procedimiento indicado en el Documento Básico SE-F Fábrica del Código Técnico de la Edificación.

A continuación se describe de forma resumida el método de cálculo para la comprobación de la resistencia a compresión.

Resistencia a compresión normalizada de los bloques de hormigón celular

Para el cálculo de la resistencia a compresión normalizada se toma como base la resistencia a compresión declarada R_c , que corresponde al fractil 0,05 en la curva de distribución de los ensayos.



El valor R_c correspondiente al fractil 0,05 es la resistencia a compresión mínima que tendrán los bloques en el 95% de los casos. Aparte, ningún bloque tendrá una resistencia inferior al 80% del valor R_c .

Para pasar de la resistencia a compresión declarada a la resistencia a compresión normalizada, es necesario realizar el siguiente cálculo de conversión:

$$f_b = R_c \cdot \beta \cdot \delta \cdot \chi$$

$$R_c = 3,0 \text{ (Bloques de densidad 350 o } 400\text{kg/m}^3\text{)}$$

$$R_c = 4,0 \text{ (Bloques de densidad 500kg/m}^3\text{)}$$

$$\beta = 1,18 \text{ (Factor estadístico para pasar del valor declarado } R_c \text{ correspondiente al fractil 0,05, al valor medio)}$$

$$\delta = 1,0 \text{ (Factor de forma según UNE EN-772-1)}$$

$$\chi = 0,8 \text{ (Factor de conversión por condiciones de ensayo según UNE EN-772-1)}$$

Se trata de factores de corrección para calcular la resistencia normalizada a partir de los resultados de ensayo obtenidos bajo unas condiciones determinadas.

Aplicando estos factores se obtienen las siguientes resistencias normalizadas f_b [N/mm²]:

$$f_b = 2,83 \text{ (Bloques de densidad 350 o } 400\text{kg/m}^3\text{)}$$

$$f_b = 3,78 \text{ (Bloques de densidad 500kg/m}^3\text{)}$$

Resistencia a la compresión de los muros de fábrica de hormigón celular

Para calcular la resistencia de la fábrica hay que realizar los siguientes cálculos según el Anejo C Apartado 2 del DB SE-F del CTE.

En un primer paso se calcula la resistencia característica a compresión de la fábrica:

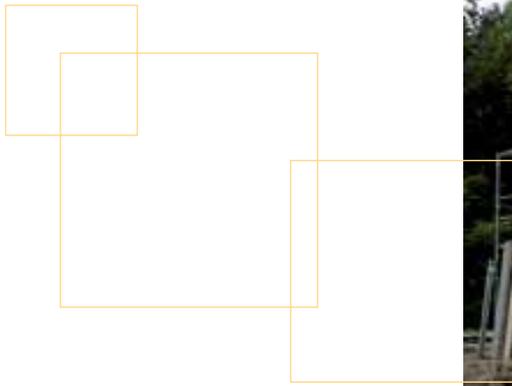
$$f_k = K \cdot f_b^{0,85}$$

(Con $K = 0,80$ para piezas de hormigón celular según EN 771-4: 2000 y f_b = resistencia normalizada a compresión de los bloques).

Aplicando estos factores se obtienen las siguientes resistencias características a compresión [N/mm²]:

$$f_k = 1,94 \text{ (Bloques de densidad 350 o } 400\text{kg/m}^3\text{)}$$

$$f_k = 2,47 \text{ (Bloques de densidad 500kg/m}^3\text{)}$$



Hay que destacar que el valor característico a compresión de la fábrica de junta fina YTONG está próximo al valor característico a compresión de los bloques. Este comportamiento difiere notablemente esta fábrica respecto a las fábricas de otros materiales, cuyas resistencias de fábrica suelen ser netamente inferiores a sus correspondientes resistencias de bloque. Esto se explica porque el hormigón celular YTONG es un material macizo y de densidad homogénea y porque las juntas de la fábrica son finas, ejecutadas con un mortero adaptado a las características del bloque, lo cual confiere una elevada homogeneidad e isotropía al sistema. Los ensayos realizados muestran valores de resistencia a compresión que son superiores a los previstos por el método de cálculo del Anexo C del DB SE-F.

Para pasar del valor característico al valor de diseño f_d , hay que aplicar el coeficiente de seguridad γ_M , que depende de la categoría del control de la ejecución y la categoría del control de la fabricación.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Los bloques de hormigón celular YTONG pertenecen a la categoría de control de fabricación I, ya que la probabilidad de que la resistencia a la compresión sea menor que la declarada es inferior a 5% y las probetas y los ensayos se han realizado según las normativas EN-771 y EN 772-1:2002.

Coeficiente parcial de seguridad γ_M

Control de ejecución	A	B	C
Control de fabricación Categoría I	1,7	2,2	2,7

La siguiente tabla muestra las resistencias de diseño en función de la densidad y el control de la ejecución:

Resistencia a compresión de diseño de fábrica f_d [N/mm²]

Control de ejecución	A	B	C
Densidad 350 o 400 kg/m ³	1,14	0,88	0,72
Densidad 500 kg/m ³	1,45	1,12	0,91

Capacidad de carga y comprobación de la resistencia

La comprobación de la capacidad de carga a acción vertical se realiza comparando la carga máxima admisible con la carga de diseño.

$$N_{sd} \leq N_{Rd}$$

N_{sd} = Compresión vertical de cálculo

N_{Rd} = Capacidad resistente a compresión vertical de cálculo

La capacidad resistente se calcula de la siguiente forma:

$$N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d$$

Φ = Factor de reducción del grueso del muro por esbeltez y/o de la excentricidad de la carga

t = Espesor del muro

f_d = Resistencia de cálculo a compresión

Las comprobaciones se tienen que realizar en cabeza y pie de muro por un lado, y a mitad de muro por otro. Para ambos casos es necesario calcular el factor de reducción Φ . El factor de reducción Φ deberá ser calculado para cada caso y tiene en cuenta la transmisión de momentos flectores desde el forjado al muro, la excentricidad por ejecución, la excentricidad por pandeo y el retranqueo del forjado de la fachada.

Sistema YTONG con aislamiento repartido

Los bloques de hormigón celular YTONG combinan un aislamiento repartido con una resistencia excepcional.

La siguiente tabla muestra la capacidad resistente en t/ml de muros YTONG para muros interiores y muros exteriores con factores de reducción ejemplares (el factor de reducción deberá ser calculado específicamente para cada caso según el apartado 5.2.4 DB SE-F del CTE):

Capacidad resistente en t/ml para muros interiores con $\phi = 0,75$ (*)						
Espesor	20 cm	22,5 cm	25 cm	30 cm	36,5 cm	42 cm
Densidad 350 o 400 kg/m ³	13,2	14,8	16,5	19,8	24,1	27,7
Densidad 500 kg/m ³	16,8	18,9	21,0	25,2	30,6	35,3

Capacidad resistente en t/ml para muros exteriores con $\phi = 0,50$ (*)						
Espesor	20 cm	22,5 cm	25 cm	30 cm	36,5 cm	42 cm
Densidad 350 o 400 kg/m ³	8,8	9,9	11,0	13,2	16,1	18,5
Densidad 500 kg/m ³	11,2	12,6	14,0	16,8	20,4	25,6

(*)Factores de reducción ϕ de ejemplo para muros interiores y muros exteriores. El factor de reducción ϕ deberá ser verificado en cada caso.

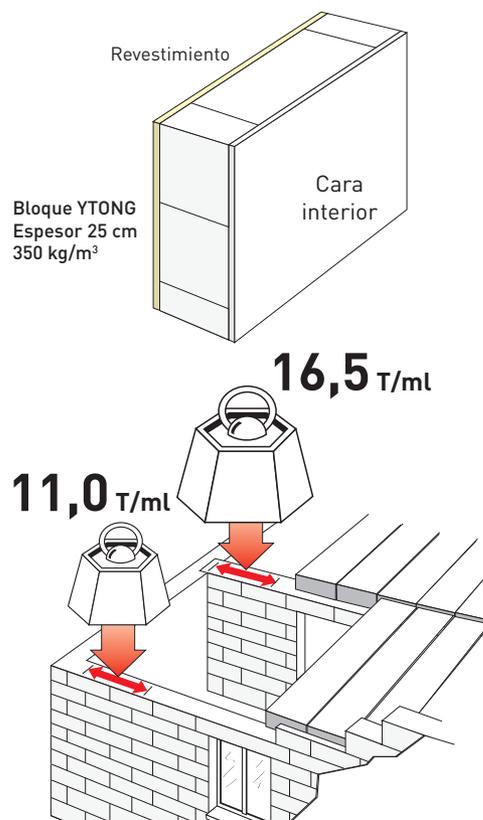
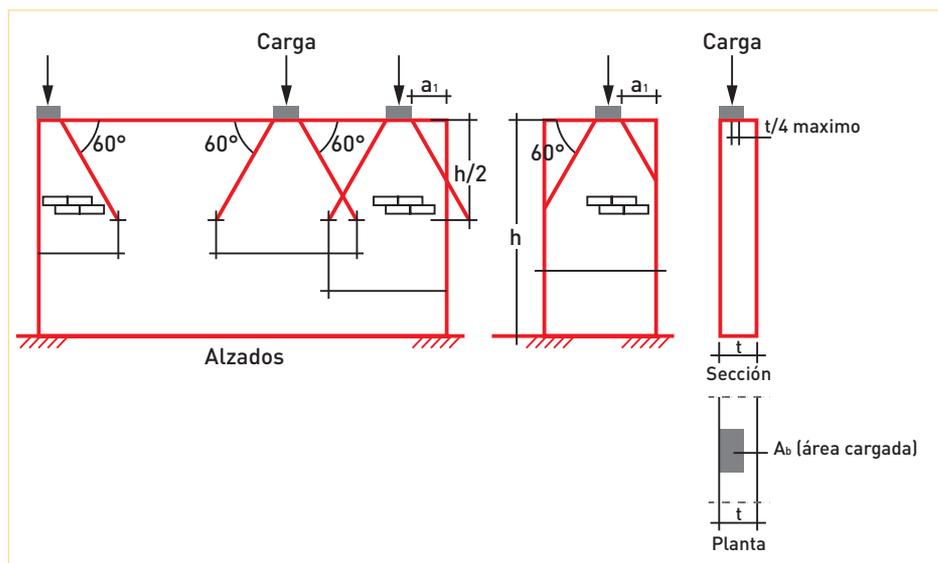
Cargas concentradas

En los muros sometidos a cargas concentradas (apoyo de dinteles, vigas, etc.), la tensión de cálculo alcanzada sobre la superficie de aplicación no podrá superar la resistencia de cálculo a compresión de la fábrica de YTONG.

Para muros realizados con bloques macizos, como es el caso en los muros de fábrica con bloques YTONG, la resistencia de cálculo podrá ser incrementada por un factor f según las ecuaciones dadas por la normativa.

La repartición de la carga se supone con un ángulo de 60° y deberán sumarse las cargas concentradas donde se solapan las áreas de repartición para la comprobación.

En el apartado 5.2.8 el DB SE-F se detalla el procedimiento para las comprobaciones a realizarse.



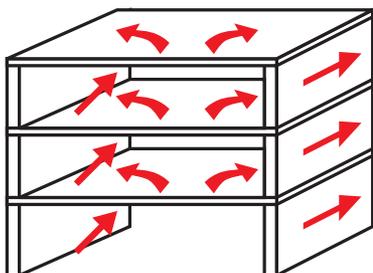
5.3. Los elementos constructivos para las cargas horizontales: muros de cortante o de arriostriamiento

Las cargas horizontales son aquellas que resultan de la acción del viento sobre la estructura, o eventualmente de la acción sísmica. Adicionalmente, el empuje de tierras sobre los muros de sótano también representa una carga horizontal.

La importancia de estas acciones en la estructura dependerá de la intensidad de la acción y la geometría de la estructura. En un edificio alto, estas acciones pueden ser determinantes para la estructura del edificio, por ejemplo en un edificio con una gran superficie expuesta al viento.

Es por esto que un edificio debe imperativamente poseer un sistema resistente para cargas horizontales, independientemente de su tamaño. En las estructuras de fábrica el sistema resistente para las acciones horizontales está formado por muros dispuestos en las dos direcciones principales.

En muchas ocasiones se hace referencia a estos muros llamándoles "muros de cortante".



Hay que destacar que los muros de carga asumen también el papel de muro de cortante, por lo que deberán absorber tanto el esfuerzo vertical como el esfuerzo cortante.

El muro de cortante resiste a la acción horizontal mediante deformaciones y esfuerzos en su plano. La aportación de estabilidad de los muros frente a la acción perpendicular que reciben se considera nula, y de ahí resulta la necesidad de disponer muros de cortante orientados paralelamente a las 2 direcciones principales del edificio.

En la mayoría de los casos, la rigidez y resistencia que proporcionan los muros de cortante a la estructura es suficiente para soportar las acciones horizontales. Para edificios altos, o para los que están en zonas de riesgo sísmico, sí es necesario efectuar una revisión especial de la resistencia a las acciones horizontales y recurrir, si resultara necesario, a combinar los muros con otro sistema resistente en la forma de marcos rígidos.

Para estabilizar una estructura frente a las cargas horizontales generadas por el viento, es necesaria la transmisión de la fuerza (que puede actuar en cualquier dirección) hasta la cimentación.

En un primer paso, la carga del

viento es absorbida por los paños de fachada, que a su vez transmiten esta carga a los elementos rígidos situados en sus bordes (muros perpendiculares y forjados). Los paños de fachada están sometidos a flexión bidireccional siguiendo el comportamiento de una placa sustentada en sus bordes. De ahí los esfuerzos se transmiten a los muros de cortante, por un lado por vía directa a través de los encuentros verticales de los muros, por otro lado a través de los forjados, en caso de que éstos funcionen como un diafragma rígido.

Hay que recalcar que los muros de cortante aportan gran estabilidad a la estructura, ya que los muros de cortante funcionan como una ménsula idealizada si nos imaginamos el edificio volcado 90°, correspondiendo la longitud de los muros al canto de la pieza a flexión.

En el sistema constructivo YTONG las placas armadas para forjado y cubierta de hormigón celular permiten garantizar la acción de diafragma rígido sin necesidad de realizar una justificación de cálculo, siempre y cuando se respeten unos límites geométricos y se cumplan una serie de requisitos constructivos que se detallan más adelante (apartado 5.5). En caso de no cumplirse estos criterios, el diafragma deberá ser justificado mediante cálculo.

5.4. Dinteles

Dinteles prefabricados

Los dinteles prefabricados de YTONG son elementos armados de hormigón celular de hasta 3 m de longitud, de una densidad de 550 kg/m³, fabricándose en los mismos espesores que los bloques. Hay que tener en cuenta que los dinteles nunca se deberán cortar en obra, por lo cual es necesario suministrarlos en las longitudes correctas. Los apoyos mínimos de los dinteles son de 20 cm para dinteles de hasta 1,75 m de longitud y de 25 cm para longitudes mayores.

Sobre el dintel y de forma visible figura siempre el sentido de colocación en obra del mismo. La marca "oben" significa arriba, con lo cual los bloques se colocan con las flechas hacia arriba. A su vez en los muros de fachada se deben colocar de forma que la marca sea visible desde el exterior.

La siguiente tabla muestra las cargas admisibles de los dinteles.

Elementos de encofrado para zunchos y dinteles

En el caso de que las aperturas sean mayores de 2,50 m o las sobrecargas hagan necesario una solución más resistente que la de los dinteles prefabricados, se podrán emplear los bloques en "U" o los dinteles en "U" de hasta 6 m de longitud como encofrado perdido. Estos últimos disponen de una armadura para soportar los esfuerzos de transporte y manipulación, que sin embargo no podrá ser tenida en cuenta en cálculo del zuncho.

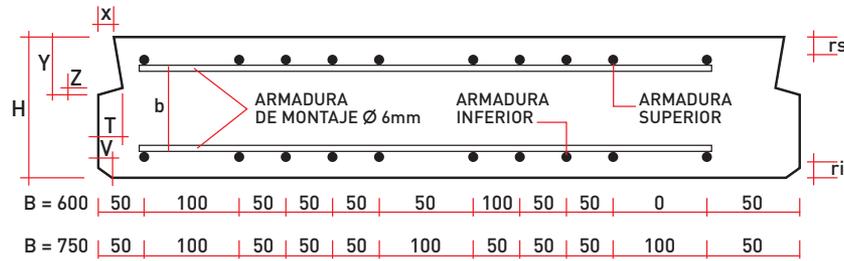
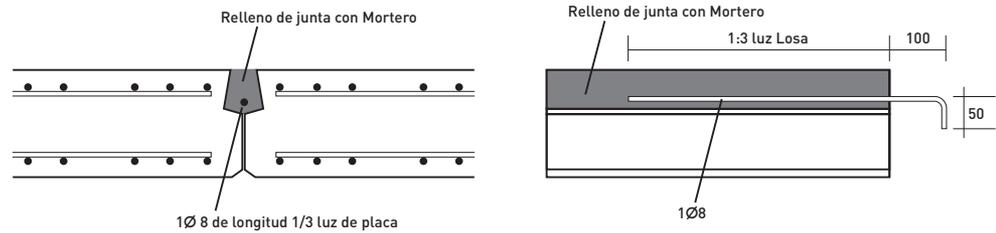


Cargas admisibles de los dinteles

Espesor (cm)	Longitud del dintel L (cm)	Luz máxima (cm)	Carga admisible (daN/m)*	Masa (kg)
20	130	90	1 800	55
	175	135	1 300	74
	200	150	1 400	84
	225	175	1 200	95
	300	250	900	126
25	100	60	3 000	53
	130	90	1 800	69
	175	135	1 400	92
	200	150	1 500	105
	225	175	1 300	119
30	300	250	900	158
	100	60	3 000	63
	130	90	1 800	82
	175	135	1 800	110
	200	150	1 600	126
36,5	225	175	1 200	143
	300	250	900	190
	130	90	1 800	100
	175	135	1 800	135
	200	150	1 600	154
	225	175	1 500	173

* 1 daN = 1 kg

Sección de una placa YTONG y detalle del relleno de juntas



Es importante señalar que los criterios generales en el diseño de los edificios (simetría, muros de cortante en ambas direcciones, continuidad de elementos portantes en sentido vertical de la estructura, limitación de huecos y distribución simétrica de los mismos, etc.) son de enorme importancia y pueden ser determinantes a la hora de comprobar la resistencia de la estructura frente a acciones sísmicas, especialmente si se quieren evitar elementos de refuerzo auxiliares (pilares o vigas de hormigón armado o metálicas) en estructuras de muros de carga.

Las pautas generales a tener en cuenta en el diseño están descritas en la normativa NCSE-02 y son válidas para toda tipología de estructuras.

5.6. Las placas armadas de hormigón celular YTONG

5.6.1. Introducción

Las placas armadas de YTONG son elementos portantes y aislantes para realizar forjados sanitarios, forjados entre plantas y cubiertas. Estas placas no requieren una capa de compresión ya que son autoportantes y directamente transitables una vez colocadas y solamente requieren el sellado de las juntas longitudinales.

Con esto se evita la necesidad de apuntalar y encofrar, aumentando considerablemente el ritmo de colocación frente a una solución tradicional.

Las placas van armadas con mallas de barras de acero soldadas de la categoría B500S que han sido sometidos a un tratamiento anticorrosivo. El recubrimiento mínimo de las armaduras es de 10 mm para una resistencia al fuego de 30 minutos.

Para aumentar la resistencia al fuego es necesario incrementar el recubrimiento hasta un máximo de 52 mm (resistencia 180 minutos).

Las barras son lisas y están ancladas al hormigón a través de las barras transversales soldadas a las barras longitudinales en las zonas de los apoyos. Es importante saber esto para entender que no es permisible cortar una placa en obra sin que esto haya sido tenido en cuenta en la fabricación, ya que las barras longitudinales deslizarían en el interior de la placa en el caso de que se haya eliminado la parte de placa donde están ubicadas las barras transversales.



Limitaciones de uso

- Las placas de forjado solo podrán ser empleadas con sobrecargas predominantemente estáticas, con lo cual se excluye su empleo bajo zonas de parking
- Las placas de cubierta de la clase GB3/500 solamente podrán ser empleadas para sobrecargas de uso de hasta 1 KN/m² (p.e. mantenimiento de cubiertas) y no deben recibir cargas de tabiquería
- Las placas de forjado podrán soportar sobrecargas de uso de 3,5 KN/m² (incl. sobrecarga de tabiquería). Según el DB SE-AE la sobrecarga para categoría de uso A (zonas residenciales) es de 2 KN/m² para viviendas y zonas de habitaciones en hospitales y hoteles.
- En caso de disposición de una capa de compresión de hormigón armado de 40 mm de espesor se podrán utilizar las placas con una sobrecarga máxima de 5,0 KN/m².

Gama de placas disponible y las características técnicas correspondientes

Placas de forjado		Tipo GB4/600
Densidad	[kg/m ³]	600
Resistencia a compresión	[Mpa]	5
Conductividad térmica	[W/mK]	0,16
Peso propio de cálculo incl. armadura y relleno de juntas	[kg/m ²]	720
Espesores	[cm]	20-24-30
Anchura mínima	[cm]	30
Anchura máxima	[cm]	75
Longitud máxima	[cm]	675
Flecha		1/500
Placas de cubierta		Tipo GB3/500
Densidad	[kg/m ³]	500
Resistencia a compresión	[Mpa]	5
Conductividad térmica	[W/mK]	0,13
Peso propio de cálculo incl. armadura y relleno de juntas	[kg/m ²]	620
Anchura mínima	[cm]	30
Anchura máxima	[cm]	75
Espesores	[cm]	10-12,5-15-17,5-20-24-30
Longitud máxima	[cm]	675
Flecha		1/400

5.6.2. Criterios estructurales: placas de forjado

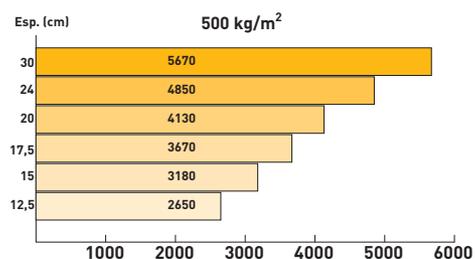
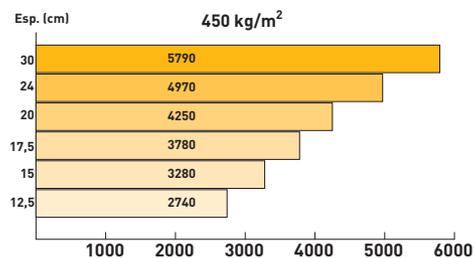
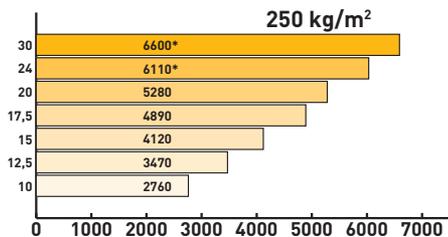
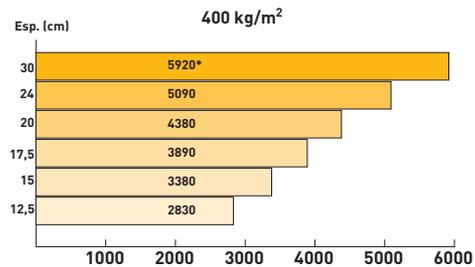
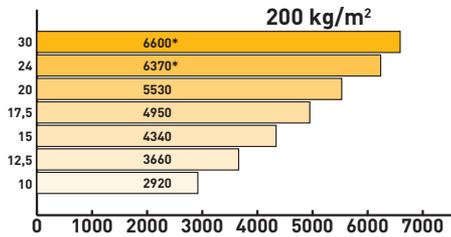
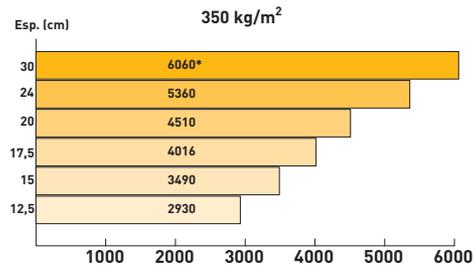
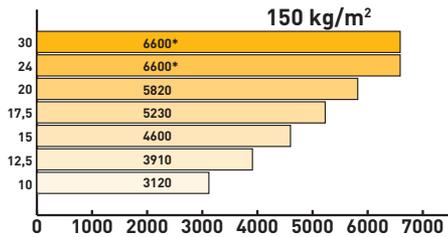
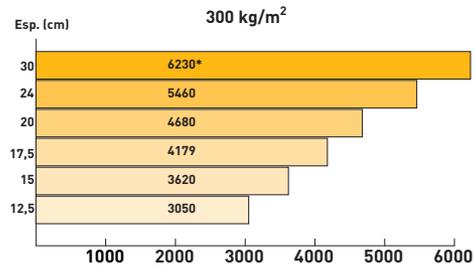
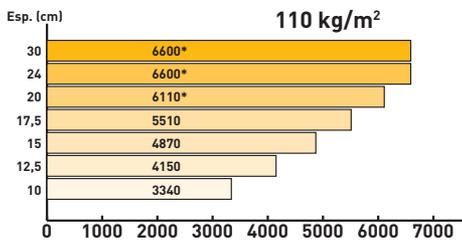
La vivienda integral de YTONG consiste en la combinación de muros de carga de bloques de hormigón celular con placas de forjado y cubierta del mismo material, creando una estructura ligera y una envolvente térmica homogénea de un material resistente y aislante a la vez.

Para un diseño óptimo de la estructura en cuanto a simplicidad, limitación de costes y rapidez de ejecución, es importante tener en cuenta unas cuantas reglas generales que permitirán evitar el empleo de elementos estructurales auxiliares de otros materiales (pilares o vigas metálicas, elementos de hormigón armado, etc.).

Por un lado es importante limitar las luces entre los muros de carga, en función de la sobrecarga y el espesor de placas deseado. Los siguientes ábacos sirven de ayuda para realizar este dimensionamiento previo.

Luces máximas en mm para placas de densidad 600 kg/m³

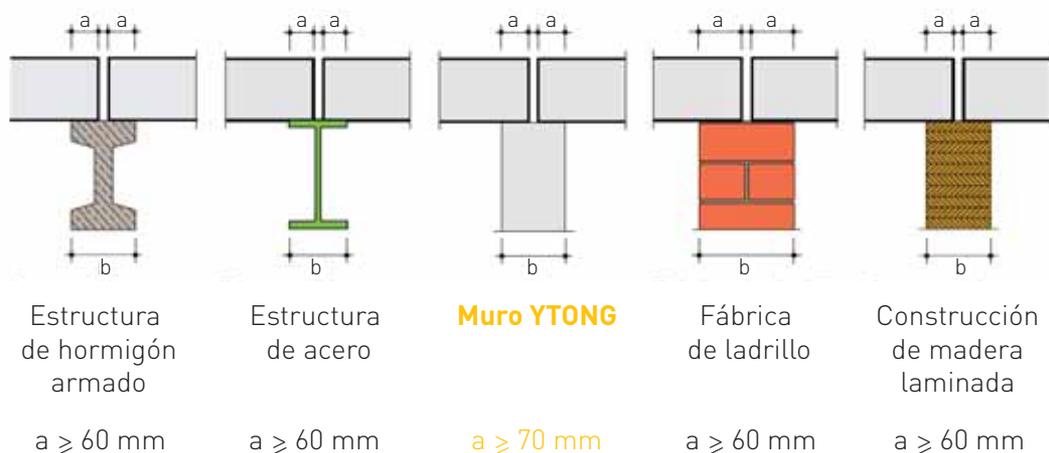
Para placas de densidad 500kg/m³ consultar departamento técnico Ytong
Usar ábacos sin mayorar las cargas por los coeficientes de seguridad



Cálculo de placas según Avis Technique 3/05 - 451

* Cálculo de placas según Zulassung Z 2.1 - 4.1

Profundidades de apoyo de las placas de cubierta y forjado YTONG



La profundidad de apoyo de las placas depende del material sobre el que apoya y no puede ser inferior a los valores que aparecen en el gráfico anterior.

Si se trata de un edificio de varias plantas, es conveniente hacer coincidir los ejes de los muros de carga de las distintas plantas, de forma que la carga vertical sea transmitida de muro a muro directamente. No es permisible el apoyo de un muro de carga o un muro de cerramiento pesado sobre una placa de forjado. En otras palabras no es posible que la placa absorba la carga vertical lineal en su vano y la transmita a sus respectivos apoyos. En caso de que esto no se pueda evitar debido a la distribución de la vivienda, será necesaria la colocación de una viga metálica para el apoyo del muro. Las placas podrán encajarse dentro del perfil según se muestra en los detalles del capítulo 11.

Voladizos (por ejemplo en zonas de balcones)

La longitud máxima de los voladizos podrá ser de 1,50 m desde el canto del apoyo. También es factible realizar un voladizo en ambos lados (voladizo – apoyo – vano – apoyo – voladizo). Hay que tener en cuenta los siguientes espesores mínimos en función de la longitud del voladizo y la sobrecarga de uso:

Sobrecarga de uso [KN/m ²]	Espesor de placas mínimo en voladizo < 0,50m	Espesor de placas mínimo en voladizo > 0,50m
< 3,5	150 mm	200 mm
≥ 3,5	200 mm	200 mm

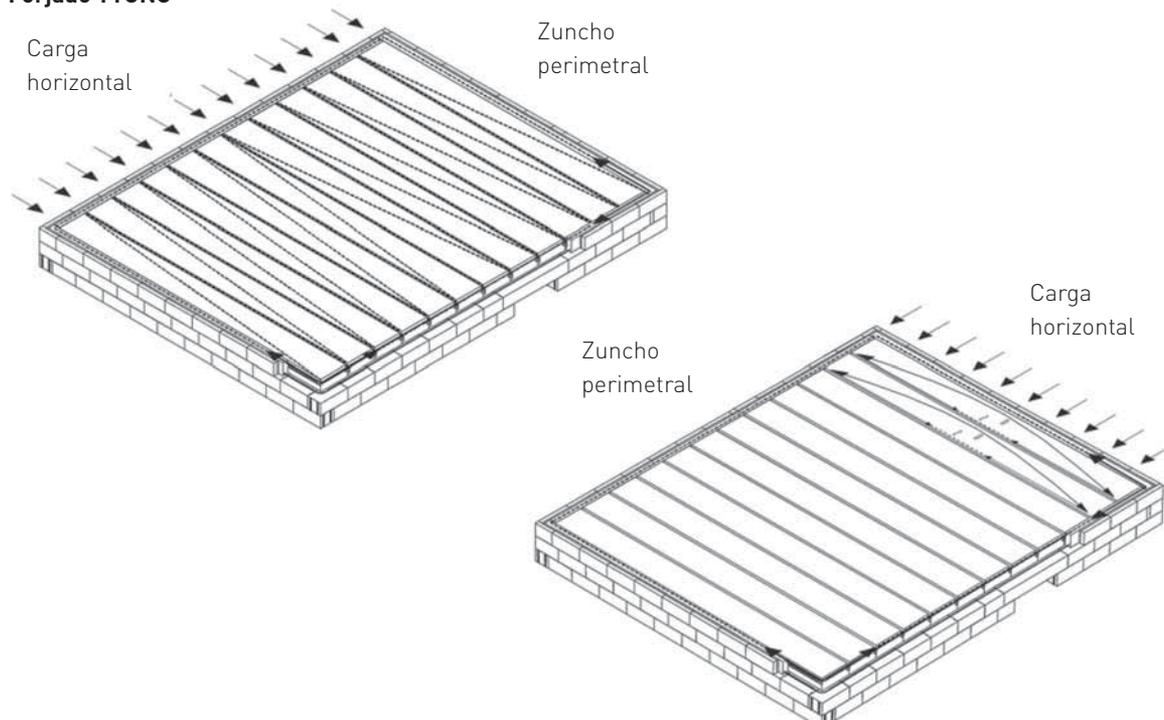
Realizar los balcones con placas YTONG en voladizo tiene la gran ventaja de eliminar el puente térmico existente cuando los forjados se realizan de hormigón armado convencional.

No es posible el apoyo de muros pesados o muros de carga en la zona del voladizo.

Modulación de las placas

Debido a la fabricación de las placas a medida, no hay que respetar ninguna modulación en la fase de proyecto. Por lo general se emplean placas de dimensiones estándar (de 60 cm o 75 cm de anchura) que se complementan con placas de encaje, fabricadas en la anchura necesaria para cubrir las superficies (la anchura mínima de las placas es de 30 cm).

Forjado YTONG



Función de forjado o cubierta como diafragma

Es posible ejecutar un forjado o una cubierta de placas YTONG de forma que actúe como diafragma para la transmisión de las cargas horizontales, incluso sin la ejecución de una capa de compresión.

En el caso de realizar el forjado sin capa de compresión (solución más habitual), la función de diafragma se podrá conseguir sin tener que realizar un cálculo justificativo, si se tienen en cuenta una serie de criterios:

Requerimientos para la creación de un diafragma para forjados sin capa de compresión:

Dimensiones del diafragma

- En sentido paralelo a la dirección de las placas : $H \leq 6 \text{ m}$
- En sentido perpendicular a la dirección de las placas : $L \leq 8 \text{ m}$
- Ratio de dimensiones $L/H \leq 2,0$

d.) Solicitación en sentido paralelo a la dirección de las placas (dibujo 1)

Cortante máximo en la junta longitudinal:

$$Q \leq 3 \cdot H \text{ para } L < 6 \text{ m}$$

$$Q \leq 2 \cdot H \text{ para } 6 \text{ m} < L \leq 8 \text{ m}$$

Con

Q en [KN]

H = Altura de diafragma en [m]

L = Longitud de diafragma en [m]

e.) Solicitación en sentido perpendicular a las placas (dibujo 2):

La carga lineal en el plano del diafragma no debe ser mayor que 3 KN/m.

f.) Detalles constructivos del diafragma

- Espesor mínimo de placas = 200 mm
- Zuncho perimetral de HA15, armadura mínima $2 \Phi 10$ (B500S)
- Armadura en junta longitudinal entre placas, de zuncho a zuncho y anclado a los zunchos mediante doblado de las varillas, $1 \Phi 8$ (B500S)

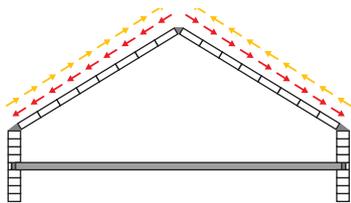
En caso de no cumplirse estos criterios, es posible justificar el diafragma mediante cálculo.

Por otro lado es posible la ejecución de una capa de compresión para que los forjados puedan transmitir las cargas horizontales. La capa de compresión deberá ser dimensionada de forma que pueda absorber íntegramente los esfuerzos del diafragma en conjunción con los zunchos perimetrales y pueda transmitir las cargas a los apoyos del diafragma. Es importante que la capa de compresión se hormigone estando aun fresco el hormigón del relleno de las juntas entre placas. Además y para garantizar una unión entre capa de compresión y placas, es necesaria la disposición de barras de acero corrugado en forma de cercos en las juntas longitudinales.

Cubiertas inclinadas con placas armadas YTONG

En las cubiertas inclinadas YTONG, las placas apoyan en los muros hastiales o piñones de la fachada del edificio y los muros interiores paralelos a ellos. La dirección de las placas es pues paralela a los aleros y a la cumbrera.

Al contrario de lo que ocurre en una cubierta tradicional, donde las cargas de deslizamiento de la cubierta se transmite a los muros de apoyo, una cubierta simétrica de YTONG solamente transmitirá cargas verticales, ya que las fuerzas de deslizamiento (con un componente horizontal) se anulan, al estar ancladas las placas al zuncho en la cumbrera a través de los zunchos perimetrales (ver croquis).



El hecho de que las placas solamente transmitan las cargas a los muros hastiales y a los muros interiores paralelos a estos, mientras que los muros en los aleros no reciben prácticamente cargas, hace posible la realización de plantas bajo cubierta con una altura de planta completa, sin la necesidad de un forjado bajo cubierta.

Para las placas de cubierta aplican los mismos ábacos de luces y las mismas reglas de apoyo que para las placas de forjado.

En función de la inclinación de la cubierta hay que prever fijaciones provisionales para evitar un posible deslizamiento de las placas hasta que los zunchos perimetrales entren en función, sobre todo en caso de que los apoyos estén mojados.

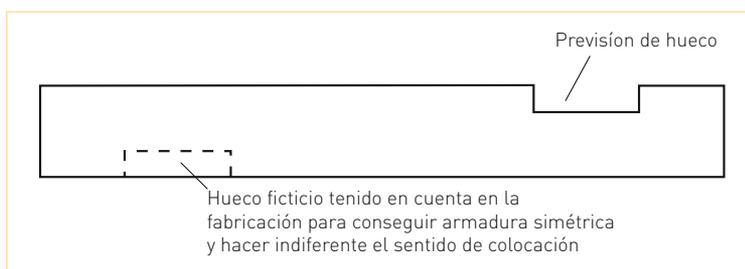
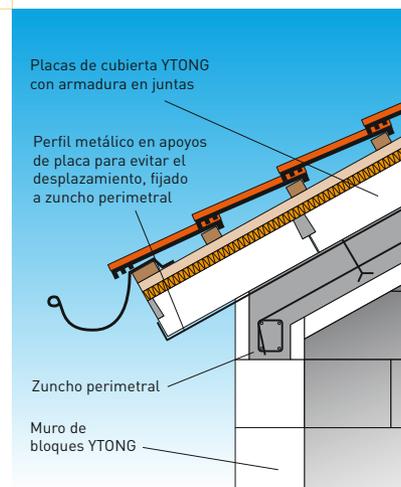
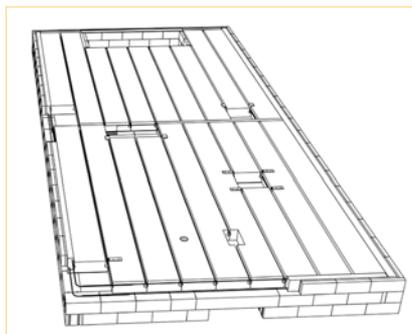
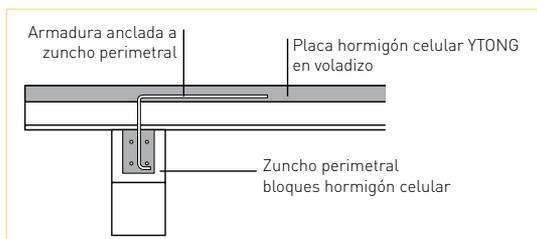
Por lo general se suelen disponer unos apoyos laterales para las 3 primeras placas (la colocación se comienza desde la parte inferior), fijando 1 o dos barras de $\Phi 12$ en cada muro de apoyo. En caso de que esto no sea suficiente (inclinación grande de la cubierta), se deberán crear estos apoyos en cada placa. También es posible la ejecución previa del zuncho horizontal en los aleros para crear un apoyo lineal.

Para cubiertas de baja inclinación ($<15^\circ$) también es posible la colocación de las placas en sentido de la pendiente, aunque hay que tener en cuenta la transmisión de las cargas de deslizamiento a los muros en los aleros.

Zunchos perimetrales

Por lo general los zunchos perimetrales se realizan a la altura de las placas de forjado o cubierta, empleando las plaquetas de hormigón celular YTONG de 5 o 7 cm de espesor de 20 cm de altura, o elementos de tabiquería YTONG del mismo espesor pero recortados a la altura necesaria. El hormigonado del zuncho se realiza contra el canto de las placas y la pieza exterior.

En el caso de que las placas tengan voladizo (balcones en forjados o aleros hastiales en cubierta) el zuncho perimetral se deberá ejecutar debajo del nivel de placas, empleando bloques "U" o dinteles en "U". Las placas se fijarán al zuncho perimetral mediante barras de acero corrugado con forma de L, encajando la parte horizontal de la barra en la junta longitudinal de las placas, la parte vertical estará anclada al zuncho perimetral. Estas barras podrán dejarse como esperas al realizar el zuncho o podrán ser colocadas posteriormente una vez puestas las placas, teniendo que taladrar y fijar las barras mediante resina de epoxi. Otra opción es dejar esperas en forma de grapa, por las que se pasará la armadura longitudinal de las juntas entre las placas. Se tendrán que repicar ligeramente las placas en la zona de anclaje para permitir pasar la barra y poder rejuntar las placas a testa.



En el caso de los aleros de cubierta será necesario crear los apoyos para las placas que sobresalgan del muro de fachada. Estos se realizarán mediante angulares metálicos anclados al zuncho perimetral mediante pernos.

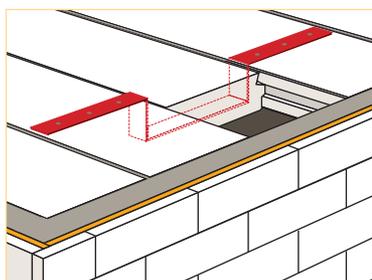
Previsión de huecos y cortes en obra

Como ya se indicó anteriormente, no es permisible acortar las placas en obra, a no ser que se compruebe que la pieza restante tenga capacidad resistente suficiente. Por eso es importante determinar en la fase de proyecto la ubicación y dimensión de todos los huecos que se tengan que prever por paso de instalaciones, bajantes, escaleras, etc., para que puedan ser tenidos en cuenta en el despiece de placas y en el posterior cálculo y en la distribución de la armadura de las mismas. Bajo esta premisa existe la posibilidad de suministrar las placas con los cortes ya realizados, o sino realizarlos en la propia obra con una radial.

Para impedir una incorrecta colocación en cuanto al sentido de las placas, los huecos se prevén de forma que no importe la dirección de colocación de las placas, como se muestra de forma ejemplar en el dibujo siguiente.

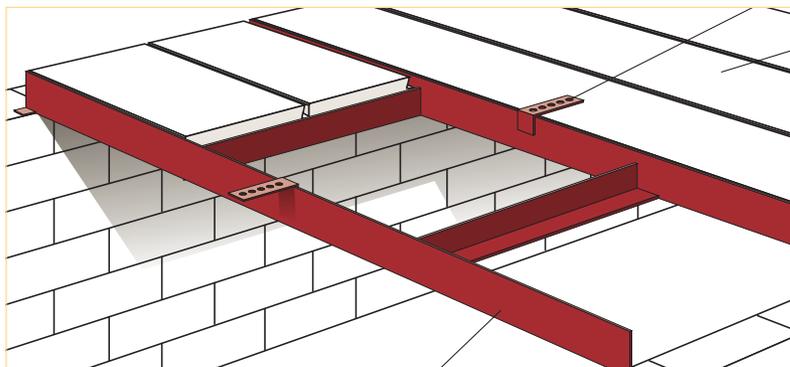
La dimensión máxima de recorte en una placa es de $1/3$ de su anchura, siendo indiferente la longitud del mismo. En caso de que el hueco sea de dimensiones mayores, lo habitual es hacer coincidir el centro del hueco con la junta longitudinal de dos placas y así poder repartir la anchura de recorte, pudiendo llegar a una anchura total de $2/3$ de la anchura de una placa (en el caso de que ambas placas tengan la misma anchura).

Cuando la anchura del hueco sea mayor (como máx. anchura de hueco = anchura de una placa) se colocará un brochal metálico que servirá de apoyo para una placa más corta. Este brochal repartirá la carga a las dos placas contiguas, que deberán ser dimensionadas con la sobrecarga adicional.



Brochal metálico para un hueco de anchura de placa

En el caso de requerir una anchura de hueco todavía mayor (por ejemplo para el hueco de escaleras), habrá que realizar un brochal compuesto de vigas metálicas que apoyen sobre los muros de carga más cercanos.



Brochal metálico para un hueco de anchura mayor

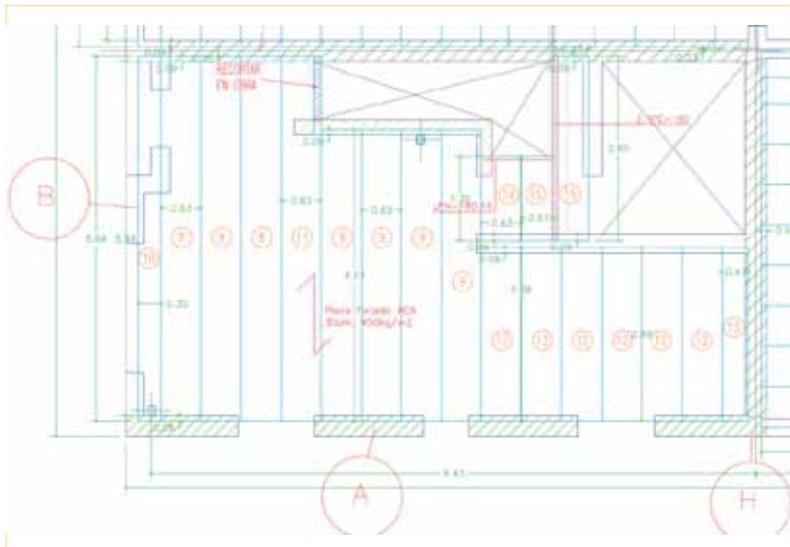
En todo caso, la escalera apoyará sobre el perfil metálico y no sobre el forjado de placas YTONG.

Para los huecos de pequeño diámetro (tuberías, conductos, etc.) es posible crearlos una vez colocadas las placas y hacerlos coincidir con las juntas longitudinales. De esta forma y limitando la anchura del recorte a 50-70 mm por placa (consiguiendo un hueco de 100-140 mm de diámetro), no se afecta a la armadura gracias al recubrimiento de hormigón y por lo tanto se podrá realizar sin tener que consultar previamente con el departamento técnico de Xella.

Apoyo por parte del departamento técnico de YTONG

Una vez se dispone de la geometría definitiva de la vivienda, el departamento técnico de YTONG realizará el despiece geométrico y le serán transmitidos al cliente los planos en Autocad correspondientes para su visto bueno. Una vez validados los planos, el departamento técnico de YTONG realizará el cálculo de la armadura y tramitará la fabricación de las placas.

Ejemplo despiece de placas



6. Muros no estructurales YTONG



6.1. Ámbito de empleo de muros no estructurales

Existen tipologías de construcciones que no permiten el empleo de muros de fábrica como elemento estructural, sea por dimensiones (altura de la construcción, espacios diáfanos de gran envergadura, etc.) o por sobrecargas (por ejemplo zona de alto riesgo sísmico). En la práctica esto suelen ser edificios en altura, naves industriales, centros lúdicos (cines, centros comerciales, etc.) o naves agrícolas o ganaderas.

La ligereza de los bloques, la rapidez de colocación y el excelente aislamiento térmico del hormigón celular YTONG hacen que este material sea especialmente interesante para estas obras en combinación con una estructura metálica o de hormigón armado.

La alta resistencia al fuego del hormigón celular YTONG hace del YTONG un material idóneo para realizar muros cortafuegos. Para garantizar la estanqueidad de los muros cortafuegos frente a gases y humos, es obligatorio el empleo de bloques lisos y realizar la junta vertical encolada.

En el caso de tratarse de muros de grandes dimensiones, puede ser interesante el empleo de los Modulbloques YTONG, siendo bloques de doble altura (50 cm) que se colocan de dos en dos mediante una pinza y una minigrúa, aumentándose de esta forma el ritmo de colocación de forma considerable.

6.2. Metodología de dimensionamiento de muros no estructurales

Los muros no estructurales no están sometidos ni a cargas verticales ni a esfuerzo cortante, pero sí suelen estar sometidos a cargas laterales, siendo la carga más importante la del viento. Aparte y dependiendo del caso también pueden influir cargas horizontales sísmicas, cargas accidentales (choque de maquinaria) o momentos flectores inducidos por elementos colgados (ménsulas). La estabilidad y resistencia de los muros deben ser comprobadas para cada caso.

Los muros no estructurales deben garantizar la transmisión de las

cargas laterales que actúan sobre su superficie a la estructura del edificio. Las cargas deberán calcularse según los criterios que marca el DB SE-AE del CTE (Acciones en la edificación).

A continuación analizaremos la metodología de cálculo para muros sometidos a cargas de viento (carga uniformemente repartida en la superficie del muro). Hay que tener en cuenta que los muros interiores de naves industriales también pueden estar sometidos a cargas de viento, ya que las aperturas hacia el exterior pueden generar cargas de presión o succión a éstos.

El muro que recibe la carga lateral de viento está sometido a flexión bidireccional, comportándose el paño como una placa sustentada por sus bordes. Por lo tanto, el dimensionado de los muros de cerramiento se deberá realizar comprobando la resistencia a flexión del mismo en ambos sentidos.

Los muros disponen de una resistencia a flexión para cada dirección:

f_{xk1} = Plano de rotura paralelo a los tendeles

f_{xk2} = Plano de rotura perpendicular a los tendeles

Para los muros de fábrica de hormigón celular YTONG se pueden emplear los valores f_{xk1} y f_{xk2} tabulados en el EC6:

$$f_{xk1} = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{xk2} = 0,30 \text{ N/mm}^2$$

Alternativamente se pueden emplear los valores obtenidos de ensayos conforme a la normativa UNE EN 1052-2:2000.

El procedimiento de cálculo para la comprobación que propone el CTE equivale al del Eurocódigo 6 y es el siguiente:

■ Plano de rotura perpendicular a los tendeles (flexión horizontal):

$$M_{d,2} = \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_0 \cdot L^2 \leq M_{Rd,2} = f_{xk2} \cdot Z / \gamma_M$$

■ Plano de rotura paralelo a los tendeles (flexión vertical):

$$M_{d,1} = \mu \cdot \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_0 \cdot L^2 \leq M_{Rd,1} = f_{xk1} \cdot Z / \gamma_M$$

donde:

α es el coeficiente de flexión (Tablas G1 – G5 del Anejo G, DB SE-F, CTE)

γ_0 es el coeficiente parcial de seguridad de acciones

$\mu = f_{xk1} / f_{xk2}$ es el rateo ortogonal de resistencias a flexión

L es la longitud del muro entre apoyos

W_k es la acción característica de viento por unidad de superficie

Z = t/6 es el módulo resistente de la sección de muro, con t = espesor de muro

γ_M es el coeficiente parcial de seguridad del material.

Las tablas para obtener los coeficientes de flexión tienen en cuenta diferentes casos de apoyo de los bordes del muro (borde libre, apoyado, o empotrado).

El empotramiento de los muros en los bordes se puede conseguir mediante la fijación a la estructura con flejes, por traba de las piezas en el caso de encuentro con un muro transversal o por tope contra el forjado cuando el muro es pasante sobre éste. En el caso de que en algún borde no se pueda garantizar el apoyo, (por ejemplo bordes superiores no retacados a los forjados y en ausencia de otros elementos que puedan garantizar este apoyo), ese borde no podrá considerarse como sustentación de la placa.

6.3. Ejemplo de cálculo

- Muro de cerramiento de 4 m de altura y 8,00 m de longitud (dimensiones entre pilares y forjados) en edificio en zona urbana y altura máxima de 8 plantas.
- Bloque de 25 cm de espesor.
- Borde inferior y bordes laterales empotrados, borde superior apoyado (caso G2).

a) Cálculo de la carga de viento según DB SE-AE Acciones en la edificación (CTE)

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \text{ (Presión estática)}$$

$$q_b = \text{presión dinámica del viento} = 0,5 \text{ KN/m}^2$$

$$c_e = \text{coeficiente de exposición} = 2,0$$

$$c_p = \text{coeficiente eólico de presión} = 0,8$$

$$\rightarrow q_b = 0,5 \cdot 2,0 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

b) Cálculo de la resistencia de la fábrica

$$\rightarrow f_{xk1} = 0,15 \text{ N/mm}^2 \text{ y}$$

$$f_{xk2} = 0,30 \text{ N/mm}^2$$

$$Z = 0,25^2 / 6 \cdot 1000^2 = 10417 \text{ mm}^2$$

Coficiente de seguridad $\gamma_M = 2,2$ (control de ejecución B)

Se calculan los momentos resistentes

$$M_{rd1} = 0,15 \cdot 10417 \cdot 1000^{-1/2,2}$$

$$= 0,71 \text{ KNm/m}$$

$$M_{rd2} = 0,30 \cdot 10417 \cdot 1000^{-1/2,2}$$

$$= 1,42 \text{ KNm/m}$$

c) Cálculo de los momentos máximos de diseño

$$\mu = 0,50$$

$$W_k = q_e = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$\gamma_0 = 1,50$ (coeficiente de seguridad para acciones variables)

$$H = 4 \text{ m y } L = 8 \text{ m} \rightarrow h/L = 0,5$$

α (interpolación de valores tabulados en la tabla G2 con $\mu = 0,50$) = 0,017

$$M_{d,1} = \mu \cdot \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_0 \cdot L^2 =$$

$$0,5 \cdot 0,017 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 8^2 = 0,65 \text{ KNm/m}$$

$$M_{d,2} = \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_0 \cdot L^2 =$$

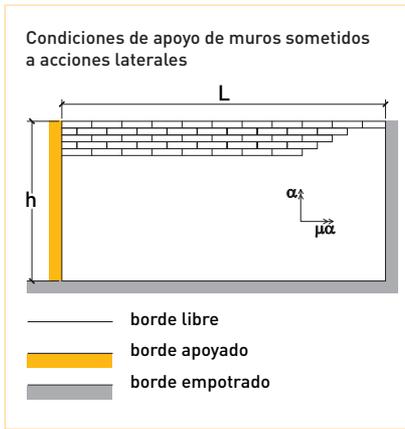
$$0,017 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 8^2 = 1,31 \text{ KNm/m}$$

d) Comprobación de resistencia a flexión del muro

$$M_{d,1} = 0,65 \text{ KNm/m} \leq M_{rd1} = 0,71 \text{ KNm/m}$$

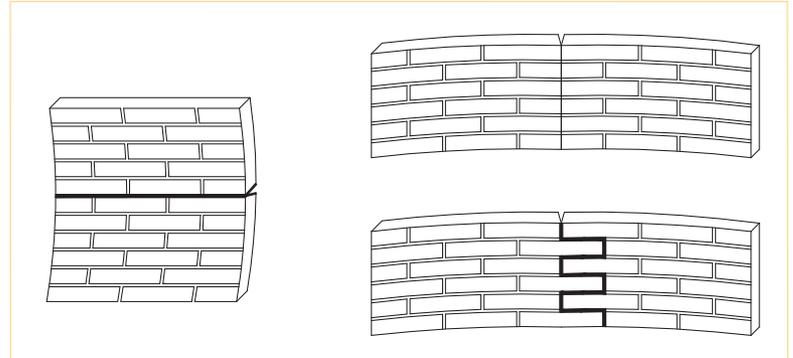
$$M_{d,2} = 1,31 \text{ KNm/m} \leq M_{rd2} = 1,42 \text{ KNm/m}$$

Cumple.



Plano de rotura paralelo a los tendeles (flexión vertical)

Plano de rotura perpendicular a los tendeles (flexión horizontal)



6.4 . Tablas de consulta

Las siguientes tablas muestran la dimensión máxima de paños para diferentes espesores y diferentes condiciones de apoyo, partiendo de una sobrecarga de viento correspondiente a un edificio en zona urbana y altura máxima de 8 plantas ($q_e = 0,8 \text{ KN/m}^2$).

Para otros casos que supongan un incremento o decremento de las cargas de viento u otras condiciones de apoyo en los bordes, las dimensiones máximas pueden variar sensiblemente, por lo cual habrá que realizar un estudio para cada caso en concreto.

6.5. Refuerzo de muros

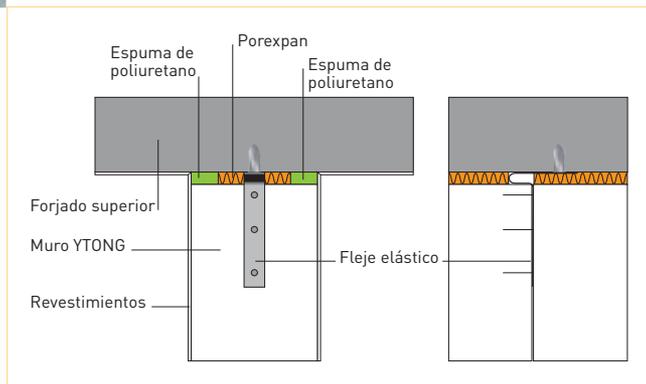
En caso de superar los esfuerzos la resistencia de cálculo de los muros (debido a sobrecargas o dimensiones elevadas), es posible reforzar los paños de muro afectados mediante pilares y/o vigas de hormigón armado. Para ello es posible utilizar los elementos de encofrado perdido de hormigón celular YTONG, empleando los bloques "O" para realizar zunchos verticales o los bloques "U" para realizar zunchos horizontales. Para crear un refuerzo que garantice la transmisión de las cargas a la estructura portante, las armaduras deberán empotrarse a los elementos estructurales.

Longitud máxima de paños en metros
Carga de viento característica $0,8 \text{ KN/m}^2$

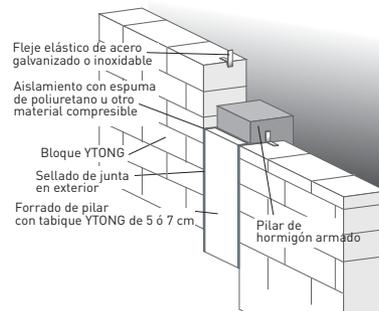
Caso*)	Espesor	H en metros				
		3	4	5	6	7
Caso 1	20	4,5	4	4	3,5	3,5
	25	6,5	5,5	5	5	5
	30	9	7,5	6,5	6	6
Caso 2	20	7	5	4,5	4	4
	25	10	8	6,5	5,5	5
	30	10	10	9,5	8	7
Caso 3	20	10	6,5	5	4,5	4
	25	10	10	8	6,5	6
	30	10	10	10	9,5	8
Caso 4	20	3				
	25	4	3,5	3,5	3	3
	30	5	4,5	4	4	4
Caso 5a	20	4	3	3	3	
	25	7	5	4	3,5	3,5
	30	10	7,5	5,5	5	4,5
Caso 5b	20	9	4	3	3	
	25	10	9,5	5,5	4,5	4
	30	10	10	9,5	6,5	5,5

*) Casos 1-5a Según resistencias a flexión que marca el EC6. Caso 5b según resultado de ensayos a flexión para fábrica con junta vertical encolada.

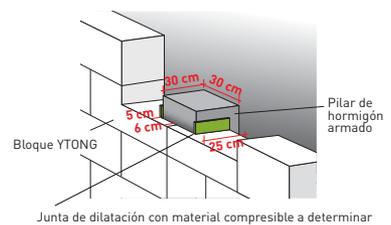
Fijación de muro a forjado superior mediante fleje elástico



Encuentro muro de cerramiento YTONG con pilar de hormigón armado



Encuentro muro de cerramiento YTONG con pilar de hormigón armado



6.6. Fijaciones

La estabilidad de los muros sometidos a cargas laterales viene dada por su unión a la estructura propia. Las fijaciones deben transmitir las cargas de viento a la estructura y a la vez permitir deformaciones diferenciales entre la estructura y el muro para evitar que el muro quede sometido a cargas inesperadas. Por este motivo es necesario dejar unos centímetros de espacio entre los bordes del muro y la estructura, en función de las deformaciones esperadas.

El encuentro horizontal con el forjado superior (para dimensiones de paño reducidos) se realiza simplemente rellenando el espacio con espuma de poliuretano. El espacio que se deja depende de la flecha esperada del forjado y debe dimensionarse de forma que no se produzca una transmisión de cargas verticales al muro. Este borde de muro debe considerarse libre. En el caso de requerir un borde apoyado o incluso empotrado, es necesaria una fijación mecánica al forjado

superior. Esto se puede realizar fijando un perfil metálico en forma de U invertida al forjado de forma que de soporte al bloques de la última hilada o empleando flejes que aseguren la transmisión de las cargas de viento pero que admitan deformaciones verticales (flejes elásticos fijados a los bloques en la junta vertical).

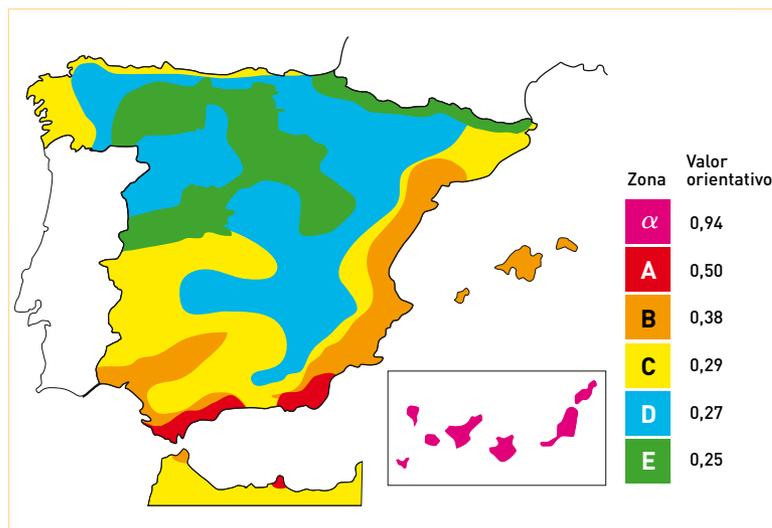
El encuentro vertical entre los muros de cerramiento y los pilares se debe realizar dejando un espacio entre los dos materiales y uniendo el muro al pilar mediante flejes elásticos. Por lo general estos flejes se colocan cada 2 hiladas de bloque en función de la carga que tengan que transmitir, colocando el lado horizontal del fleje en el tendel de forma que quede embebido en el mortero cola, y fijando el lado vertical al pilar mediante tacos. El espacio se rellena con espuma de poliuretano u otro material flexible y se sella la junta en su lado exterior para la impermeabilización.

6.7. Reducción de puentes térmicos

Los elementos estructurales suelen ser de materiales con altos coeficientes de conductividad térmica y son por lo tanto propensos de generar puentes térmicos en el edificio. La versatilidad del hormigón celular YTONG y su facilidad de corte permiten ofrecer soluciones sencillas para el forrado exterior de estos elementos, creando una superficie exterior homogénea y reduciendo considerablemente los puentes térmicos. Los muros de cerramiento en vivienda, se suelen colocar con un voladizo de unos 6 cm respecto al canto del forjado, lo que permite forrar los cantos de forjado y los pilares por el exterior mediante elementos de tabiquería de YTONG de 5 cm o recortando los bloques en forma de pistola en los encuentros con los pilares.

7. Características térmicas

Zonas climáticas de España y transmitancia térmica máxima recomendada (W/m²K)



7.1. La limitación de la demanda energética y las nuevas reglamentaciones

El creciente consumo de energía es uno de los mayores problemas ambientales que se plantea en las sociedades occidentales, teniendo una repercusión a nivel mundial. El consumo exagerado de energías no renovables conlleva a un aumento considerable de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, y la reducción de estos niveles a un nivel "razonable" es uno de los mayores retos para la humanidad a día de hoy. Es interesante resaltar que los edificios son responsables de una tercera parte del consumo total de energía, y España, a nivel europeo, es el país con mayores emisiones de CO₂ per cápita con este origen. Las directivas europeas llevan años impulsando la eficiencia energética en la edificación, estableciendo en su última versión (2010/31/UE) que los edificios deben ser de consumo energético casi nulo para el año 2020 (2018 para los nuevos edificios públicos).

Para hacer frente a este gran reto, en septiembre de 2013 se publicó el nuevo Documento Básico de Ahorro de Energía DB HE del CTE, dando esta vez sí un gran paso. Hay que destacar que para alcanzar el objetivo marcado para el 2020 aún serán necesarias futuras revisiones de la normativa.

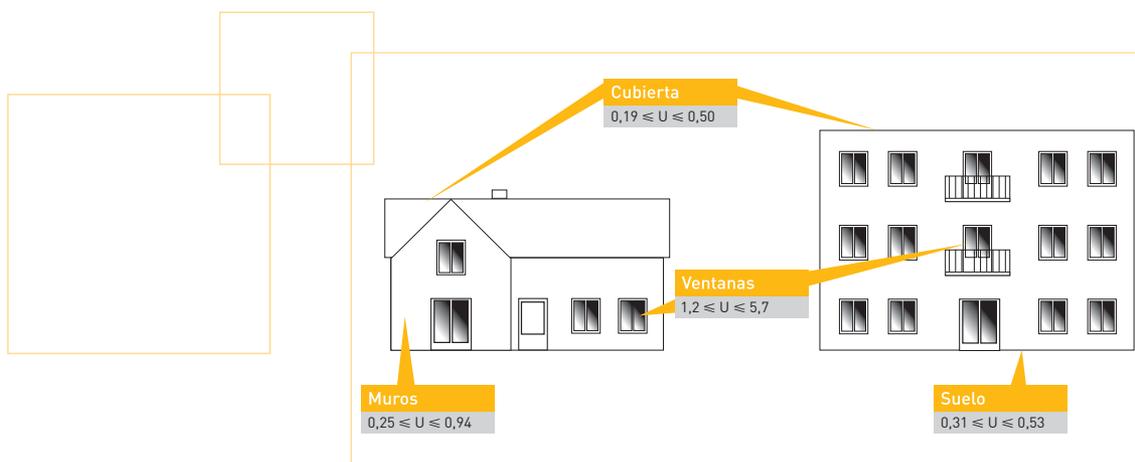
Las exigencias básicas de la limitación de la demanda de energía establecidas en el CTE son las siguientes:

- garantizar que se pueda alcanzar un bienestar térmico en los edificios limitando la demanda energética, en función del clima de la localidad, el uso del edificio y del régimen de verano e invierno
- reducir el riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales que puedan perjudicar el aislamiento
- tratamiento adecuado de los puentes térmicos, limitando al

máximo las pérdidas de calor y evitando problemas higrotérmicos en los mismos

Gracias a sus características físicas, el hormigón celular Ytong responde plenamente a cada una de estas exigencias:

- La elevada ligereza del hormigón celular, debida a los millones de microporos de aire que contiene, le confieren una alta resistencia térmica, lo cual permite construir muros de una sola capa sin necesidad de un aislamiento adicional
- La inercia térmica del hormigón celular es responsable del confort climático en el interior de la vivienda, al garantizar una temperatura interior estable y agradable, tanto en verano como en invierno
- El aislamiento repartido, la homogeneidad del material y las soluciones constructivas



7.2. El aislamiento térmico

del sistema permiten minimizar e incluso eliminar los puentes térmicos

- El hecho de no necesitar un aislamiento adicional permite realizar muros de un solo material y una sola hoja. Esto y el bajo coeficiente de difusibilidad al vapor de agua del hormigón celular eliminan el riesgo de que aparezcan problemas higrotérmicos como las condensaciones intersticiales

Aparte de los materiales que componen la envolvente térmica y determinan el aislamiento de ésta, queremos hacer mención, sin entrar en detalle, de algunos parámetros más que influyen en la demanda energética de los edificios y que deben estudiarse:

- Ubicación y orientación del edificio
- Compacidad del edificio
- Acristalamientos y protecciones solares, sombreamientos
- Estanqueidad al aire

Para la verificación de la justificación de la demanda energética es necesario calcular la demanda energética y el consumo energético, y compararlo con los valores máximos que establece el CTE DB HE según la zona climática y superficie útil. Para ello se requiere una herramienta informática (CALENER u otros). En comparación con la versión anterior del DB HE (2009), ya no existe una opción simplificada, tratándose de un enfoque plenamente prestacional.

La conductividad térmica

La conductividad térmica λ (W/mK) es una característica específica de los materiales. El valor de la conductividad térmica indica la cantidad de calor en vatios (W) que fluye a través de 1m^2 de un material de 1m de espesor, si la diferencia de temperaturas entre los ambientes a cada lado del material es 1K (Kelvin) o 1 grado Celsius. Por lo cual, cuanto menor sea el valor de la conductividad térmica, mejor será el aislamiento térmico.

La conductividad térmica λ de los materiales de construcción depende principalmente de la densidad del material. Cuando hablamos de muros de fábrica, no hay que despreciar la influencia del mortero, que por lo general tiene un valor mayor de conductividad térmica que el material del muro y por lo tanto reduce el aislamiento global del cerramiento.

Los muros de hormigón celular Ytong se realizan con junta delgada (2mm de junta como máximo), por lo cual no existen los "micro puentes térmicos" existentes en las juntas de los muros de fábrica convencionales (junta de 10mm).



Conductividad térmica de los productos YTONG

Producto	Coefficiente de conductividad térmica $\check{\text{I}}_{\text{util}}$ (W/mK)
Bloques YTONG densidad 350 kg/m ³	0,09
Bloques YTONG densidad 400 kg/m ³	0,10
Bloques YTONG densidad 450 kg/m ³	0,11
Bloques YTONG densidad 500 kg/m ³	0,125
Bloques YTONG densidad 550 kg/m ³	0,14
Placa cubierta YTONG densidad 500 kg/m ³	0,13
Placa cubierta YTONG densidad 600 kg/m ³	0,16

La resistencia térmica

La resistencia térmica R (m²K/W) es índice del aislamiento de un elemento constructivo, siendo el cociente entre el espesor y la conductividad térmica.

$$R = \frac{d}{\check{\text{I}}}$$

siendo

d = Espesor de la capa en m

$\check{\text{I}}$ = Coeficiente de conductividad térmica en W/mK

Las resistencias térmicas superficiales R_{si} y R_{se} correspondientes al aire interior y exterior dependen de la posición del cerramiento y del sentido del flujo de calor.

Para calcular la resistencia térmica total de un elemento, se creará la suma de las resistencias de cada capa y de las resistencias superficiales:

$$R_{\text{tot}} = R_{\text{si}} + \frac{d_1}{\check{\text{I}}_1} + \frac{d_2}{\check{\text{I}}_2} + \dots + \frac{d_n}{\check{\text{I}}_n} + R_{\text{se}} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

La transmitancia térmica

La transmitancia térmica o valor U (antes denominado valor k), permite evaluar la pérdida de calor a través de un elemento constructivo, indicando la cantidad de calor en vatios W-s (=Joule) que fluye a través de él por m² y por segundo, si la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior es de 1K.

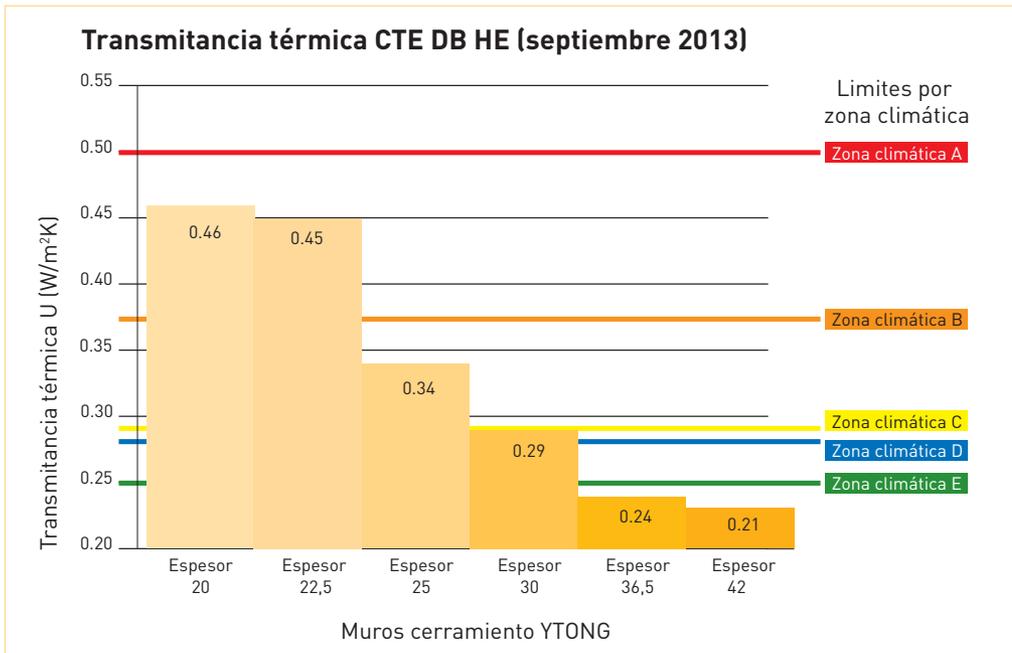
La transmitancia térmica equivale al valor recíproco de la resistencia térmica:

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Los transmitancia térmica de los elementos de hormigón celular Ytong

En este apartado se detallan las transmitancias térmicas que se obtienen mediante el empleo de los elementos de hormigón celular Ytong para los diferentes elementos de la envolvente térmica.

Estos valores se contrastan con los valores límite establecidos en el CTE en la versión simplificada de la comprobación de la limitación de la demanda energética.



Bloques

Como modo ejemplar, el cálculo de la transmitancia térmica de un cerramiento con bloques Ytong de densidad 350 y 25cm de espesor, es el siguiente (sin incluir los acabados, con un aporte despreciable de aislamiento térmico):

Resistencia térmica del bloque

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,25\text{m}}{0,09 \text{ W/mK}} = 2,78 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Resistencias superficiales

$$R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{tot} = 2,78 + 0,04 + 0,13 = 2,94 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{2,94} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} = 0,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Exigencias del nuevo DB HE Ahorro de Energía

Para minimizar la demanda energética de los edificios a los límites marcados por el DB HE es imprescindible un buen aislamiento térmico de la envolvente térmica, teniendo en cuenta la repercusión importante de los puentes térmicos.

El DB HE aporta unos valores orientativos de transmitancia térmica para los componentes de la envolvente térmica que deberían conducir a soluciones próximas a su cumplimiento.

En el gráfico se muestran estos valores para los muros de fachada y las zonas climáticas nacionales, contrastándose con la transmitancia térmica que se consigue con diferentes espesores de bloque Ytong. Como se puede apreciar, el rango de espesores estándar de Ytong cubre todas las necesidades del DB HE (septiembre 2013) sin necesidad de un aislamiento adicional en ninguna de las zonas climáticas.

Cubiertas

Las placas armadas de hormigón celular Ytong se pueden emplear en cubiertas inclinadas, colocándolas sobre los muros hastiales formando las pendientes. También es posible su utilización en cubiertas planas o para realizar el forjado plano bajo una cubierta tradicional, realizando las pendientes con tabiquillos palomeros.

Debido a la combinación de aislamiento térmico y resistencia mecánica, las placas Ytong son además especialmente adecuadas para realizar forjados sanitarios.

A continuación se muestran las transmitancias que se obtienen mediante las placas Ytong en cubierta plana o inclinada sobre espacio habitable, y el aislamiento adicional para alcanzar los valores orientativos establecidos por el CTE DB HE (septiembre 2013).



Cubierta sobre espacio habitable, sin cámara de aire (placas de densidad 600kg/m ³)						
Espesor placa	Transmitancia térmica (U) de la placa	Espesor de aislamiento adicional en mm (poliestireno extruido con $\lambda = 0,035$) para alcanzar valor orientativo CTE (sept. 2013)				
		Zona climática				
cm	(W/m ² K)	A	B	C	D	E
		0,47	0,33	0,23	0,22	0,19
10	1,31	60	80	120	160	160
12,5	1,09	60	80	120	140	160
15	0,93	40	80	120	140	140
17,5	0,81	40	80	120	140	140
20	0,72	40	60	100	120	140
24	0,61	20	60	100	100	120
30	0,50	20	40	80	100	120

7.3. Puentes térmicos

El aislamiento térmico de una vivienda no solamente depende de los materiales de los cerramientos, sino también de los encuentros entre elementos y en las zonas con cambios de material.

Esas zonas son susceptibles a generar pérdidas de calor lineales llamados puentes térmicos y se cuantifican mediante el factor de conductancia lineal Ψ W/mK según la normativa UNE-EN ISO 10211. Puentes térmicos comunes son por ejemplo el encuentro del cerramiento con la solera, los forjados entre plantas, la cubierta, las cajas de persiana, los pilares de hormigón, los dinteles, etc.

Con la entrada en vigor del CTE y el establecimiento de la exigencia básica de limitación de la demanda energética de los edificios, el nivel de aislamiento térmico de los edificios exigido ha sido incrementado de forma importante. Hay que resaltar que la pérdida de calor a través de los puentes térmicos tiene mayor repercusión en las viviendas mejor aisladas, donde pueden suponer un 25-30% del total de las pérdidas.

En el cómputo total de las pérdidas de calor de una vivienda mal aislada, las pérdidas lineales por puentes térmicos tienen menor peso a nivel porcentual del total.

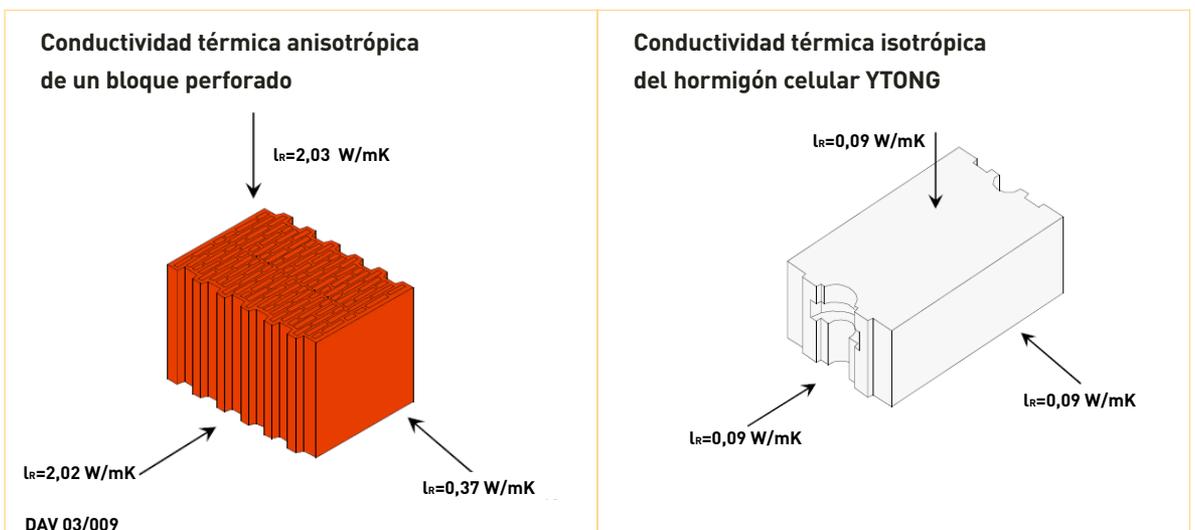
Aparte del aspecto energético, los puentes térmicos también pueden perjudicar la salud e higiene en el interior de las viviendas.

En las zonas de los puentes térmicos, la temperatura interior superficial puede ser inferior al resto de la superficie del elemento constructivo. Con ello crece el riesgo de condensaciones superficiales, que ocurrirán en caso de que la temperatura baje hasta alcanzarse el nivel de saturación de vapor de agua.

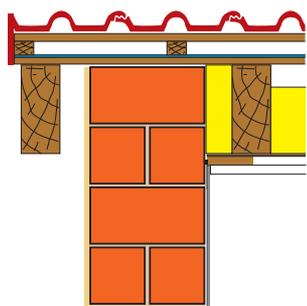
Tanto en la opción simplificada como en la opción general de la comprobación de la limitación de la demanda energética según el CTE, hay que tener en cuenta las pérdidas de calor lineal en los puentes térmicos.

En el análisis de los puentes térmicos no solamente se tienen en cuenta las pérdidas teóricas a través de un elemento constructivo, sino la totalidad de flujos de calor en todas las direcciones. Por este motivo es importante una buena elección de los elementos constructivos teniendo en cuenta el criterio de minimizar los puentes térmicos.

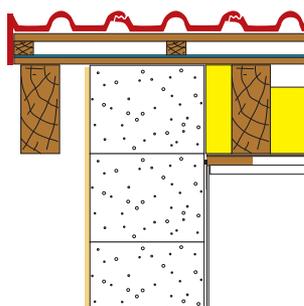
Gracias a ser un material macizo e isótropo, el hormigón celular YTONG permite minimizar los puentes térmicos en los diferentes encuentros que generalmente son susceptibles a este fenómeno.



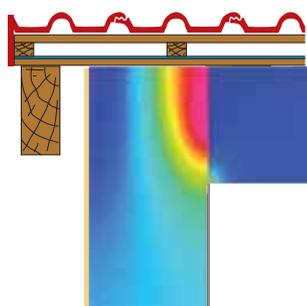
Variante ladrillo perforado



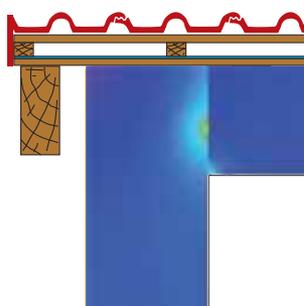
Variante muro YTONG



Variante ladrillo perforado



Variante hormigón celular



Q(W/m²)

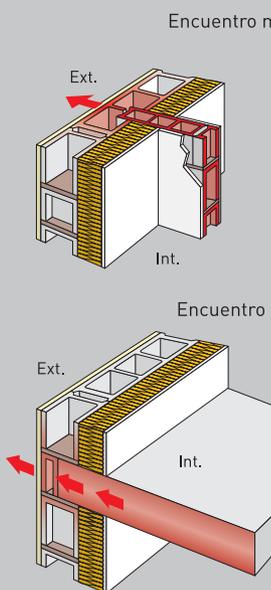


A parte de esto, la combinación de elementos de hormigón celular YTONG permite tratar de forma muy eficaz el problema de los puentes térmicos.

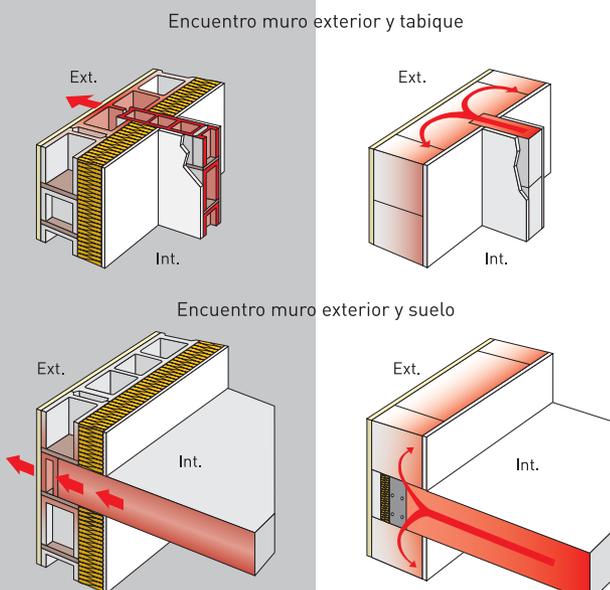
A un encuentro de un muro de cerramiento de YTONG de 30 cm de espesor y un forjado de hormigón convencional entre plantas le corresponde un factor de conductancia lineal ψ de 0,20. Si el forjado sin embargo se realiza con placas armadas de hormigón celular YTONG, este factor se reduce a 0,12, lo que supone una reducción de un 40%.

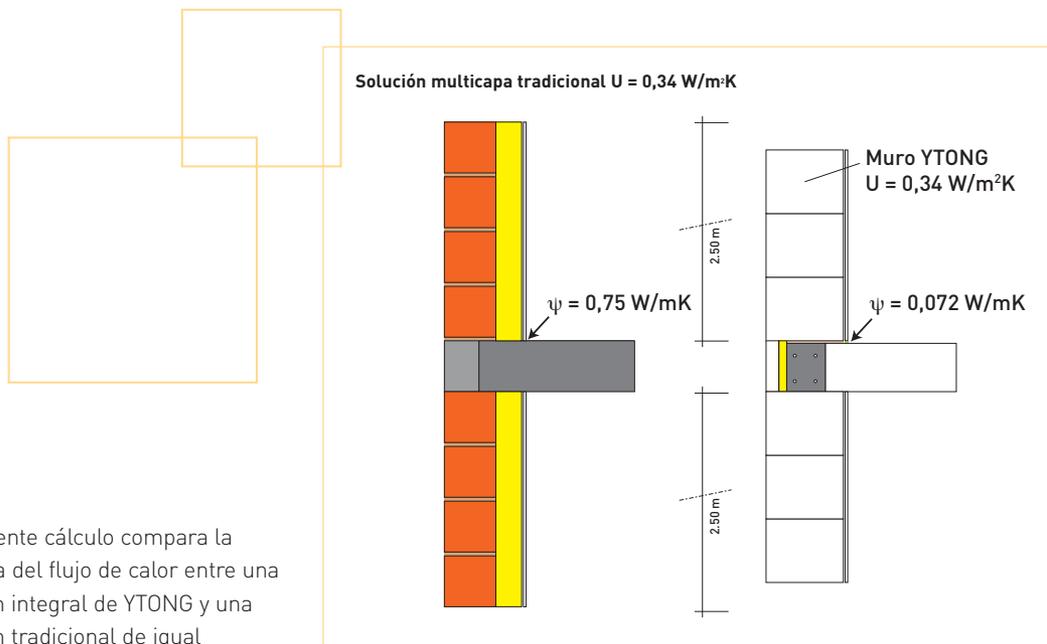
También es notable la eliminación del puente térmico en los balcones realizados con placas armadas de hormigón celular YTONG colocadas en voladizo.

Sistema con material corriente y aislamiento interior



Sistema YTONG con aislamiento repartido





El siguiente cálculo compara la potencia del flujo de calor entre una solución integral de YTONG y una solución tradicional de igual transmitancia térmica, con diferencia en el factor de pérdida lineal (puente térmico).

Hipótesis de condiciones climáticas

Invierno

Temperatura en el interior: 20°

Temperatura en el exterior: 5°

$\Delta T = 15^\circ$

Verano

Temperatura en el interior: 20°

Temperatura en el exterior: 35°

$\Delta T = 15^\circ$

Flujo de calor por metro lineal de fachada y por grado de diferencia de temperatura entre el exterior y el interior:

$$U_{\text{cerr}} \cdot 2 \cdot 2,50\text{m} + c$$

Solución integral YTONG para una fachada de 60 m:

$$\left(0,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 2 \cdot 2,50\text{m} + 0,072 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right) \cdot 60\text{m} \cdot 15\text{K} = 1595\text{W}$$

Solución tradicional:

$$\left(0,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 2 \cdot 2,50\text{m} + 0,75 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \cdot 1\text{m}\right) \cdot 60\text{m} \cdot 15\text{K} = 2205\text{W}$$

Como se observa, la pérdida de calor es un 38% más elevada en la variante sin tratamiento adecuado del puente térmico que en la solución de YTONG.

7.4. Comportamiento térmico en condiciones reales: la inercia térmica

Generalidades

Por definición la transmitancia térmica es la cantidad de calor en vatios W que atraviesa un elemento constructivo de 1m² de superficie y un determinado espesor, si existe una diferencia de temperatura de 1K entre los ambientes a cada lado del elemento. La transmitancia térmica es pues un índice que nos aporta información sobre las pérdidas energéticas a través de un elemento constructivo en condiciones estáticas.

Como es sabido, las condiciones reales no son así, al estar los elementos constructivos sometidos a ondas térmicas periódicas, con lo cual no es suficiente la valoración de una solución constructiva solamente a través de su transmitancia o resistencia térmica.

El comportamiento térmico en condiciones variables tiene repercusión directa en el confort climático en el interior de una vivienda, y depende de la capacidad de los materiales para almacenar energía (=calor) y de la inercia para captarla o devolverla de

forma atenuada (=desfase temporal y amortiguamiento). El conjunto de estas características se denomina comúnmente como la "inercia térmica" de un material.

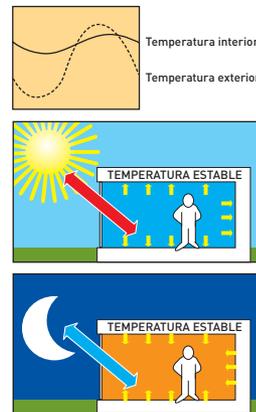
La capacidad de almacenar calor depende del calor específico, del espesor y de la densidad del producto. Todos los materiales minerales (incluyendo el hormigón celular) disponen del mismo calor específico (aprox. 1 kJ/kgK), por lo que la capacidad térmica depende únicamente de la masa (densidad x espesor) para este tipo de materiales.

Por norma general los materiales ligeros disponen de una alta resistencia térmica, pero de una baja inercia térmica, por lo que aíslan muy bien, pero no tienen capacidad para almacenar energía y devolverla lentamente. Pongamos como ejemplo una casa de madera bien aislada con materiales ligeros. Debido a la falta de inercia térmica, la temperatura ambiental interior variará con rapidez si se modifican las condiciones ambientales, por ejemplo cuando se usa una calefacción intermitente (calentamiento rápido al poner en marcha la calefacción y enfriamiento rápido al apagarla).

Comportamiento térmico de un espacio sin inercia térmica



Comportamiento térmico de un espacio con inercia térmica



Los materiales pesados por el contrario, disponen de una alta inercia térmica. Un ejemplo son las casas antiguas o las iglesias con muros de piedra de gran espesor, que retienen el frío y el calor debido a esta característica y no debido a un buen aislamiento térmico. El clima en el interior es confortable en verano, ya que los muros de piedra tienen una elevada capacidad para almacenar el calor, que de esta forma no penetra al interior, sino que es devuelto al exterior una vez baja la temperatura por la noche. En invierno sin embargo, y especialmente en un clima frío, esa capacidad puede llegar a ser contraproducente. Como ejemplo pueden servir las segundas residencias de uso ocasional (fines de semana). Debido a que inicialmente gran parte del calor emitido por la calefacción es absorbido por los muros, existe una demora importante hasta alcanzarse un nivel de confort aceptable.

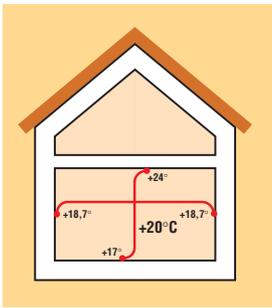
Gran parte de esta energía no se llega a aprovechar, debido a que es devuelta al ambiente una vez desocupada otra vez la casa.

Como se puede ver, no es bueno ninguno de los dos extremos, pero además es importante destacar que no existe una combinación idónea global de aislamiento/inercia, sino que ésta dependerá del uso de los espacios (permanente/ ocasional), grado de ocupación (alto/bajo), sistemas de climatización, zona climática, exposición solar, etc. Todos estos factores deberán entrar en el análisis para buscar la mejor solución integral, pero como norma general se buscará un equilibrio entre el aislamiento y la inercia, de forma que se consiga el mayor confort térmico y el menor consumo energético.

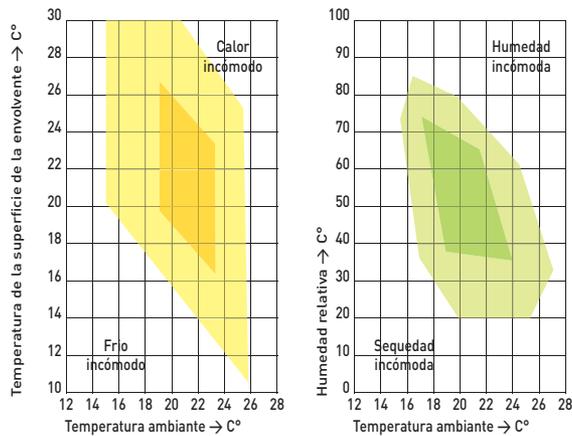
Comportamiento térmico en invierno

En invierno la situación habitual es que haya un gradiente térmico del interior al exterior, por lo cual es necesario el empleo de un sistema de calefacción para mantener la temperatura interior a un nivel confortable.

La inercia térmica de los cerramientos en estas condiciones tiene poca importancia, ya que la escasa energía que puedan cargar en las horas centrales de un día soleado apenas llegará al interior, sino que será devuelta al exterior al bajar la temperatura exterior por la tarde.



Confort térmico en el interior de una vivienda construida en hormigón celular



Sin embargo puede ser beneficiosa la inercia térmica en los materiales de los paramentos interiores, al captar la energía emitida por la calefacción o la recibida por radiación solar y devolverla de forma desfasada. Eso hace factible el uso intermitente de la calefacción, manteniendo una temperatura estable a lo largo del ciclo diario. Aparte de eso puede ser ventajosa la utilización de elementos con elevada inercia térmica en espacios muy expuestos a la radiación solar, que incluso en invierno pueden ocasionar un sobrecalentamiento indeseable. En definitiva se puede concluir que la inercia térmica funciona como un regulador de temperatura que contribuye al confort climático. La ventaja del hormigón celular YTONG frente a las soluciones tradicionales es que permite realizar muros macizos y homogéneos de una sola hoja y sin necesidad de ningún otro material aislante, con las características de aislamiento e inercia térmica repartida homogéneamente en todo el espesor del muro.

Esto permite aprovechar la inercia térmica de la forma descrita en el apartado anterior. Los bloques YTONG están en contacto directo con el interior, y al fungir como radiadores pasivos hacen que las paredes sean "calientes", lo cual es esencial para el confort térmico. En el gráfico 2 está representado el confort térmico bajo diferentes combinaciones de temperatura ambiente, temperatura superficial de los paramentos y humedad relativa. Vemos que la temperatura de los paramentos debe ser similar a la del ambiente para que las condiciones sean confortables (trama oscura). Las condiciones climáticas que se establecen en una vivienda construida con el sistema YTONG están dentro del área óptima de confort climático.

En comparación, la solución tradicional utiliza materiales específicamente aislantes en los cerramientos, colocándolos cerca del ambiente interior, mientras que la parte pesada se ubica en la cara exterior.

Esta disposición de los elementos impide prácticamente la aportación como acumulador de calor de la lámina pesada, mientras que el trasdosado interior no dispone prácticamente de inercia térmica, lo que se traduce en paredes interiores "frías" y un confort climático inferior.

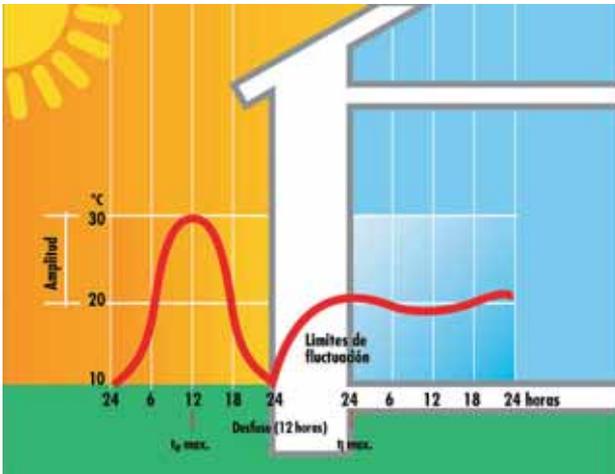
Comportamiento térmico en verano

En verano se invierte la situación del invierno, teniendo un gradiente térmico del exterior al interior durante el día. Durante la noche (dependiendo de la zona climática), esta situación por norma general se llega a invertir (temperatura en el interior de una vivienda más alta que la temperatura exterior).

Para estas condiciones se considera óptimo un cerramiento con una inercia térmica que proporcione un desfase de 12 horas entre el ciclo térmico exterior y el ciclo térmico interior.

El ciclo térmico natural es de 24 h (= 1 ciclo diario) y un desfase de 12h significa que las curvas de temperatura en el exterior y el interior se invierten.

Desfase y amortiguamiento térmico de un cerramiento YTONG



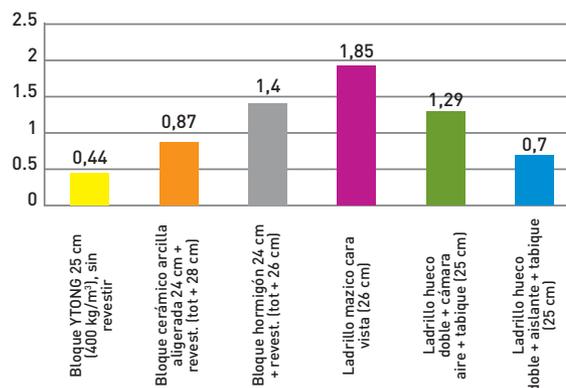
Esto significa que el pico de calor en el exterior al mediodía llega de forma considerablemente atenuada al interior de la vivienda con un retraso de 12 horas, cuando en el exterior la temperatura ha alcanzado su punto más bajo del ciclo. La bajada de temperatura de los muros a medida que van devolviendo la energía acumulada dura otras 12 horas, llegando al punto más bajo cuando en el exterior las temperaturas han vuelto a alcanzar la máxima, cerrándose de esta forma el ciclo.

Este comportamiento se consigue con los cerramientos de hormigón celular YTONG, (ensayo realizado sobre un muro de espesor 25 cm y densidad 400 kg/m³).

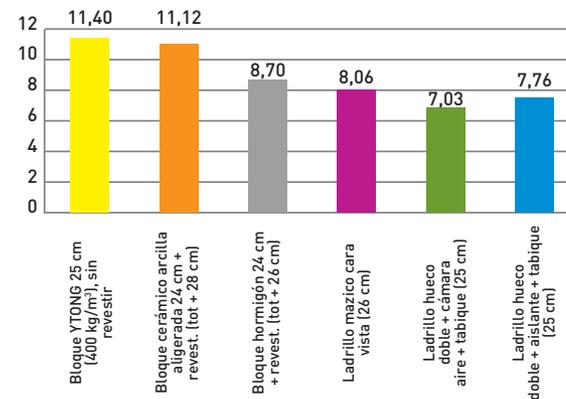
Aparte del desfase, es de gran importancia el amortiguamiento térmico, es decir, la atenuación de la onda térmica. En el caso del muro YTONG, el amortiguamiento está en torno a un 89%, lo cual significa que la fluctuación de temperatura externa de +-20° en un ciclo diario se traduce en una fluctuación interna de solamente 2,2°.

Como se muestra en los gráficos comparativos, los bloques YTONG combinan una inmejorable resistencia térmica (representada por una baja transmitancia) con las cualidades de inercia térmica propias de elementos de elevada masa.

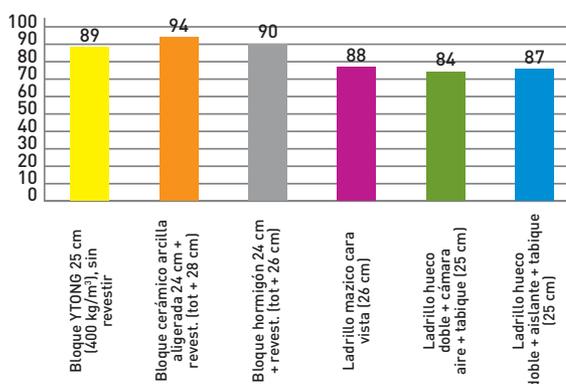
Transmitancia térmica (W/m²K)

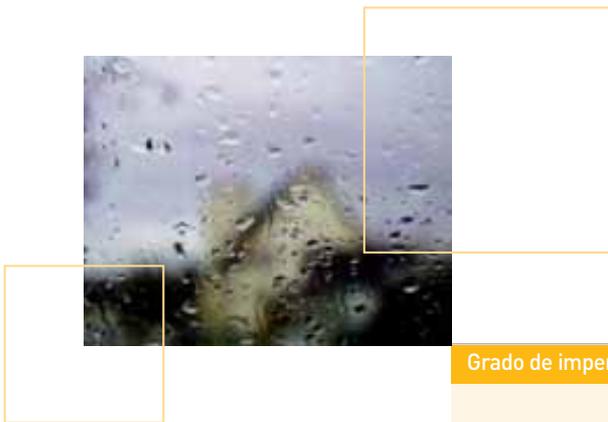


Desfase de onda térmica (h)



Amortiguación de onda térmica (%)





Grado de impermeabilidad exigido	Soluciones mínimas aptas de YTONG
1	R1 + bloques de 25 cm de espesor R3 + bloques de 20 cm de espesor
2	R1 + bloques de 25 cm de espesor R3 + bloques de 20 cm de espesor
3	R1 + bloques de 25 cm de espesor R3 + bloques de 20 cm de espesor
4	R3 + bloques de 20 cm de espesor
5	R3 + bloques de 20 cm de espesor

R1 = Revestimiento con resistencia media a la filtración al agua
 R2 = Revestimiento con resistencia alta a la filtración al agua
 R3 = Revestimiento con resistencia muy alta a la filtración al agua

7.5. Protección frente a la humedad

Los elementos constructivos de una vivienda acumulan humedad durante el proceso de fabricación y durante su uso. Esa humedad se debe sobre todo a la humedad del mortero utilizado en las juntas de los muros, pero también a la humedad generada en el proceso de fabricación de los propios elementos que componen los cerramientos.

Humedad inicial

Cuando los bloques de hormigón celular YTONG salen de los túneles de autoclave y han obtenido su resistencia, todavía tienen un contenido elevado de humedad (23%). Sin embargo, en los primeros 15 días de vida del producto, en los que permanecerá almacenado en el patio de la fábrica, el contenido de humedad baja del 23% al 14% aproximadamente, produciéndose la mitad de la retracción de secado potencial del material (0,10 mm/m de 0,2 mm/m de retracción total). La humedad de equilibrio del hormigón celular está en torno a un 4%, alcanzándose por norma general al cabo de 2-3 años.

En las obras con muros tradicionales de ladrillo, las juntas de mortero aportan una humedad importante a los cerramientos y se necesitan varios años de vida hasta que estos hayan alcanzado la humedad de equilibrio.

Los muros de hormigón celular YTONG permiten reducir esta humedad, al realizarse con junta fina de solo 2 mm de espesor en los tendeles y generalmente con las juntas verticales secas (sistema de machihembrado). Adicionalmente la elevada planeidad de los muros permite reducir los espesores de los revestimientos, que pueden limitarse a 5 mm.

Humedad durante el ciclo de vida de la vivienda

Las caras exteriores de los cerramientos están expuestas a la intemperie y por lo tanto a las precipitaciones. La absorción de humedad de los elementos constructivos no solo provocaría una disminución considerable de la resistencia térmica, sino que además podría generar severas patologías de obra. Por este motivo es necesario proteger a los muros de fábrica de una protección adecuada.

El CTE en su DB-HS Salubridad define soluciones de fachada válidas en función del grado de impermeabilidad mínimo exigido. Éste a su vez depende de la ubicación geográfica de la vivienda y del grado de exposición al viento.

Para fachadas de una sola hoja, se pueden emplear las combinaciones reflejadas en el cuadro superior, que se ajusta a la tabla 2.7 del CTE.

Las condiciones exigidas a los revestimientos R1 a R3 son las siguientes (para información detallada consultar apartado 2.3.2 DB-HS del CTE):

R1: Revestimiento exterior con resistencia media a la filtración (pueden ser revestimientos continuos o discontinuos)

R2: Revestimiento exterior con resistencia alta a la filtración (revestimientos discontinuos)

R3: Revestimiento exterior con resistencia muy alta a la filtración (pueden ser revestimientos continuos o discontinuos)



Los fabricantes de los materiales de revestimiento clasifican sus productos según estas categorías y existen una gran variedad de productos compatibles con el hormigón celular en todas ellas.

Una parte importante de las humedades se genera por el propio uso de la vivienda. La humedad se puede acumular sobre todo en los cerramientos exteriores, si no se garantiza una climatización y ventilación correcta y los cerramientos no permitan difundir suficientemente las humedades. Las humedades en la vivienda se generan sobre todo en la cocina y en los baños, pero también se genera por las personas, plantas e incluso los acuarios.

En la mayoría de los casos sin embargo no es necesaria la comprobación de las condensaciones superficiales, siempre y cuando se cumplan las exigencias de aislamiento térmico. En el caso del hormigón celular el aislamiento térmico repartido, la inercia térmica y la reducción de los puentes térmicos garantizan paredes "calientes" con temperaturas superficiales similares a las de ambiente, lo cual permite impedir este tipo de condensaciones.

Existen dos formas de transporte de humedad a través de un material de construcción, dependiendo de las características capilares y la difusibilidad al vapor de agua del mismo y del gradiente de la presión del vapor de agua. La difusibilidad al vapor de agua de un material la determina el valor μ , siendo éste el cociente entre la resistividad al vapor de agua del material y la resistividad al vapor de agua del aire en reposo.

El hormigón celular tiene el menor coeficiente de difusibilidad al vapor de agua μ de los elementos estructurales minerales.

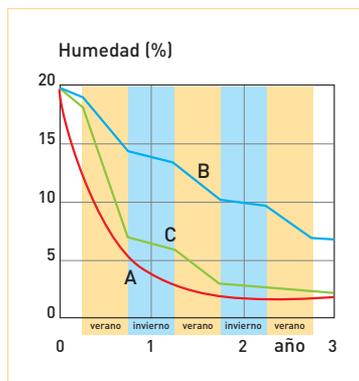
En el caso del hormigón celular, el factor μ es de 5 en estado húmedo y 10 en estado seco del material.

A efectos de cálculo habrá que utilizar el factor más desfavorable según el caso.

Por norma general hay que permitir que un elemento constructivo YTONG pueda secarse por lo menos por un lado, para que las humedades acumuladas puedan ser devueltas al ambiente. El proceso de secado comparativo de diferentes elementos de YTONG que componen la envolvente térmica está reflejado en el gráfico de la página siguiente.

Índices de difusibilidad de vapor de agua μ

Hormigón celular YTONG	5/10
Revoco exterior	5
Enlucido	10
Revestimiento a base de silicatos	10
Lana mineral	1
Ladrillos huecos	5/10
Cemento, morteros, revocos	10/35
Madera	40
Hormigón	70/150
Lámina asfáltica	10.000/80.000
Lámina de material plástico	10.000/80.000

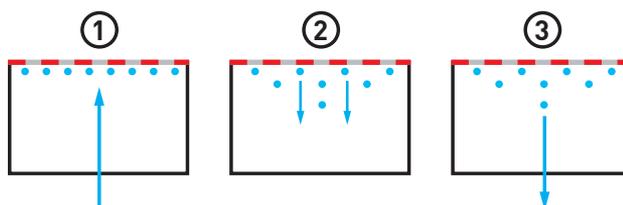


A = Muro exterior con revestimiento permeable al vapor de agua en las dos caras, fachada este, incidencia de lluvia baja

B = Muro exterior, revestimiento exterior impermeable al vapor de agua (la humedad solo puede evaporarse hacia el interior), fachada norte

C = Cubierta plana no ventilada, solamente permeable al vapor de agua hacia el interior.

Combinación de transmisión de humedad por capilaridad y por difusión



1.) Difusión entrante:

Difusión de vapor de agua hacia la capa impermeable debido al gradiente de la presión del vapor de agua. Aumento de la humedad en la parte exterior del elemento.

2.) El agua condensada,

acumulada bajo la capa impermeable, se reparte a capas más secas y más profundas mediante transporte capilar y llega a zonas más cálidas con mayor presión de saturación de vapor de agua

3.) Difusión saliente:

El agua condensada que alcanza zonas con una presión de saturación de vapor de agua superior a la del ambiente, puede volver a difundirse hacia el interior

El proceso de secado del muro revestido con materiales con un valor bajo de difusibilidad al vapor de agua (A) es continuo, con una velocidad inicial elevada que va disminuyendo a lo largo del tiempo hasta alcanzar la humedad de equilibrio en torno al 3%.

El muro que dispone de una barrera de vapor en el exterior y la cubierta no ventilada secan más rápido en verano y más despacio en invierno. El hecho de que estos elementos también sequen en invierno, siendo necesario un flujo de vapor en contra de la gradiente de presión al secarse hacia el interior, se debe al mecanismo combinado del transporte de humedad por capilaridad y difusión del vapor de agua, como muestran los dibujos siguientes.

Finalmente podemos resumir que la construcción monolítica con bloques YTONG no requiere capas adicionales de aislamiento ni barreras de vapor, con lo cual se evitan cambios de material y cambios bruscos de propiedades físicas que pueden generar problemas y patologías como acumulación de humedad, condensaciones intersticiales, moho, etc.

8. Características acústicas

8.1. Introducción

El ruido es parte de la contaminación de los tiempos modernos y uno de los principales obstáculos para poder disfrutar de una vivienda digna y adecuada. Para hacer frente a esta problemática y mejorar la calidad acústica de las viviendas, el Ministerio aprobó el Documento Básico "Protección frente al Ruido" del Código Técnico de la Edificación, sustituyendo a la NBE CA-88 "Condiciones acústicas en los edificios" y basándose en la normativa europea UNE-EN 12354 Partes 1-3.

Los cambios normativos son sustanciales: no solamente aumenta la exigencia de aislamiento de los diferentes elementos de separación, sino que también cambia el concepto, al aplicarse las exigencias en la mayoría de los casos a los elementos constructivos totalmente acabados. Esto quiere decir que se deben tener en cuenta las transmisiones de ruido laterales a través de los elementos limítrofes, las instalaciones o cualquier otra actuación en los elementos que puedan alterar su capacidad de aislamiento. Este criterio es esencial para garantizar una calidad mínima de protección frente al ruido de las viviendas, pero dependerá no solo de los materiales elegidos, sino también de otros parámetros como el tipo de los encuentros entre elementos separados, la calidad de ejecución, etc.



8.2. Principios generales

En la acústica, se distinguen diferentes tipos de ruidos :

- 1 – Los ruidos aéreos exteriores al edificio
- 2 – Los ruidos aéreos interiores provenientes de la vida y actividad de los distintos espacios del edificio
- 3 – Los ruidos de equipamientos generados por las instalaciones y los aparatos propios al edificio
- 4 – Los ruidos de impacto, de choque, de caída o de desplazamiento de las personas en el edificio
- 5 – La reverberación

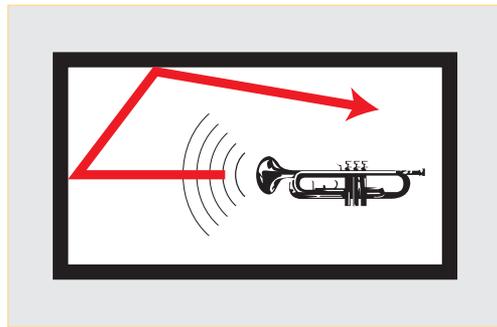
Los ruidos pueden tomar diferentes caminos de propagación : aéreo, sólido (o sea por la estructura del edificio: los muros, los forjados, la cubierta, los techos...) y los ruidos parásitos llamados "puentes acústicos".

Estos puentes acústicos representan puntos singulares, tal como:

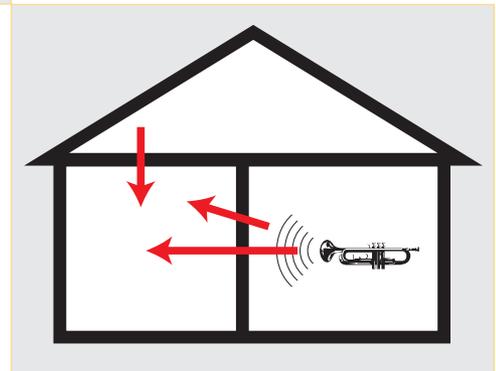
- huecos de ventilación
- tuberías
- errores de concepción como ventanas demasiado cercanas
- errores de ejecución, como las rozas mal tapadas
- las cajas eléctricas una frente a otra en los tabiques divisorios
- los pasos de cables
- los encuentros mal ejecutados entre elementos de obra gruesa.

Se deben tener en cuenta todos estos elementos para elegir y poner en obra correctamente los materiales y los acabados, con el fin de asegurar para cada proyecto una solución acústica óptima.

La reverberación es la propagación de los ruidos en el interior de un mismo local



El aislamiento acústico atenúa la propagación de los ruidos de un local al otro



Escala de ruidos

unidad en dB

		180	
		140	Avión en el despegue
Umbral de dolor intolerable		120	Avión – Martillo neumático
	Ruidos peligrosos	105	Concierto rock – Discoteca
		100	Sierra mecánica
		95	
Umbral de peligro		90	Ladrido – Comedor infantil
			Cortacésped – Walkman
Umbral de riesgo		85	Interior del metro
	Ruidos molestos		Ronquidos
		80	Tráfico calle – Interior tren
		70	Interior coche – Teléfono
			Aspirador – Televisión
	Ruidos medios		Conversación viva
		60	Sala de clase – Lavavajillas
	Ruidos ligeros		Conversación normal
		40	Cuarto de estar – Habitación
		30	Viento ligero
		20	Estudio de grabación
Umbral de audibilidad			Laboratorio de Acústica
		0	

8.3. Definiciones: aislamiento a ruido aéreo y aislamiento a ruido de impactos

Índice de reducción acústica

R_w (C ; C_{tr})

Permite caracterizar en un solo valor la capacidad de un elemento divisorio a reducir el ruido aéreo. Éste índice se obtiene generalmente por ensayo en laboratorio (según UNE-EN ISO 140-3), siendo una característica intrínseca del elemento, no dependiendo de factores ambientales.

C y C_{tr} son términos de adaptación espectral, que se añaden al valor R_w para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular. El valor de C se utiliza para obtener el valor R_A (Índice global de reducción acústica ponderado A para ruido rosa), mientras que el valor de C_{tr} se utiliza para ruido de automóviles o aeronaves.

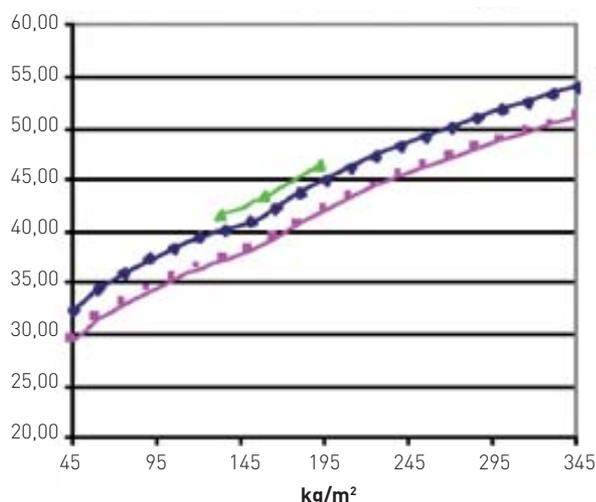
Del resultado de un ensayo de laboratorio según la normativa ISO 717-1 de R_w(C,C_{tr}): 46 (-1;-4) dB por ejemplo se obtienen los siguientes índices de reducción acústica ponderada:

$$R_A = 46 - 1 = 45 \text{ dBA}$$

$$R_{A,Tr} = 46 - 4 = 42 \text{ dBA}$$

Ley de masas

Índice global aislamiento acústico de un elemento, ponderato A (Ra)



Ensayos Labein UNE-ISO 140-3

Tipo bloque	Masa* kg/m ²	Ra (dBA)	Fórmula CTE (dBA)	Diferencia (dBA)
20/400	133	41,8	39,02	2,78
20/500	159	43,4	41,85	1,55
25/500	192	46,6	44,84	1,76

* Con revestimiento de yeso en ambas caras de 10 mm

El índice de reducción acústica R_A de elementos constructivos homogéneos pueden calcularse (a falta de ensayos de laboratorio) según la ley de masa que define el CTE en el Anejo A del DB-HR:

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

$$R_A = 16,6 \cdot \lg(m) + 5 \text{ [dBA]}$$

$$m > 150 \text{ kg/m}^2$$

$$R_A = 36,5 \cdot \lg(m) - 38,5 \text{ [dBA]}$$

El gráfico muestra la curva correspondiente a la ley de masas definida en el CTE y la contrapone a la ley de masas de la NBE CA-88 y a los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio para diferentes soluciones con muros de YTONG.

Como se puede apreciar, el cálculo de la nueva ley de masas que propone el DB-HR aumenta en 3 dBA el índice R_A respecto a los cálculos de la NBE CA-88.

Por otro lado, los resultados de ensayo de las soluciones YTONG (ver tabla siguiente) están por encima del resultado que se obtendría al aplicar la ley de masas del CTE (en torno a los 2dB de diferencia).

Aislamiento acústico a ruido aéreo

$D_{nT,A}$

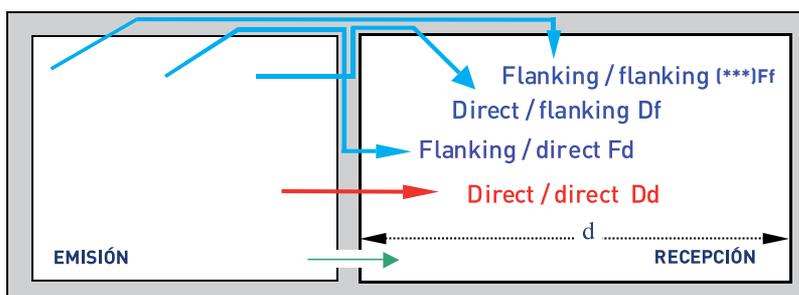
El aislamiento acústico $D_{nT,A}$ permite caracterizar en un solo valor el aislamiento a ruido aéreo existente entre dos recintos.

Para calcular el valor de aislamiento entre dos locales hace falta tener en cuenta las transmisiones por los laterales. En total existen $4 \times 3 = 12$ vías de transmisión laterales de primer orden más la transmisión directa que hay que tener en cuenta.

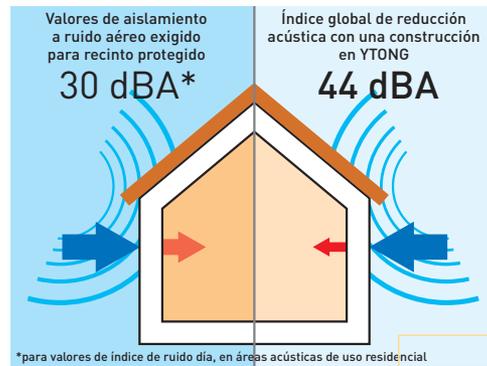
Ruido de impactos

El nivel de ruido de impacto es el nivel sonoro emitido por una máquina que produce impactos normalizados en el espacio emisor. El nivel sonoro se mide en el espacio receptor y equivale a L_{nTW} en laboratorio y a L'_{nTW} in situ.

El índice de reducción ΔL_w permite evaluar la capacidad de aislamiento a ruido de impactos de un acabado de suelo o un suelo flotante.



TRANSMISIONES DIRECTAS
TRANSMISIONES LATERALES
TRANSMISIONES PARASITAS



*para valores de índice de ruido día, en áreas acústicas de uso residencial



La normativa europea UNE-EN 12354-2 propone un método simplificado para forjados básicos homogéneos, muy sencillo para calcular el nivel sonoro $L_{nT,W}$. A modo ejemplar realizamos la comprobación del aislamiento acústico a ruido de impactos para dos habitaciones de diferentes unidades de uso, situadas una encima de la otra, separadas por un forjado de placas YTONG más un suelo flotante. Los volúmenes de las habitaciones son de 30 m³.

Elemento separador

Forjado

Placas YTONG de 24 cm de espesor y de 600 kg/m³ de densidad ($m = 0,24 \text{ m} \times 600 \text{ kg/m}^3 = 144 \text{ kg/m}^2$)
Suelo flotante: 40 mm de mortero sobre 20 mm de lana mineral con $s' = 8 \text{ MNm}^{-3}$

Elementos de los flancos

- Muros exteriores de YTONG, 25 cm de espesor y densidad 400 kg/m³, unión rígida en T
 $m' = 0,25 \times 400 = 100 \text{ kg/m}^2$

- Tabiques interiores de YTONG, 10 cm de espesor y densidad 550 kg/m³, unión rígida en cruz
 $m' = 0,10 \times 550 = 55 \text{ kg/m}^2$

Nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \text{ [dB]}$$

con

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \cdot \lg(m) = 88,5 \text{ [dB]}$$

(Nivel de presión acústica ponderada de impactos normalizada equivalente del forjado)

ΔL_w = Índice de mejora acústica ponderado de impactos global del suelo flotante

El valor ΔL_w se obtiene de la figura C1 del Anexo C de la normativa EN12354-2 en función de la densidad superficial del suelo flotante (aquí 0,04 m x 2000 kg/m³ = 80 kg/m²) y la rigidez dinámica por unidad de área s' de la capa elástica (aquí 8 MNm⁻³).

$$\Delta L_w = 33 \text{ dB}$$

= Corrección para la transmisión acústica de impactos sobre construcciones de flancos homogéneos en dB,

El valor K se obtiene de la tabla 1 de la normativa, en función de la densidad superficial del elemento separador y la densidad superficial media de los elementos de flancos. En el ejemplo de cálculo la densidad superficial media está en torno a los 100 kg/m², por lo que el valor K es de 2 dB.

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K = 88,5 - 33 + 2 = 57,5 \text{ [dB]}$$

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \cdot \lg(V/30) \text{ con } V = 30 \text{ m}^3$$

$$L'_{nT,w} = 57,5 \text{ dB} < 65 \text{ dB} = L'_{nT,w} \text{ (max.)}$$

Cumple.

Como se puede ver, el nivel de reducción de ruido a impactos depende sobre todo del suelo flotante que se ejecuta sobre el elemento estructural.

8.4. Exigencias de la normativa

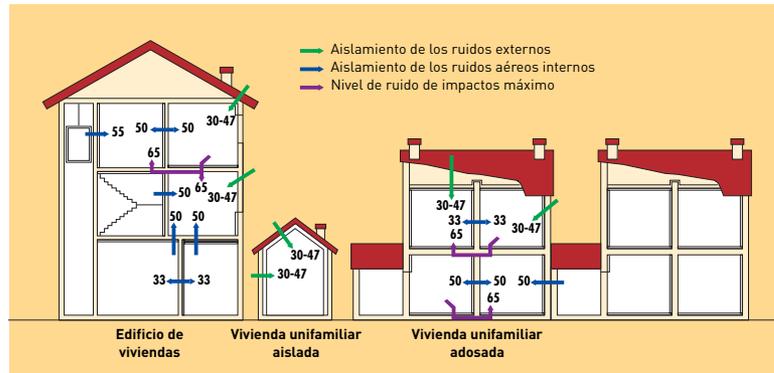
Las exigencias de aislamiento acústico dependen del tipo de recinto receptor y del tipo de recinto emisor de ruido.

Los recintos protegidos son:

- Edificios residenciales: habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.)
- Edificios uso docente: aulas, bibliotecas, despachos
- Edificios uso sanitario: quirófanos, habitaciones, salas de espera
- Edificios uso administrativo: oficinas despachos, salas de reunión

Los recintos habitables son:

- Cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores, zonas comunes de circulación en interior, similares



En la siguiente tabla se muestran los valores de protección frente al ruido que marca el CTE en comparación la antigua NBE-CA88:

Los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior dependen del uso del edificio y del índice de ruido día Ld.

Éste último valor puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido.

En caso de no disponer de datos oficiales, el CTE permite utilizar unos valores tabulados en función del tipo de área acústica, que depende del uso predominante del suelo.

Para una zona de uso residencial por ejemplo, el índice de ruido día Ld es 60 dBA y el aislamiento acústico requerido es de 32 dB para los dormitorios y 30 dB para otras estancias.

	Tipo recinto (receptor)	Protección al ruido generado en...	Comentarios	Valor límite		Comentario
				NBE-CA-88 R (dBA)	CTE dBA	
Ruido aéreo	Protegido	misma unidad de uso (tabiquería)		30 o 35	33	
	Normal	misma unidad de uso (tabiquería)		30 o 35	33	
	Protegido	otras unidades de uso (colindante v/h)		45	50	in situ
	Normal	otras unidades de uso (colindante v/h)		45	45	in situ
	Protegido	zonas comunes (colindante v/h)	no comparten puertas/ventanas	45	50	in situ
	Normal	zonas comunes (colindante v/h)	no comparten puertas/ventanas	45	45	in situ
	Protegido	zonas comunes (colindante v/h)	sí comparten puertas/ventanas	45	50	
	Normal	zonas comunes (colindante v/h)	sí comparten puertas/ventanas	45	50	
	Protegido	zona de inst. y recintos actividad (v/h)		45	55	in situ
	Normal	zona de inst. y recintos actividad (v/h)		45	45	in situ
	Protegido	exterior	en func.del uso y nivel sonoro	30	30 - 47	in situ
	Todo tipo	muros medianería	- cada uno de los cerramientos		40	in situ
	de una medianería entre 2 edif.	- conjunto de 2 cerramientos	45	50	in situ	
Ruido a impactos	Protegido	otras unidades de uso (colindante v/h)		80	65	in situ
	Protegido	zonas comunes (colindante v/h)		80	65	in situ
	Protegido	zona de inst. y recintos actividad (v/h)		80	60	in situ
	Protegido	cubierta transitable		80	65	in situ

8.5. Soluciones del sistema de construcción YTONG

8.5.1. Muros exteriores

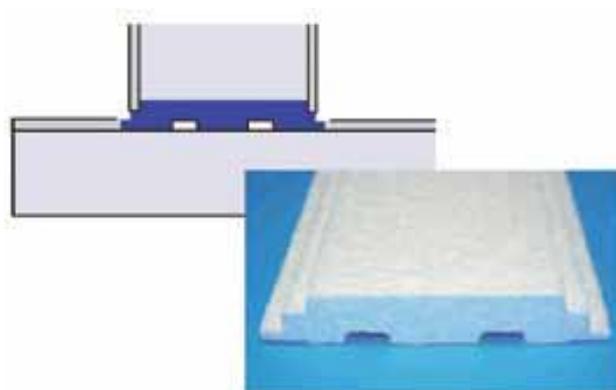
Los muros exteriores con bloques de hormigón celular YTONG se realizan en espesores a partir de 20 cm, alcanzándose los siguientes valores de reducción acústica a ruido de tráfico $R_{a,tr}$:

Solución	Densidad	$R_{a,tr}$ (dBA)	Comentario
Bloque YTONG 20 cm[*]	400 kg/m ³	38	1 hoja
Bloque YTONG 20 cm[*]	500 kg/m ³	40	1 hoja
Bloque YTONG 22,5 cm[*]	450 kg/m ³	45	1 hoja
Bloque YTONG 25 cm[*]	350 kg/m ³	42	1 hoja
Bloque YTONG 30 cm[*]	350 kg/m ³	45	1 hoja
Bloque YTONG 36,5 cm[*]	350 kg/m ³	46	1 hoja
Bloque YTONG 42 cm[*]	350 kg/m ³	49	1 hoja

[*] Ensayos según EN ISO 140-3, incl. revestimiento

[**] Valor calculado, incl revestimientos

Los índices R_a están muy por encima de los valores de aislamiento que exige el CTE para los tipos de áreas acústicas más habituales. Hay que tener en cuenta que las ventanas forman parte de la fachada y por lo tanto contribuyen al aislamiento acústico efectivo de ella, soliendo ser determinantes en el aislamiento acústico resultante.



Bandas elásticas de porexpan escalonadas

8.5.2. Divisiones en la misma unidad de uso

Tabiquería

Solución	Densidad	R_a (dBA)	Comentario
Tabique YTONG 7 cm	550 kg/m ³	36,0	1 hoja
Tabique YTONG 10 cm	550 kg/m ³	≥ 36,0	1 hoja
Tabique YTONG 15 cm	550 kg/m ³	39,0	1 hoja

Los índices R_a son superiores al límite que marca el CTE (33 dBA).

Para reducir la transmisión de ruidos por flancos es posible el empleo de bandas elásticas de porexpan escalonadas. Estos se emplean tanto para el apoyo de la tabiquería como para los encuentros verticales con los muros. El perfil escalonado facilita la aplicación de los acabados sin el peligro de la creación de puentes acústicos.

8.5.3. Divisiones con requerimiento elevado de aislamiento acústico

Las mayores exigencias de aislamiento acústico las tenemos entre diferentes unidades de uso (muro entre viviendas), entre zonas habitables y zonas comunes (zona de escaleras, pasillos) y entre zonas habitables y espacios de instalaciones. En todos estos casos la solución construida (in situ) debe cumplir con los límites que marca la normativa.

Al comprobarse el aislamiento acústico de la obra terminada, éste no dependerá únicamente del material o los materiales elegidos que componen la sección del elemento divisorio, sino que hay múltiples parámetros más que influyen en el resultado del aislamiento efectivo. Estos son por un lado parámetros de proyecto, como el volumen de las habitaciones, el material que compone los flancos (muros laterales y forjado superior e inferior), posibles trasdosados verticales u horizontales (suelo flotante o falso techo) y el tipo de encuentro entre los elementos (uniones rígidas o uniones desvinculadas).

Debemos diferenciar entre divisiones con funciones estructurales (muros de carga) y divisiones sin esta función.

Muros de carga

Para alcanzar el aislamiento acústico requerido existen varias alternativas:

Solución de 1 hoja

Muro de bloques de hormigón celular YTONG de 30 o 32,5 cm de espesor y 650 kg/m³ de densidad. Cálculos realizados según normativa EN-12354-1:2000 para bloques de hormigón celular YTONG de 32,5 cm de espesor y 650 kg/m³ de densidad, revestidos con yeso en ambas caras, han dado resultados de entre 50 y 51 dB (DnT,w) para dos dormitorios contiguos, teniendo en cuenta la transmisión por flancos y por lo tanto simulando la obra terminada. El valor Rw calculado para este tipo de bloque (incl. revestimientos de yeso en ambos lados de 10 mm) es de 52,7 dB, por lo que el valor Ra está en torno a los 52 dB.

Solución de 1 hoja portante más trasdosado

Muro de carga de bloques de hormigón celular YTONG de ≥ 20 cm de espesor + material resorte + segunda hoja.

La división de una pared en dos hojas, separándolas a una cierta distancia, y la introducción de un material flexible entre ellas proporcionan resultados de aislamiento acústico muy elevados. El material flexible funciona como un muelle que se opone al movimiento entre los paramentos, absorbiendo parte de la energía y reduciendo la frecuencia de resonancia de las dos hojas. Materiales óptimos como la lana de roca o la fibra de vidrio son especialmente adecuados, ya que aparte de elasticidad aportan las cualidades de absorción que eliminan el efecto guitarra.

Es posible combinar dos bloques de YTONG de diferente espesor, rellenando el hueco con lana de roca. Aunque las dos hojas sean del mismo material, la combinación de diferentes espesores hace que se evite el efecto de acoplamiento en una misma frecuencia de resonancia a la que son emisores. El hecho de que las dos hojas sean autoportantes es beneficioso al no estar unidos entre sí, por lo que no existen puentes acústicos directos.

La combinación de bloques de hormigón celular YTONG con placas de cartón yeso tiene la ventaja de que se combinan hojas de diferentes materiales, uno de ellos blando a la flexión (placas de cartón yeso) y otro rígido (bloques de hormigón celular YTONG). Por este motivo las hojas tienen frecuencias críticas y de resonancia diferentes, lo cual beneficia considerablemente al aislamiento. Para conseguir realmente niveles de aislamiento acústico elevado, es conveniente hacer las hojas totalmente independientes entre sí, empleando una perfilería independiente para el trasdosado.

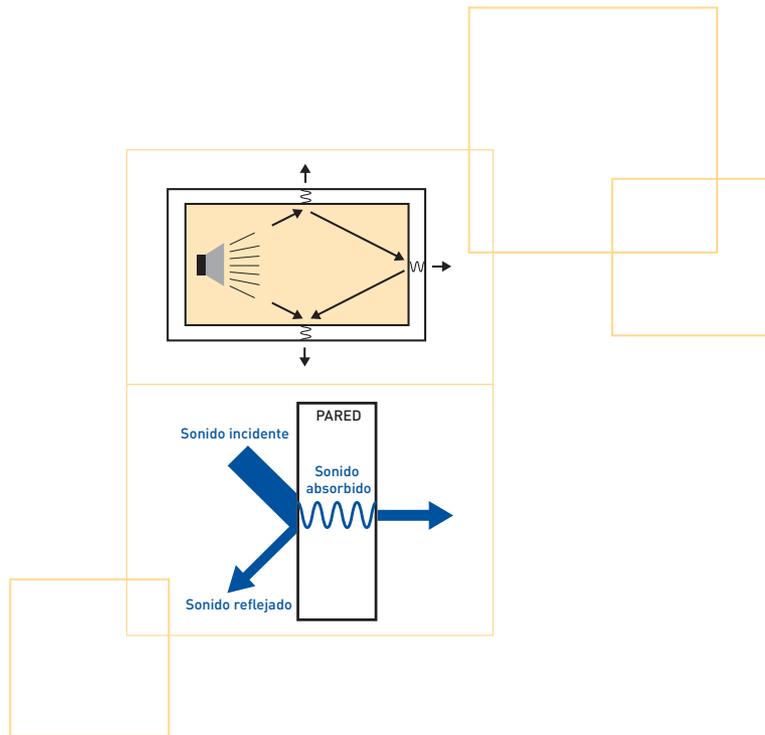
Solución de 2 hojas portantes

Dos hojas de bloques de hormigón celular YTONG de 20 cm de espesor y 500 kg/m³ de densidad, 25 mm de lana de roca intercalada. Valor Ra calculado de 58dB.

Elemento divisorio sin función estructural

Solución de 2 hojas de tabiquería + material de resorte interpuesto

Se trata de realizar dos hojas independientes y autoportantes de bloques de hormigón celular YTONG de reducido espesor, dejando un espacio determinado entre ambos y rellenándolo con un material resorte adecuado (lana de roca).



8.6. Absorción acústica

Las ondas sonoras que chocan con las paredes de una habitación son reflejadas en parte hacia el local de origen, mientras que otra parte es absorbida por la propia pared. El coeficiente de absorción (α) de una pared caracteriza su poder para absorber la energía acústica incidente.

Es posible reducir el nivel acústico en una habitación colocando materiales especialmente absorbentes en las paredes. A menudo, se confunde aislamiento acústico y absorción sonora.

- los materiales absorbentes sirven para limitar el efecto de resonancia del ruido
- el aislamiento acústico caracteriza la transmisión del ruido de un espacio a otro.

El coeficiente de absorción (α) de una pared corresponde al ratio entre la energía absorbida y la energía incidente. Así, se sitúa teóricamente entre 0 y 1.

$\alpha = 0$ significa que todos los ruidos se reflejan (en este caso, los elementos de construcción tienen una superficie plana, lisa, no son porosos y son rígidos)

$\alpha = 1$ significa que todos los ruidos son absorbidos o transmitidos (materiales porosos con poros abiertos...)

La capacidad de absorción acústica del hormigón celular YTONG es 5 a 10 veces superior a la de materiales lisos. Su utilización puede ser interesante en locales técnicos donde el material (sin revestimiento) permite absorber una parte de la energía incidente. La tabla siguiente da el coeficiente de absorción del hormigón celular YTONG en función de la frecuencia mediana f .

Frecuencia					
125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorción					
0,00	0,15	0,25	0,20	0,20	0,20

8.7. Resumen de índices de aislamiento acústico de elementos divisorios de hormigón celular YTONG

Soluciones de una hoja				
	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Rw (dB)	Ra ¹⁾ (dBA)
Tabique de 7 cm	70	550	37 ²⁾	36 ²⁾
Tabique de 10 cm	100	550	≥ 37	≥ 36
Tabique de 15 cm	150	550	40 ²⁾	39 ²⁾
Bloques de 20 cm (incl.revst.)	200	400	42 ²⁾	41,8 ²⁾
Bloques de 20 cm (incl.revst.)	200	500	44 ²⁾	43,4 ²⁾
Bloques de 22,5 cm (incl.revst.)	225	450	45 ²⁾	≥ 43,4 ²⁾
Bloques de 25 cm (incl.revst.)	250	350	46 ²⁾	45 ²⁾
Bloques de 25 cm (incl.revst.)	250	500	47 ²⁾	46,6 ²⁾
Bloques de 30 cm (incl.revst. 1 lado)	300	350	48 ²⁾	47 ²⁾
Bloques de 36,5 cm (incl.revst. 1 lado)	365	350	49 ²⁾	48 ²⁾

Soluciones compuestas - Soluciones de dos hojas				
Bloque 20 cm + lana de roca 25 mm + bloque 20 cm	425	500	59	58
Tabique de 7 cm + lana de roca de 45 mm + 15 mm aire + tabique de 7 cm	220	550	55	54,8 ²⁾
Tabique de 10cm + lana de roca 40mm + 10mm aire + tabique 10cm (incl. rev)	270	550	59	57 ²⁾

Soluciones compuestas - Trasdosados				
Bloque de 20 cm + 50 mm lana de roca + tabique de 7 cm (YTONG)	320	550	59	58
Bloque de 10 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a bloques)	186	550	55,5	53,5
Bloque de 15 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a muro)	236	500	57,5	55,5
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso simple 13 mm (fijada a muro)	273	500	54,8	52,8
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a muro)	286	500	58,8	56,8
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso simple 13 mm (independiente y autoportante)	273	500	56,8	54,8
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (independiente y autoportante)	286	500	59,8	57,8
Bloque de 25 cm + panel aislante rígido compuesto de lana de vidrio de alta densidad 50 mm y placa de yeso	310	500	62	60
Bloque de 25 cm + panel aislante rígido compuesto de lana de vidrio de alta densidad 70 mm y placa de yeso	330	500	63	61

Placas de forjado o cubierta					
	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Rw (dB)	Ra ¹⁾ (dBA)	Ruido a impactos ¹⁾
Placa de 20 cm de espesor (cubierta)	200	500	42,6	41,6	
Placa de 24 cm de espesor (cubierta)	240	500	44,7	43,7	
Placa de 30 cm de espesor (cubierta)	300	500	47,2	46,2	
Placa de 20 cm de espesor (forjado)	200	600	45	44	91,2
Placa de 24 cm de espesor (forjado)	240	600	47	45	88,5
Placa de 30 cm de espesor (forjado)	300	600	49	47	85
Placa de 20 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm	280	600	57	56	60,2
Placa de 20 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 60 mm	300	600	56	52	58,2
Placa de 24 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm	320	600	59	57	57,5
Placa de 24 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 60 mm	340	600	59	58	55,5
Placa de 30 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm	380	600	58	53	54

1) Valores calculados - 2) Valores de ensayo - 3) El aislamiento efectivo DnT,A depende de Ra, de las variables del proyecto y de la ejecución

Soluciones de una hoja - Ámbito de aplicación de las soluciones según límite marcados por el CTE ²⁾		
	Misma unidad de uso	Muros exteriores
	Ruido aéreo Ra ≥ 33 dBA	Ruido aéreo 30 ≤ Ra ≤ 47 dBA
Tabique de 7 cm	X	
Tabique de 10 cm	X	
Tabique de 15 cm	X	
Bloques de 20 cm (incl.revst.)		X
Bloques de 20 cm (incl.revst.)		X
Bloques de 25 cm (incl.revst.)		X
Bloques de 25 cm (incl.revst.)		X
Bloques de 30 cm (incl.revst. 1 lado)		X
Bloques de 36,5 cm (incl.revst. 1 lado)		X
Bloques de 32,5 cm (incl.revst.)		X

Soluciones compuestas - Soluciones de dos hojas		
Bloque 20 cm + lana de roca 25 mm + bloque 20 cm		
Tabique de 7 cm + lana de roca de 45 mm + 15 mm aire + tabique de 7 cm		
Tabique de 10 cm + lana de roca 40 mm + tabique de 10 cm		

Soluciones compuestas - Trasdosados		
Bloque de 20 cm + 50 mm lana de roca + tabique de 7 cm (YTONG)		
Bloque de 10 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a bloques)		
Bloque de 15 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a muro)		
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso simple 13 mm (fijada a muro)		
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (fijada a muro)		
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso simple 13 mm (independiente y autoportante)		
Bloque de 20 cm + 10 mm aire + 40 mm lana mineral + placa de yeso doble 2x13 mm (independiente y autoportante)		
Bloque de 25 cm + panel aislante rígido compuesto de lana de vidrio de alta densidad 50 mm y placa de yeso		
Bloque de 25 cm + panel aislante rígido compuesto de lana de vidrio de alta densidad 70 mm y placa de yeso		

Placas de forjado o cubierta - Aptitud de las soluciones para cumplir con los valores límite marcados por el CTE ³⁾		
	Misma unidad de uso	
Placa de 20 cm de espesor (cubierta)		
Placa de 24 cm de espesor (cubierta)		
Placa de 30 cm de espesor (cubierta)		
Placa de 20 cm de espesor (forjado)		X
Placa de 24 cm de espesor (forjado)		X
Placa de 30 cm de espesor (forjado)		X
Placa de 20 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm		X
Placa de 20 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 60 mm		X
Placa de 24 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm		X
Placa de 24 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 60 mm		X
Placa de 30 cm + 40 mm de lana mineral+ capa de mortero de 40 mm		X

1) Valores calculados - 2) Valores de ensayo - 3) El aislamiento efectivo DnT,A depende de Ra, de las variables del proyecto y de la ejecución

Diferentes ud. de uso (entre viviendas)	Zonas comunes (sin puerta / ventana)	Zonas comunes (con puerta / ventana)	Instalaciones	Medianeras
Ruido aéreo Dnt,A ≥ 50 dB	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 50 dB	Ruido aéreo Ra ≥ 50 dBA	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 55 dB	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 50 dB (total) o 40 dB cada hoja
				X
				X
				X
				X
				X
		X		X

X	X	X	X	X
X	X	X		X
X	X	X	X	X

X	X	X	X	X
X	X	X		X
X	X	X		X
X	X	X		X
X	X	X	X	X
X	X	X		X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X

Cubiertas	Diferentes ud. de uso (entre viviendas)	Zonas comunes	Instalaciones
Ruido aéreo 30 ≤ Ra ≤ 47 dBA	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 50 dB Ruido impactos L'nT,w < 65 dB	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 50 dB Ruido impactos L'nT,w < 65 dB	Ruido aéreo Dnt,A ≥ 55 dB Ruido impactos L'nT,w < 60 dB
X			
X			
X			
X			
X			
X			
	X	X	
	X	X	
	X	X	X
	X	X	X
	X	X	X

9. Resistencia al fuego

9.1. Definiciones y requerimientos de la normativa

9.1.1. Reacción al fuego

La clasificación de la reacción al fuego de un material permite evaluar la participación de un material al desarrollo y a la propagación del fuego y está regulada por la normativa nacional UNE-EN 13501-1:2002 para los productos de construcción y elementos para la edificación.

Hasta la entrada en vigor del CTE, las clases de reacción al fuego se denominaban M0, M1, M2, M3 y M4 según la NBE-CPI 96. El número de cada clase indicaba la magnitud relativa con la que los materiales correspondientes pueden favorecer el desarrollo de un incendio. La nueva normativa define las siguientes euroclases de reacción al fuego: A1, A2, B, C, D, E y F. A1 y A2 corresponden aproximadamente a la antigua clase M0 (material incombustible).

9.1.2. La resistencia al fuego

La resistencia al fuego es la capacidad de un elemento constructivo para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y/o el aislamiento térmico de los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente.

En cuanto a las características de comportamiento de resistencia al fuego de un elemento constructivo hay que diferenciar entre la capacidad portante R, la integridad E y el aislamiento I.

Su clasificación está regida por la normativa UNE-EN 13501-2:2004 y viene dada por la letra R, E o I (o una combinación de ellas) más un número tt, donde tt es el período de clasificación durante el cual se cumplen todos los criterios del comportamiento específico.

Capacidad portante R

La capacidad portante R de un elemento constructivo de soportar, durante un periodo de tiempo y sin pérdida de estabilidad estructural, la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas.

Integridad E

La integridad E es la capacidad que tiene un elemento constructivo con función separadora de soportar la exposición solamente en una cara, sin que exista transmisión del fuego a la cara no expuesta debido al paso de llamas o gases calientes, que puedan producir la ignición de la superficie no expuesta o de cualquier material adyacente a esa superficie.

Aislamiento I

El aislamiento I es la capacidad de un elemento constructivo de soportar la exposición al fuego en un solo lado, sin que se produzca la transmisión del incendio debido a una transferencia de calor significativa desde el lado expuesto al lado no expuesto (aumento medio máximo de 140° y 180° de aumento máximo puntual en la cara no expuesta).

A un elemento se le puede exigir el cumplimiento de una o varias características de comportamiento. Un elemento con la clasificación REI 90 por ejemplo, garantiza el cumplimiento de los criterios de capacidad portante, integridad y aislamiento durante 90 minutos.

Las exigencias de resistencia de un elemento permiten clasificarlo de la siguiente manera:

Exigencia	Categoría
Capacidad portante R	Estabilidad al fuego
Capacidad portante R - Integridad E	Parallamas
Capacidad portante R - Integridad E - Aislamiento I	Cortafuegos



Exigencias de resistencia al fuego segun el Codigo Técnico de la Edificación

Elementos de compartimentación

Tipo de uso	Altura de evacuación del edificio en m		
	<15m	<28m	>28m
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 60	EI 90	EI 120
Comercial, Pública concurrencia, Hospitalitario	EI 90	EI 120	EI 180

Elementos estructurales

Tipo de uso	Altura de evacuación del edificio en m		
	<15m	<28m	>28m
Vivienda unifamiliar	R30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R60	R90	R120
Comercial, Pública concurrencia, Hospitalitario	R90	R120	R180

9.1.3. Las exigencias básicas de seguridad en caso de incendios

En el documento básico DB-SI se especifican las exigencias básicas de seguridad en caso de incendios.

Las siguientes exigencias afectan a los elementos constructivos de YTONG:

Limitación de la propagación interior del incendio por el interior de un edificio

Para controlar la propagación interior del fuego en caso de incendio, el CTE especifica la resistencia al fuego que deben tener las paredes y otros elementos de compartimentación que delimitan sectores de incendio, según el tipo de edificio y la altura de evacuación. Los elementos de compartimentación se consideran no estructurales y por eso solamente se exige una clasificación EI para éstos.

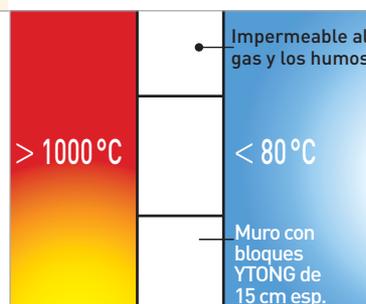
Resistencia al fuego de la estructura

El CTE especifica la resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales para diferentes tipos de uso y en función de la altura de evacuación.

9.2. Las características del hormigón celular

9.2.1. Incombustibilidad

El hormigón celular YTONG es un material mineral incombustible, con una temperatura de fusión alrededor de los 1200° C. De acuerdo a la normativa nacional UNE-EN771-4 "Especificaciones para piezas de fábrica de albañilería, Parte 4: Bloques de hormigón celular curado en autoclave", para los bloques de hormigón celular con un contenido de materia orgánica menor de un 1%, la declaración de reacción al fuego



puede ser de A1 sin necesidad de ensayo. Los bloques de hormigón celular YTONG cumplen este requisito y por lo tanto son de clase A1. Debido a su naturaleza mineral y su fuerte resistencia térmica, el hormigón celular YTONG se adapta particularmente bien a todas las aplicaciones cortafuegos.

Clasificación de la resistencia al fuego de elementos de hormigón celular YTONG

Elemento	Espesor	Clasificación
Tabique	7 cm	E 90, EI 90
Tabique	10 cm	E 120*, EI 180
Tabique	15 cm	E 120*, EI 240*
Bloque	20 cm	REI 120

(* Clasificaciones máximas según UNE-EN 13501-2:2004)

Espesores mínimos de productos YTONG para diferentes elementos constructivos para cumplir con las exigencias de seguridad en caso de incendio

Elemento constructivo	Tipo de uso de edificio	Altura de evacuación de edificio		
		<15m	<28m	>28m
Tabique	Residencial Vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	7 cm	7 cm	10 cm
Tabique	Comercial, Pública concurrencia, Hospitalitario	7 cm	10 cm	10 cm
Muro de carga*	Vivienda unifamiliar	20 cm	-	-
Placas (P)		10-17,5 cm (P)	-	-
	Residencial vivienda, Residencial público, Docente, Administrativo	20 cm	20 cm	-
	Comercial, Pública concurrencia,	10-20 cm (P)	15-20 cm (P)	17,5-20 cm (P)
	Hospitalitario	20 cm	20 cm	-
		15-20 cm (P)	17,5-20 cm (P)	-

(* El espesor mínimo para muros de carga es de 20 cm. Los requerimientos de protección contra el fuego se cumplirían con espesores inferiores. La altura de las estructuras con muros de carga de YTONG serán de alturas inferiores a 28 m).

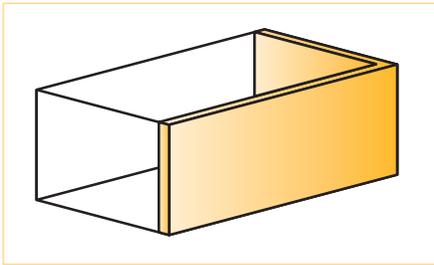
9.2.2. Comportamiento al fuego (tabiques, bloques y placas)

El comportamiento al fuego del hormigón celular YTONG es excelente, como lo demuestran los ensayos de resistencia al fuego realizados por el CSTB. Gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica, el flujo de calor a través del hormigón celular es muy bajo. La temperatura en el lado no expuesto se mantiene por tanto en un nivel reducido.

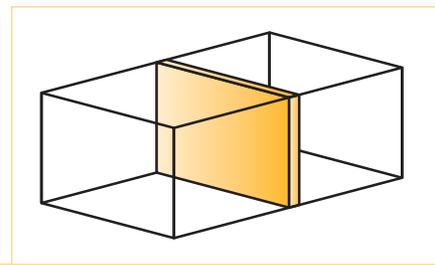
Durante los ensayos realizados con bloques de 15 cm de espesor, la temperatura en todos los puntos del lado no expuesto, incluidas las juntas, se mantiene por debajo de los 80°C hasta 6 horas después de haber comenzado el ensayo, con una temperatura en el lado expuesto superior a los 1000°C.

9.2.3. Resistencia al fuego

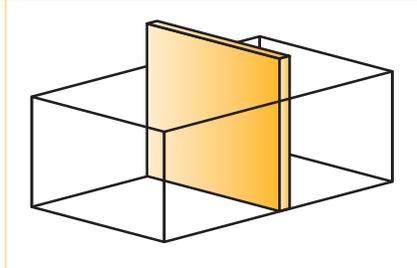
Con una resistencia al fuego excepcional, el sistema de construcción YTONG ofrece la solución ideal para todas las construcciones de edificios colectivos, administrativos, industriales o agrícolas.



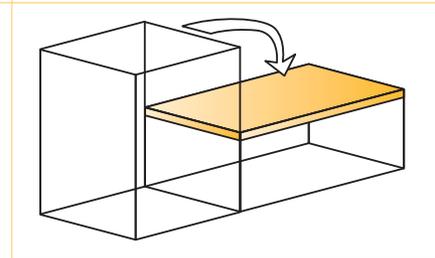
Muro periférico corta-fuego



Muro divisorio cortafuegos



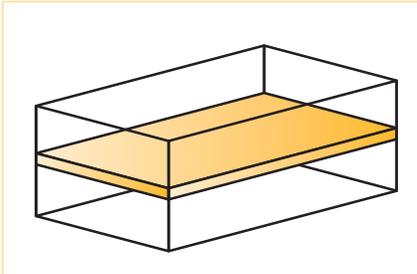
Muro divisorio cortafuegos



Cubierta cortafuegos

En las obras en entorno urbano que necesiten ser protegidas de un incendio en plantas superiores de un edificio contiguo o que necesiten proteger de un incendio en el edificio propio a los edificios contiguos

Forjado cortafuegos
En todas las obras donde se deba evitar la propagación del fuego a las plantas superiores o inferiores



9.2.4. Seguridad en caso de incendio para los equipos de emergencia

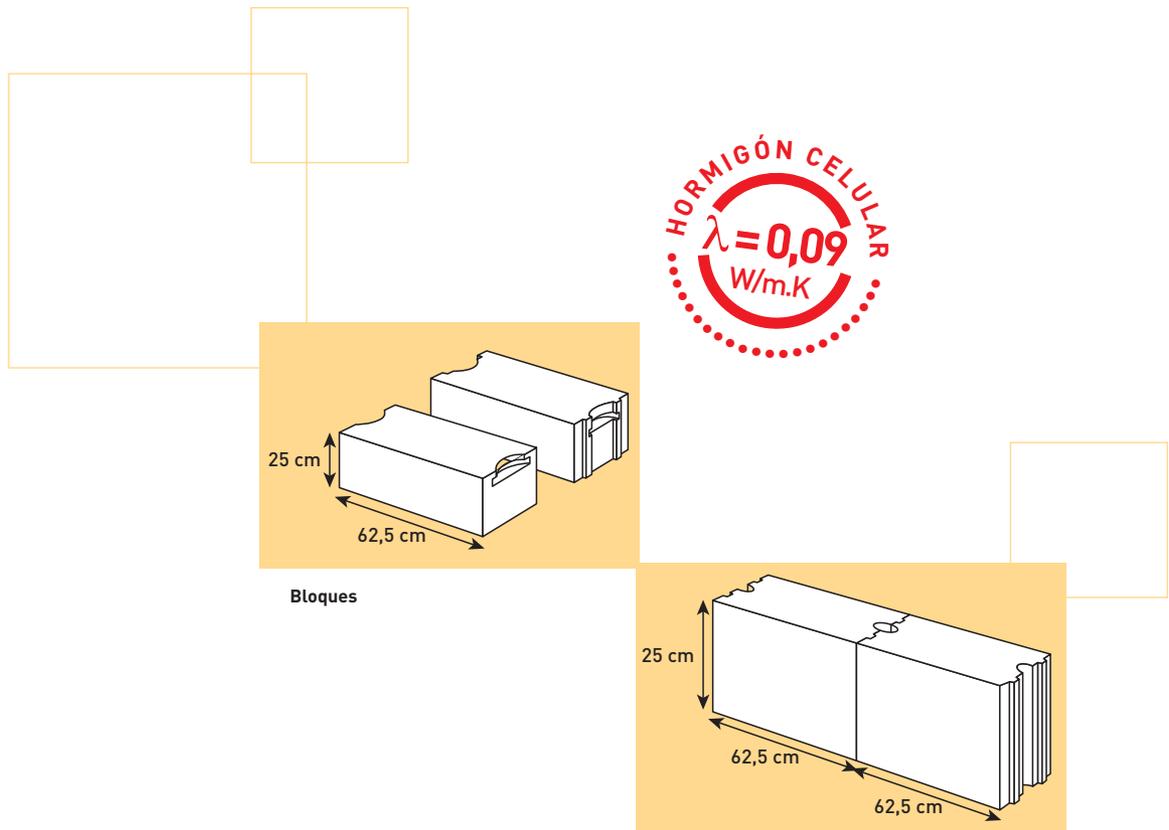
El hormigón celular YTONG es poco sensible a los choques térmicos. En caso de incendio no se fisura, no estalla y no genera ninguna emanación gaseosa. Así los servicios de emergencia pueden actuar sin riesgo añadido.

9.2.5. Estabilidad de los muros de grandes dimensiones

Los bloques de hormigón celular YTONG se pueden destinar tanto a muros portantes como a muros no portantes con la función de cortafuegos. Los elementos de zuncho vertical y horizontal aumentan la estabilidad de los muros y permiten la realización de muros cortafuegos de grandes dimensiones.

10. Sistema de construcción YTONG

10.1. Elementos para muros portantes



Los bloques

Los bloques YTONG se ajustan a las especificaciones definidas en la norma UNE-EN 771-4 (norma armonizada europea para bloques de hormigón celular curado en autoclave) y cumple con todos los documentos básicos del Código Técnico de la Edificación.

Las especificaciones técnicas, los criterios de proyecto y la puesta en obra están regidas por el DAU 03.12*.

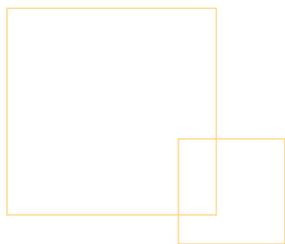
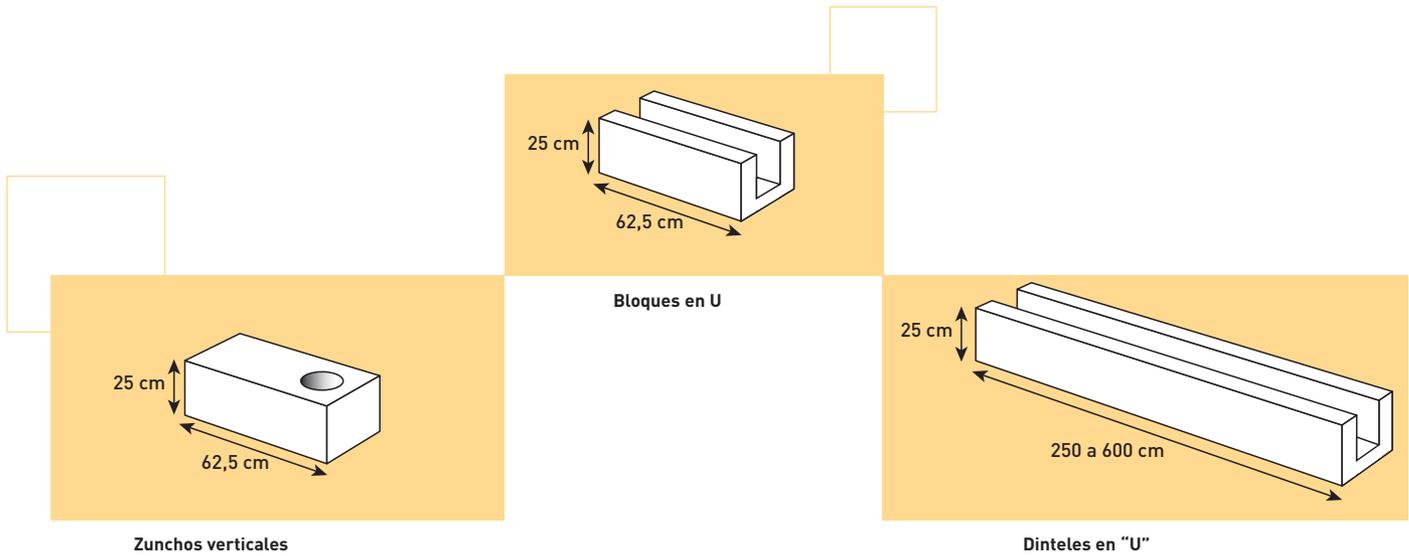
Están destinados a la obra de muros portantes exteriores e interiores, para viviendas unifamiliares, adosadas o edificios colectivos. También se utilizan para realizar muros de cerramiento en estructuras tradicionales de hormigón armado o para muros cortafuegos en naves industriales. Existen bloques lisos, bloques con asas y bloques machihembrados con asas.

Los bloques de gran tamaño: Modulbloques

Están destinados a la obra de muros portantes exteriores e interiores, para casas individuales, adosadas o edificios colectivos de varias plantas. Los Modulbloques son más grandes que los bloques estándar. Su colocación se efectúa mediante una minigrúa.

La utilización de la minigrúa permite colocar los bloques de dos en dos.

[*] DAU = Documento de Adecuación al Uso, emitido por el ITEC y que cuenta con el reconocimiento de la administración



Zuncho vertical (elemento de arriostramiento vertical)

Estos bloques de ángulo presentan un hueco cilíndrico con un diámetro que depende del espesor del bloque. Los zunchos verticales se utilizan mayoritariamente para el arriostramiento de la estructura en zonas de alto riesgo sísmico, o para el refuerzo estructural puntual.

Su colocación mediante mortero cola, idéntica a la de los otros bloques YTONG, suprime todo encofrado y tiempo de curado. Aseguran la homogeneidad térmica de la construcción.

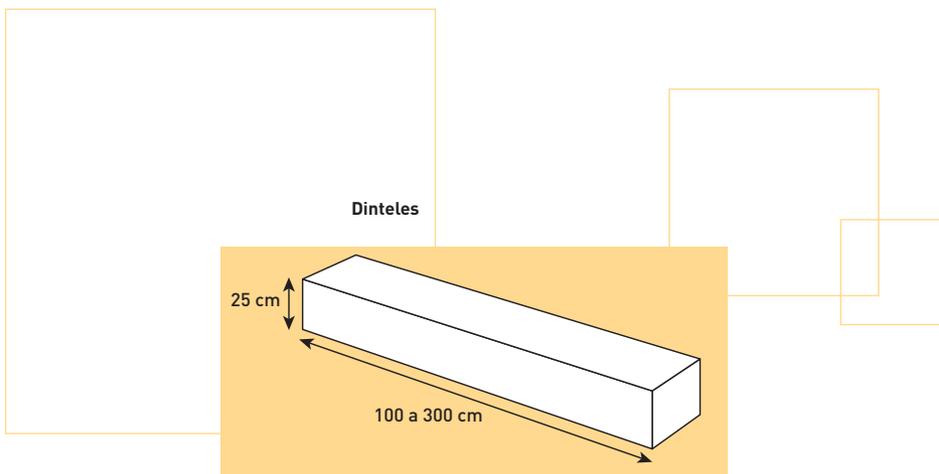
Los elementos de armado horizontal

- Bloques en U
- Dinteles en U

Se destinan a la realización de los zunchos perimetrales, siendo utilizados como encofrado perdido. También se emplean para la realización de dinteles de luces mayores a 2,50 m o cuando por sobrecargas elevadas ya no se puedan emplear los dinteles prefabricados de YTONG. Contribuyen al aislamiento térmico de la vivienda y reducen los puentes térmicos.

Plaquetas de encofrado

Sirven de encofrado perdido para la creación de los zunchos perimetrales, en el caso de que éstos se ejecuten al mismo nivel que el forjado. Aseguran un material de soporte homogéneo para el revestimiento exterior de la fachada y contribuyen al aislamiento térmico de la vivienda, al reducir los puentes térmicos.



Dimensiones	8 KN/ml	18 KN/ml
100 - 25 - 20	X	X
100 - 25 - 25	X	X
100 - 25 - 30	X	X
125 - 25 - 15	X	
130 - 25 - 20	X	X
130 - 25 - 25	X	X
130 - 25 - 30	X	X
130 - 25 - 36,5	X	X
175 - 25 - 20	X	
175 - 25 - 25	X	X
175 - 25 - 30	X	X
175 - 25 - 36,5	X	X
200 - 25 - 15	X	
200 - 25 - 20	X	
200 - 25 - 25	X	X
200 - 25 - 30	X	X
200 - 25 - 36,5	X	X
225 - 25 - 20	X	
225 - 25 - 25	X	
225 - 25 - 30	X	X
225 - 25 - 36,5	X	X
300 - 25 - 20	X	
300 - 25 - 25	X	
300 - 25 - 30	X	

Categorización aproximada, consultar cargas máximas exactas en la tabla de la página 29.

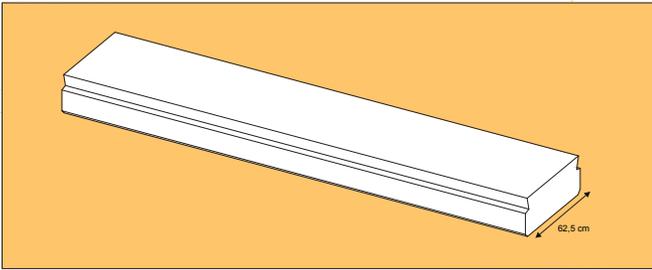
Los dinteles portantes

Son elementos armados prefabricados de dimensiones estándar. Los dinteles portantes están disponibles en todos los espesores de nuestra gama de bloques (15, 20, 25, 30 y 36,5). Completan y mejoran las cualidades térmicas del sistema de construcción YTONG, reduciendo los puentes térmicos. Su utilización garantiza una seguridad total de la resistencia a la compresión. Su colocación se efectúa con mortero cola, sin puntales ni encofrados, y sin interrupciones en la obra.

Las profundidades de apoyo de los dinteles portantes son:

- los dinteles con longitud ≤ 175 cm = 20 cm
- los dinteles con longitud > 175 cm = 25 cm

10.2. Placas de forjado y cubiertas



Las placas de forjado



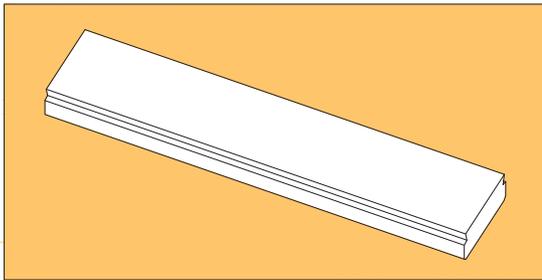
Las placas de forjado

Las placas de forjado son elementos armados portantes (ver tabla de luces y sobrecargas en la página 33), fabricados bajo pedido, según el plano de despiece realizado por nuestro departamento técnico. Están destinadas a la construcción de forjados para casas unifamiliares, viviendas colectivas, hoteles o equipamientos. Se fabrican en espesores de hasta 30 cm y una longitud máxima de 6,75 m, capaces de soportar sobrecargas de hasta 500 kg/m². Para determinar la sobrecarga para el cálculo de las placas, se necesita conocer el tipo de solado realizado para la planta.

Su utilización implica numerosas y apreciables ventajas:

- colocación directa en seco
- practicable inmediatamente
- sin necesidad de encofrado, ni tiempo de curado
- sin necesidad estructural de una capa de compresión
- alto rendimiento de colocación: 100 m² en 5 horas
- excelente aislamiento térmico
- sistema de forjado económico
- solución ideal para suelo radiante
- solución ideal para forjado sanitario
- posibilidad de crear voladizos de hasta 1,5 m
- eliminación de los puentes térmicos en los balcones, colocando las placas en voladizo





Placas de cubiertas

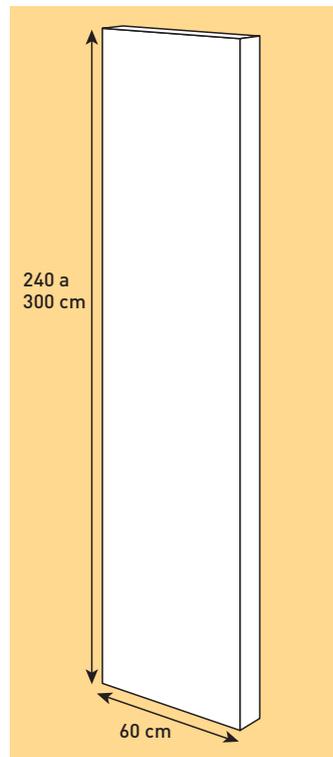


Placas de cubiertas

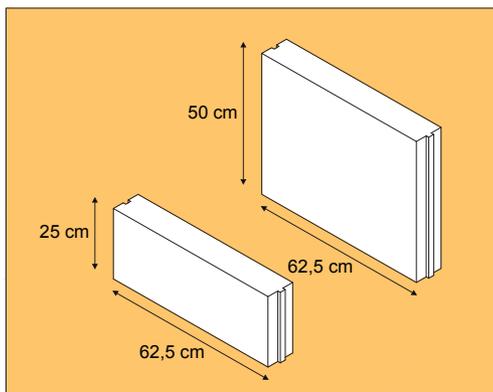
Se trata de elementos armados portantes fabricados bajo pedido, según el plano de despiece realizado por nuestro departamento técnico. Las placas de cubierta están destinadas a la ejecución de cubiertas aislantes, macizas y portantes. Al emplear las placas de cubierta, está ejecutando la quinta fachada de la vivienda con hormigón celular, aprovechando sus características en toda la envolvente térmica, ganando en confort y ahorrando energía.

10.3. Elementos no portantes

Bloque de tabique



Tabiques de suelo a techo



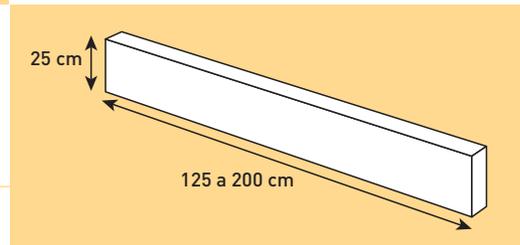
El bloque de tabique

Su puesta en obra está especificada en nuestra guía de colocación. Están destinados a la tabiquería interior como elementos macizos divisorios en cualquier tipo de construcción. También se utilizan para forrar elementos estructurales de otros materiales, especialmente si estos están en contacto con el exterior para reducir los puentes térmicos.

Los tabiques de suelo a techo del sistema YTONG

Los elementos de suelo a techo YTONG son placas no portantes, prefabricadas en formato grande y con la altura estándar de una planta. Están destinadas para realizar tabiquería interior a un elevado ritmo de colocación. Se utilizan para obras con grandes superficies y geometría repetitiva como casas adosadas, viviendas colectivas, edificios de despachos y locales administrativos.

Dintel no portante



Los dinteles no portantes

Los dinteles no portantes son elementos prefabricados de dimensiones estándar. Completan y mejoran las cualidades térmicas del sistema de construcción YTONG y participan en la inercia térmica gracias a la homogeneidad de la construcción. Su colocación se realiza mediante un simple pegado, sin necesidad de puntales ni encofrado, por lo que se evitan interrupciones en la obra. Facilitan enormemente la colocación de las puertas en los huecos de los tabiques. La profundidad de apoyo en cada extremo es de 12,5 cm.

10.4. El mortero-cola PREOCOL+

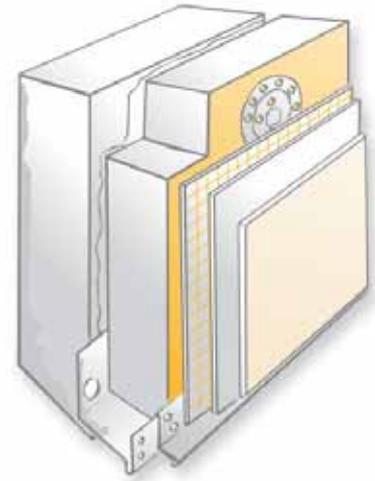


El mortero-cola PREOCOL+ está destinado a la aplicación en junta fina de 1,5 a 2 mm, incorpora retenedores de agua y está diseñado para ser usado con los bloques o tabiques YTONG, de acuerdo al DAU 03/12. Está amasado con un 30% de agua aproximadamente, mediante un batidor de velocidad media.

Se aplica mediante una llana dentada YTONG de anchura adaptada a los bloques.

NO UTILIZAR OTRO MORTERO

11. Sistema de aislamiento térmico exterior (SATE) con paneles aislantes minerales Ytong Multipor



Ventajas de los paneles aislantes minerales Ytong Multipor:

- El sistema SATE Multipor dispone de Evaluación Técnica Europea (ETE)
- Elevada resistencia al fuego, material incombustible (A1)
- Elevado aislamiento térmico ($\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$)
- Mejora acústica de hasta +2dBA
- Macizo, resistente
- Transpirable, por ello previene la aparición de algas y hongos
- Ecológico, producto natural, acreditado por certificados IBU y Natureplus
- Ligero, ergonómico
- Libre de fibras, no provoca irritaciones ni picor en su manipulación y corte
- Facilidad de adaptación geométrica por corte y lijado. Permite aplicación en geometrías curvas



Propiedades técnicas de los paneles Ytong Multipor

Característica	Descripción
Nombre de producto	Placa aislante Ytong Multipor
Descripción de producto	Macizo – mineral – monolítico, Aislante de hidrato de calcio-silicato, cal, arena silícea, cemento y agente expansivo (porosidad > 95%)
Aplicaciones	Aislamiento interior y exterior de cerramientos / Aislamiento superior e inferior de cubiertas y forjados sobre sótanos, garajes, etc. / Aislamiento en cerramientos de dos hojas
Dimensiones	600 x 390mm Espesores 50/60/80/100/120/140/160/180/200mm Otras dimensiones bajo pedido
Tolerancia dimensional	+/- 2mm
Densidad	115 kg/m ³ (aprox.)
Conductividad térmica de cálculo	0,045 W/mK
Dilatación térmica	10 ⁻⁵ /K
Calor específico	1,3 kJ/(kgK)
Difusibilidad al vapor de agua	μ = 3
Reacción al fuego	Clase A1 (no contribuye al fuego)
Resistencia a compresión	> 0,3 MPa (valor medio)
Resistencia a tracción	> 80kPa
Absorción de agua a corto plazo por inmersión (UNE EN 1609)	WP = 2,0 kg/m ²
Absorción de agua a largo plazo por inmersión (UNE EN 1609)	WLP = 3,0 kg/m ²
Humedad por absorción	< 6% (Masa)
Otras propiedades	Sin riesgos biológicos y microbiológicos Inhibe la aparición de hongos y microorganismos Producto ecológico, declaración medioambiental (EPD) según ISO 14025

Transmitancia térmica del sistema SATE Multipor sobre muro existente de ladrillo sin aislamiento (ejemplos):

Multipor 60mm	→ U = 0,49 W/m ² K
Multipor 80mm	→ U = 0,40 W/m ² K
Multipor 100mm	→ U = 0,34 W/m ² K
Multipor 120mm	→ U = 0,30 W/m ² K
Multipor 140mm	→ U = 0,26 W/m ² K
Multipor 160mm	→ U = 0,23 W/m ² K
Multipor 180mm	→ U = 0,21 W/m ² K
Multipor 200mm	→ U = 0,20 W/m ² K

Aplicación

1.) Condiciones de obra:

- previo a la aplicación deben estar preparadas todas las conexiones como por ejemplo pasos de tubería o cables eléctricos
- los encuentros con la carpintería, vierteaguas, etc. deben realizarse con perfiles de unión adecuados
- el soporte debe estar seco, liso y limpio
- Se deben prever las protecciones adecuadas para prevenir el ascenso de agua por capilaridad
- La temperatura ambiente y del soporte no debe ser inferior a 5°C durante la aplicación

2.) Inspección del soporte:

Especialmente en las rehabilitaciones es necesario inspeccionar el soporte previo a la aplicación del sistema SATE:

- eliminar suciedad y polvo, restos de mortero y hormigón
- en irregularidades superiores a 10mm es necesario aplicar previamente un revoco de regularización de clase de resistencia CS II (EN 998-1) y respetar el tiempo de secado
- repasar revoco existente y comprobar que no haya huecos o partes sueltas, y en su caso eliminar estas zonas en mal estado
- soportes muy absorbentes requieren una imprimación

La viabilidad del soporte se debe comprobar realizando las siguientes pruebas:

- frotar para verificar que esté libre de polvos
- rallar para verificar resistencia y dureza
- humedecer para verificar la absorción y humedad existente
- verificar planeidad

3.) Ejecución del zócalo

La zona del zócalo es la parte de la fachada expuesta a las mayores sollicitaciones mecánicas y de humedades. Por ello en esta zona se deben emplear paneles de aislamiento de poliestireno expandido (EPS) o extruido (XPS). Antes de la aplicación la fachada se debe impermeabilizar verticalmente en esta zona. Posteriormente se aplican los paneles con una cola adecuada. La zona de zócalo debe preverse como mínimo hasta 30cm por encima del nivel del terreno exterior.

Para el remate del zócalo existen dos soluciones:

a.) Perfil de zócalo de aluminio o PVC adecuado al espesor del aislante. Unión a soporte mediante tacos cada 30cm aproximadamente. No unir a testa los perfiles para permitir dilataciones. Para cubrir irregularidades del soporte se deben utilizar distanciadores.

b.) Perfil de remate con red, pegado con mortero mineral Multipor a la pared soporte. Posteriormente pegar panel aislante Multipor sobre el perfil y la malla. Un segundo perfil de remate con malla y goterón colocado en la arista de los paneles aislantes hacen que el panel de remate finalmente esté envuelto con perfiles de refuerzo en forma de una "U".

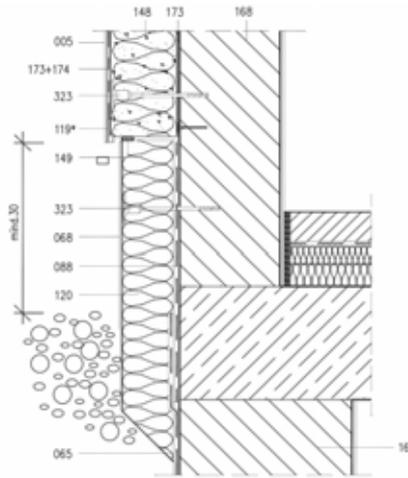
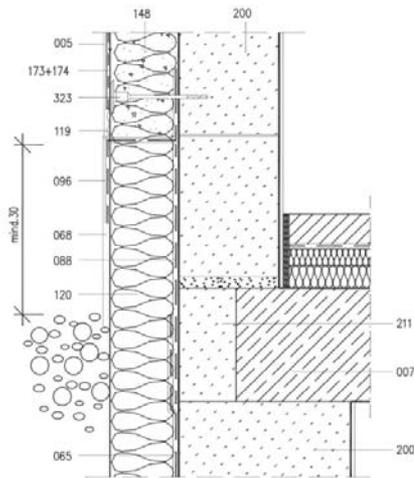




Perfil de zócalo



Remate de zócalo con perfiles de esquina con malla



Detalle zócalo obra nueva

005 Revestimiento exterior
 007 Forjado de hormigón
 065 Impermeabilización sótano
 068 Revestimiento zócalo
 088 Impermeabilización
 096 Malla de refuerzo
 119 Perfil de zócalo / con o sin goterón
 120 Aislamiento de zócalo impermeable
 148 Aislante Ytong Multipor
 149 Cinta aislante comprimida para sellar
 173 Mortero ligero Ytong Multipor
 174 Malla de fibra de vidrio Ytong Multipor
 200 Muro de bloques Ytong
 323 Taco para aislantes

Detalle zócalo reforma

005 Revestimiento exterior
 007 Forjado de hormigón
 065 Impermeabilización sótano
 068 Revestimiento zócalo
 088 Impermeabilización
 096 Malla de refuerzo
 119 Perfil de zócalo / con o sin goterón
 120 Aislamiento de zócalo
 148 Aislante Ytong Multipor
 149 Cinta aislante comprimida para sellar
 168 Muro existente
 173 Mortero ligero Ytong Multipor
 174 Malla de fibra de vidrio Ytong Multipor
 323 Taco para aislantes

4.) Mezcla del mortero cola Multipor:

- 8 litros de agua por saco de 20kg
- Tiempo de aplicación aproximado 1,5 horas en función de la climatología
- 30 litros de mortero fresco por saco, para el pegado de unos 6m² de paneles aislantes Ytong Multipor
- Mezclado con batidora a bajas revoluciones. Dejar reposar 5 minutos y volver a mezclar antes de su aplicación



5.) Pegado de los paneles Multipor

- aplicar todos los perfiles de remate a carpintería previamente
- disponer cinta comprimible en los puntos de unión con otros materiales, por ejemplo contra los vierteaguas



Perfil de ventana



Perfil de vierte aguas



- Aplicar mortero ligero Multipor con llana dentada (dientes de 10mm) sobre los paneles aislantes. De esta forma quedan unas ondulaciones de 8-10mm de altura que permiten cubrir irregularidades de hasta 5mm
- Para irregularidades superiores y de hasta 10mm se pueden aplicar los paneles mediante pegotes. Estos deben cubrir como mínimo el 70% de la superficie. Los paneles deben deslizarse a su posición ejerciendo presión de forma que el mortero se reparta a toda la superficie.
- El pegado de los paneles se comienza en una esquina inferior de la fachada. Las placas se unen a testa en seco y a tresbolillo (25cm de traba mínimo)
- La traba de las placas se hace igualmente en las esquinas de lado a lado. El voladizo de los paneles equivale al espesor del aislante más el espesor del mortero de pegado
- Para minimizar el riesgo de fisuras los paneles se deben recortar en forma de pistola en el perímetro de huecos para evitar juntas en las esquinas
- Desperfectos o huecos indeseados se pueden cerrar con elementos cortados de paneles Ytong Multipor o con el mortero de relleno Multipor
- Los paneles aislantes Multipor se pueden cortar con facilidad con una sierra manual sin generar polvo peligroso ni fibras.
- Ligeras irregularidades en la superficie de los paneles pegados se pueden eliminar mediante un lijado



6.) Fijación mediante tacos

Generalmente en fachada los paneles aislantes Ytong Multipor deben fijarse al soporte mediante 1 taco de expansión para aislantes (arandela de 60mm de diámetro mínimo) por panel (mínimo). El taco se coloca en el centro de cada panel.

Hay que respetar las cargas de viento definidas en el CTE y la capacidad resistente del taco en función del soporte (consultar con el fabricante del taco). Es posible que ello requiera un mayor número de tacos por m².

Antes de realizar las fijaciones se debe dejar secar el mortero del pegado de los paneles 24 horas como mínimo. Los tacos deben fijarse previo a la aplicación de la capa base y la malla de refuerzo.

12. Acabados



12.1. Acabados exteriores

12.1.1. Revestimientos continuos de mortero

Los revestimientos exteriores tienen sobre todo la función de proteger al edificio de la intemperie. La protección frente a humedades y precipitaciones comienza en la fase de proyecto de un edificio y aparte de la elección de los materiales deben respetarse los detalles técnicos (voladizo de cubiertas para proteger fachadas, voladizo de los alfeizares, goterones, etc.).

Los morteros deben ser compatibles con el hormigón celular en cuanto a sus prestaciones técnicas. Como norma general y según nuestra experiencia, suelen adaptarse bien los morteros que cumplen los siguientes criterios:

- Resistencia a compresión baja (CS I - CS II)
- Bajo módulo de elasticidad, similar al de los bloques Ytong
- Morteros aligerados ($\leq 1300\text{kg/m}^3$ de densidad aparente)
- Bajo coeficiente de difusibilidad al vapor de agua ≤ 35
- morteros con poca carga de cemento
- morteros a la cal

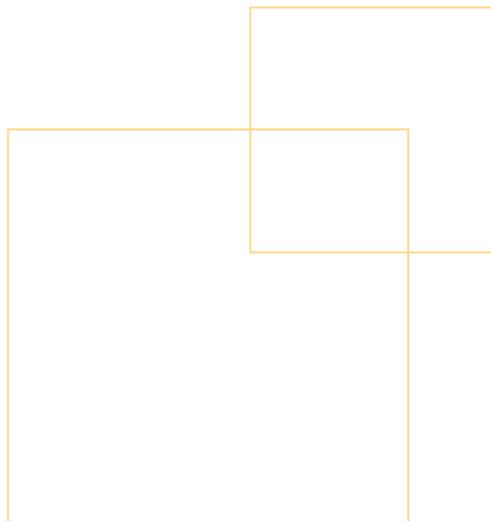
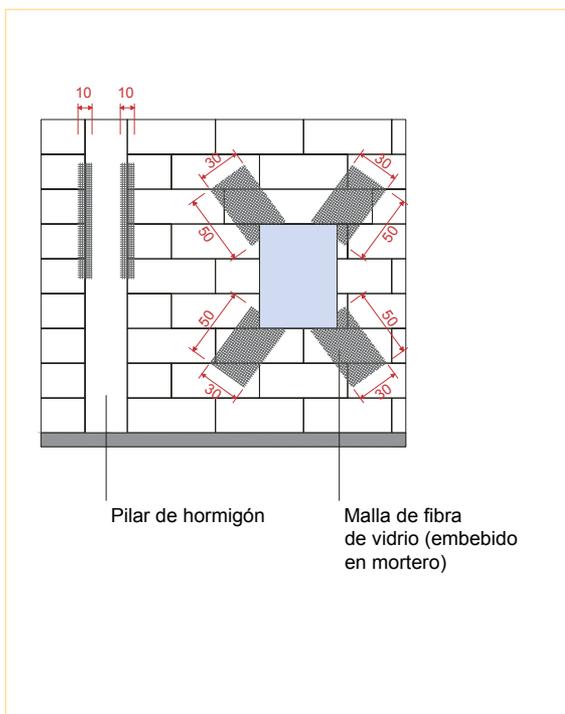
Los morteros deberán ser impermeables al agua y a su vez permeables al vapor de agua para no crear una barrera que pueda propiciar la acumulación de humedades.

Esta cualidad estará garantizada si el monocapa cumple los siguientes criterios:

- Coeficiente de absorción al agua por capilaridad $w \leq 0,2 \frac{\text{kg}}{(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})}$
- Coeficiente de difusibilidad al vapor de agua μ inferior o igual a 35.

Esta condición limita por un lado la absorción capilar de agua del revestimiento y por otro garantiza que esta humedad, junto a la humedad remanente de la ejecución, pueda difundir hacia el exterior hasta alcanzarse la humedad de equilibrio.

Para evitar su deshidratación rápida que podría generar fisuras, los monocapas deberán tener un índice elevado de retención de agua (superior al 91%). En caso contrario podrá ser necesaria la aplicación previa de una imprimación (consultar con fabricante del monocapa).



En los paramentos más expuestos a la radiación solar así como las zonas sometidas a tracciones (hiladas contiguas al encuentro de muro-forjado, muro cubierta, encuentros jamba-antepecho, encuentro de elementos de diferentes materiales, etc.) se deberá reforzar el revestimiento con malla de fibra de vidrio resistente a la acción alcalina y con una resistencia a la tracción mínima de 35kg/cm. Estas mallas se situarán en la mitad del espesor de la capa del monocapa.

En el mercado existe una amplia variedad de productos que demuestran su adecuación al soporte de hormigón celular por medio de un documento de idoneidad o de una garantía particular aportada por el fabricante del mortero monocapa.

Mortero ligero mineral Multipor

El mortero ligero mineral Multipor es un mortero que fue diseñado para el sistema SATE con placas de hormigón celular Ytong Multipor, por lo que se adapta especialmente bien a los soportes de hormigón celular.

Se trata de un mortero ligero de color blanco, transpirable y elástico que se aplica en dos capas: una primera capa de refuerzo de 5mm de espesor, en la que se embebe una malla de fibra de vidrio en toda la superficie, y una segunda capa de acabado de 2-3mm de espesor. Se puede dejar visto o se puede pintar empleando una pintura mineral transpirable.

Alternativamente la capa de acabado se puede realizar con un mortero compatible con el mortero Multipor. Este debe tener características similares y nunca debe ser más rígido.

Para más información rogamos consulten las fichas técnicas y el folleto de aplicación disponibles en la página web.

12.1.2. Revestimientos discontinuos

Aparte de tener que responder a los requerimientos de protección e impermeabilización, los revestimientos exteriores también deben responder a las exigencias estéticas del proyecto.

La gran variedad de materiales y soluciones realizables pueden hacer interesante el empleo de elementos discontinuos. A su vez este tipo de

cerramiento permite la creación de fachadas ventiladas, que aportan confort climático, ahorro de energía y mejoras de aislamiento acústico.

Existe una amplia variedad de materiales y productos que pueden emplearse para crear revestimientos discontinuos rígidos:

- Placas metálicas de acero, cobre, aluminio, zinc
- Rastreles de madera
- Aplacado de piedra artificial o piedra natural
- Cristal o policarbonato (muros Trombe)

Los criterios que deben satisfacer estos revestimientos para poder ser clasificados de media, alta o muy alta resistencia a la filtración (R1, R2 o R3), están detallados en el DB-HS del CTE.

La fijación de los elementos discontinuos a la fachada generalmente se realiza a través de un sistema de rastreles, dimensionada en función de la capacidad portante de los elementos. La unión de éstos a los rastreles será fija en algunos puntos y deslizante en otros, para permitir dilataciones. Los rastreles a su vez se fijarán a los bloques de hormigón celular YTONG de forma mecánica, empleando los tacos adecuados en función de la carga puntual (ver apartado de fijaciones mecánicas).

12.1.3. Indicaciones de aplicación del mortero ligero Multipor

Pasos a seguir:

a.) Refuerzos en esquinas y zonas expuestas a tensiones especiales

- Aplicar refuerzos de esquina con malla de fibra de vidrio con el mortero ligero Multipor (foto 21, 22)
- Para evitar fisuras en las esquinas, aplicar refuerzos de malla de fibra de vidrio en diagonal (foto 23) con el mortero ligero Multipor
- Aplicar refuerzos con malla de fibra de vidrio en el resto de zonas expuestas a tensiones especiales (cambios de material, cajas de persiana, etc.)

b.) Aplicación de la capa base

- La unión entre los paneles y el soporte ya deberá tener una resistencia suficiente. Los tacos de fijación deben estar enrasados con la superficie de los paneles aislantes.
- El soporte debe estar limpio, seco, libre de desperfectos y disponer de una planeidad suficiente
- Los refuerzos en esquinas y zonas expuestas a tensiones especiales deben haber secado y endurecido completamente
- Aplicar el mortero ligero Multipor con una llana dentada de 10mm de diente en una capa de unos 5mm (foto 24).
- Embeber la malla de fibra de vidrio en el mortero fresco con la ayuda de una llana lisa. Respetar un solape de 10cm. La malla debe quedar en el tercio superior de la capa (foto 25).
- Volver a aplicar mortero Multipor sobre el mortero fresco para tapar completamente la malla (foto 26).



c.) Aplicación de la capa de acabado

Antes de la aplicación de la capa de acabado con mortero ligero Multipor se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La capa base debe estar completamente seca y endurecida. Esto suele ser el caso al cabo de 5 días. Como norma general se puede contar 1 día por cada mm de espesor en condiciones climatológicas normales
- La temperatura ambiente y la del soporte no debe ser inferior a 5°C
- Aplicar el mortero ligero Multipor en toda la superficie con una llana de acero inoxidable y repartir dejando una capa de 2-3mm de espesor (foto 27)
- Fratasar inmediatamente. Elegir tipo de fratás en función del acabado deseado (foto 28). No se permite el raspado del mortero.
- Para evitar descompensaciones en el acabado de la superficie, ejecutar las superficies sin interrupciones
- El tiempo de secado varía en función de la temperatura, humedad y viento

Compatibilidad de otros morteros de acabado:

- morteros minerales para acabados de capa fina (3-5mm)
- Módulo de elasticidad 1500-2000 N/mm²
- CS I-II (EN 998-1)
- Absorción de agua W2 (EN 998-1)
- Transpirabilidad $\mu \leq 30$



Consumos aproximados:

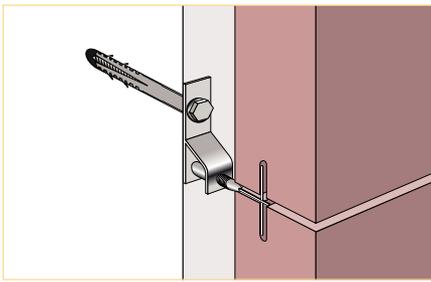
Paneles aislantes Multipor: 4,3 paneles /m²

Tacos: 4,5 tacos / m² (1 taco por panel)

Mortero ligero Multipor:

3,5 kg/m² para el pegado de los paneles (4,5 kg/m² con pegotes) + 3,5kg/m² capa base reforzada + 2-3 kg/m² capa de acabado

Malla de fibra de vidrio: 1,1 m² /m²



12.2. Acabados interiores

- Tradicional de yeso/escayola
La colocación del yeso puede ser a máquina o manual, conforme a las reglas del oficio. En el mercado existen materiales para el enlucido interior adaptados al hormigón celular YTONG que se pueden aplicar en capa fina de 3 a 5 mm.
- Masillas especiales de regularización en capa fina y gruesa
- Morteros decorativos especiales
- Revestimientos secos
- Placas de yeso pegadas
Las placas de yeso se pueden colocar directamente al muro de hormigón celular. Se debe utilizar un mortero-cola compatible con el hormigón celular. También existe la posibilidad de atornillar las placas directamente al hormigón celular o a través de rastreles o perfilera, mediante clavos especiales o tacos.
- Revestimientos de madera
- Alicatado directo sobre el hormigón celular mediante cemento cola
- Pintura directa (juntas visibles) mediante pintura mineral a base de silicatos

12.3. Rozas

Para la instalación de los cables eléctricos, la realización de rozas se lleva a cabo con una simple rozadora manual para pequeños tramos, o con una rozadora eléctrica. Para pequeñas perforaciones nos ayudaremos de un taladro con las brocas adecuadas. Realizar por tanto cavidades para instalar enchufes eléctricos, será una tarea fácil y rápida.

Habrá que tener en cuenta las limitaciones que marca el CTE en su DB SE-F en relación a las dimensiones, distribución y ubicación de las rozas en los muros de carga y si fuera el caso, reducir el espesor de cálculo de los mismos.

12.4. Fijaciones

CARGA	FABRICANTE	MODELO	MATERIAL	APLICACIONES	DENSIDAD DEL BLOQUE
< 5 kg	EJOT	GRIPPER 5	Plástico	Estantes ligeros, enchufes, interruptores, regletas, luminarias, espejos, toalleros, jaboneras...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
	FISCHER	FISCHER SX 6 *30	Plástico		
		FISCHER SX 8*40	Plástico		
		FISCHER S6	Plástico		
	ETANCO	ETANCO ELICO 5	Plástico		
ETANCO ELICO 6		Plástico			
≤ 10 kg	EJOT	KBRM 8	Metálico	Estanterías de pared, bandejas de cableado, consolas, barras de cortinas, soportes...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
		GRIPPER 6	Plástico		
	HILTI	HUD-1 5-6	Plástico		
	WURT	WURT W-MG 5	Metálico		
	FISCHER	FISCHER SX10*50	Plástico		
	ETANCO	ETANCO NYLON XP 5	Plástico		
		ETANCO HEMA 6	Metálico		DENSIDAD ≥ 450 kg/m ³
≤ 15 kg	EJOT	GRIPPER 8	Plástico	Cuadros eléctricos, luminarias, lavabos, listones, revestimientos, perfiles no estructurales...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
	ETANCO	ETANCO ELICO 8	Plástico		
		ETANCO NYLON XP 6	Plástico		
		ETANCO NYLON XP 7	Plástico		
		ETANCO MARCOVIS MP 8	Plástico		
	WURT	WURT W-MG 6	Metálico		
	ING	ING GB M6	Plástico		
≤ 20 kg	EJOT	KBRM 10	Metálico	Fijaciones semi-pesadas, elementos de cocina y cuartos de baño, perfiles no estructurales...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
		GRIPPER 10	Plástico		
	HILTI	HUD-1 8-14	Plástico		
		HUS	Metálico		
	FISCHER	FISHER GB 8*50	Plástico		
		FISHER GB 10*55	Plástico		
		FISCHER SRX 10	Plástico		
		FISCHER SX 5-12	Plástico		
		FISCHER S 6-10	Plástico		
		FISCHER UX 5-14	Plástico		
	ETANCO	FISCHER FMD 8 *38	Metálico		
		ETANCO MARCOVIS MP 10	Plástico		
		ETANCO NYLON XP 8	Plástico		
	ETANCO	ETANCO NYLON XP 10	Plástico		
		ING	ING GB M8		
	WURT	WURT W-MG 8	Plástico		
	SPIT	SPIT NYL 5	Metálico		
HILTI	HILTI HFX M8	Químico	DENSIDAD ≥ 450 kg/m ³		
	HILTI HFX M10	Químico			
	HILTI HFX M12	Químico			

CARGA	FABRICANTE	MODELO	MATERIAL	APLICACIONES	DENSIDAD DEL BLOQUE
≤40 kg	HILTI	HILTI HPD M6	Metálico	Fijaciones pesadas, elementos de cocina y cuartos de baño, muebles, calentadores de agua... Rejas, marcos de puertas y ventanas, pasamanos, soportes, placas, accesorios sanitarios...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m3
		HILTI HPD M8	Metálico		
		HILTI HRD M8	Metálico		
		HILTI HRD M10	Metálico		
	FISCHER	FISHER GB 14*75	Plástico		
		FISCHER SX 14 *70	Plástico		
		FISCHER SX 16 *80	Plástico		
		FISCHER S12	Plástico		
		FISCHER S14	Plástico		
		FISCHER FMD 8 *60	Metálico		
		FISCHER FMD 10 *60	Metálico		
		FISCHER FPX	Metálico		
		FISCHER SXS 14	Plástico		
	ETANCO	ETANCO ELICO 10	Plástico		
		ETANCO ELICO 12	Plástico		
		ETANCO ELICO 14	Plástico		
		ETANCO NYLON XP 12	Plástico		
		ETANCO MARCOVIS TUP4 8	Plástico		
		ETANCO MARCOVIS TUP4 10	Metálico		
	WURT	WURT W-MG 10	Metálico		
	ING	ING GB M10	Plástico		
SPIT	SPIT NYL 6	Plástico			
>40 kg	HILTI	HIT-HY70 varilla M8	Químico	Fijaciones pesadas: Instalaciones, tuberías, elementos de cocina, calentadores de agua, termos, revestimientos de fachada, estructuras exteriores...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m3
		HIT-HY70 varilla M10	Químico		
		HIT-HY70 varilla M12	Químico		
		HGN 12	Plástico		
		HGN 14	Plástico		
		HILTI HPD M10	Metálico		
	FISCHER	FISCHER FPX groupe	Metálico		
		FISCHER FIS VVS/VW 8	Químico		
		FISCHER FIS VVS/VW 12	Químico		
		FISCHER FTP - M 6	Metálico		
		FISCHER FTP - M 8	Metálico		
		FISCHER FTP - M 10	Metálico		
	ETANCO	ETANCO CHIMFORT M8	Químico		
		ETANCO CHIMFORT M10	Químico		
		ETANCO CHIMFORT M12	Químico		
ETANCO NYLON XP 14		Plástico			

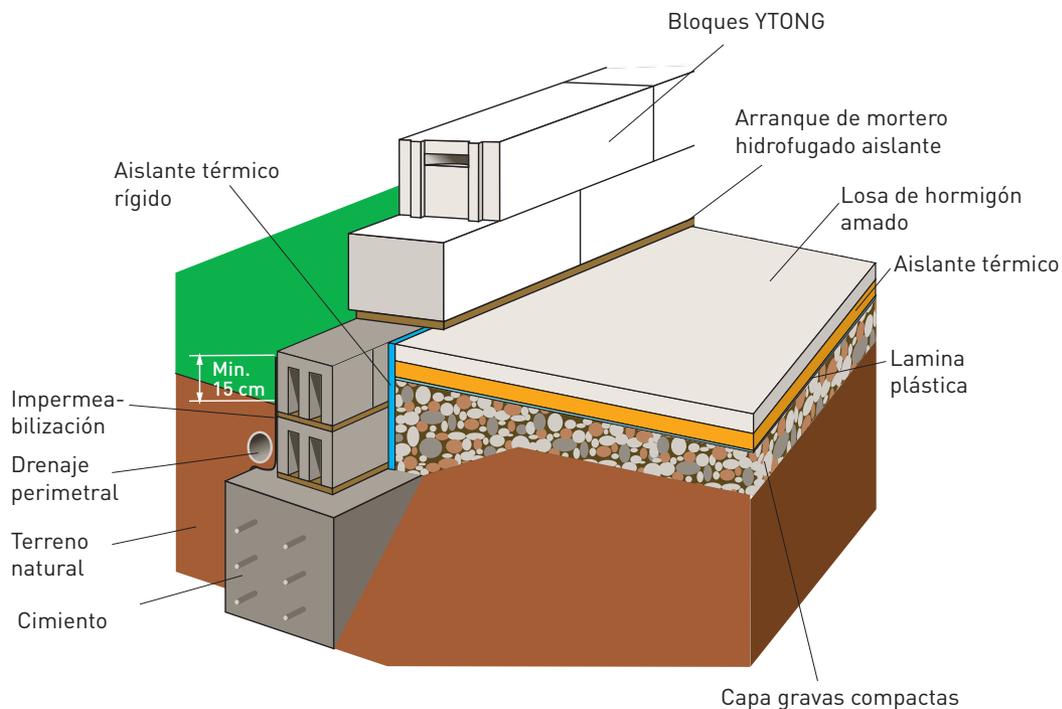
CARGA	FABRICANTE	MODELO	MATERIAL	APLICACIONES	DENSIDAD DEL BLOQUE
>40 kg	SPIT	SPIT NYL 8	Plástico	Fijaciones pesadas: Instalaciones, tuberías, elementos de cocina, calentadores de agua, termos, revestimientos de fachada, estructuras exteriores...	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
		SPIT NYL 10	Plástico		
		SPIT NYL 12	Plástico		
		SPIT NYL 14	Plástico		
	ETANCO	ETANCO HEMA 8	Metálico		DENSIDAD ≥ 450 kg/m ³
	HILTI	HILTI HPD M6	Metálico		
		HILTI HPD M8	Metálico		
	FISCHER	FISCHER GB 10	Plástico		DENSIDAD ≥ 550 kg/m ³
		FISCHER GB 14	Plástico		
		FISCHER FPX-I	Metálico		
FISCHER FPX-I		Metálico			
FIJACIONES PARA CARPINTERIAS	FISCHER	FISCHER FFS 6	Tornillo	Carpinterias	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
		FISCHER F-M 8-10	Metálico		
		FISCHER N 5-10	Plástico		
	HILTI	HILTI HUS 6	Tornillo		
	SPIT	SPIT FS	Tornillo		
FACHADAS	HILTI	HILTI HRD 10		Fachadas	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
FIJACIONES PARA SATE	EJOT	EJOTHERM STR U 2G		SATE	DENSIDAD ≥ 350 kg/m ³
		EJOT H1 ECO			
		EJOTHERM SDK U			
	FISCHER	FISCHER DIPK 10			
	SCELL IT	FITORX			
	HILTI	HILTI D-FV T			DENSIDAD ≥ 550 kg/m ³

Recomendaciones:

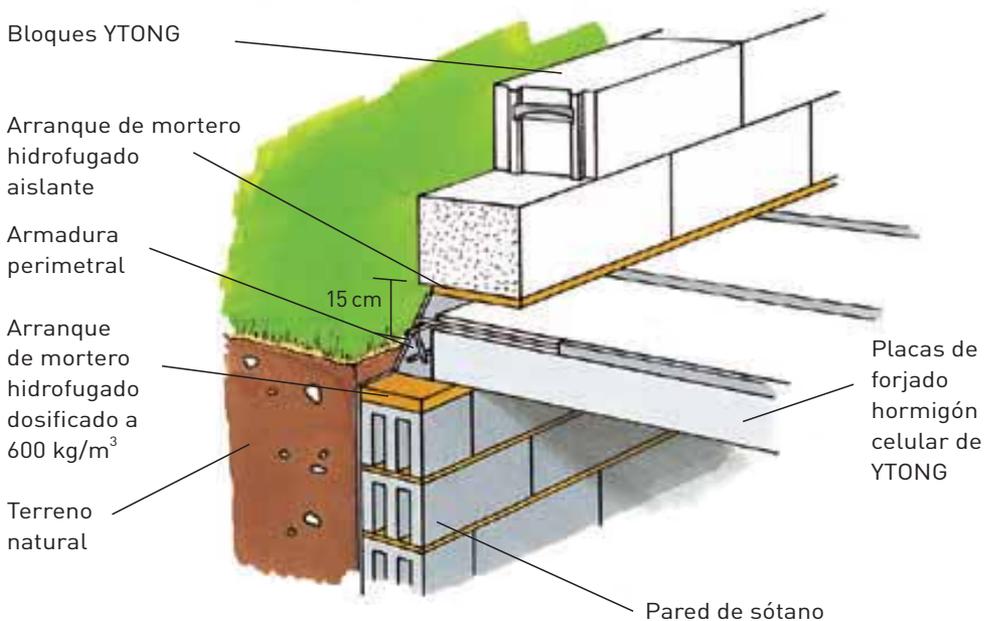
- Las perforaciones se realizan mediante taladro, utilizando la broca del diámetro recomendado en esta guía o por el fabricante del taco.
- Las perforaciones no se deben realizar con percusión ni se debe invertir el sentido de rotación
- El taco debe penetrar ajustado a la perforación para evitar que rote durante la colocación del tornillo
- Los clavos y tornillos que puedan estar expuestos a humedades o ambientes agresivos, deberán ser de acero galvanizado o acero inoxidable
- Para las instrucciones de montaje y mayor información consultar fichas técnicas de los fabricantes"

13. Detalles técnicos

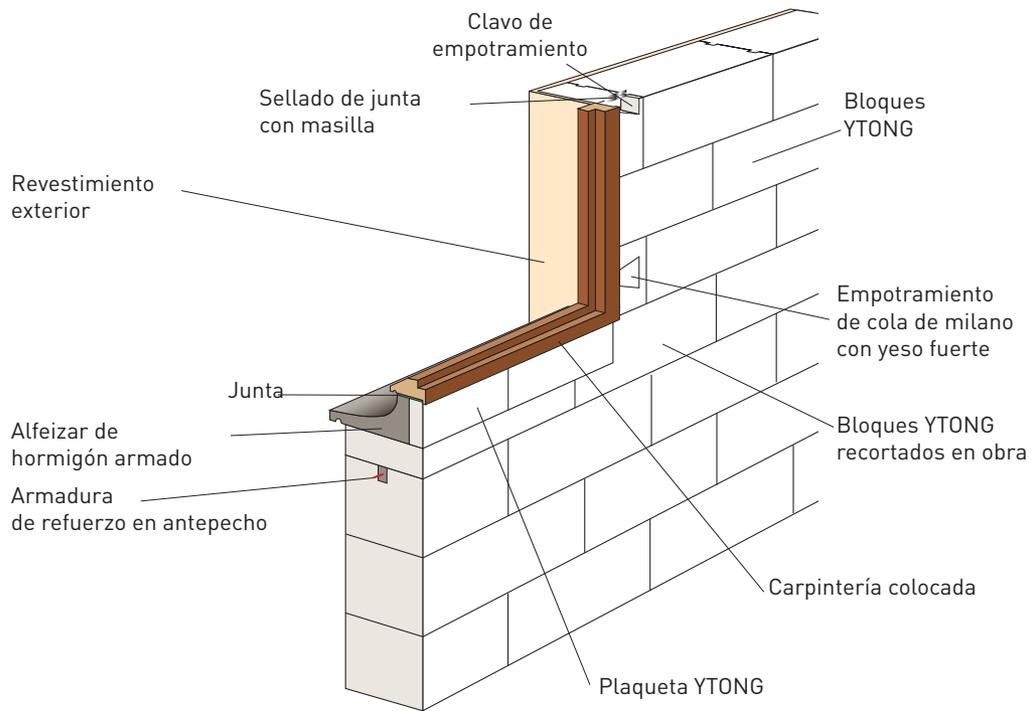
Arranque del muro sobre solera de hormigón



Arranque del muro sobre forjado sanitario



Empotramiento de la carpintería



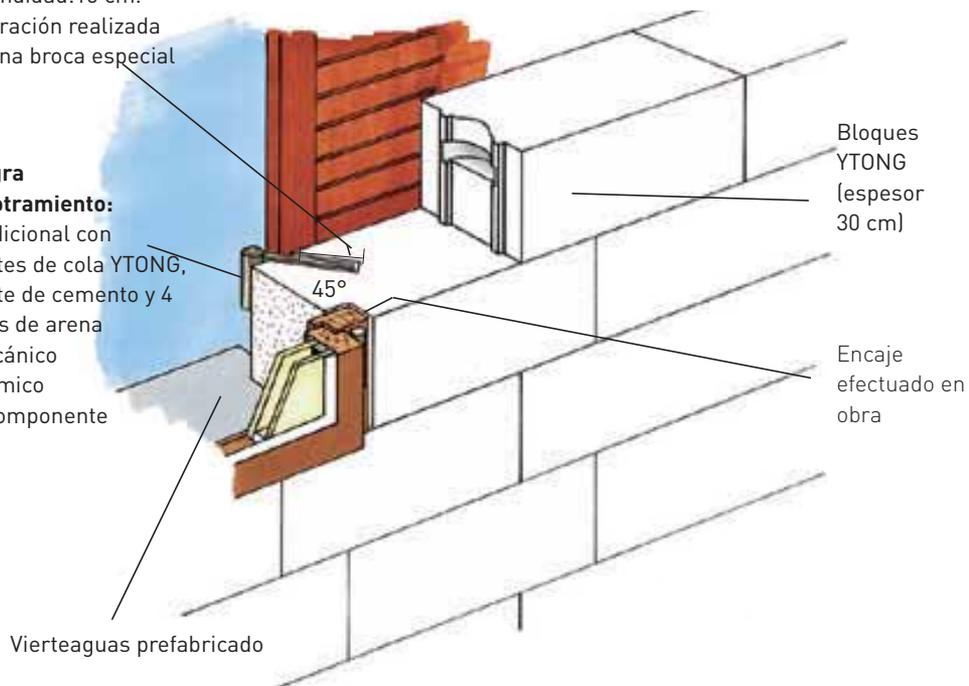
Fijación para ventanas abatibles

Profundidad: 15 cm.
Perforación realizada con una broca especial

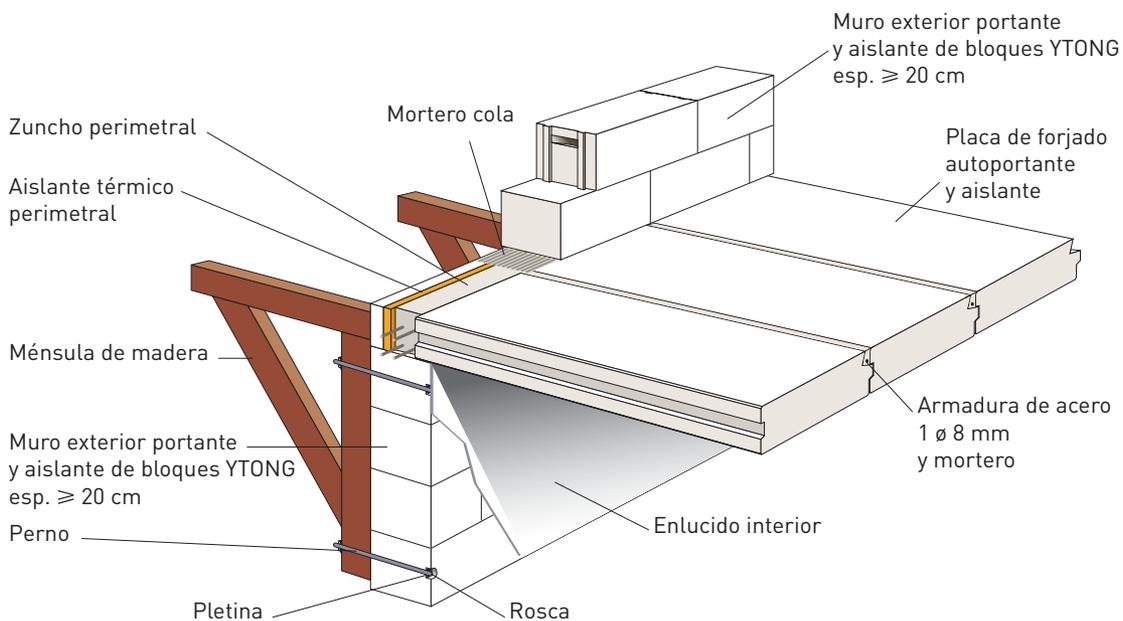
Bisagra

Empotramiento:

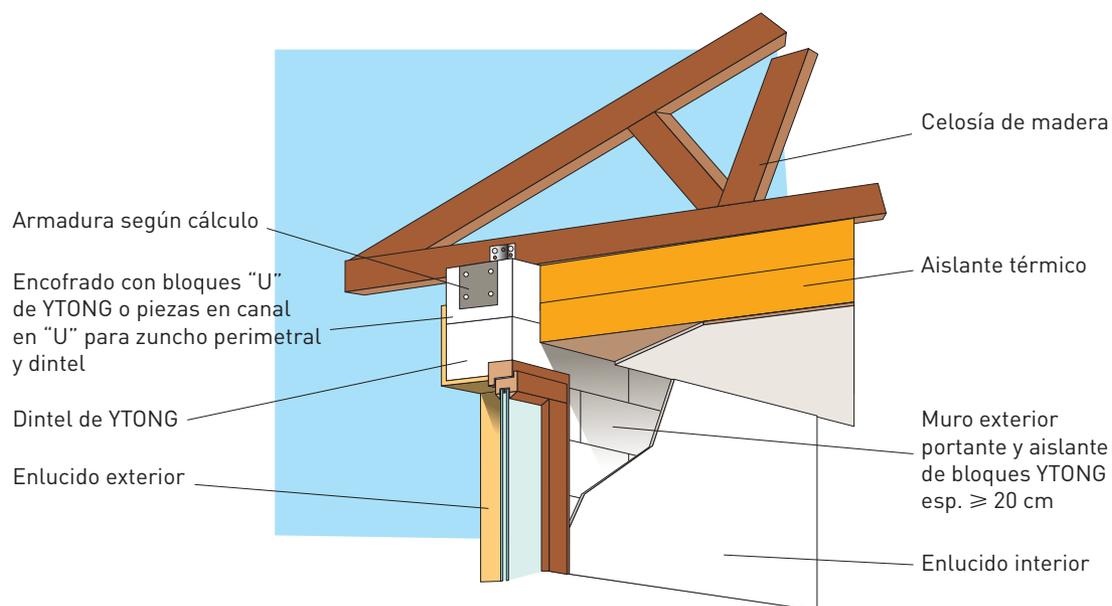
- tradicional con 5 partes de cola YTONG, 1 parte de cemento y 4 partes de arena
- Mecánico
- Químico
- Bicomponente



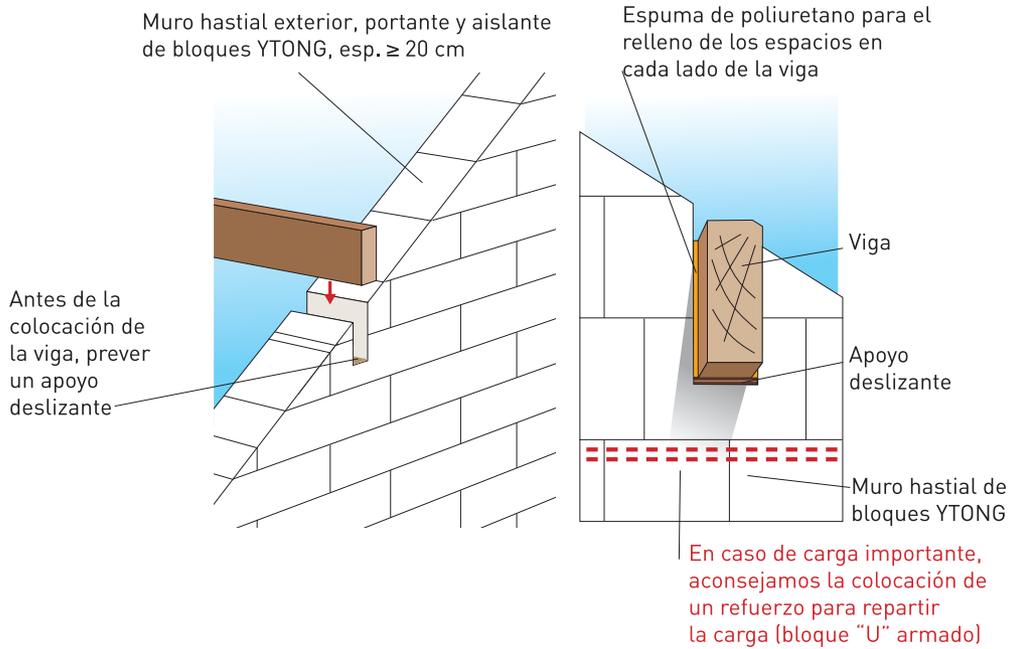
Fijación para ménsula de madera



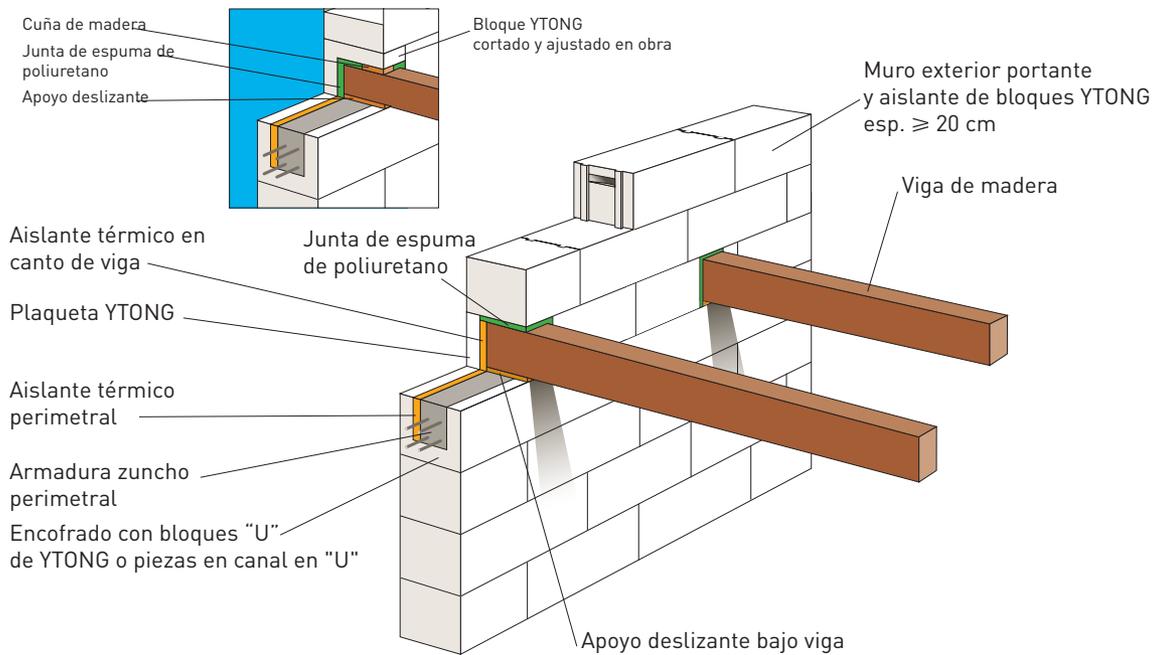
Apoyo de celosía de madera



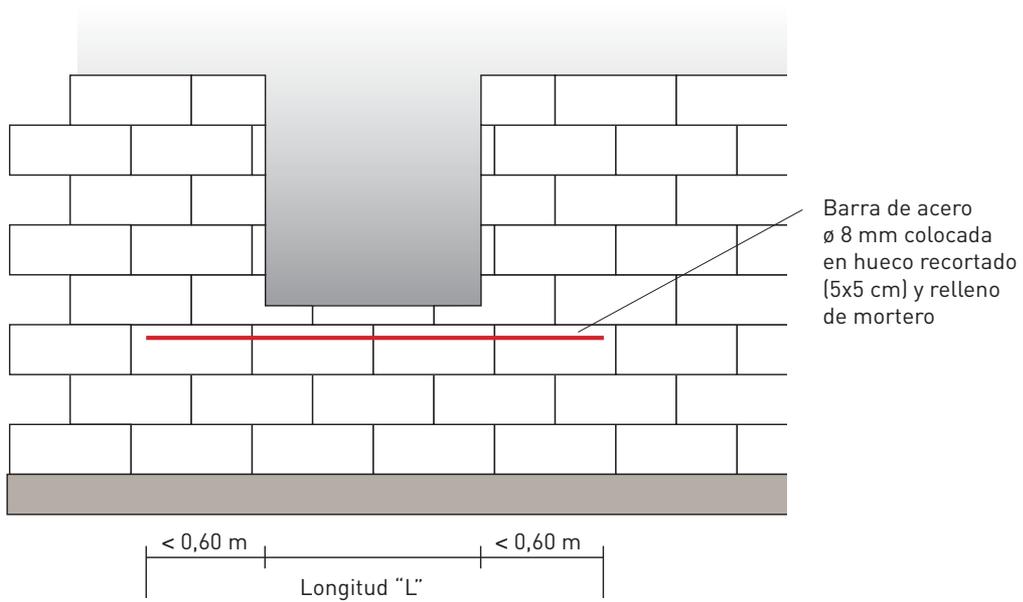
Detalle de encaje para el apoyo de viga en muro hastial



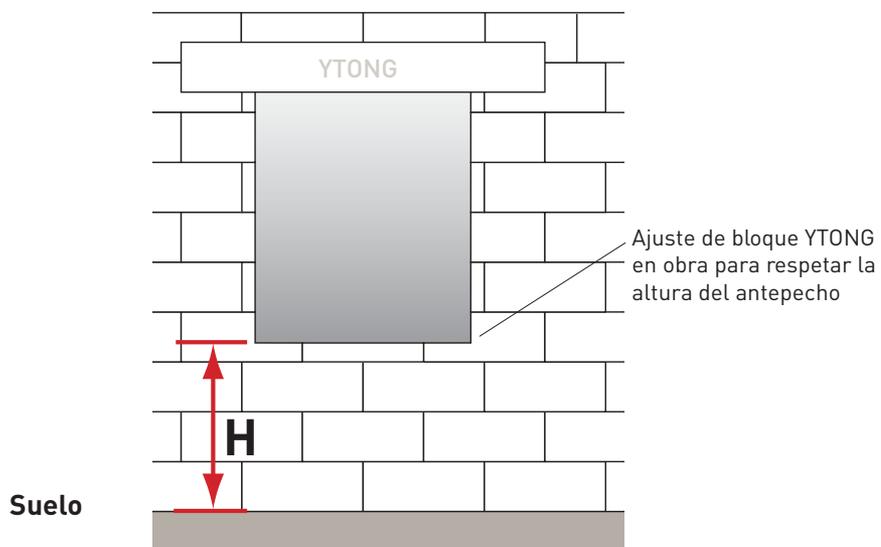
Forjado de vigas de madera



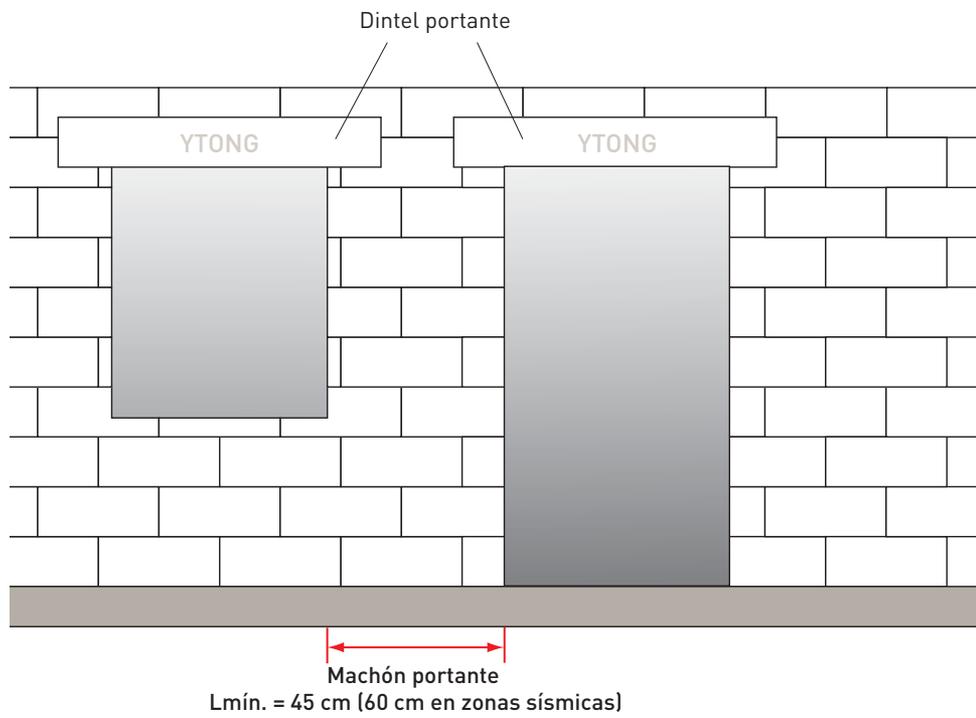
Refuerzo de antepecho



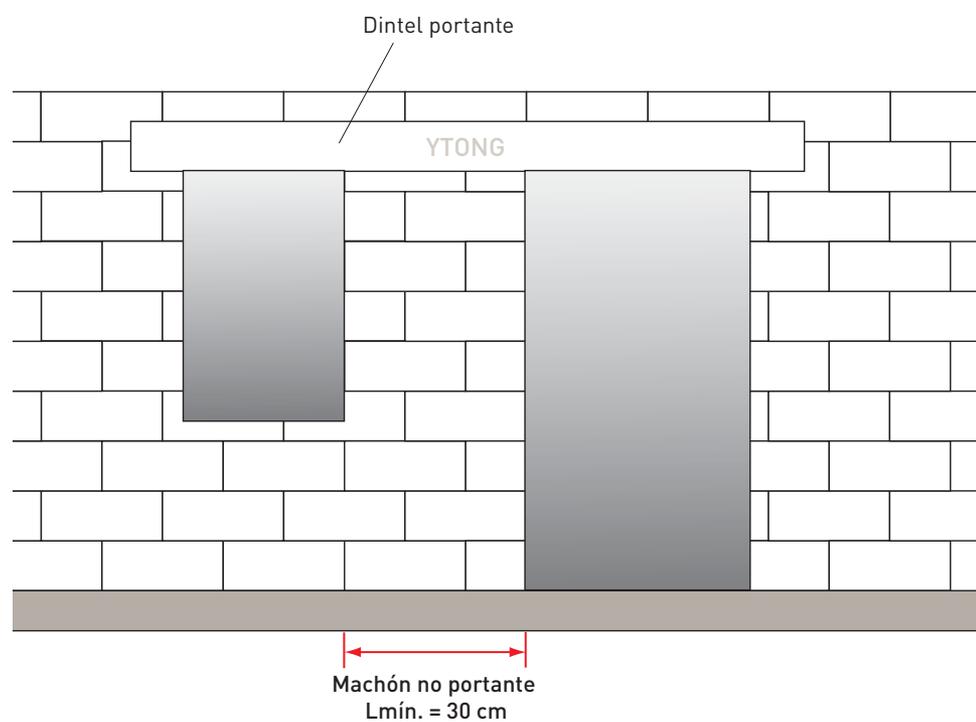
Antepecho



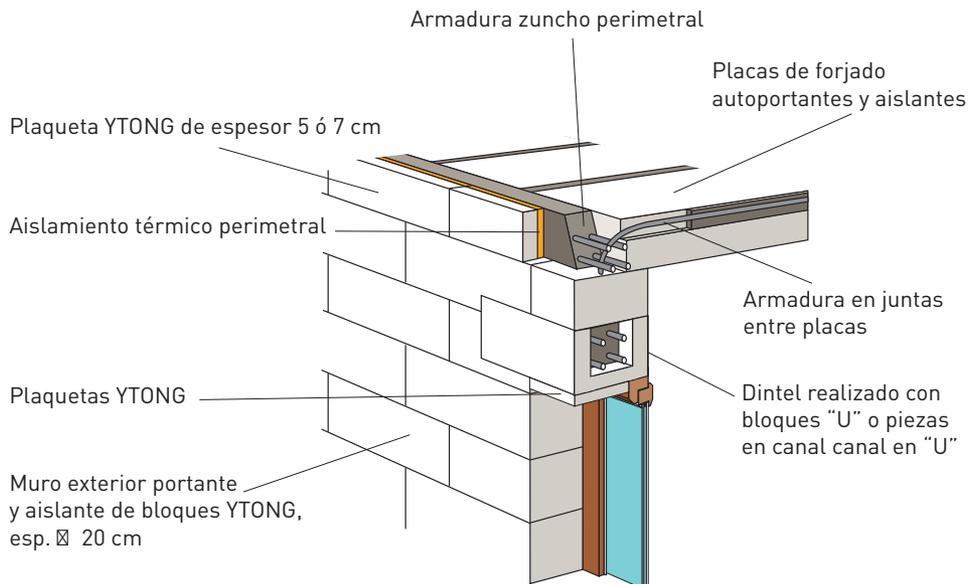
Machón portante



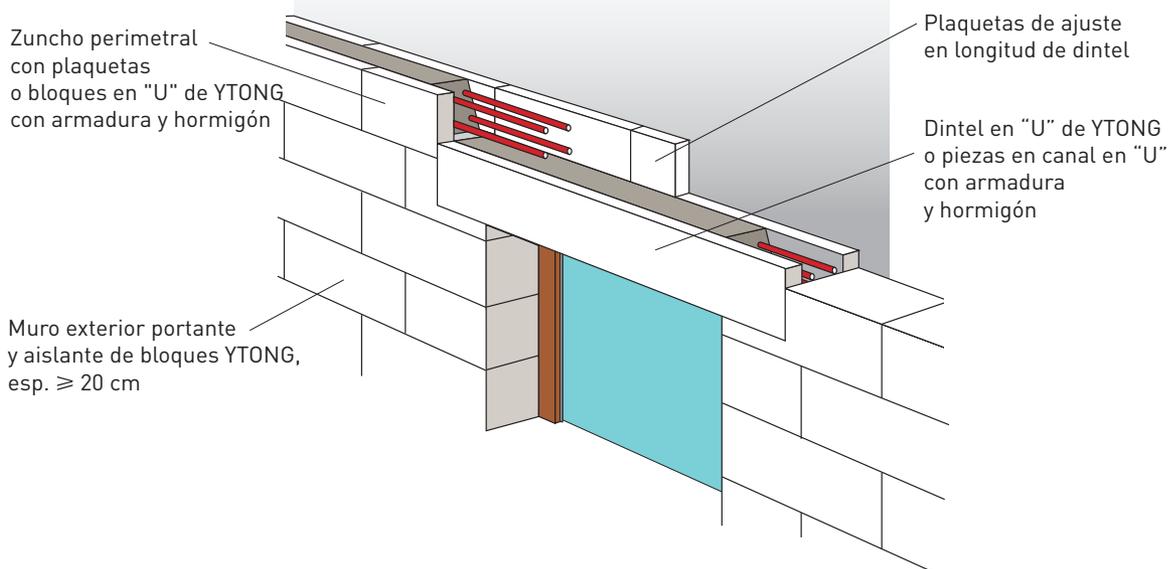
Machón no portante



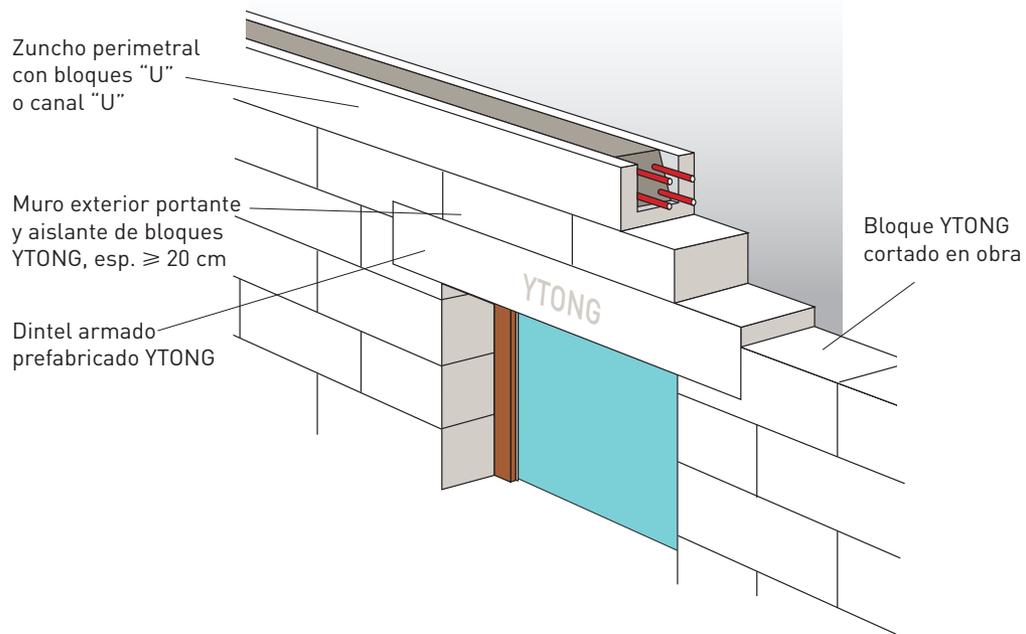
Dintel realizado in situ bajo placas de forjado



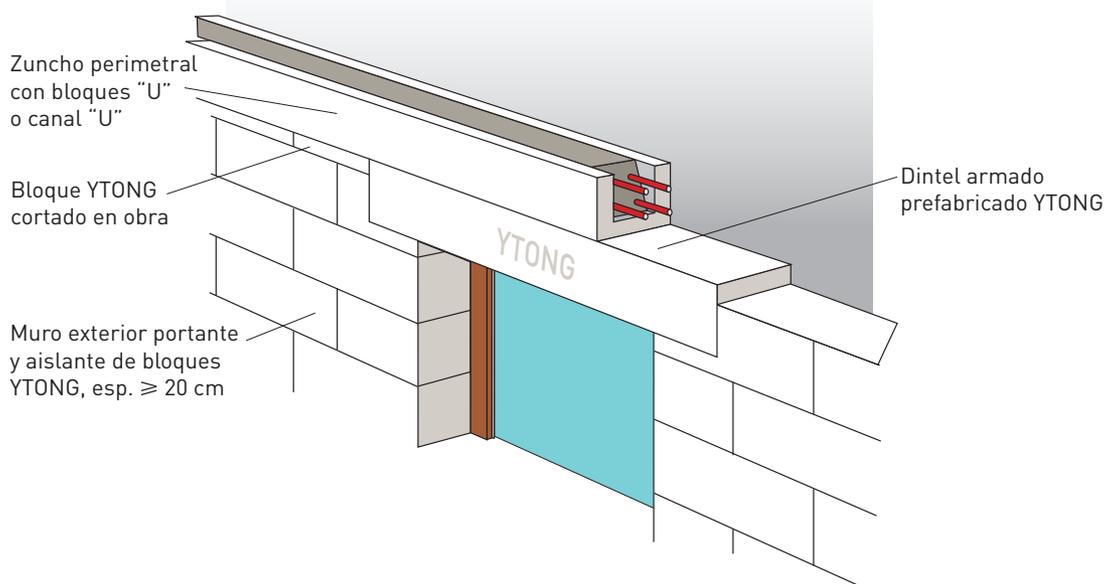
Dintel realizado en bloques "U" o piezas en canal en "U"



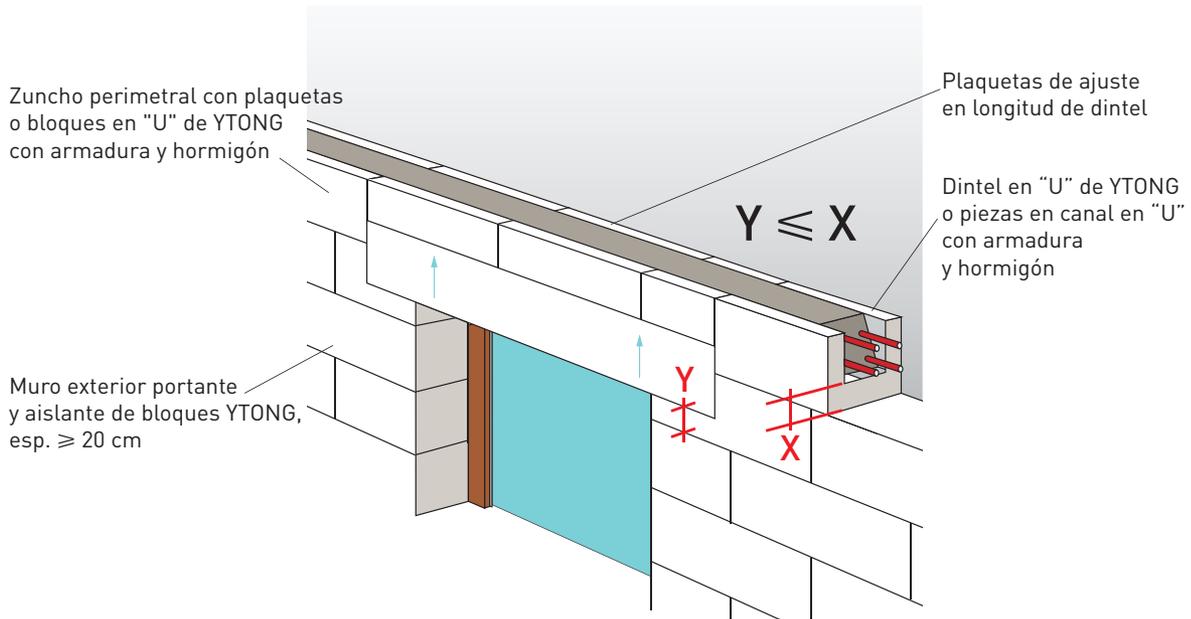
Dintel prefabricado bajo zuncho perimetral con bloques "U" o en canal "U" - A



Dintel prefabricado bajo zuncho perimetral con bloques "U" o en canal "U" - B

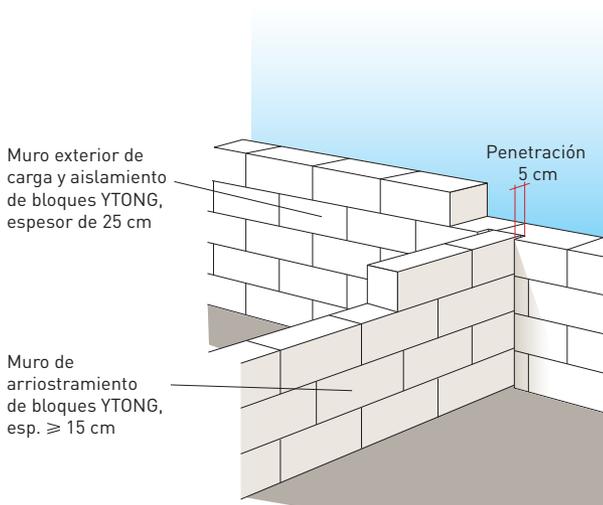


Dintel prefabricado bajo zuncho perimetral con bloques "U" o canal "U" - C

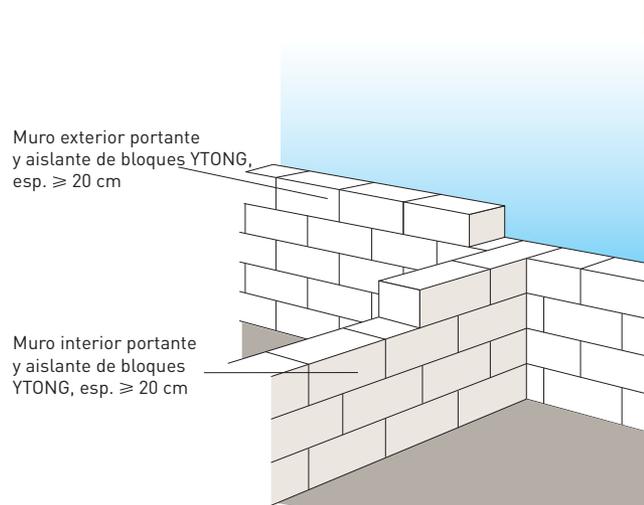


Encuentro entre muro exterior y muro interior de arriostramiento

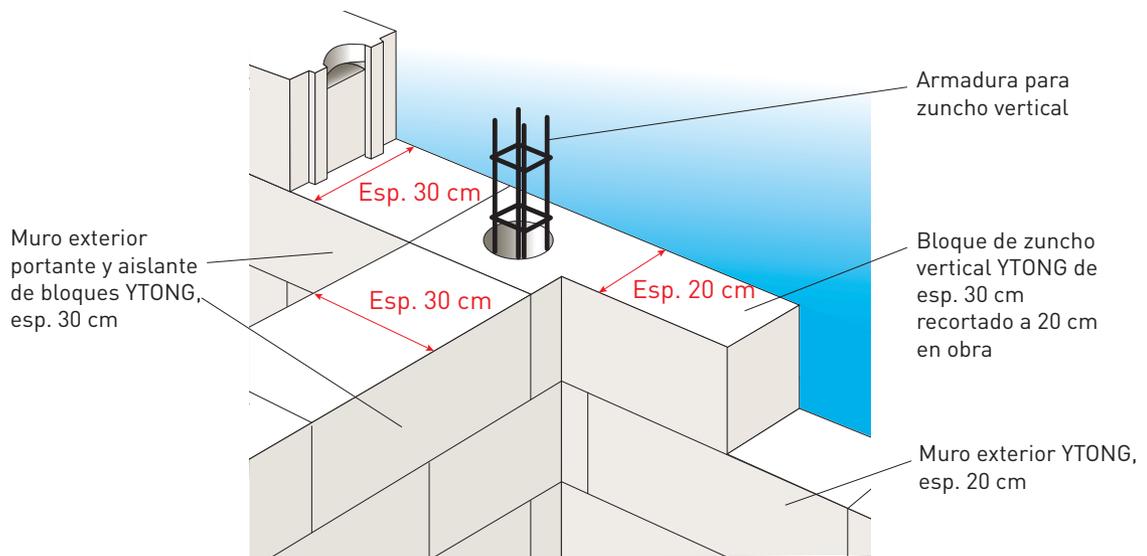
Encuentro entre muro exterior de carga y muro interior de arriostramiento



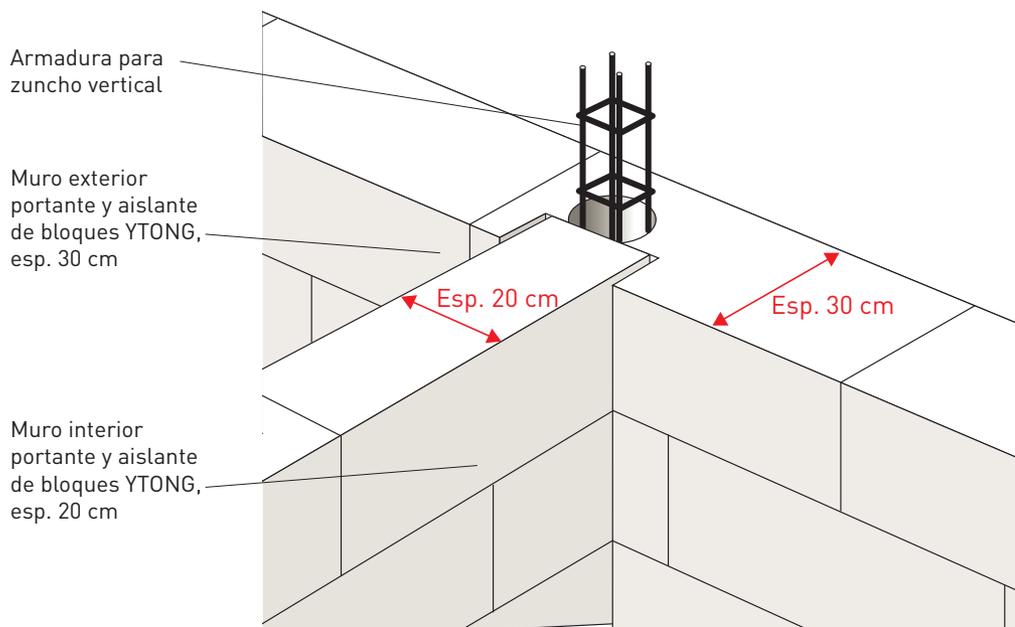
Encuentro por traba de muros de carga YTONG



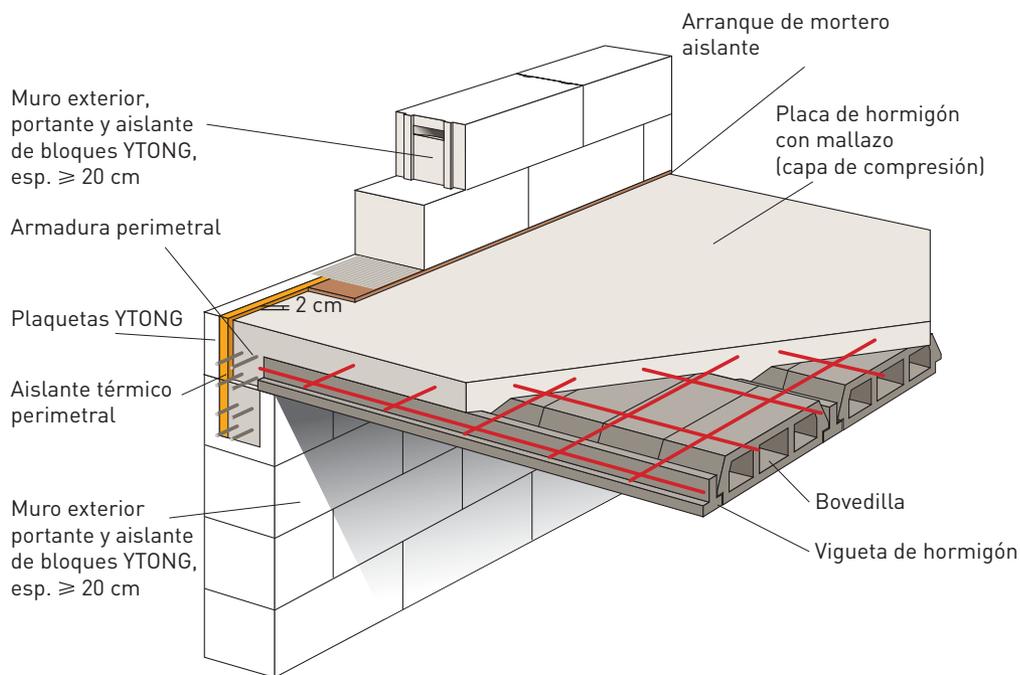
Encuentro entre muro exterior (esp. 30) y muro exterior (esp. 20)



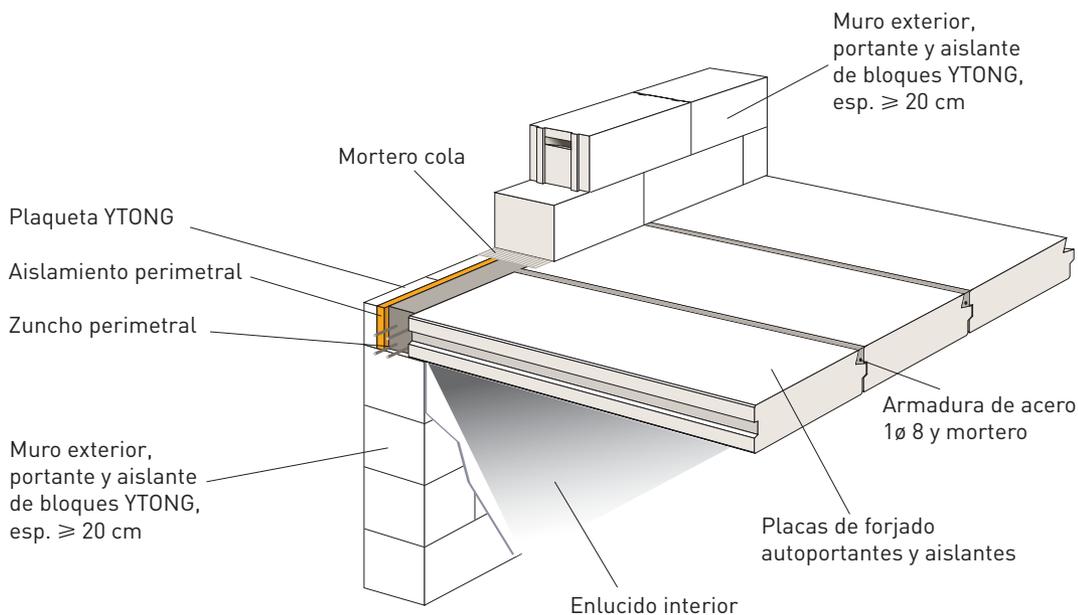
Encuentro entre muro exterior y muro interior de arriostramiento



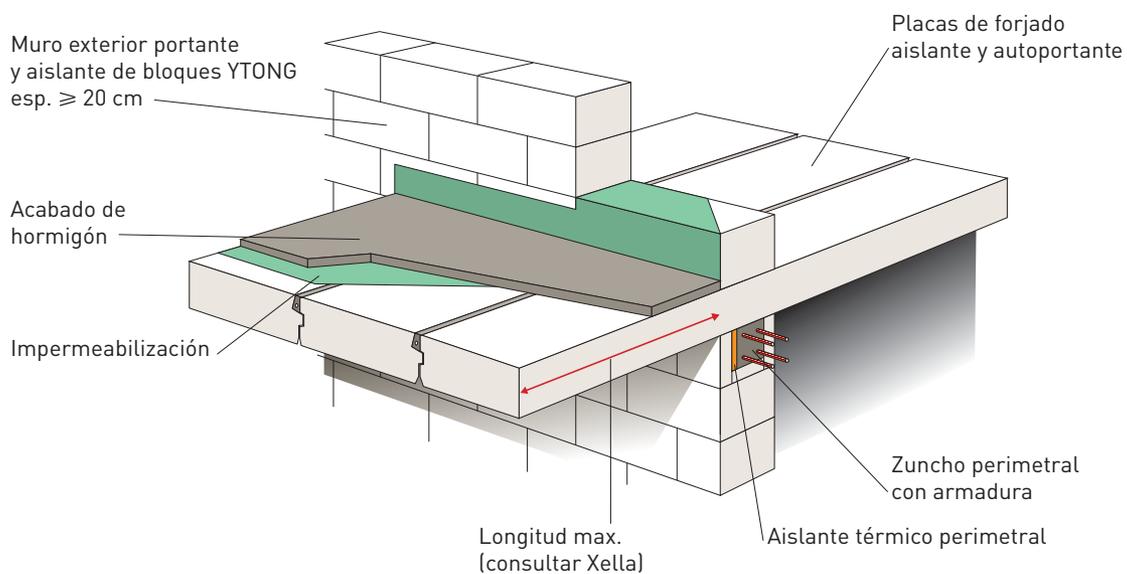
Forjado tradicional (vigüeta y bovedilla) sobre muro de carga YTONG



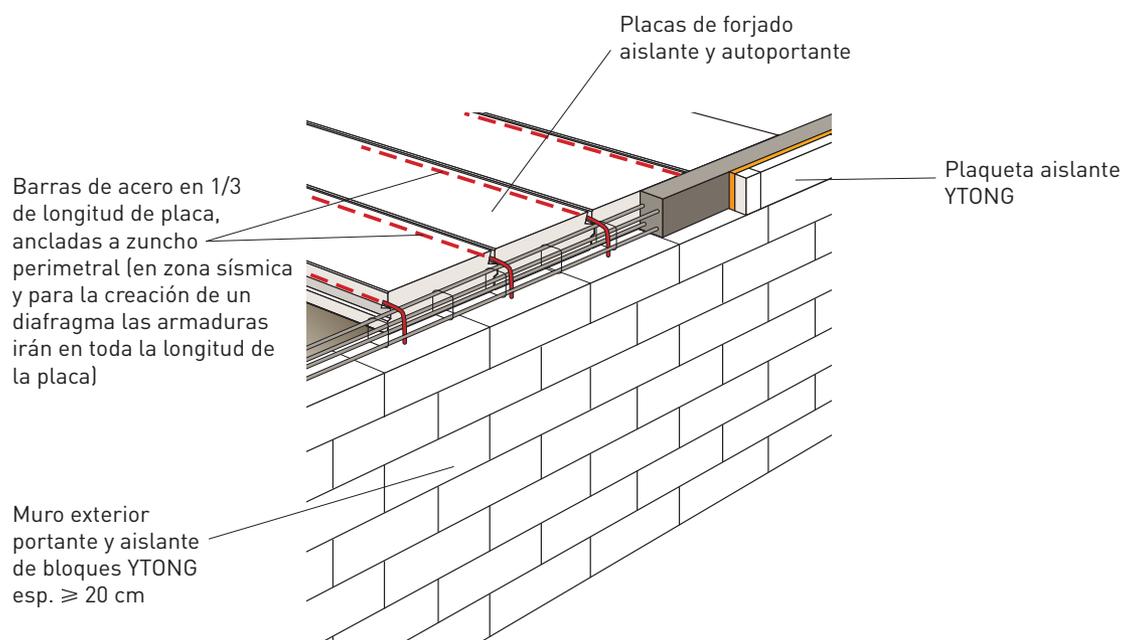
Forjado de placas autoportantes y aislantes y muro exterior de bloques



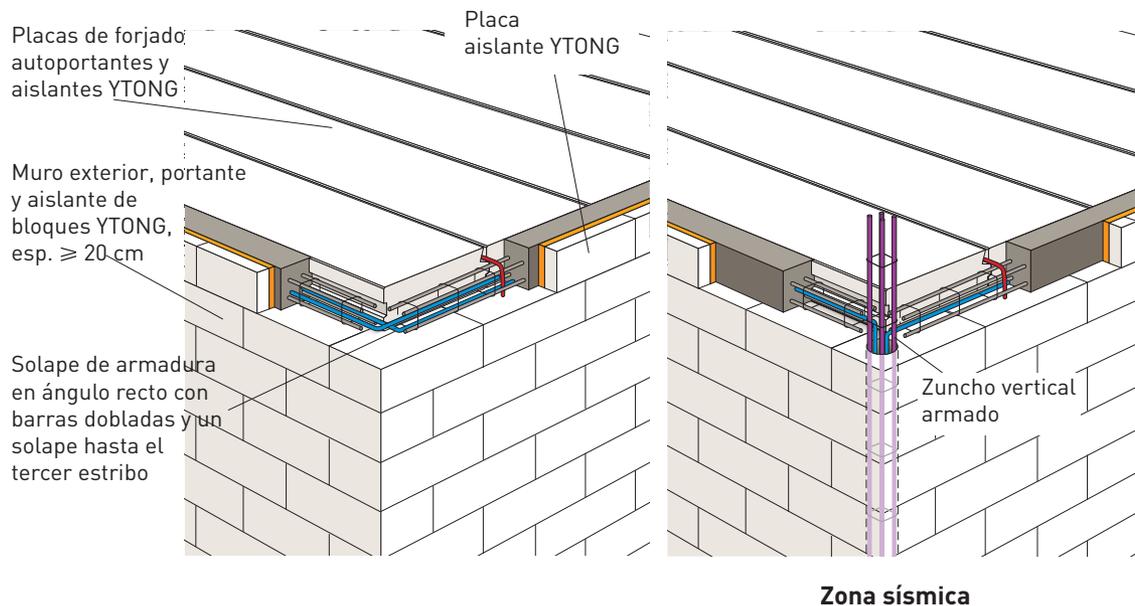
Voladizo de placas para balcón



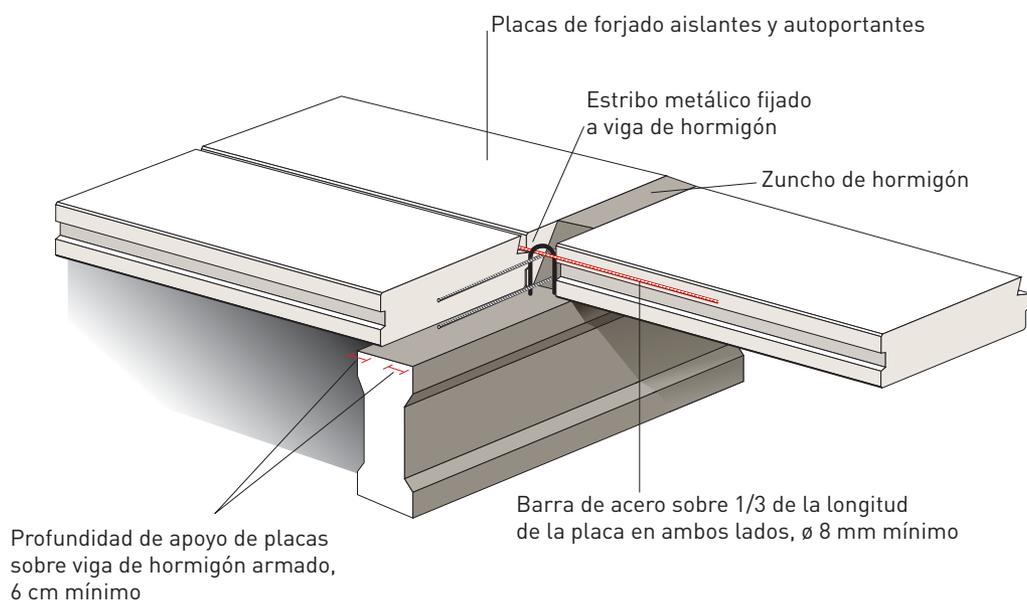
Anclaje de forjado de placas YTONG a zuncho perimetral



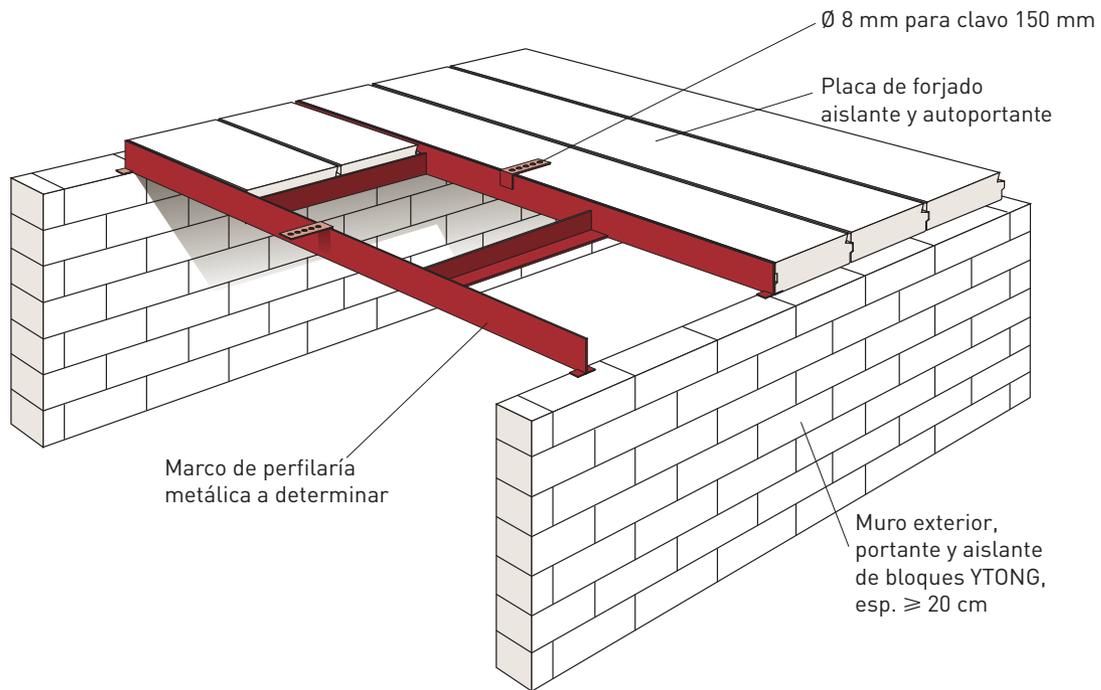
Anclaje de forjado de placas YTONG a zuncho perimetral



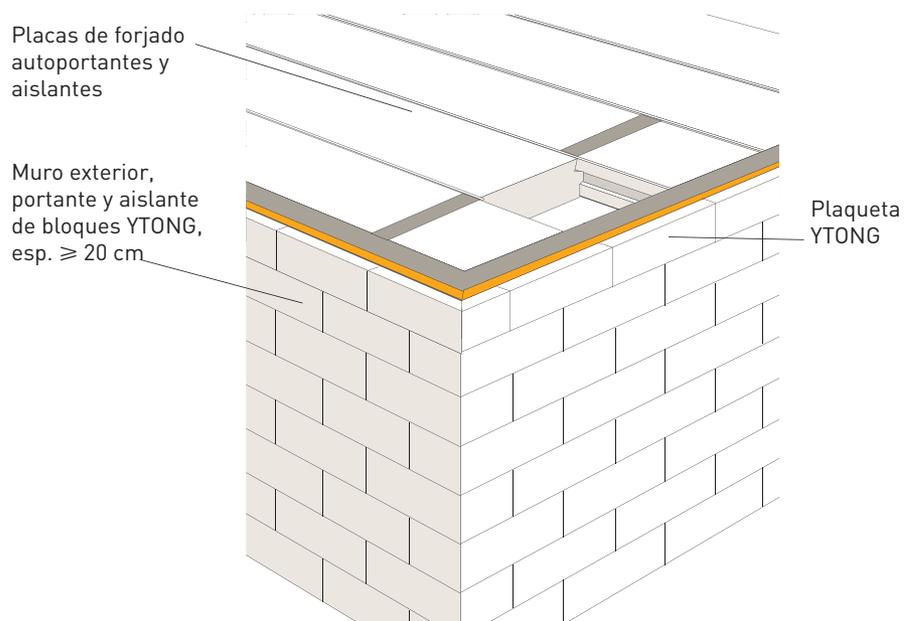
Anclaje de placas sobre viga de hormigón



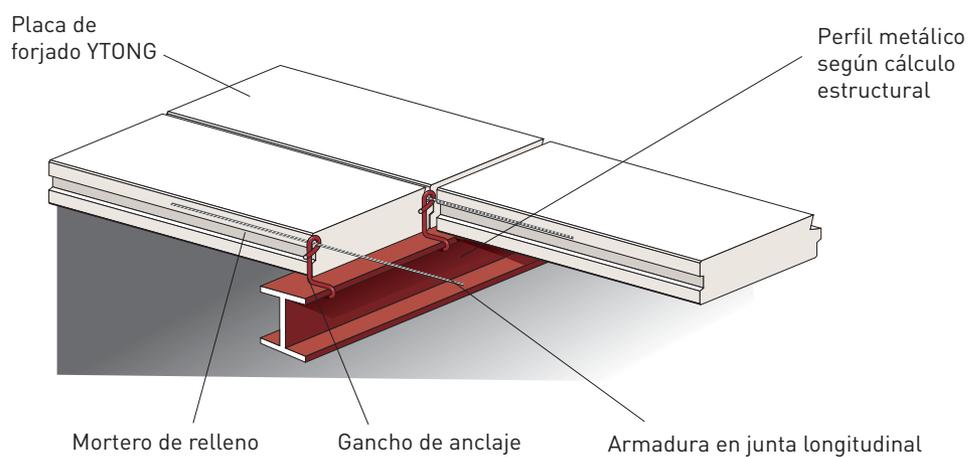
Brochal para el hueco de 2 placas cortadas



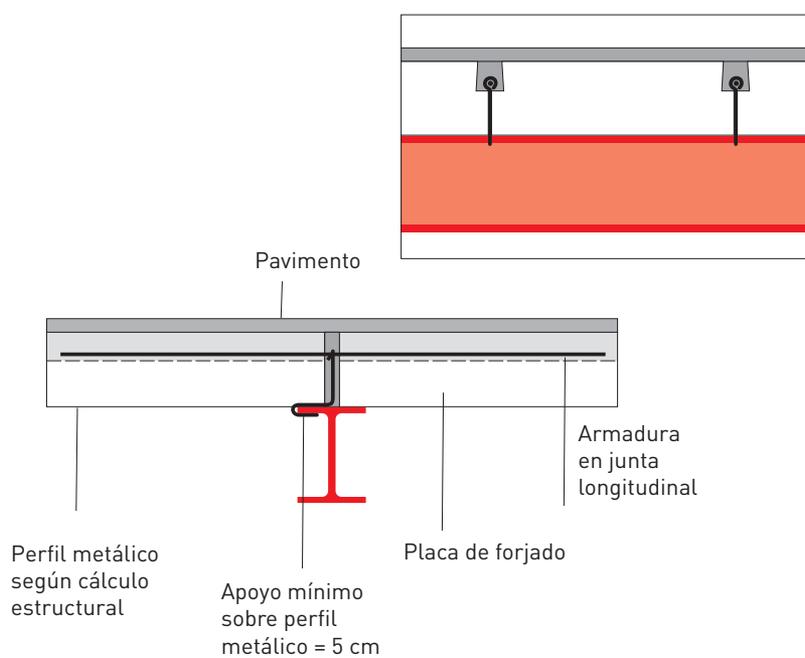
Brochal para el hueco de una placa cortada



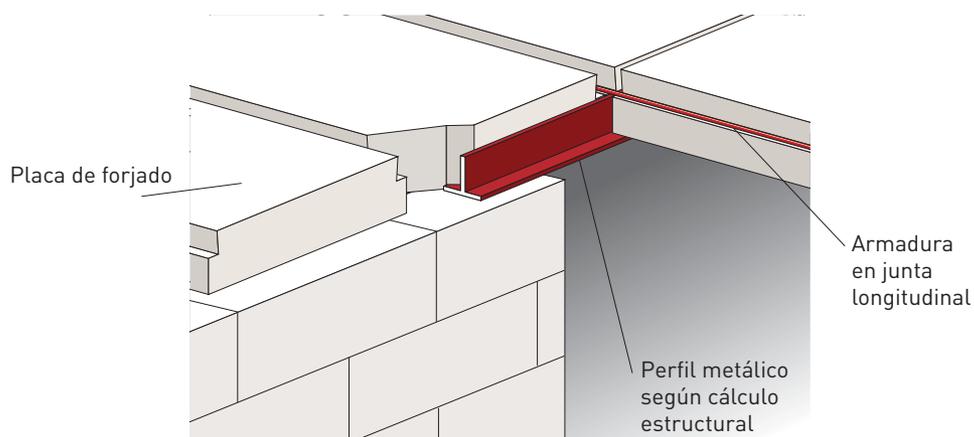
Anclaje de placas de forjado sobre viga metálica



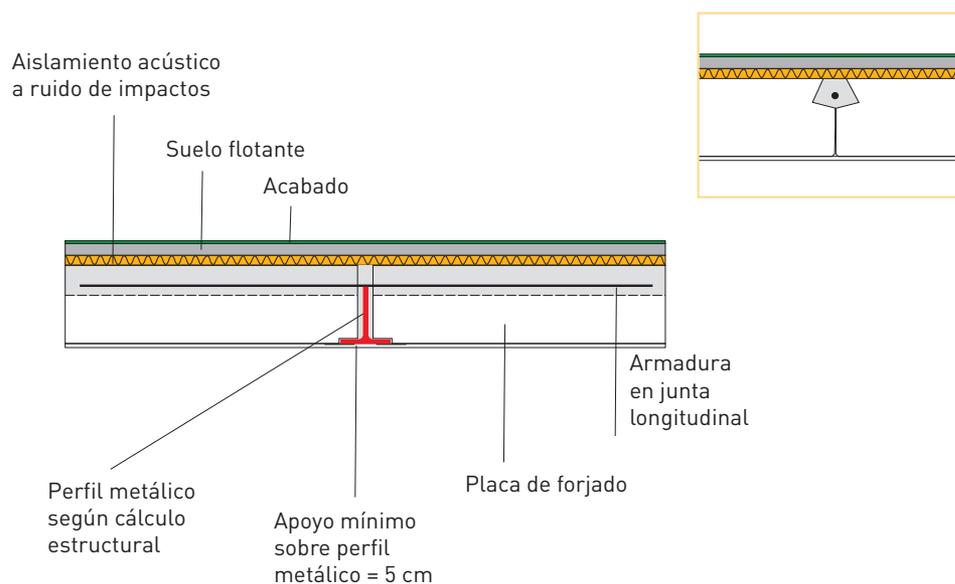
Anclaje de placas de forjado sobre viga metálica



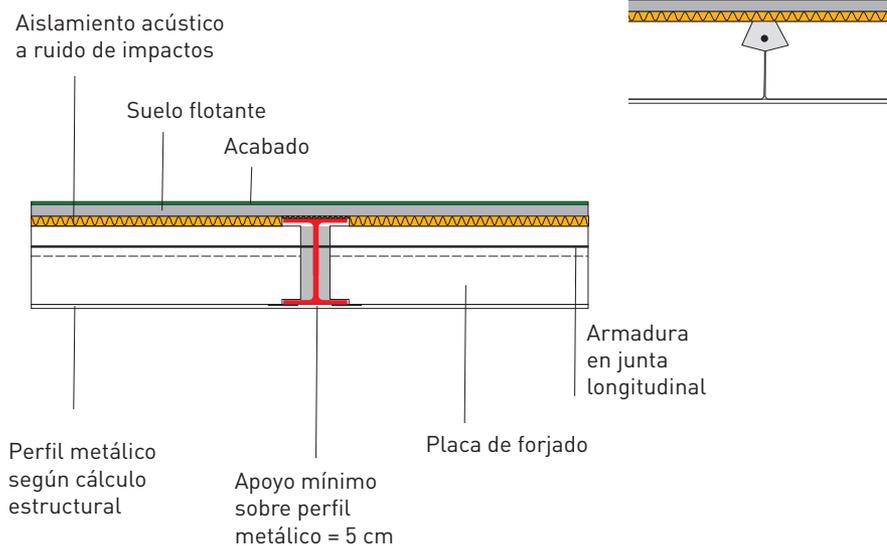
Anclaje de placas de forjado sobre viga metálica (a mismo nivel)



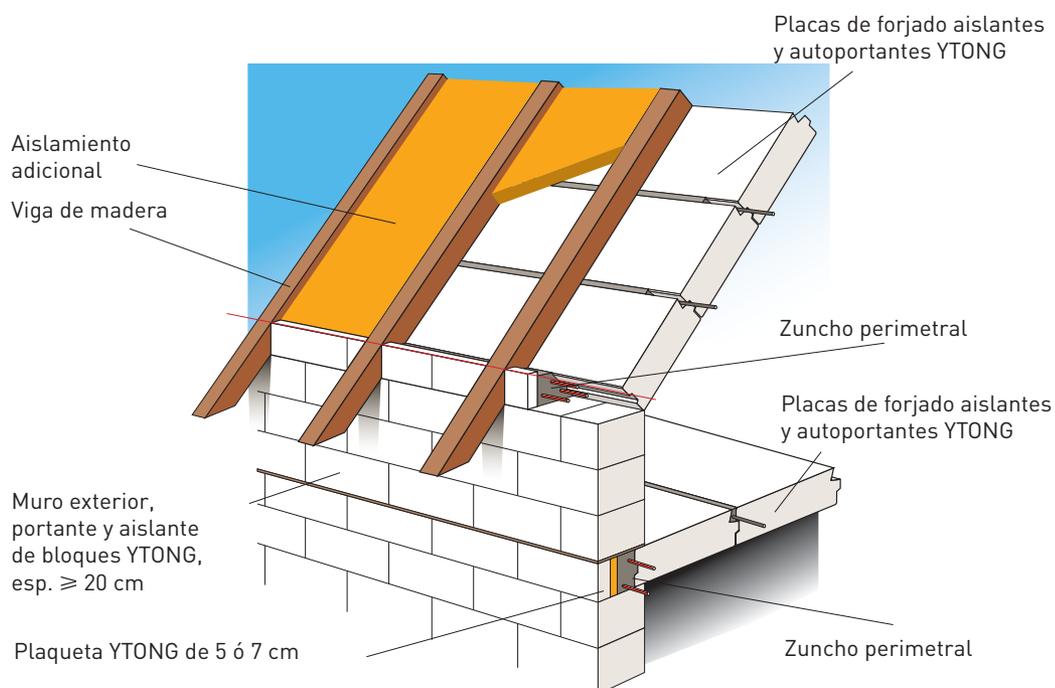
Anclaje de placas de forjado sobre viga metálica (a mismo nivel)



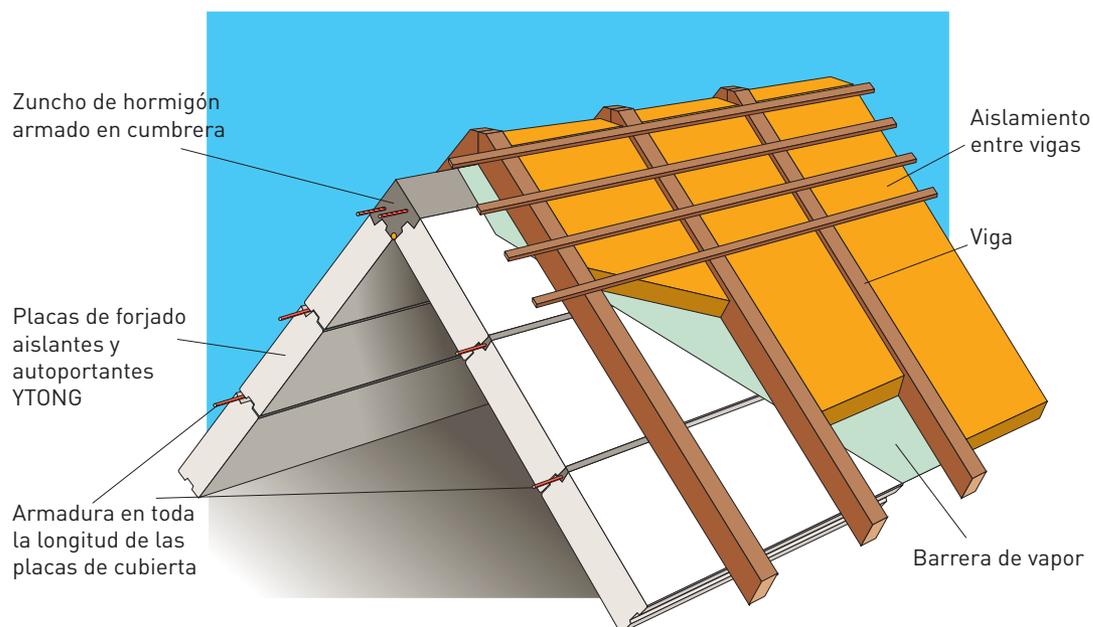
Anclaje de placas de forjado sobre viga metálica (a mismo nivel)



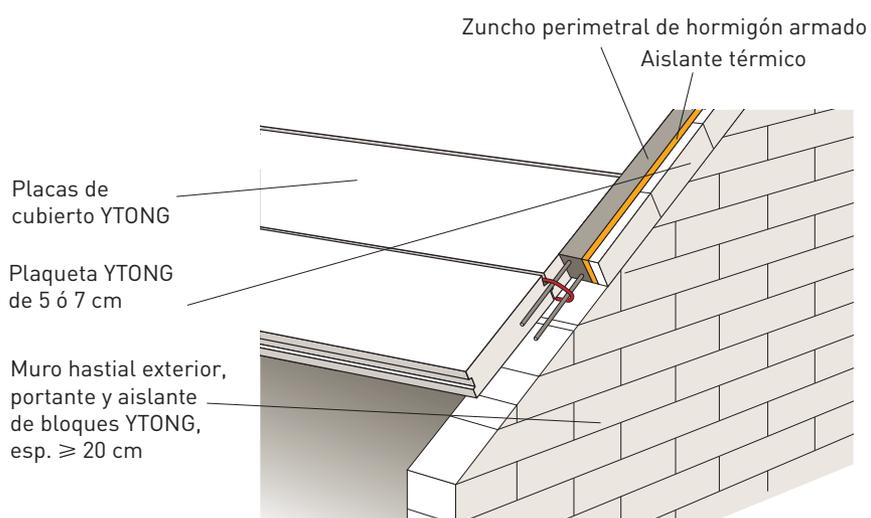
Detalle de colocación de placas de cubierta sobre planta bajo cubierta



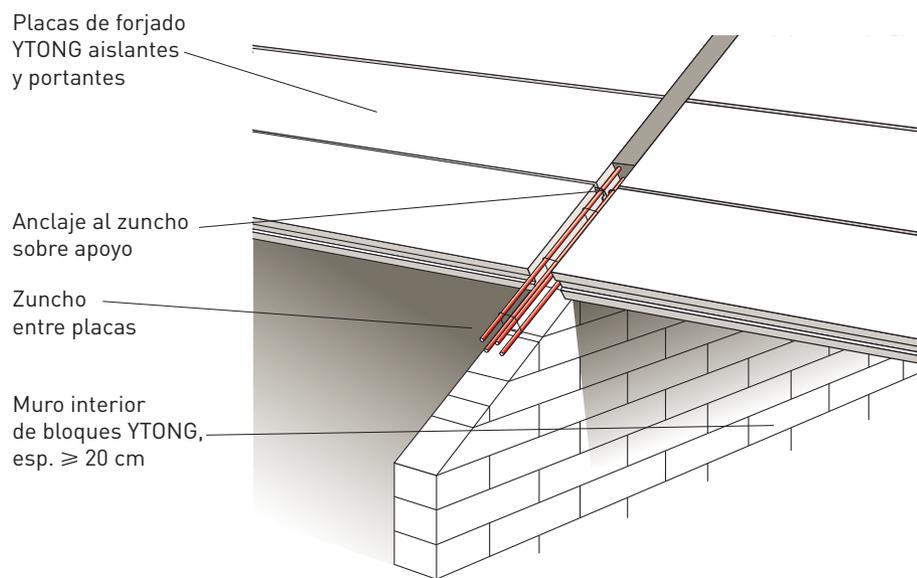
Detalle de cumbrera – placas cubierta



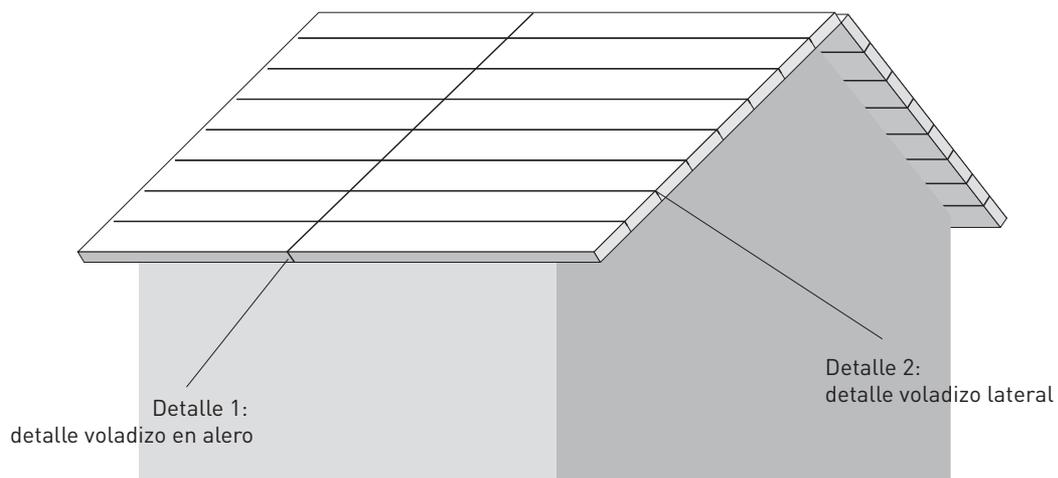
Anclaje de placas de cubierta en el apoyo extremo



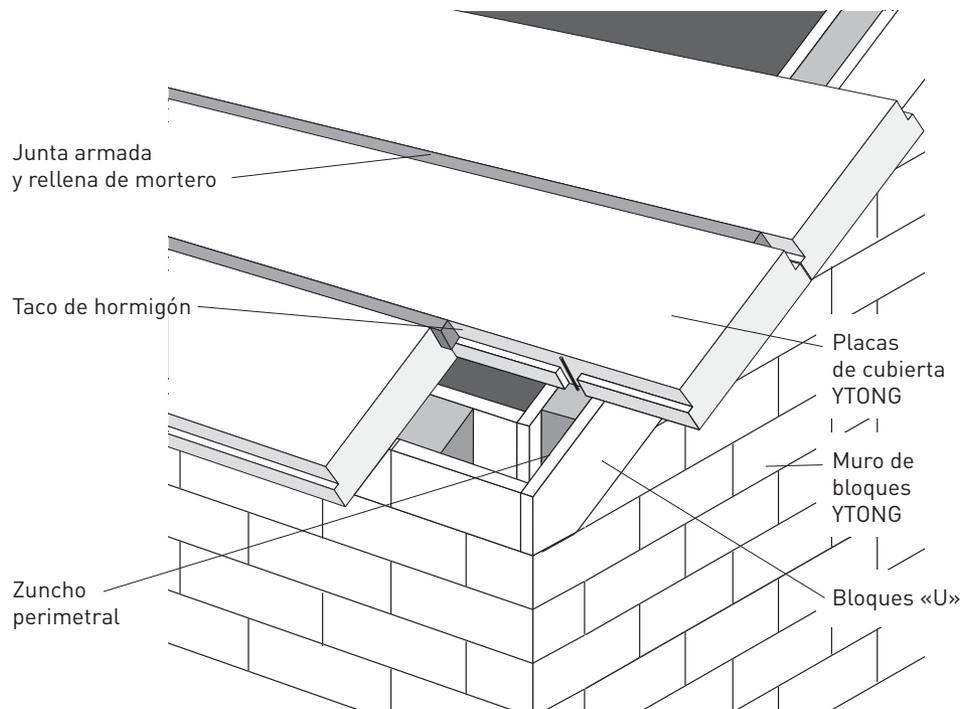
Anclaje de placas de cubierta en los apoyos intermedios



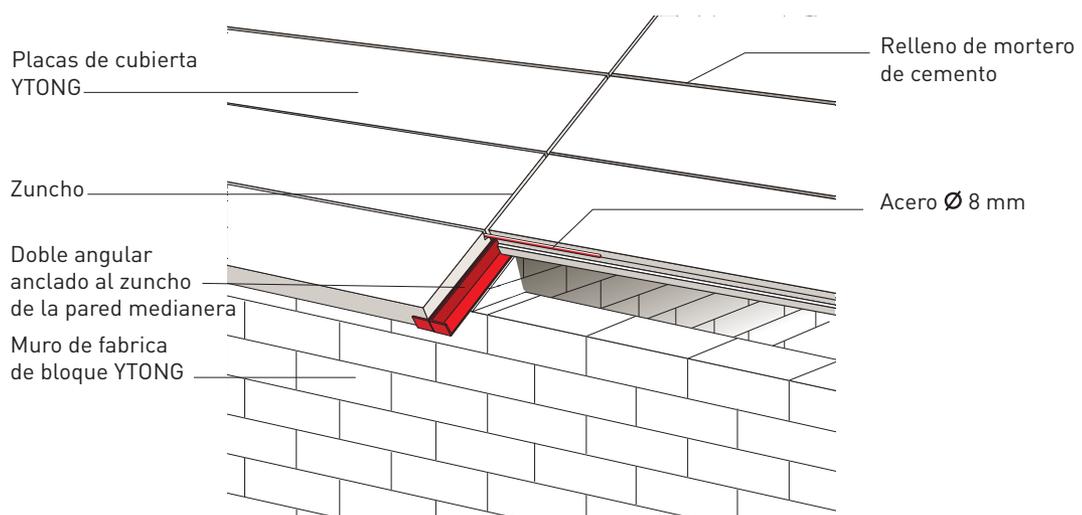
Voladizos de cubierta



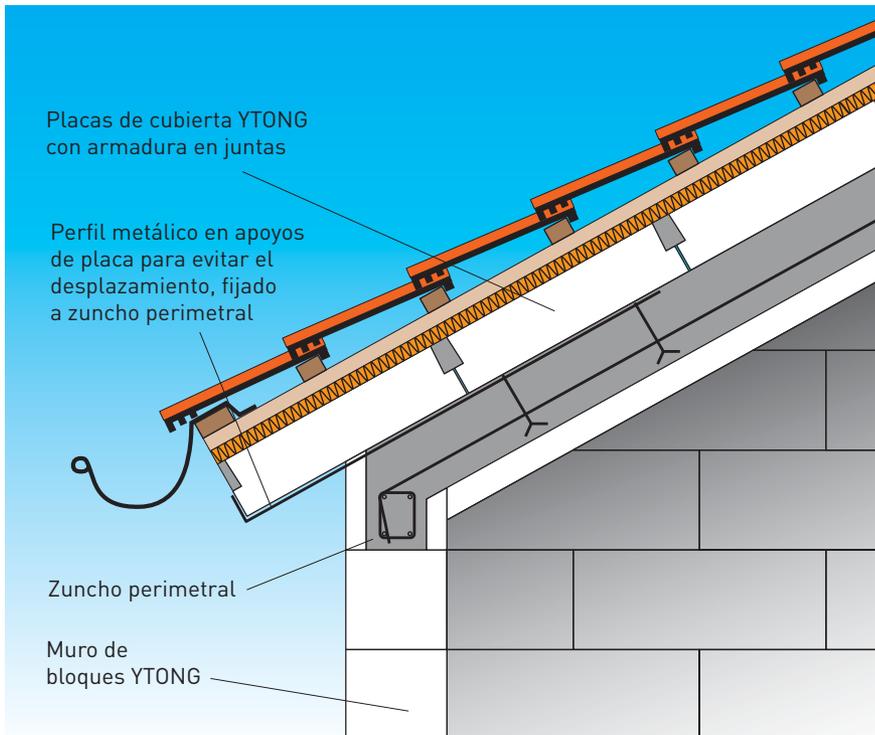
Detalle voladizo lateral



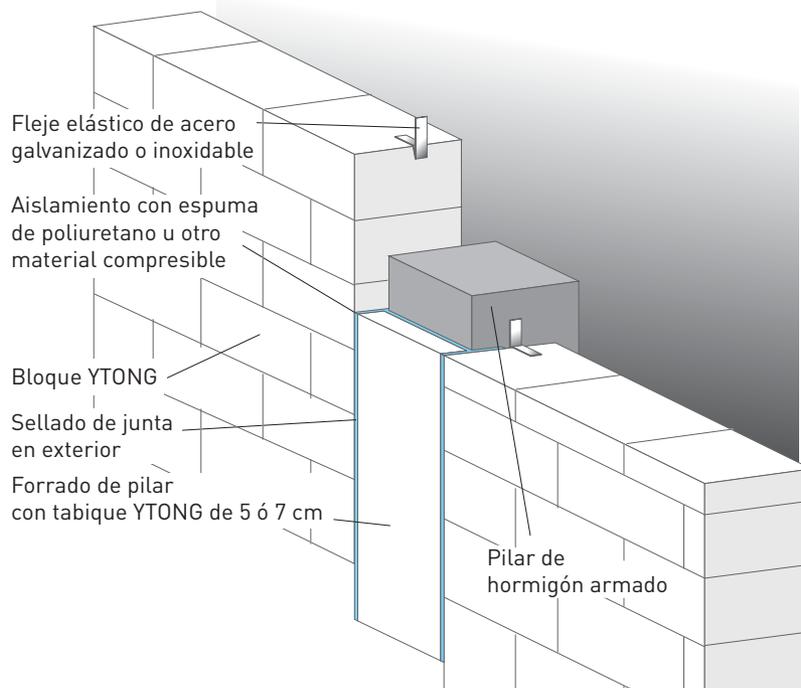
Detalle voladizo en alero



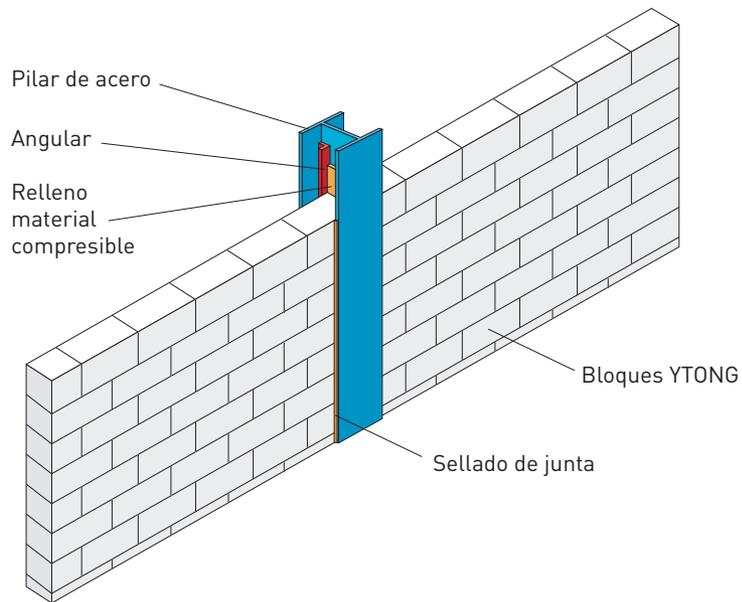
Detalle voladizo en alero



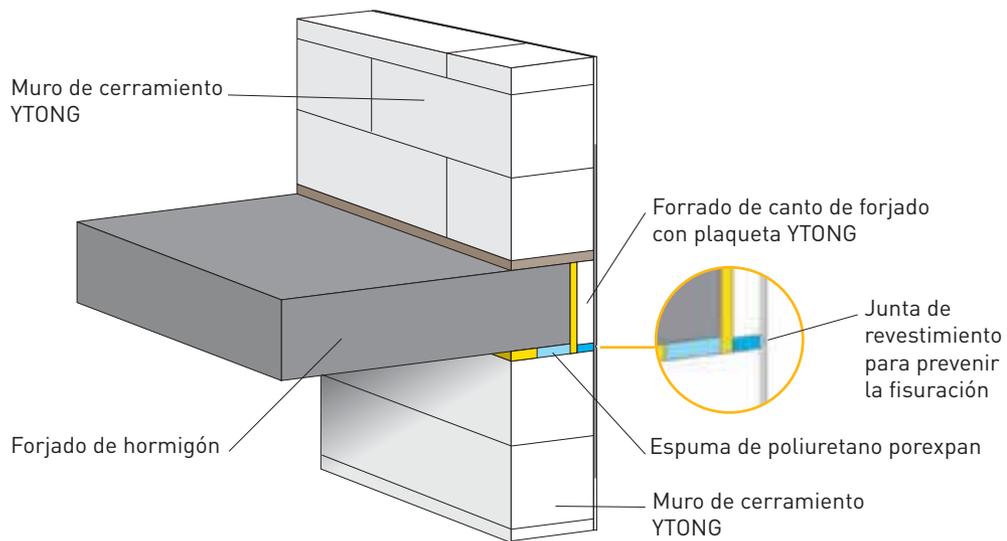
Encuentro muro de cerramiento YTONG con pilar de hormigón armado



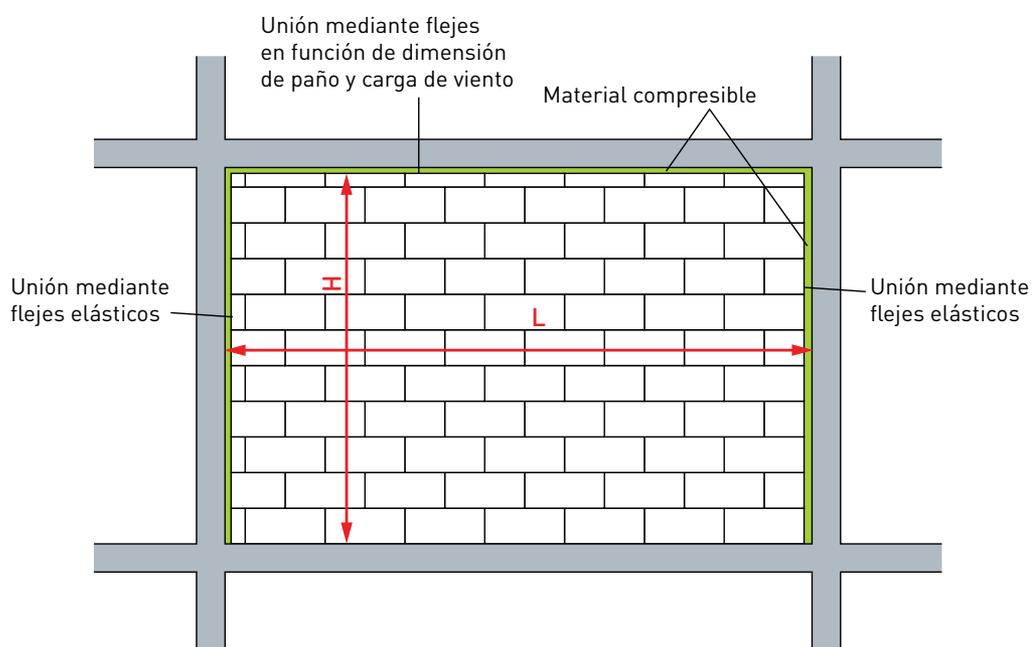
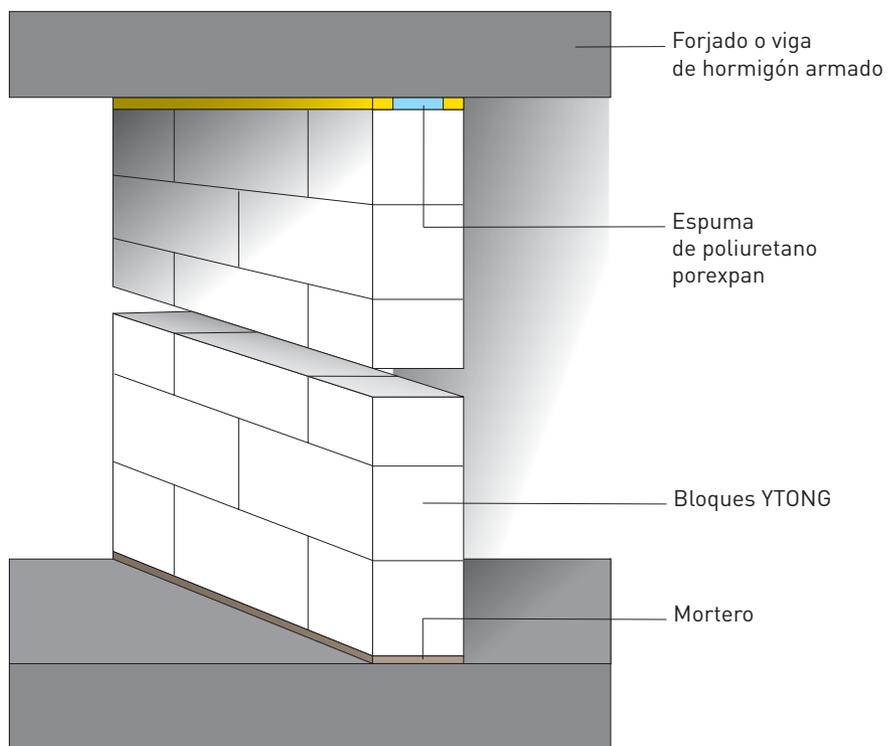
Encuentro muro de cerramiento YTONG con pilar de acero



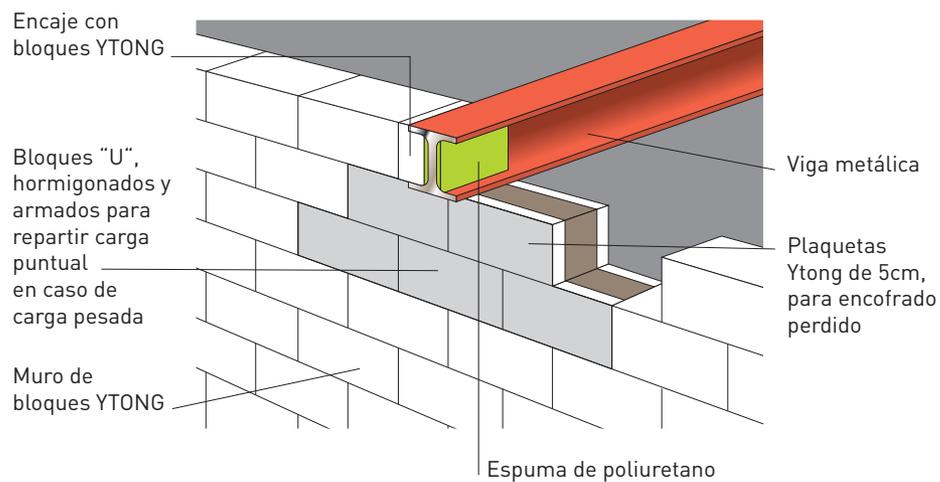
Encuentro muro de cerramiento YTONG con forjado de hormigón



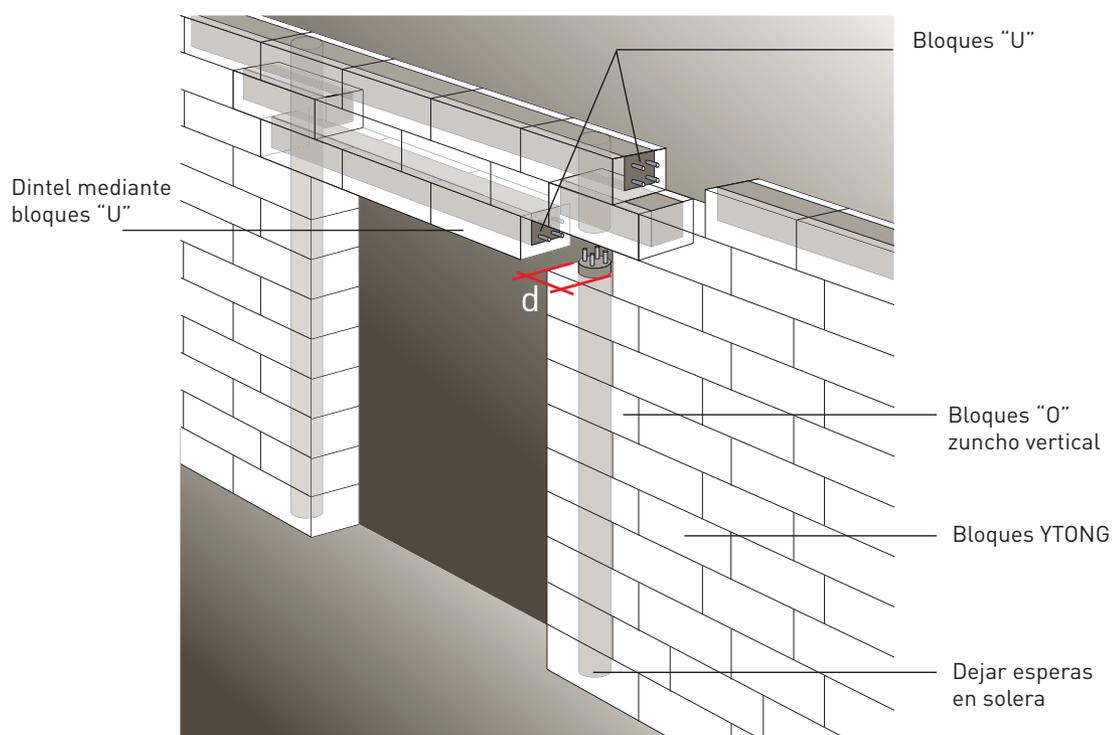
Encuentro muro YTONG y elementos estructurales



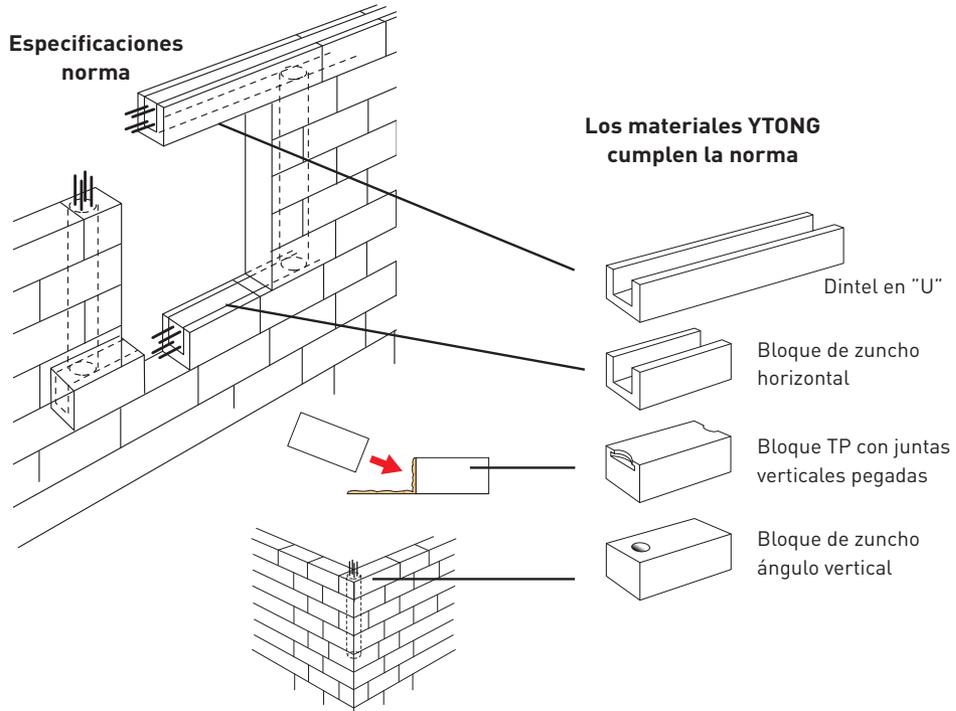
Apoyo viga metálica sobre muro carga YTONG



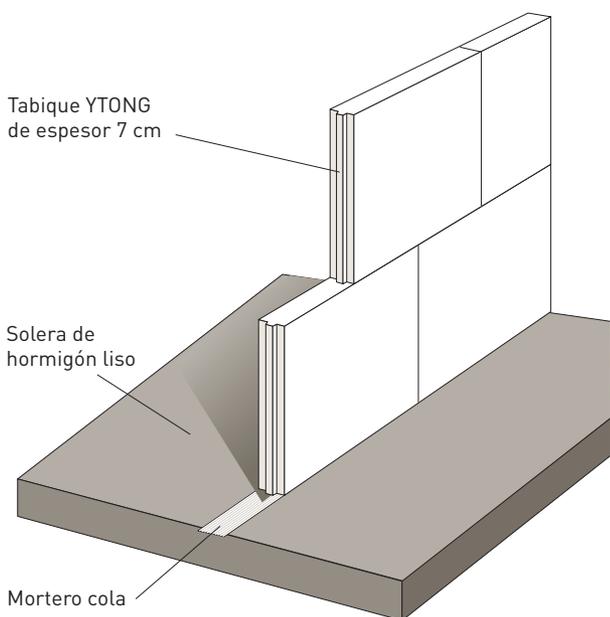
Puerta sísmica ($a_c \geq 0,12 g$)



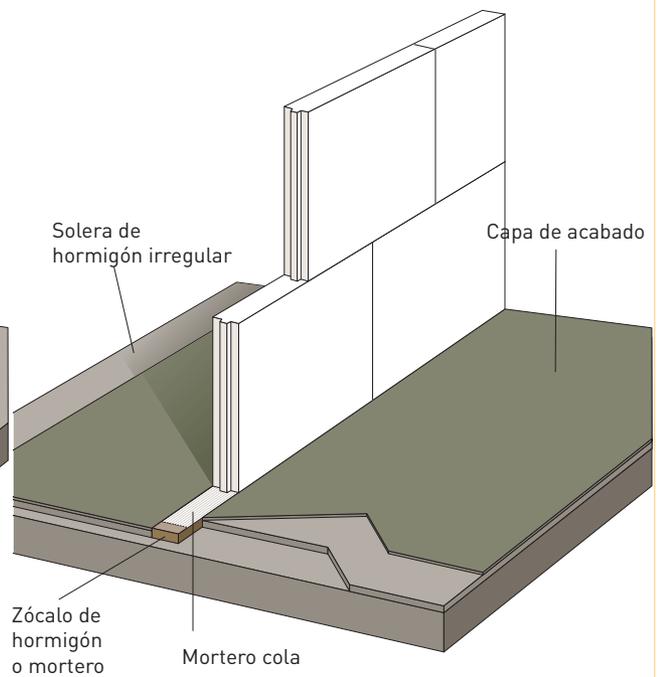
Solución sísmica para ventanas en zonas con $a_c \geq 0,12g$



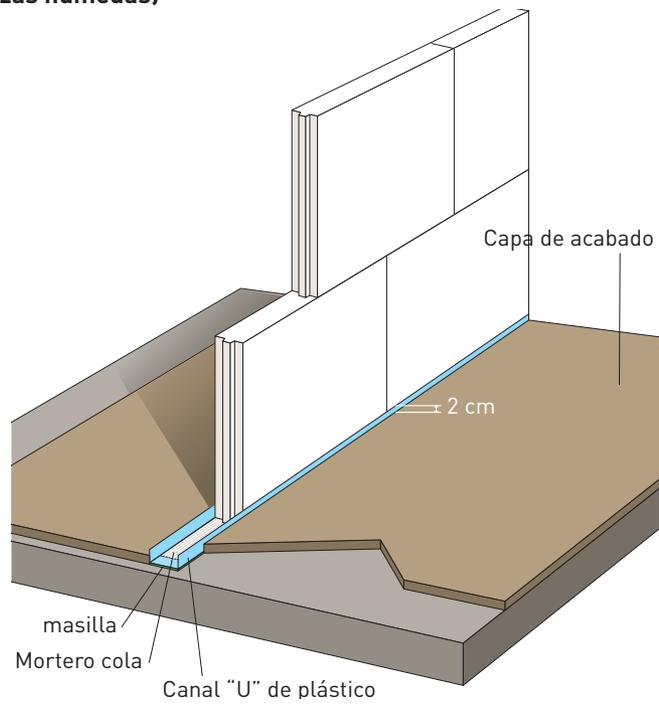
Tabique sobre solera de hormigón liso



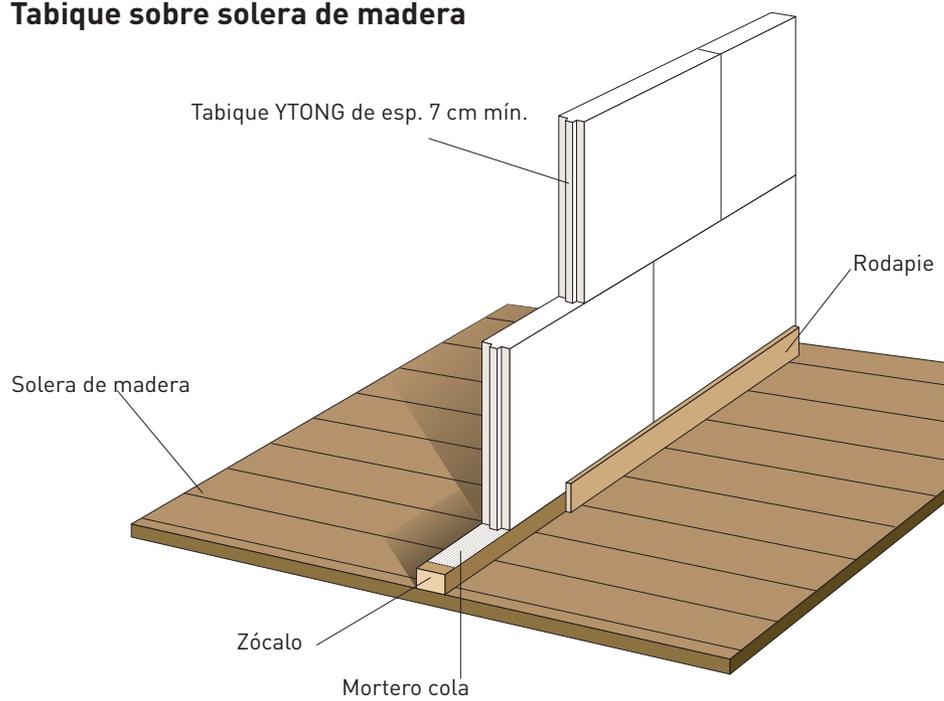
Tabique sobre solera de hormigón irregular



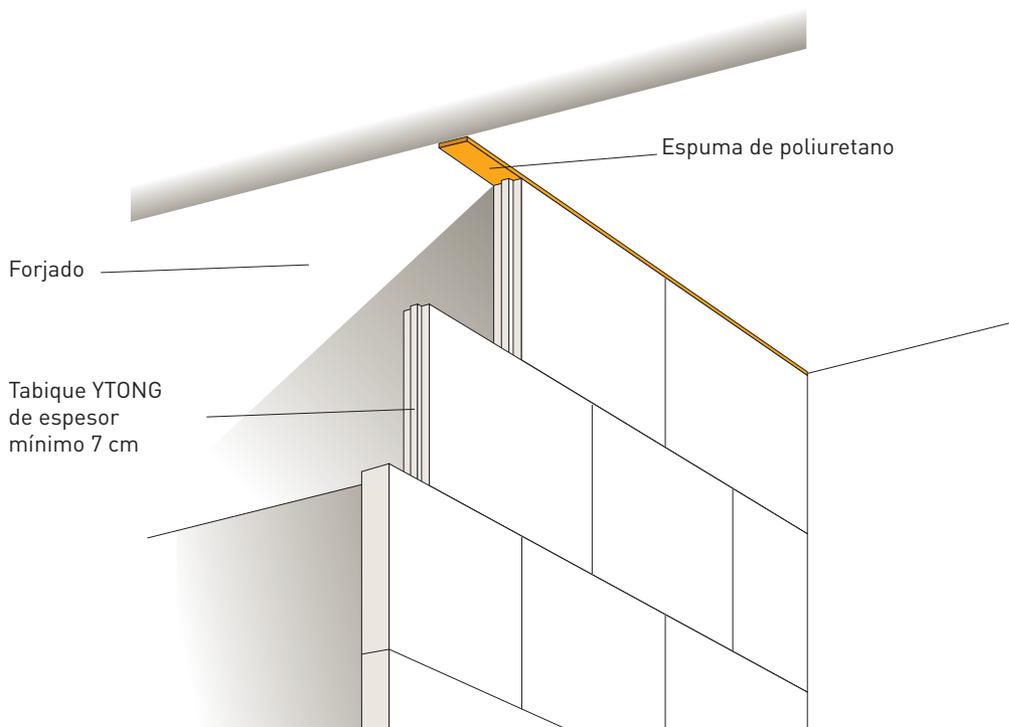
Tabique sobre solera de hormigón (especial para piezas húmedas)



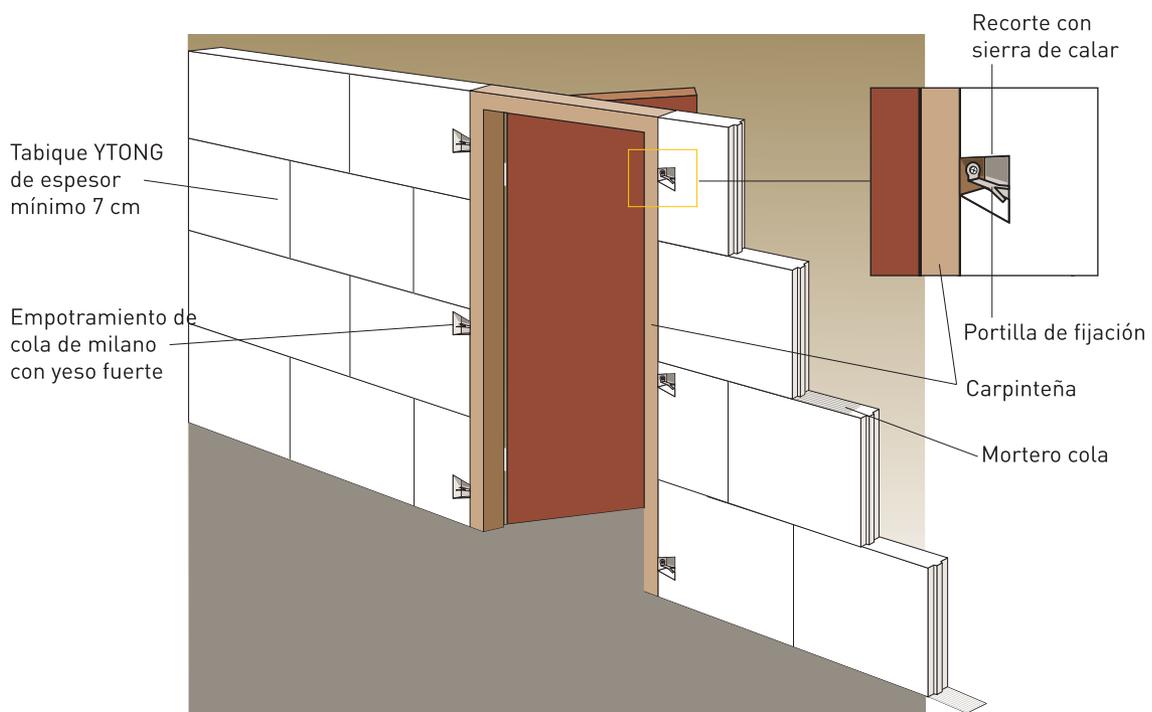
Tabique sobre solera de madera



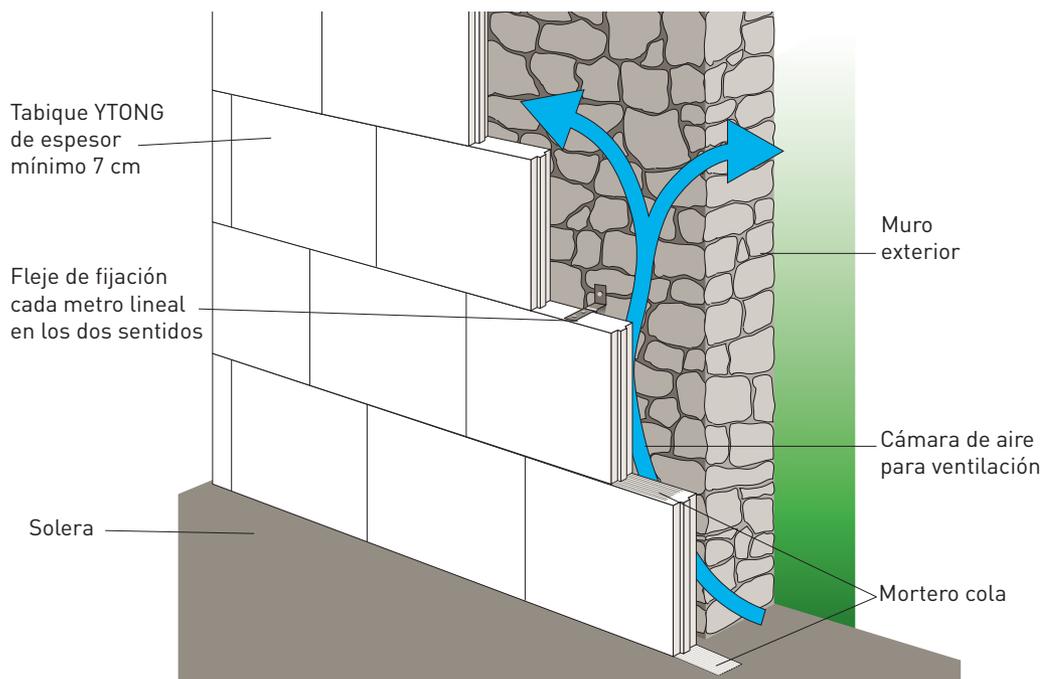
Junta sobre la coronación de los tabiques



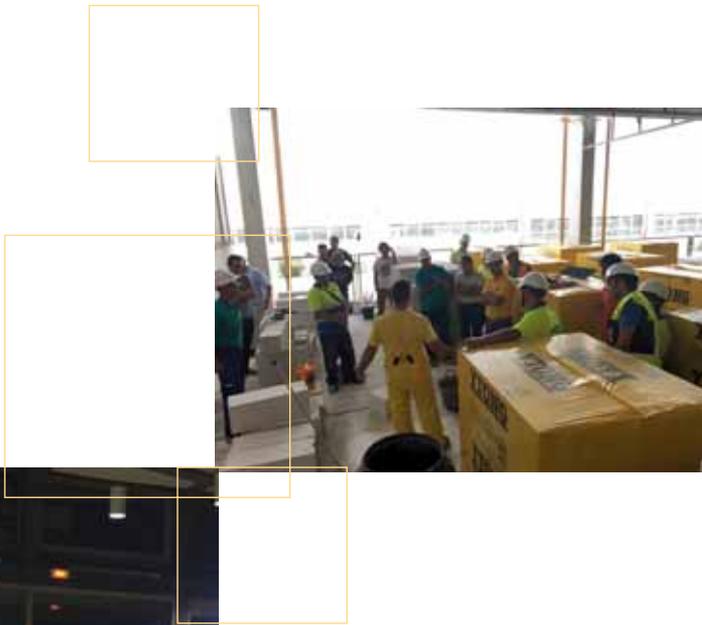
Fijación de puerta con empotramiento de cola de milano



Trasdosado



14. Oficina técnica YTONG y formaciones



Oficina técnica YTONG

Nuestro departamento técnico le apoyará tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución. Realizamos la medición de los elementos YTONG para su proyecto y le asesoramos en las posibles necesidades de adaptación al sistema. También nos ocupamos de realizar el despiece y cálculo de las placas de forjado y cubierta con tal de garantizar una correcta ejecución y la estabilidad estructural.

Apoyo técnico a pie de obra

Nuestro personal especializado estará presente en el arranque de obra, con tal de garantizar una aplicación correcta del sistema y formar al personal de obra. Se realizará un seguimiento de obra y una visita final para comprobar la correcta ejecución.

Formaciones y carnet de montador oficial YTONG

Realizamos formaciones tanto en la propia obra, como en las instalaciones de nuestros distribuidores, a las que podrán asistir todos los profesionales de la construcción que deseen ampliar sus conocimientos y conocer el sistema YTONG.

Nuestro objetivo es enseñar la técnica de colocación con junta fina y dar a conocer los productos YTONG a través de nuestros distribuidores.

Una vez realizada la formación de colocación, los asistentes recibirán el certificado de formación YTONG. Este documento es imprescindible para la posterior obtención del carnet de montador oficial YTONG, otorgado en consentimiento con la OCT una vez finalizada la primera obra con YTONG de forma satisfactoria.

Base de datos técnica YTONG:

en nuestra pagina Web www.xella.es, esta disponible documentación técnica, detalles en autocad, certificados, etc.

Ytong España / Grupo Xella

Francisco Silvela 56, 2º Izq

28028 Madrid

Spain

Office telephone +34 902 884 201

ytong-es@xella.com

www.xella.es

 Ytong Spain / España

 Ytong Spain / España

 Ytong España



Xella España Hormigón Celular, S. A.

Fotografías e ilustraciones no contractuales. La compañía Xella se reserva el derecho de modificar en cualquier momento sus productos sin previo aviso, dentro del límite de las disposiciones constructivas de la norma francesa DTU 201. El contenido solo tiene exención legal por la aceptación de Xella del valor de pedido que incluye las especificaciones precisas de los materiales y los precios. Las fotografías, ilustraciones, esquemas y textos de este documento son de propiedad de la compañía Xella y no pueden ser reproducidos sin su autorización escrita. GT00489100E.