

Proyecto de ejemplo

MEMORIA JUSTIFICATIVA

Proyecto de vivienda unifamiliar de 2 plantas en Valencia

Sistema integral Ytong

INDICE

1	INTRODUCCION	4
2	GEOMETRÍA Y MATERIALES	5
3	SEGURIDAD ESTRUCTURAL	12
3.1	DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO	12
3.1.1	VALORES CARACTERÍSTICOS	12
3.1.1.1	Cubierta.....	12
3.1.1.2	Forjado.....	13
3.1.1.3	Peso propio muros de carga	14
3.1.2	VALORES DE DISEÑO.....	14
3.2	CONSIDERACIONES SÍSMICAS	15
3.3	CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA	15
3.4	COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PLACAS DE FORJADO Y CUBIERTA.....	16
3.5	COMPROBACIÓN DE LOS MUROS DE CARGA (CTE DB SE-F).....	17
3.5.1	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DISEÑO DE LA FÁBRICA.....	17
3.5.2	COMPROBACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS MUROS	19
3.5.2.1	Generalidades.....	19
3.5.2.2	Cálculo de las compresiones verticales N_{sd}	20
3.5.2.3	Comprobación nodo a nodo	22
3.5.2.3.1	Muro exterior	22
3.5.2.3.2	Muro interior.....	25
3.6	COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA (DB SE-A)	30
3.7	COMPROBACIÓN DE LAS CARGAS PUNTALES (CTE DB SE-F).....	32
3.7.1	GENERALIDADES.....	32
3.7.2	COMPROBACIÓN EN EL MURO EXTERIOR:.....	33
3.7.3	COMPROBACIÓN EN EL MURO INTERIOR:.....	34
3.8	COMPROBACIÓN DE LOS DINTELES PREFABRICADOS	35
3.8.1	DINTEL 1 EN MURO EXTERIOR DE CARGA	37
3.8.2	DINTEL 2 EN MURO INTERIOR DE CARGA	38
3.8.3	DINTEL 3 EN MURO EXTERIOR.....	38
3.8.4	DINTEL 4 EN MURO EXTERIOR DE CARGA	38
4	LIMITACION DE DEMANDA ENERGÉTICA (CTE DB HE 1).....	39
4.1	DATOS PREVIOS	39
4.2	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS.....	40
4.2.1	CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR	40
4.2.1.1	Fachadas.....	40
4.2.1.2	Cubiertas	41
4.2.2	CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	41
4.2.2.1	Suelo	41
4.2.3	HUECOS.....	42
4.3	PUNTES TÉRMICOS.....	42
4.4	COMPROBACIÓN DE LOS VALORES LÍMITE	43
4.4.1	CUBIERTAS.....	43
4.4.2	FACHADAS	43

4.4.3	HUECOS.....	44
4.4.4	SUELOS.....	44
5	<u>SALUBRIDAD.....</u>	45
5.1	GENERALIDADES	45
5.2	FACHADAS	45
5.3	CUBIERTA	45
6	<u>SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO.....</u>	46
7	<u>PROTECCION FRENTE AL RUIDO (DB HR).....</u>	47
7.1	GENERALIDADES	47
7.2	COMPROBACIÓN PARA LA TABIQUERÍA	48
7.3	COMPROBACIÓN PARA LA FACHADA	49
7.4	COMPROBACIÓN PARA LA CUBIERTA	52
8	<u>NORMAS Y DOCUMENTACION DE REFERENCIA.....</u>	53

Proyecto de Ejemplo

1 INTRODUCCION

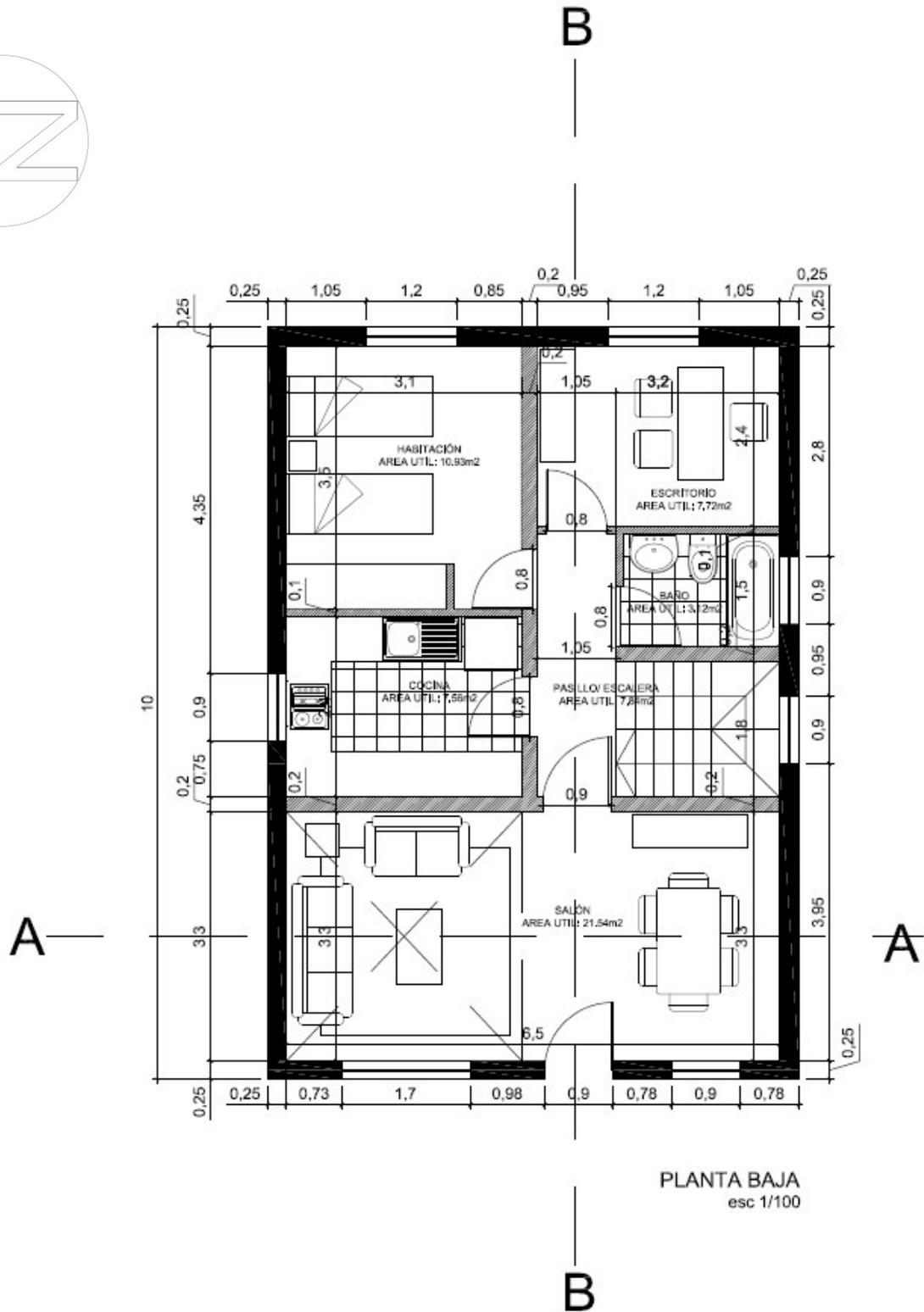
La presente memoria justificativa sirve de ejemplo para las comprobaciones necesarias según el Código Técnico de la Edificación CTE y está pensado para facilitar la labor a los arquitectos e ingenieros a la hora de estudiar un proyecto integral con el sistema de construcción Ytong.

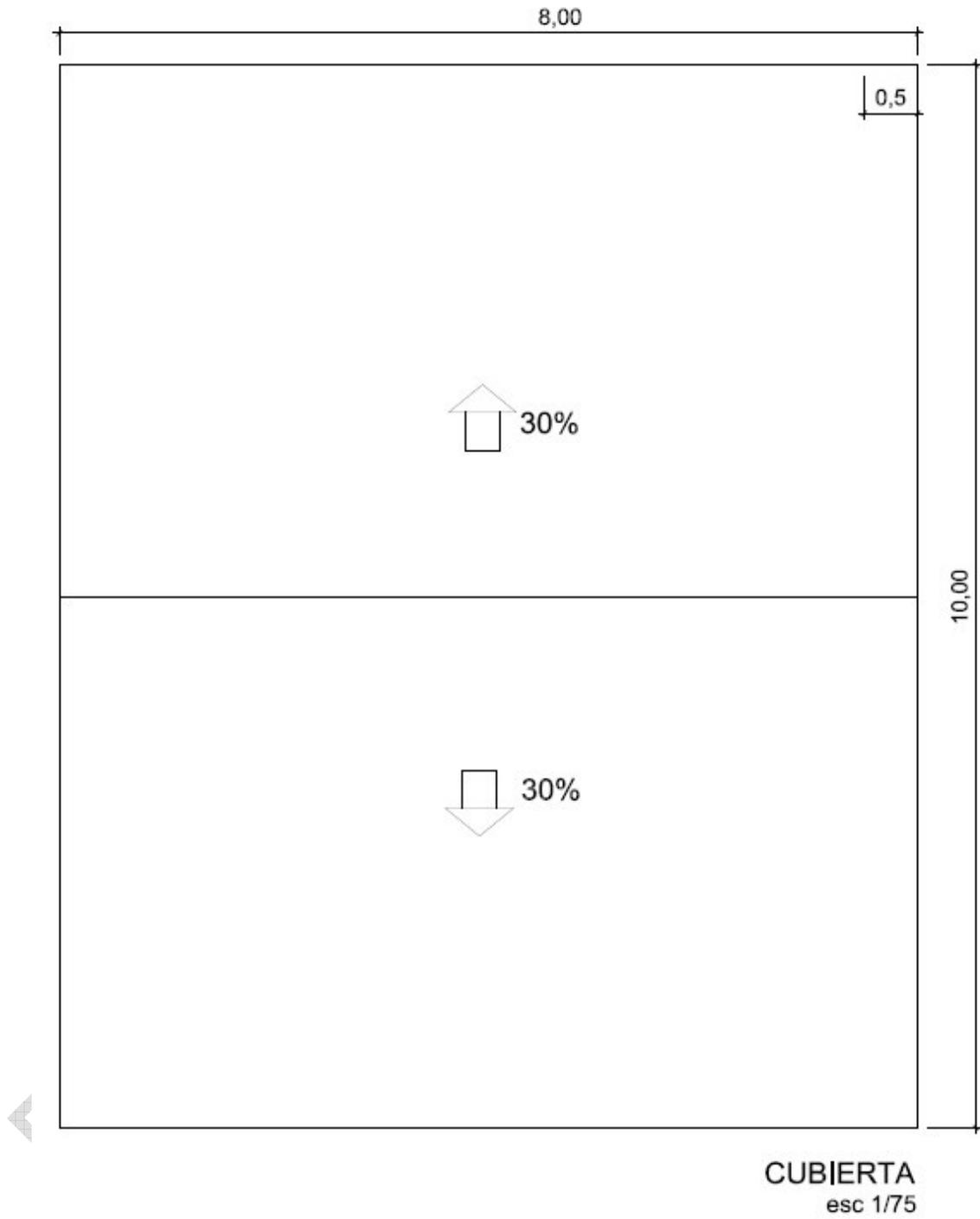
Cuando hablamos de un proyecto integral, nos referimos a una estructura realizada íntegramente con elementos de hormigón celular Ytong (muros de carga, placas de forjado, placas de cubierta y tabiquería), combinando de esta forma las cualidades de aislamiento con las cualidades de resistencia estructural, siendo pues la forma más efectiva de aprovechar el material.

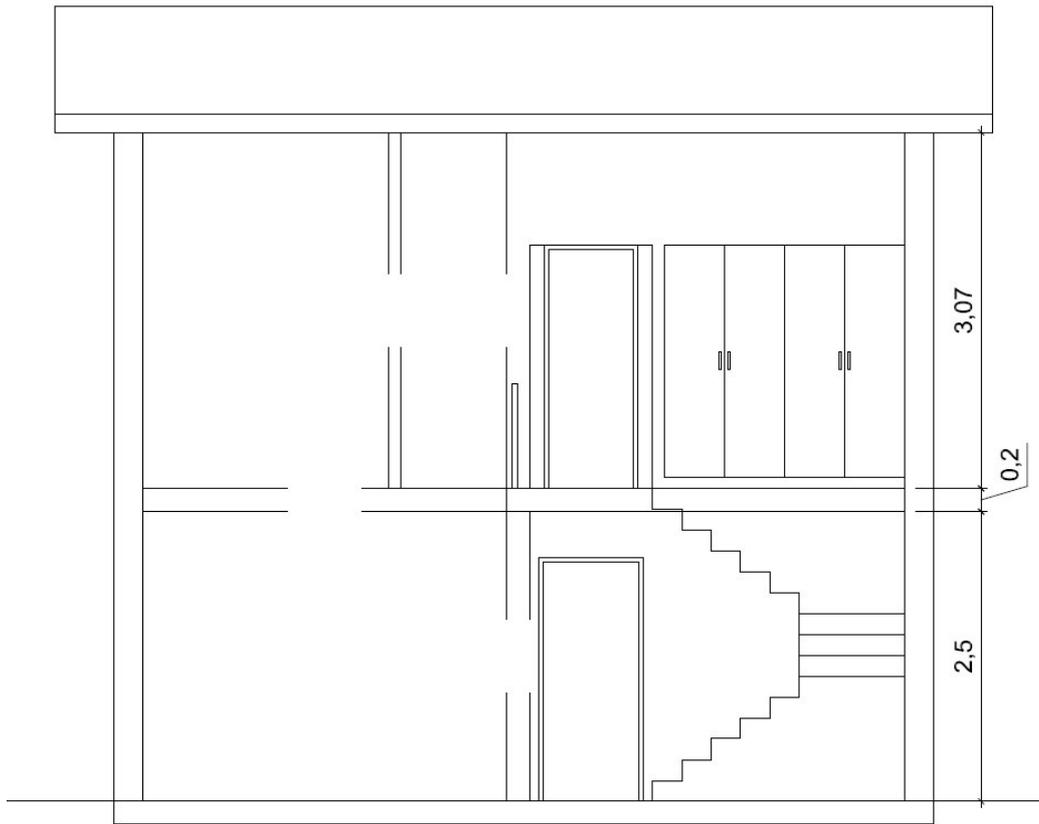
No se incluyen las comprobaciones que van más allá del sistema de construcción Ytong, como el estudio geotécnico y el cálculo de las cimentaciones. Las cimentaciones serán las habituales para muros de carga (zapatas corridas bajo los muros de carga), beneficiándose de la ligereza del hormigón celular.

Proyecto de ejemplo

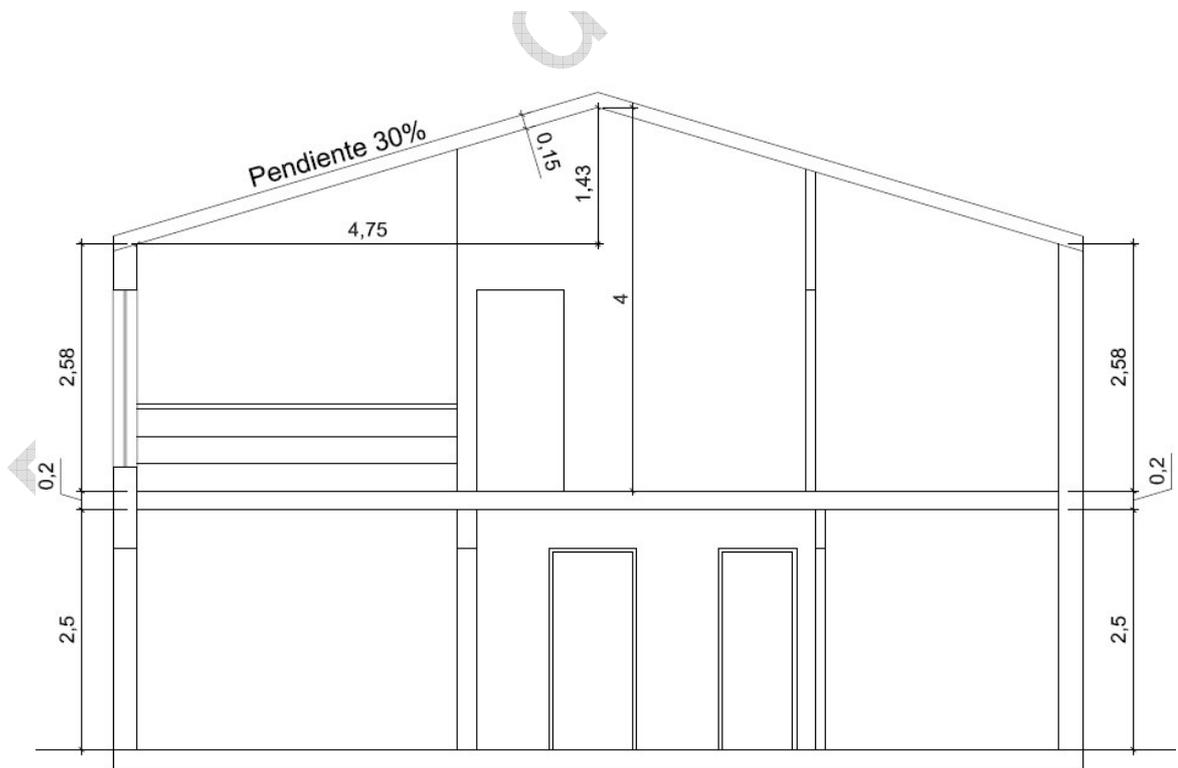
2 GEOMETRÍA Y MATERIALES







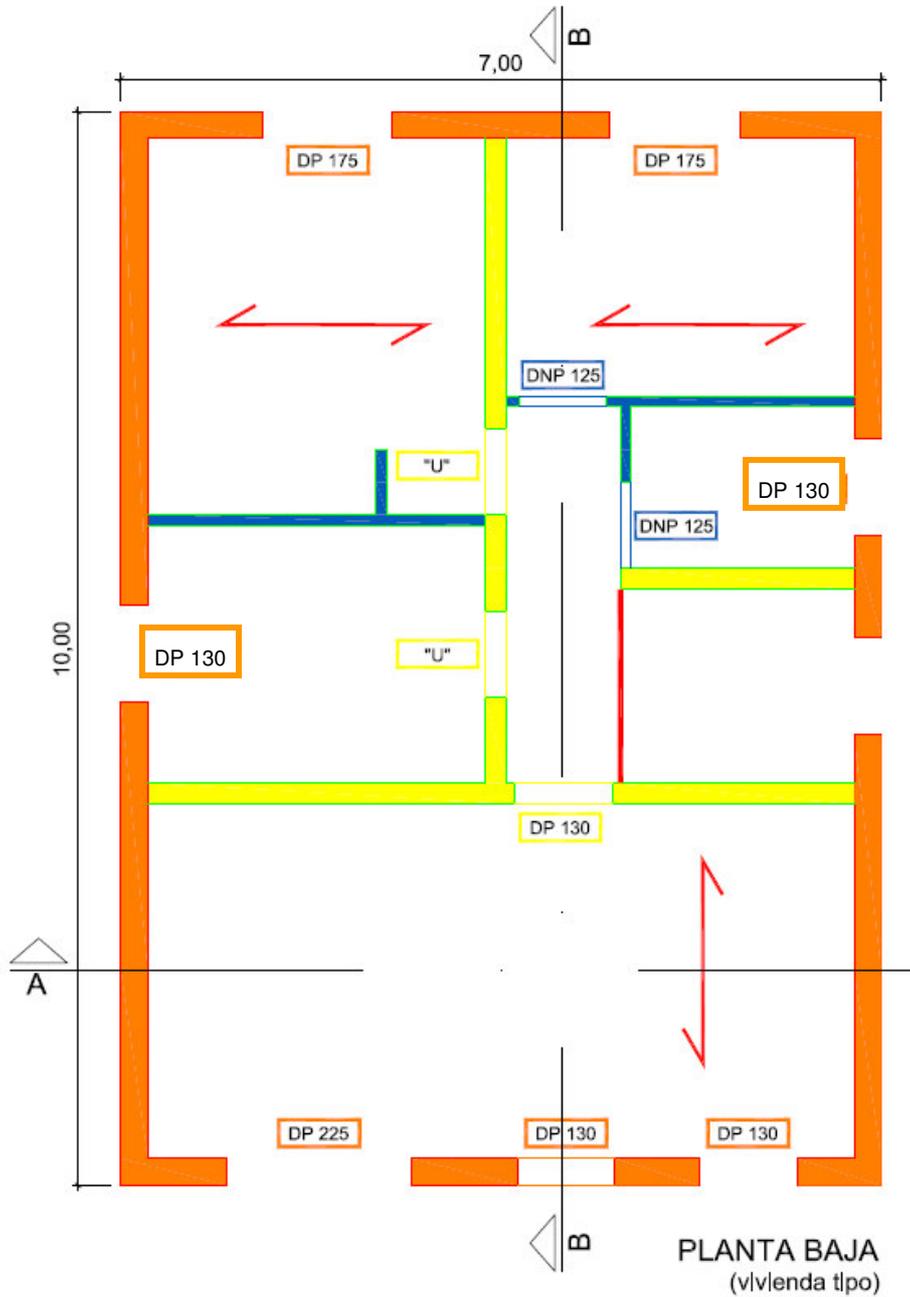
SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B

Materiales del sistema integral Ytong empleados

<i>Muros de carga exteriores:</i>	Bloques Ytong densidad 350kg/m ³ , espesor 25cm
<i>Muros de carga interiores:</i>	Bloques Ytong densidad 500kg/m ³ , espesor 20cm
<i>Bloques de zuncho:</i>	Bloques Ytong de zuncho horizontal (Bloques "U"), densidad 400kg/m ³ , espesor 20cm Bloques Ytong de zuncho horizontal (Bloques "U"), densidad 400kg/m ³ , espesor 25cm
<i>Tabiquería interior:</i>	Bloques Ytong densidad 550kg/m ³ , espesor 10cm
<i>Forjado:</i>	Placas Ytong densidad 600kg/m ³ , espesor 20cm
<i>Cubierta:</i>	Placas Ytong densidad 600kg/m ³ , espesor 15cm
<i>Dinteles prefabricado portantes:</i>	Dintel 130cm x 25cm x 25cm Dintel 130cm x 25cm x 20cm Dintel 175cm x 25cm x 20cm Dintel 175cm x 25cm x 25cm Dintel 225cm x 25cm x 25cm
<i>Dinteles pref. no portantes:</i>	Dintel 125cm x 25cm x 10cm



 BLOQUE 25/350
TPE 625x250x250

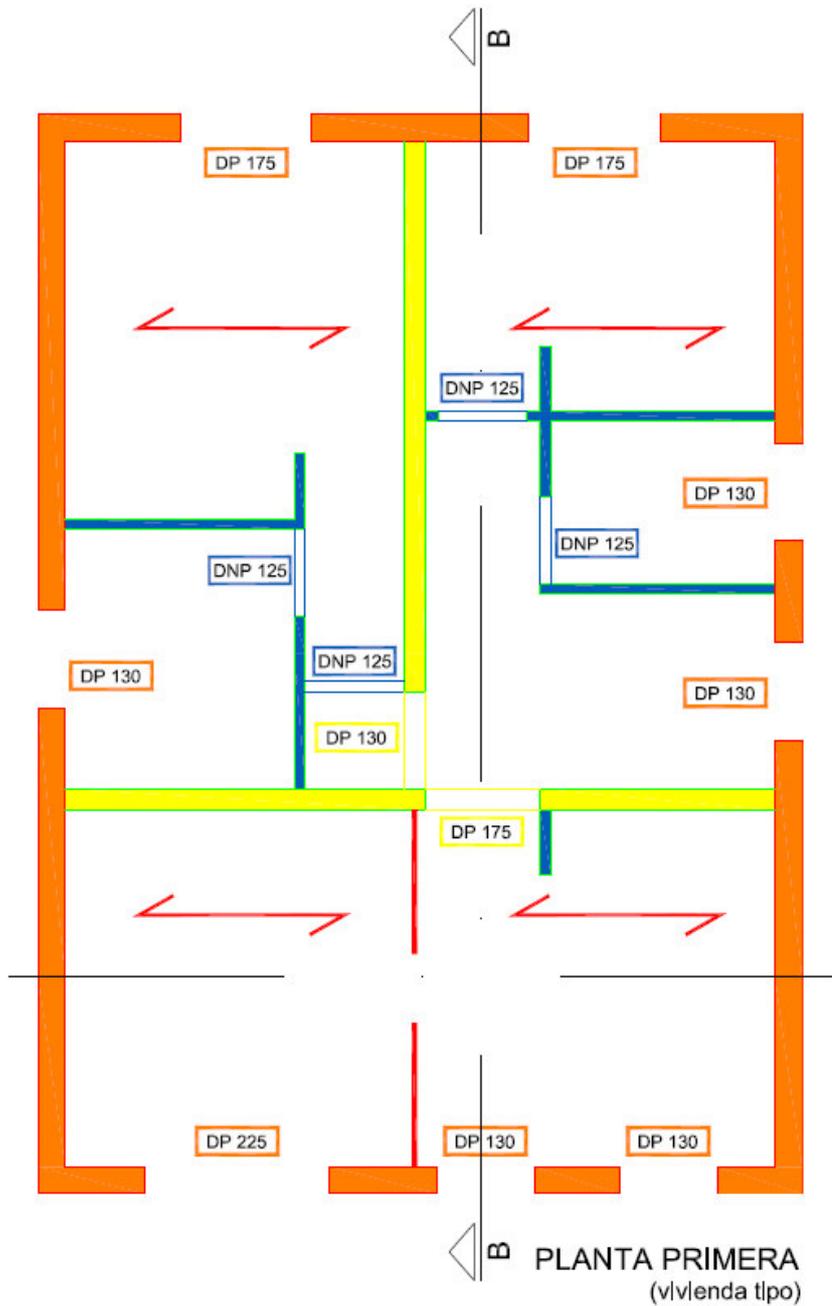
 BLOQUE 20/500
TPE 625x250x200

 TABIQUE 10/550
CXE 625x250x100

 VIGA METÁLICA



DIRECCION PLACAS FORJADO



 BLOQUE 25/350
TPE 625x250x250

 BLOQUE 20/500
TPE 625x250x200

 TABIQUE 10/550
CXE 625x250x100

 VIGA METÁLICA



**DIRECCION PLACAS
CUBIERTA**

3 SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Para la comprobación estructural se deberán seguir los siguientes pasos:

- Determinación de las cargas de diseño (3.1)
- Consideraciones sísmicas (3.2)
- Consideraciones de la estabilidad de la vivienda (3.3)
- Comprobación estructural de las placas de forjado y cubierta (3.4)
- Comprobación de los muros de carga exteriores e interiores (3.5)
- Comprobación de la perfilería metálica (3.6)
- Comprobación de los dinteles prefabricados (3.8)

No se incluye la comprobación de las cimentaciones, que deberá realizarse en cada caso basándose en el estudio geotécnico.

3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO

Se aplica el DB SE – AE (Acciones en la edificación) del CTE para determinar las cargas de diseño que deberá soportar la estructura. Las referencias a tablas se refieren a tablas de la normativa.

3.1.1 Valores característicos

3.1.1.1 Cubierta

Cargas permanentes G

- | | |
|--|--------------------------|
| - Teja colocada con mortero (teja curva corriente) (Tabla C.2) | = 0,50 KN/m ² |
| - Plancha de poliestireno extruido (30kg/m ³ de peso específico)
de 40mm fijada mecánicamente a placa de cubierta Ytong | = 0,01 KN/m ² |
| - Placa de cubierta Ytong 15cm de espesor, densidad 600kg/m ³
(Carga de cálculo 720kg/m ³ teniendo en cuenta relleno de juntas
y contenido de humedad) | = 1,08 KN/m ² |

Suma cargas permanentes sin peso propio placas	= 0,51 KN/m ²
Suma total cargas permanentes G _k	= 1,59 KN/m ²

Acciones variables Q

- | | |
|---|--------------------------|
| Sobrecarga de mantenimiento (tabla 3.1) | = 1,00 KN/m ² |
| Carga concentrada | = 2,00 KN |
| Carga de nieve (Valencia capital) | = 0,20 KN/m ² |
| Carga de viento | |

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (3.1)$$

con

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

$$c_e = \text{Coeficiente de exposición} = 1,4 \text{ (Zona urbana en general, Altura 6m)}$$

$$c_p = \text{Coeficiente eólico de presión en edificios} = 0,8$$

$$q_e = 0,5 \cdot 1,4 \cdot 0,8 = 0,56 \text{ KN/m}^2$$

Componente perpendicular a plano de cubierta (inclinación 17 grados):

$$q_{e\perp} = \text{sen}(17) \cdot q_e = 0,16 \text{ KN/m}^2$$

$$\rightarrow \quad \quad \quad = 0,16 \text{ KN/m}^2$$

La sobrecarga de mantenimiento no se considera concomitante con el resto de acciones variables, pero ésta es más desfavorable que la suma de la sobrecarga de nieve y sobrecarga de viento ($0,36 \text{ KN/m}^2 < 1,00 \text{ KN/m}^2$), por lo que solamente se tendrá en cuenta la sobrecarga de mantenimiento para el dimensionamiento de la estructura.

La sobrecarga concentrada no hay que considerarla simultánea a la sobrecarga de uso uniformemente distribuida. De todas formas esta sobrecarga no es determinante, por lo que no se analiza.

$$\rightarrow \text{ Sobrecarga de uso a considerar en la comprobación estructural } Q_k = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

3.1.1.2 Forjado

Cargas permanentes G

$$\text{Peso propio de tabiquería} = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

Baldosa cerámica (incl. material de agarre),

$$3\text{cm espesor total (Tabla C.3)} = 0,50 \text{ KN/m}^2$$

- Placa de forjado Ytong 20cm de espesor, densidad 600kg/m³

(Carga de cálculo 720kg/m³ teniendo en cuenta relleno de juntas

$$\text{y humedad}) = 1,44 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Suma cargas permanentes sin peso propio placas} = 1,50 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Suma total cargas permanentes } G_k = 2,94 \text{ KN/m}^2$$

Acciones variables Q

$$\text{Sobrecarga de uso A1} = 2,00 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Carga concentrada} = 2,00 \text{ KN}$$

La sobrecarga concentrada no hay que considerarla simultánea a la sobrecarga de uso uniformemente distribuida. De todas formas esta sobrecarga no es determinante, por lo que no se analiza.

$$\rightarrow \text{ Sobrecarga de uso a considerar en la comprobación estructural } Q_k = 2,00 \text{ KN/m}^2$$

3.1.1.3 Peso propio muros de carga

Las densidades nominales de los bloques se mayoran un 20% por el elevado contenido de humedad inicial. Esta humedad sin embargo la pierden los bloques al cabo de pocos meses una vez terminada la construcción.

Muro de carga exterior:

Bloques Ytong densidad 350kg/m³, espesor 25cm

Peso propio a considerar $1,2 \cdot 3,50 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,25 \text{ m}$	= 1,05 KN/m ²
Revestimiento exterior (monocapa 15mm)	= 0,30 KN/m ²
Revestimiento interior (enlucido 10mm)	= 0,20 KN/m ²
Total G_k	= 1,55 KN/m ²

Muro de carga interior:

Bloques Ytong densidad 500kg/m³, espesor 20cm

Peso propio a considerar $1,2 \cdot 5,00 \text{ KN/m}^3 \cdot 0,20 \text{ m}$	= 1,20 KN/m ²
Revestimiento en ambas caras (enlucido 10mm)	= 0,40 KN/m ²
Total G_k	= 1,60 KN/m ²

3.1.2 Valores de diseño

Coeficientes parciales de seguridad:

Las acciones características obtenidas en el apartado 2.1.1.1 se deberán ponderar por los coeficientes de seguridad γ según la tabla 4.1 del DB –SE.

Para las comprobaciones de resistencia y en caso de ser las acciones desfavorables, los coeficientes son:

Cargas permanentes: $\gamma_G = 1,35$

Cargas variables: $\gamma_Q = 1,50$

Las sobrecargas de diseño del forjado y de la cubierta que se transmiten a los muros de carga se calculan a continuación:

Cubierta:

$$\gamma_G \cdot \Sigma G_k + \gamma_Q \cdot \Sigma Q_k = 1,35 \cdot 1,59 \text{ KN/m}^2 + 1,50 \cdot 1,00 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{3,65 \text{ KN/m}^2}$$

Forjado

$$\gamma_G \cdot \Sigma G_k + \gamma_Q \cdot \Sigma Q_k = 1,35 \cdot 2,94 \text{ KN/m}^2 + 1,50 \cdot 2,00 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{6,97 \text{ KN/m}^2}$$

Para el **peso propio de los muros**, la carga de diseño es

$$\gamma_G \cdot \Sigma G_k = 1,35 \cdot 1,55 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{2,10 \text{ KN/m}^2 \text{ (Muro exterior)}}$$

$$\gamma_G \cdot \Sigma G_k = 1,35 \cdot 1,60 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{2,16 \text{ KN/m}^2 \text{ (Muro interior)}}$$

3.2 CONSIDERACIONES SÍSMICAS

La obra está ubicada en Valencia, con una aceleración básica de 0,06g, por lo que es de aplicación la normativa sísmica NCSE-02.

El sistema de construcción Ytong se ajusta a los requerimientos de esta normativa y presenta soluciones específicas en función de la severidad de la aceleración sísmica de diseño. Estos criterios de proyecto y ejecución están recogidos en el DAU 03/12 de Ytong. En este proyecto debido a la sismicidad leve de la zona ($a_c < 0,12g$) no serán necesarios los arriostramientos con zunchos verticales y horizontales de hormigón armado mediante bloques de zuncho.

La vivienda presenta una geometría favorable para ofrecer una elevada resistencia frente a las acciones del sismo, al ser de planta prácticamente cuadrada y contar con muros interiores de carga en las dos direcciones que sirven de arriostre adicional. Aparte, los huecos tienen continuidad en vertical en las dos plantas.

El cálculo de la estructura frente a sollicitaciones sísmicas se deberá realizar con un programa informático, teniendo en cuenta las características técnicas de los elementos Ytong.

3.3 CONSIDERACIONES DE ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

Las estructuras de Ytong y las de fábrica en general tienen la función principal de transmitir las cargas principales (que son las cargas verticales) a través de los muros de carga hasta los cimientos.

Aún así las estructuras están sometidas a cargas horizontales, como por ejemplo las cargas de viento o las cargas sísmicas, que deberán a su vez ser transmitidas a los cimientos para garantizar la estabilidad estructural.

En las estructuras de fábrica el sistema resistente para las acciones horizontales está formado por muros dispuestos en las dos direcciones principales.

En este proyecto la disposición de los muros de carga interiores garantizan la estabilidad de la estructura, por lo que no requiere ser analizada más detalladamente.

Aún así, los forjados y las cubiertas Ytong pueden funcionar como diafragmas para absorber cargas horizontales y transmitirlas a los muros de cortante, siempre y cuando las superficies de forjado no superen unas dimensiones máximas.

Los zunchos perimetrales de hormigón armado se realizan en el encuentro de todos los muros de carga (interiores y exteriores) con los forjados o la cubierta, y se arman con 2 barras de acero corrugado de 10mm de diámetro y un hormigón con una resistencia mínima de 15N/mm^2 . Los forjados y la cubierta se subdividen pues en forjados de placa de dimensiones inferiores, cada uno armado perimetralmente,

En el proyecto que se estudia, las superficies en el forjado son $3,1\text{m} \times 6,0\text{m}$ / $3,2\text{m} \times 4,0\text{m}$ y $3,3\text{m} \times 3,4\text{m}$.

El sistema de construcción Ytong garantiza el funcionamiento del diafragma sin necesidad de una comprobación por cálculo, siempre y cuando se cumplan unos criterios, que están descritos en la Guía Técnica de Ytong (pág. 35).

En este caso se cumplen estos criterios en el forjado (ver Figura I)

Placas espesor 20cm

- $H \leq 6\text{m}$, $L \leq 8\text{m}$ (Dimensiones máximas de cada parte del forjado)
- Ratio de dimensiones de cada superficie $L/H \leq 2,0$

Hay que resaltar que los forjados y las cubiertas de Ytong no requieren una capa de compresión.

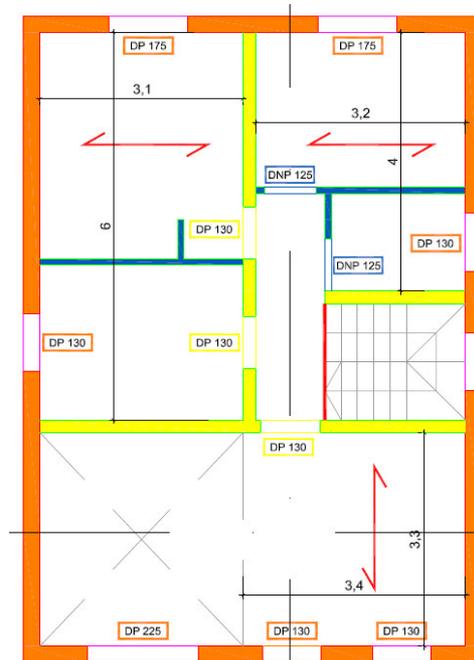


Figura I: Superficie de forjados

3.4 COMPROBACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PLACAS DE FORJADO Y CUBIERTA

Las placas armadas de hormigón celular Ytong se ajustan a la normativa europea EN 12602:2008 (Elementos armados de hormigón celular curado en autoclave).

Para la justificación de las placas de cubierta y forjado bastará comprobar las luces máximas según los ábacos de placas de Ytong. Cuando el departamento técnico de Ytong realice el despiece geométrico, a su vez realizará el dimensionado exacto de las armaduras mediante la herramienta informática de cálculo propia, que enviará la información directamente a fábrica. Si fuera necesario, Ytong puede aportar las fichas de cálculo de las placas.

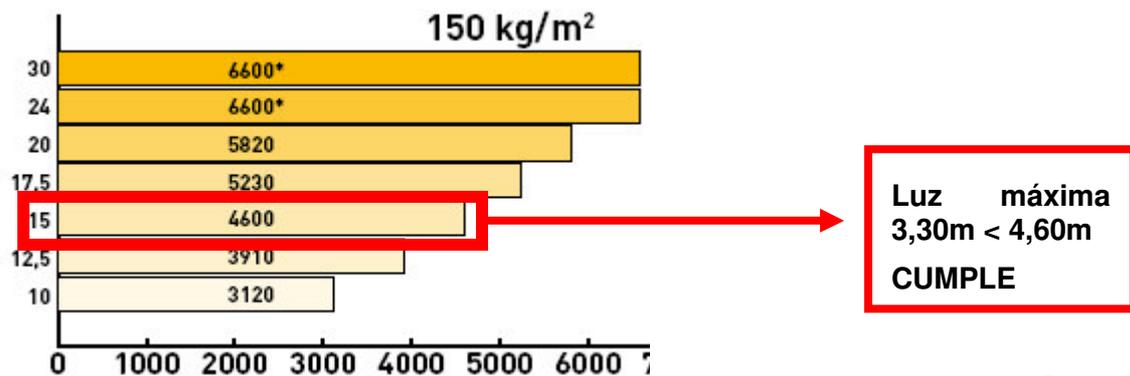
El espesor de las placas necesario se podrá determinar previamente con ayuda de los ábacos, que aparecen en la Guía Técnica de Ytong.

Los ábacos se tienen que emplear sin mayorar las sobrecargas y sin incluir el peso propio de las placas. La mayoración de las cargas con los factores de seguridad la realiza posteriormente el programa de cálculo de Ytong.

Placas de cubierta

Carga total (suma cargas permanentes + sobrecargas de uso) = 1,51 KN/m²

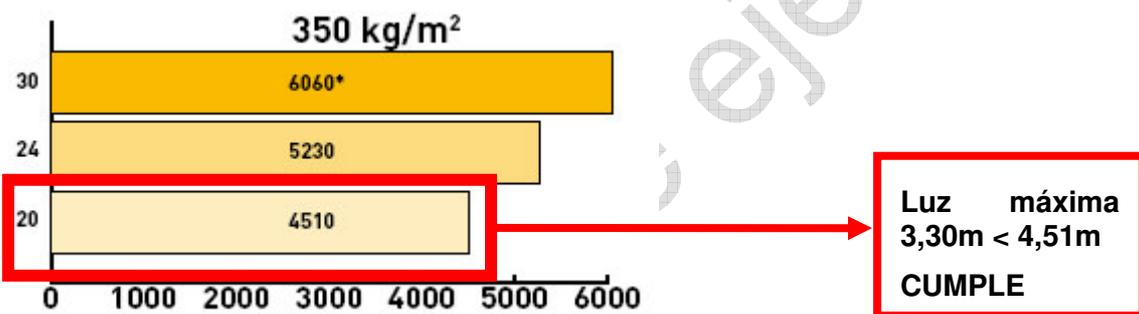
Luz máxima entre apoyos = 3,30m



Placas de forjado

Carga total (suma cargas permanentes + sobrecargas de uso) = 3,50 KN/m²

Luz máxima entre apoyos = 3,30m



3.5 COMPROBACIÓN DE LOS MUROS DE CARGA (CTE DB SE-F)

3.5.1 Determinación de la resistencia a compresión de diseño de la fábrica

Resistencia característica a la compresión de las piezas de fábrica Ytong:

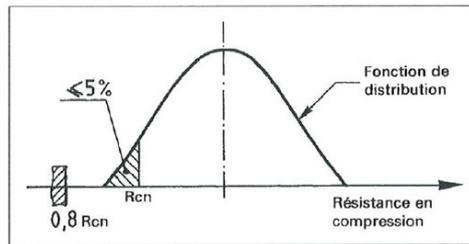
Densidad 350 kg/m³ (muros de carga exteriores): $R_c = 3,0 \text{ N/mm}^2$

Densidad 500 kg/m³ (muros de carga interiores): $R_c = 4,0 \text{ N/mm}^2$

Estos valores son los declarados por Ytong y aparecen en los certificados CE.

Cálculo de la resistencia normalizada a compresión f_b de las piezas de fábrica Ytong

Los valores de resistencia declarada R_c corresponden al fractil 0,05 en la curva de distribución de los ensayos (ver Figura II), lo cual significa que en el 95% de los casos los bloques dispondrán como mínimo de esta resistencia. Por otro lado en ningún caso será inferior al 80% del valor R_c .


Figura II

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

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

$$\beta = 1,2 \quad (\text{Factor estadístico para pasar del valor declarado } R_c \text{ correspondiente al fractil } 0,05, \text{ al valor medio})$$

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

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

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:

$$f_b = 2,9 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Densidad } 350kg/m^3)$$

$$f_b = 3,84 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Densidad } 500kg/m^3)$$

Cálculo de la resistencia característica a compresión de la fábrica Ytong (según el Anejo C del DB SE-F, apartado 2):

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

Con $K=0,80$ para piezas de hormigón celular según EN 771-4:2000.

Se obtienen las siguientes resistencias características a compresión:

$$f_k = 2,0 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Densidad } 350kg/m^3)$$

$$f_k = 2,5 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{Densidad } 500kg/m^3)$$

Coefficiente parcial de seguridad γ_M para la resistencia de la fábrica

En función de la categoría del control de la ejecución y la categoría del control de fabricación se establecen los coeficientes de seguridad a aplicar a la fábrica (tabla 4.8).

Los bloques de hormigón celular Ytong pertenecen a la categoría 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

Resistencia a compresión de diseño de la fábrica

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

Resistencia a compresión de diseño de fábrica f_d [N/mm ²]	Control de ejecución		
	A	B	C
Densidad 350 kg/m ³	1,2	0,9	0,74
Densidad 500 kg/m ³	1,5	1,14	0,93

La resistencia a compresión de diseño de la fábrica es la que se toma para comprobar la capacidad portante de un muro sometido a las cargas de diseño.

Partimos de un control de ejecución B por lo que las resistencias a compresión de diseño de la fábrica son:

$$f_d = 0,9 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Muros exteriores})$$

$$f_d = 1,14 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Muros interiores})$$

3.5.2 Comprobación de la capacidad resistente de los muros

3.5.2.1 Generalidades

La comprobación se realiza comparando la carga máxima admisible con la carga de diseño.

$$N_{sd} \leq N_{Rd} \quad [1.]$$

N_{sd} = Compresión vertical de cálculo

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

Si se cumple [1], el muro tiene capacidad suficiente. En caso de incumplimiento, se tendrá que redimensionar la estructura, modificando el espesor, la densidad o la geometría de la estructura hasta que se cumpla el criterio.

La capacidad resistente en [1] se calcula de la siguiente forma:

$$N_{Rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d \quad [2.]$$

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 el cálculo del factor de reducción Φ .

3.5.2.2 Cálculo de las compresiones verticales N_{sd}

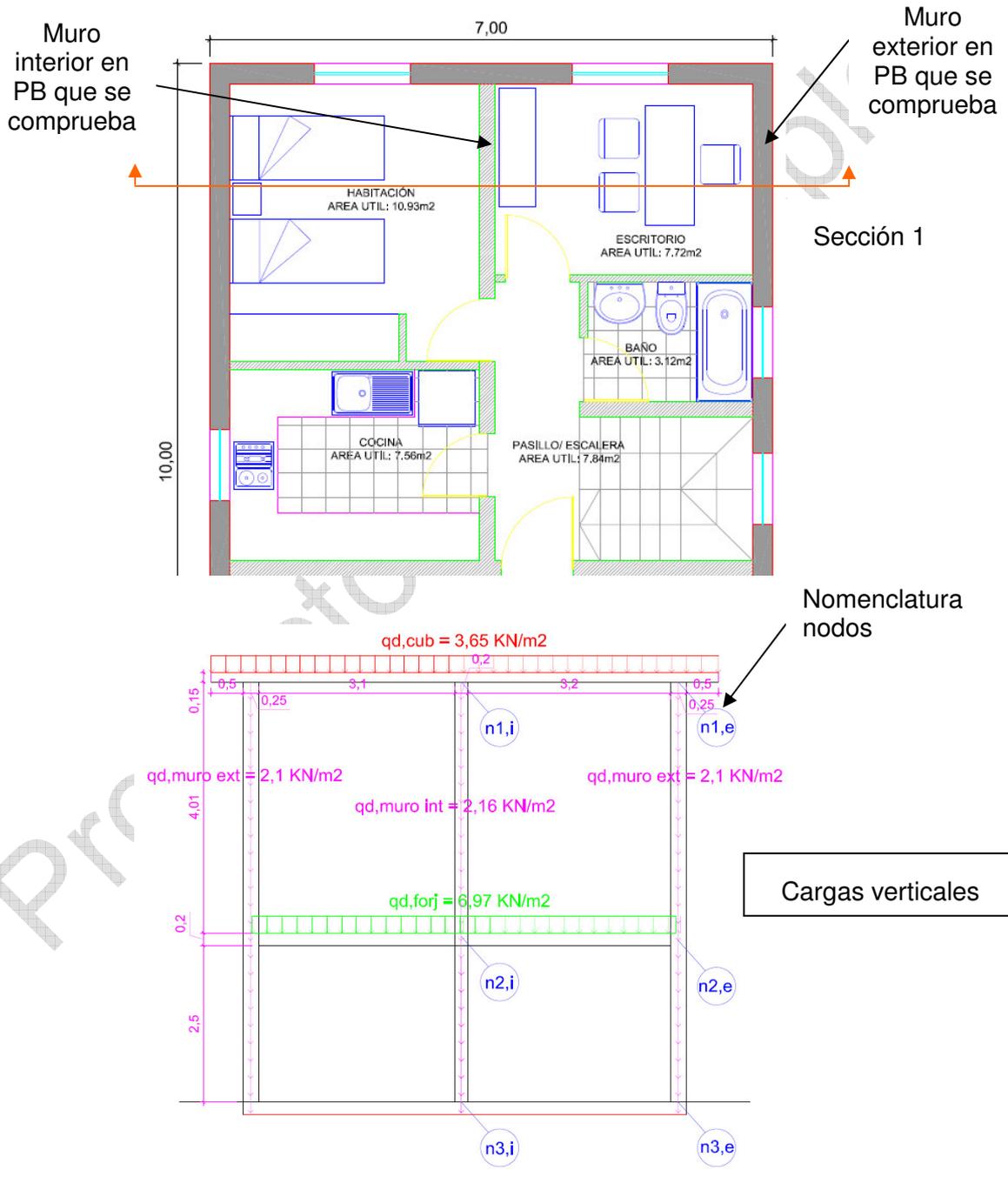
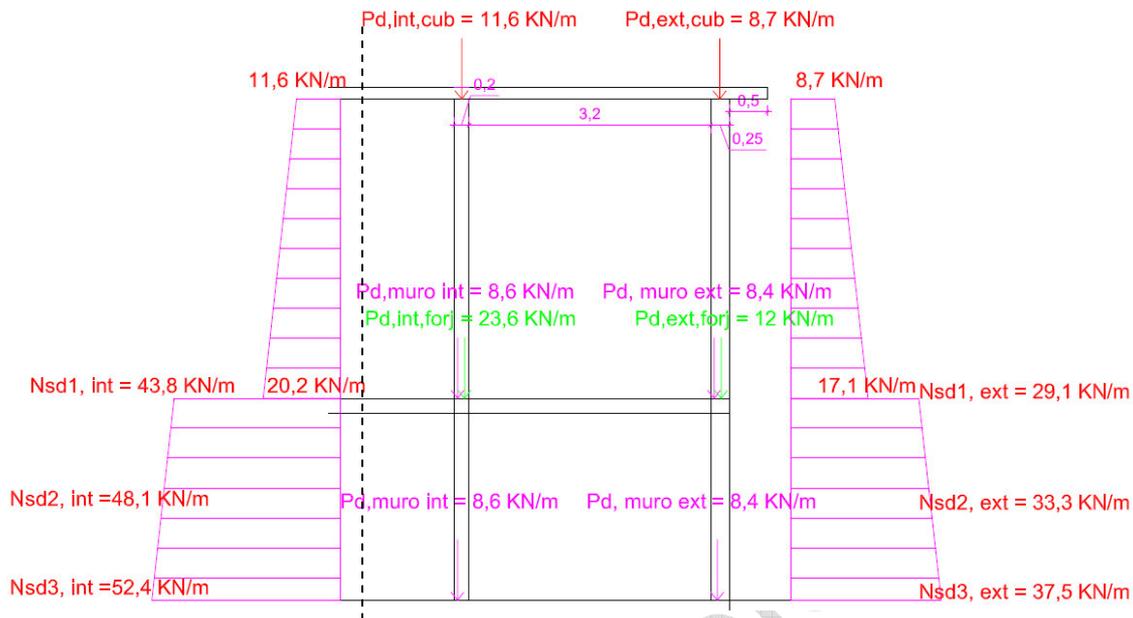


Figura III: Sección de muros de carga y cargas verticales

Carga de compresión vertical de diseño N_{sd} en muros



Muro exterior en planta baja:

Carga proveniente de cubierta =	8,7 KN/ml
Peso propio muro planta 1 = $2,10 \text{ KN/m}^2 \cdot 4,00\text{m} =$	8,4 KN/ml
Carga proveniente de forjado = $6,97 \text{ KN/m}^2 \cdot 3,43\text{m} / 2 =$	12 KN/ml

Suma cargas en cabeza de muro = $N_{sd1,ext} =$	29,1 KN/ml
Peso propio muro planta baja a mitad de muro =	4,2 KN/ml

Suma cargas a mitad de muro = $N_{sd2,ext} =$	33,3 KN/ml
Resto de peso propio muro planta baja =	4,2 KN/ml

Suma cargas a pie de muro = $N_{sd3,ext} =$	37,5 KN/ml
---	-------------------

Muro interior en planta baja:

Carga proveniente de cubierta =	11,6 KN/ml
Peso propio muro planta 1 = $2,16 \text{ KN/m}^2 \cdot 4,00\text{m} =$	8,6 KN/ml
Carga proveniente de forjado = $6,97 \text{ KN/m}^2 \cdot 6,76\text{m} / 2 =$	23,6 KN/ml

Suma cargas en cabeza de muro = $N_{sd1,int} =$	43,8 KN/ml
Peso propio muro planta baja a mitad de muro =	4,3 KN/ml

Suma cargas a mitad de muro = $N_{sd2,int} =$	48,1 KN/ml
Resto de peso propio muro planta baja =	4,3 KN/ml

Suma cargas a pie de muro = $N_{sd3,int} =$	52,4 KN/ml
---	-------------------

3.5.2.3 Comprobación nodo a nodo

3.5.2.3.1 Muro exterior

Nodo n1,e (nomenclatura nodos ver Figura III):

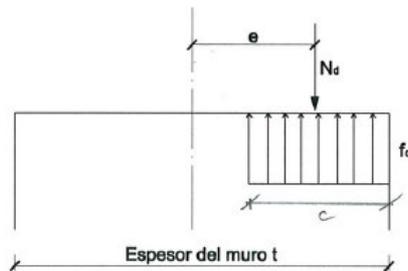
Cabeza del muro en planta primera

Cálculo de la tensión vertical media:

$$\sigma = 8,7 \cdot 1000 \text{ N} / (1000\text{mm} \cdot 250\text{mm}) = 0,035 \text{ N/mm}^2 < 0,25 \text{ N/mm}^2$$

La reacción del muro se puede obtener por capacidad, correspondiendo a la amplitud del bloque comprimido que equilibra el esfuerzo normal de cálculo mediante una presión no superior a la resistencia de cálculo del muro f_d (ver apartado 5.2.1 punto 8 del CTE DB SE-F).

Por lo consiguiente no es necesaria la comprobación de tensiones, aunque la excentricidad obtenida servirá para calcular el momento en este nodo que posteriormente se necesitará para la comprobación a mitad de muro.



$$c = N_d / f_d = 8,7 \text{ N/mm} \cdot (0,9 \text{ N/mm}^2)^{-1}$$

$$c = 9,7 \text{ mm} < 0,2 \cdot t = 50\text{mm}$$

$$e = t/2 - c/2 = 125\text{mm} - 4,9\text{mm} = 120\text{mm}$$

Momento flector en cabeza de muro

$$M = N_d \cdot e = 8,7 \text{ KN} \cdot 0,12 \text{ m} = 1,05 \text{ KNm}$$

Nodo n2,e

Pie de muro de planta primera

Cálculo de la tensión vertical media:

$$\sigma = 17,1 \cdot 1000 \text{ N} / (1000\text{mm} \cdot 250\text{mm}) = 0,07 \text{ N/mm}^2 < 0,25 \text{ N/mm}^2$$

La reacción del muro se puede obtener por capacidad (ver nodo 1).

$$c = N_d / f_d = 17,1 \text{ N/mm} \cdot (0,9 \text{ N/mm}^2)^{-1}$$

$$c = 19\text{mm} < 0,2 \cdot t = 50\text{mm}$$

$$e = t/2 - a - c/2 = 125\text{mm} - 50\text{mm} - 9,5\text{mm} = 66\text{mm}$$

con

$a = 50\text{mm}$ (espesor de plaqueta Ytong, que no se considera superficie de apoyo del muro)

Momento flector en pie de muro

$$M = N_d \cdot e = 17,1 \text{ KN} \cdot 0,066 \text{ m} = 1,13\text{KNm}$$

Nodo n2,e

Cabeza de muro de planta baja

Cálculo de la tensión vertical media:

$$\sigma = 29,1 \cdot 1000 \text{ N} / (1000\text{mm} \cdot 250\text{mm}) = 0,12 \text{ N/mm}^2 < 0,25 \text{ N/mm}^2$$

La reacción del muro se puede obtener por capacidad (ver nodo 1).

$$c = Nd / fd = 29,1 \text{ N/mm} \cdot (0,9 \text{ N/mm}^2)^{-1}$$

$$c = 32,3\text{mm} < 0,2 \cdot t = 50\text{mm}$$

$$e = t/2 - c/2 = 125\text{mm} - 16,2\text{mm} = 109\text{mm}$$

Momento flector en cabeza de muro

$$M = Nd \cdot e = 29,1 \text{ KN} \cdot 0,109 \text{ m} = 3,2\text{KNm}$$

Pie de muro en planta baja (nodo n3,e):

Cálculo de la tensión vertical media:

$$\sigma = 37,5 \cdot 1000 \text{ N} / (1000\text{mm} \cdot 250\text{mm}) = 0,15 \text{ N/mm}^2 < 0,25 \text{ N/mm}^2$$

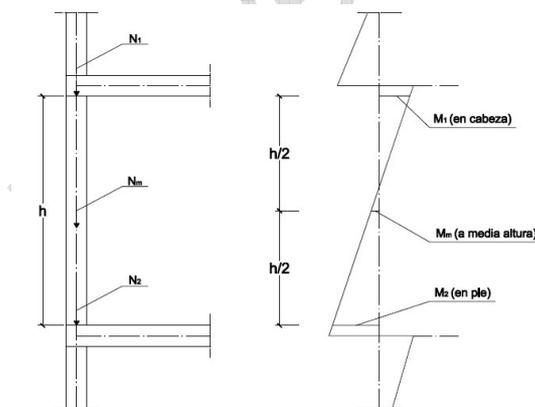
Momento flector en pie de muro (arranque)

Se puede considerar empotramiento perfecto

$$M_{\text{pie}} = \frac{1}{2} \cdot M_{\text{cabeza}} = 1,60\text{KNm}$$

Se ha comprobado la resistencia a compresión del muro exterior en los extremos de muro y los momentos flectores que se transmiten en las uniones a forjados.

Falta realizar la comprobación a media altura, para la que se requieren los momentos flectores a media altura (apartado 5.2.4 punto 2 del CTE DB SE-F).



Muro	Momento en cabeza	Momento en pie	Momento a media altura
Exterior planta 1	1,05 KNm/m	1,13 KNm/m	0,04 KNm/m
Exterior planta baja	3,2 KNm/m	1,60 KNm/m	0,83 KNm/m

Se calcula el factor de reducción Φ de forma simplificada

$$\Phi = 1 - 2 \cdot \frac{e_m}{t}$$

[3.]

Siendo:

$$e_m = e + e_p \quad [4.]$$

donde:

e excentricidad debida a las solicitaciones M_{sd}/N_{sd} más la excentricidad por ejecución e_a :

$$e = \frac{M_d}{N_d} + e_a \quad [5.]$$

con $e_a = h_d / 450$ para categoría de ejecución B

con $h_d =$ Altura de cálculo en función del arriostramiento del muro

Se simplifica el cálculo, tomando $h_d = h$ (altura libre del muro), estando al lado de la seguridad.

e_p Excentricidad debida a pandeo, de valor

$$e_p = 0,00035 \cdot t \cdot (h_d/t_d)^2 \quad [6.]$$

t = espesor del muro

$h_d =$ Altura de cálculo en función del arriostramiento del muro, tomando $h_d =$ altura libre (en el lado de la seguridad)

$t_d =$ Espesor de cálculo. Para muros de una hoja, es el espesor real.

Se calculan los valores Φ y se comprueba la resistencia a compresión:

Muro planta primera

$$M_d = 0,04 \text{ KNm/m}$$

$$N_d = 12,9 \text{ KN/m}$$

$$e = M_d / N_d = 0,0031 \text{ m}$$

$$e_a = h_d / 450 = 4 / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$e_p = 0,00035 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot (4 \text{ m} / 0,25 \text{ m})^2 = 0,0224 \text{ m}$$

$$e_m = 0,0031 + 0,0089 + 0,0224 = 0,0344 \text{ m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,0344 \text{ m} / 0,25 \text{ m} = 0,725$$

Comprobación de la resistencia:

$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,725 \cdot 250 \text{ mm} \cdot 0,9 \text{ N/mm}^2 = 163 \text{ KN/m}$$

$N_{sd} = 12,9 \text{ KN/m} < 163 \text{ KN/m}$ (8% de aprovechamiento de capacidad)

Cumple.

Muro planta baja

$$M_d = 0,83 \text{ KNm/m}$$

$$N_d = 33,3 \text{ KN/m}$$

$$e = M_d / N_d = 0,025 \text{ m}$$

$$e_a = h_d / 450 = 2,5 / 450 = 0,006 \text{ m}$$

$$e_p = 0,00035 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot (2,5 \text{ m} / 0,25 \text{ m})^2 = 0,009 \text{ m}$$

$$e_m = 0,025 + 0,006 + 0,009 = 0,04\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,04\text{m} / 0,25\text{m} = 0,68$$

Comprobación de la resistencia:

$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,68 \cdot 250\text{mm} \cdot 0,9 \text{ N/mm}^2 = 153\text{KN/m}$$

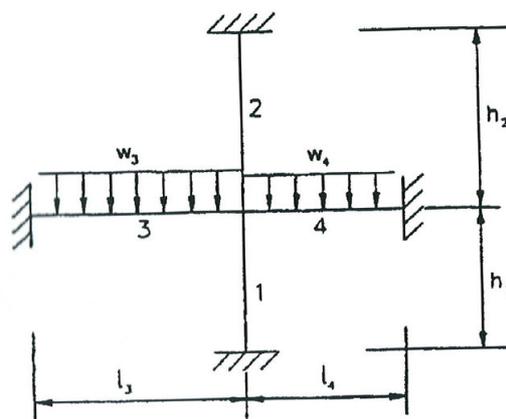
$$N_{sd} = 33,3 \text{ KN/m} < 153 \text{ KN/m (22\% de aprovechamiento de capacidad)}$$

Cumple.

3.5.2.3.2 Muro interior

Como los forjados están empotrados en cierta medida a los muros de carga, transmiten un momento flector a éstos que desestabilizan al muro y reducen su capacidad portante. Para obtener el coeficiente de reducción Φ que se había comentado anteriormente será necesario pues determinar los momentos flectores que se transmiten a los muros.

Para ello es necesario repartir el desequilibrio de los momentos de empotramiento de acuerdo a la rigidez relativa de cada elemento, por lo que en un primer paso habrá que calcular las rigideces de los forjados y los muros (CTE DB SE-F, Apartado 5.2.1 punto 3).



Esquema idealizado de un nodo

Las rigideces de las barras se calculan mediante la siguiente fórmula:

Forjados (barras 3 y 4 en el esquema)

$$k_3 = \frac{n \cdot E_3 \cdot I_3}{l_3} \quad [7.]$$

$$k_4 = \frac{n \cdot E_4 \cdot I_4}{l_4}$$

n Factor de rigidez del forjado, con un valor de 4 si el nodo opuesto es interior y 3 si es de fachada

Muros (barras 1 y 2 en el esquema)

$$k_1 = \frac{n \cdot E_1 \cdot I_1}{l_1} \quad [8.]$$

$$k_2 = \frac{n \cdot E_2 \cdot I_2}{l_2}$$

n Factor de rigidez del muro, con un valor de 4 para barras fijadas en los dos extremos

E_n Módulo de Young de la barra n (viene dado por el material)

Para los elementos de hormigón celular Ytong, los módulos de Young son:

Densidad en kg/m ³	Módulo de Young en N/mm ²
350 (bloques)	1400
500 (bloques)	1750
600 (placas)	2250

I_n Módulo de inercia de la barra n (viene dado por la sección geométrica del elemento)

Como el análisis se realiza para un 1m de profundidad de muro, el módulo de inercia de un muro del espesor t será

$$I_{n,Muro} = 100\text{cm} \cdot (t [\text{cm}])^3 / 12 \quad \text{en } [\text{cm}^4] \quad [9.]$$

Para los elementos a analizar se calculan los siguientes valores:

Elemento	Módulo de inercia en cm ⁴
Muro interior 20cm de espesor	66,67E+03 cm ⁴
Muro exterior 25cm de espesor	130,2E+03 cm ⁴
Placas cubierta 15cm de espesor	28,1E+03 cm ⁴
Placas forjado 20cm de espesor	66,67E+03 cm ⁴

L_n Longitud de la barra n

h_n Altura de la barra n

El momento en el elemento 1 (en este caso se trata de la cabeza del muro) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$M_1 = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3 + k_4} \cdot [q_3 - q_4] \quad [10.]$$

con

$$q_3 = \frac{w_3 \cdot l_3^2}{12} \quad [11.]$$

$$q_4 = \frac{w_4 \cdot l_4^2}{12} \quad [12.]$$

donde

w_3 Carga vertical uniformemente repartida sobre la barra 3

w_4 Carga vertical uniformemente repartida sobre la barra 4

Para calcular el momento en el pie del muro 2, se aplicará la misma fórmula, sustituyendo k_1 por k_2 en el numerador.

Se procede al cálculo de los momentos que se transmiten a los muros en cada nodo siguiendo este procedimiento.

Muro interior

Nodo n1,i:

Al estar este nodo en cubierta, falta la barra 2 según el esquema de nodos.

$$k_1 = \frac{n \cdot E_1 \cdot I_1}{l_1} = 4 \cdot 175 \text{ KN/cm}^2 \cdot 66,67\text{E}+03\text{cm}^4 / 401\text{cm} = 1164 \text{ KNm}$$

$$k_3 = \frac{n \cdot E_1 \cdot I_1}{l_1} = 3 \cdot 225 \text{ KN/cm}^2 \cdot 28,10\text{E}+03\text{cm}^4 / 310\text{cm} = 612 \text{ KNm}$$

$$k_4 = \frac{n \cdot E_1 \cdot I_1}{l_1} = 3 \cdot 225 \text{ KN/cm}^2 \cdot 28,10\text{E}+03\text{cm}^4 / 320\text{cm} = 593 \text{ KNm}$$

Se determinan las cargas q_3 y q_4 según fórmulas 7 y 8:

$$q_4 = 3,65\text{KN/m}^2 \cdot (3,20\text{m})^2 / 12 = 3,11 \text{ KNm/m}$$

$$q_3 = 3,65\text{KN/m}^2 \cdot (3,10\text{m})^2 / 12 = 2,92 \text{ KNm/m}$$

Se calcula M_1 según la fórmula 6 (con $k_2 = 0$):

$$M_1 = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3 + k_4} \cdot [q_3 - q_4] = -0,09 \text{ KNm/m}$$

Comprobación muro planta primera en cabeza

Factor de reducción $\Phi = 1 - 2 \cdot e / t$

$$e = M/N + ea > 0,05 \cdot t$$

$$ea = hd / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$e = 0,09 \text{ KNm/m} / 11,6 \text{ KN/m} + 0,0089\text{m} = 0,017\text{m} > 0,05 \text{ t} = 0,01\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,017 / 0,20 = 0,83$$

$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,83 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 189 \text{ KN/m}$$

$$N_{sd} = 11,6 \text{ KN/m} < 189 \text{ KN/m (6\% de aprovechamiento de capacidad)}$$

Cumple.

Nodo n2,i:

$$k_1 = \frac{n \cdot E_1 I_1}{l_1} = 4 \cdot 175 \text{ KN/cm}^2 \cdot 66,67\text{E}+03\text{cm}^4 / 250\text{cm} = 1867 \text{ KNm}$$

$$k_2 = \frac{n \cdot E_1 I_1}{l_1} = 4 \cdot 175 \text{ KN/cm}^2 \cdot 66,67\text{E}+03\text{cm}^4 / 401\text{cm} = 1164 \text{ KNm}$$

$$k_3 = \frac{n \cdot E_1 I_1}{l_1} = 3 \cdot 225 \text{ KN/cm}^2 \cdot 66,67\text{E}+03\text{cm}^4 / 310\text{cm} = 1452 \text{ KNm}$$

$$k_4 = \frac{n \cdot E_1 I_1}{l_1} = 3 \cdot 225 \text{ KN/cm}^2 \cdot 66,67\text{E}+03\text{cm}^4 / 320\text{cm} = 1406 \text{ KNm}$$

Se determinan las cargas q_3 y q_4 según fórmulas 7 y 8:

$$q_3 = 6,97\text{KN/m}^2 \cdot (3,10\text{m})^2 / 12 = 5,6 \text{ KNm/m}$$

$$q_4 = 6,97\text{KN/m}^2 \cdot (3,20\text{m})^2 / 12 = 5,9 \text{ KNm/m}$$

Se calcula M_1 y M_2 según la fórmula 6:

$$M_1 = \frac{k_1}{k_1 + k_2 + k_3 + k_4} \cdot [q_3 - q_4] = -0,10 \text{ KNm/m}$$

$$M_2 = \frac{k_2}{k_1 + k_2 + k_3 + k_4} \cdot [q_3 - q_4] = -0,06 \text{ KNm/m}$$

Comprobación muro planta primera en pie

$$\text{Factor de reducción } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

$$e = M/N + ea > 0,05 \cdot t$$

$$ea = hd / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$e = 0,06 \text{ KNm/m} / 20,2 \text{ KN/m} + 0,0089\text{m} = 0,012\text{m} > 0,05 t = 0,01\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,012 / 0,20 = 0,88$$

$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,88 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 201 \text{ KN/m}$$

$$N_{sd} = 20,2 \text{ KN/m} < 201 \text{ KN/m (10\% de aprovechamiento de capacidad)}$$

Cumple.

Comprobación muro planta baja en cabeza

$$\text{Factor de reducción } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

$$e = M/N + ea > 0,05 \cdot t$$

$$ea = hd / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$e = 0,10 \text{ KNm/m} / 43,8 \text{ KN/m} + 0,0089\text{m} = 0,011\text{m} > 0,05 t = 0,01\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,011 / 0,20 = 0,89$$

$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,89 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 203 \text{ KN/m}$$

$$N_{sd} = 43,8 \text{ KN/m} < 203 \text{ KN/m (22\% de aprovechamiento de capacidad)}$$

Cumple.

Nodo n3,i:

El arranque del muro se considera perfectamente empotrado, por lo que el momento flector en el nodo de arranque se calcula

$$M_{d, \text{arranque}} = \frac{1}{2} \cdot M_{d, \text{cabeza muro planta baja}} = -0,03 \text{ KNm/m}$$

Comprobación muro planta baja en pie

$$\text{Factor de reducción } \Phi = 1 - 2 \cdot e / t$$

$$e = M/N + ea > 0,05 \cdot t$$

$$ea = hd / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$e = 0,03 \text{ KNm/m} / 52,4 \text{ KN/m} + 0,0089\text{m} = 0,010\text{m} > 0,05 t = 0,01\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,010 / 0,20 = 0,90$$

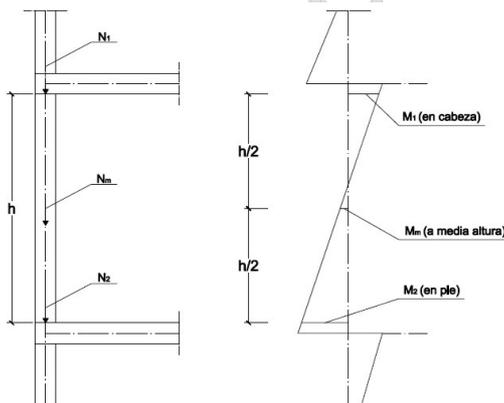
$$N_{rd} = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,90 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 205 \text{ KN/m}$$

$$N_{sd} = 52,4 \text{ KN/m} < 205 \text{ KN/m (25\% de aprovechamiento de capacidad)}$$

Cumple.

Se ha comprobado la resistencia a compresión del muro exterior en los extremos de muro y los momentos flectores que se transmiten en las uniones a forjados.

Falta realizar la comprobación a media altura, para la que se requieren los momentos flectores a media altura (apartado 5.2.4 punto 2 del CTE DB SE-F).



Muro	Momento en cabeza	Momento en pie	Momento a media altura
Interior planta 1	0,09 KNm/m	0,09 KNm/m	0KNm/m
Interior planta baja	0,06 KNm/m	0,03 KNm/m	0,02KNm/m

Se calculan los valores Φ y se comprueba la resistencia a compresión:

Muro planta primera

$$M_d = 0 \text{ KNm/m}$$

$$N_d = 15,9 \text{ KN/m}$$

$$e = M_d / N_d = 0$$

$$ea = hd / 450 = 4 / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$ep = 0,00035 \cdot 0,20\text{m} \cdot (4\text{m} / 0,20\text{m})^2 = 0,028\text{m}$$

$$em = 0,0089 + 0,028 = 0,037\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,037\text{m} / 0,20\text{m} = 0,63$$

Comprobación de la resistencia:

$$Nrd = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,63 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 144 \text{ KN/m}$$

Nsd = 15,9 KN/m < 144 KN/m (11% de aprovechamiento de capacidad)

Cumple.

Muro planta baja

$$Md = 0,02 \text{ KNm/m}$$

$$Nd = 48,1 \text{ KN/m}$$

$$e = Md / Nd = 0,0004 \text{ m}$$

$$ea = hd / 450 = 4 / 450 = 0,0089 \text{ m}$$

$$ep = 0,00035 \cdot 0,20\text{m} \cdot (2,5\text{m} / 0,20\text{m})^2 = 0,011\text{m}$$

$$em = 0,0004 + 0,0089 + 0,011 = 0,02\text{m}$$

$$\Phi = 1 - 2 \cdot 0,02\text{m} / 0,20\text{m} = 0,80$$

Comprobación de la resistencia:

$$Nrd = \Phi \cdot t \cdot f_d = 0,80 \cdot 200\text{mm} \cdot 1,14 \text{ N/mm}^2 = 182,4 \text{ KN/m}$$

Nsd = 48,1 KN/m < 182,4 KN/m (26% de aprovechamiento de capacidad)

Cumple.

Se constata que la capacidad de carga de los muros supera ampliamente las resistencias máximas, con un grado de aprovechamiento que no supera el 26%. De esto se deduce que el sistema integral Ytong permite diseñar estructuras más complejas y de mayor repercusión de carga a los muros, con espacios más diáfanos, luces mayores, mayor número de plantas, etc.

3.6 COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA (DB SE-A)

Para reducir la luz de la cubierta en la parte de la galería, que carece de muro de carga en el eje central, será necesaria la incorporación de una viga metálica (ver Figura IV).

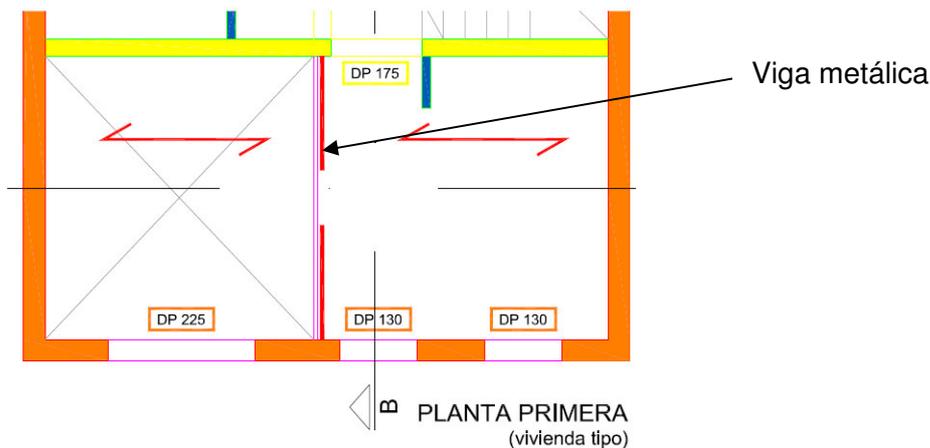


Figura IV: Viga metálica para apoyo placas de cubierta

Se podrá optar por encastar las placas entre las alas de la viga, de forma que apoyen en el ala inferior de la viga, con la intención de que la cubierta y la viga queden a mismo nivel.

Para ello la viga tendrá que tener un canto suficiente y una anchura de ala que permita el apoyo mínimo de las placas en cada lado (60mm), siendo necesario pues el empleo de perfiles de ala ancha tipo HEA o HEB. Es probable que el perfil necesario para cumplir ello esté sobredimensionamiento a nivel estructural.

Cuando la luz es corta y las sobrecargas no son muy elevadas, será posible el empleo de medio perfil en forma de T invertida para reducir el consumo de acero.

Otra opción es colocar las placas sobre la viga, con la ventaja de poder realizar un dimensionado exclusivamente estructural, con la única condición geométrica de poner a disposición una anchura suficiente para el apoyo de las placas ($2 \times 60\text{mm} + 20\text{mm} = 140\text{mm}$). La desventaja, si es que se considera como tal, es que la viga metálica quede colgada.

Para reducir al mínimo el acero necesario, se analiza la opción de apoyar las placas sobre un perfil HEA 140 en acero S235.

Las características del perfil son:

Geometría:

$h = 133\text{mm}$, $b = 140\text{mm}$, $t_w = 5,5\text{mm}$, $t_f = 8,5\text{mm}$, $h_1 = 92\text{mm}$, $r = 12\text{mm}$, $A = 31,4\text{cm}^2$

Acero S235: $f_y = 235\text{ N/mm}^2$

Peso propio: $0,247\text{ KN/ml}$

El tipo de sollicitación al que está sometida la viga es de flexión simple y según tabla 5.3 (DB SE-A) la sección es de clase 1, ya que $c/t = 92\text{mm} / 5,5\text{mm} = 16,7 < 72$.

La comprobación estructural de la viga se realiza en el centro del vano para el momento flector máximo, y en los apoyos para el cortante máximo.

La carga que recibe la viga metálica, corresponde a la que recibe el muro interior de carga en la planta primera, $P_d = 11,6\text{ KN/ml}$.

El peso propio de la viga es de $0,247\text{ KN/ml}$, resultando una carga de diseño de $0,247 \cdot 1,35 = 0,33\text{ KN/ml}$. La carga de diseño total para comprobar la viga es pues $11,6 + 0,33 = 11,93\text{ KN/ml}$.

La luz de cálculo de la viga es de 3,53m, por lo que se obtienen los siguientes esfuerzos:

$$M_{sd} = 11,93 \text{ KN/m} \cdot 3,53^2 / 8 = 18,58 \text{ KNm (en el centro del vano)}$$

$$V_{sd} = 11,93 \text{ KN/m} \cdot 3,53 / 2 = 21,1 \text{ KN (en cada apoyo)}$$

Comprobación a flexión simple en centro de vano:

$$M_{pl,R,d} = W_{pl} \cdot f_{yd} > M_{sd}$$

$$M_{pl,R,d} = 173,5 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2 / 1,1 = 3706 \text{ KNcm} = 37,06 \text{ KNm} > 18,58 \text{ KNm}$$

Cumple.

Comprobación a cortante en los apoyos:

$$V_{pl,R,d} > V_{sd}$$

$$V_{pl,R,d} = A_v \cdot f_{yd} / (3)^{0,5}$$

$$\text{Con } A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

$$A_v = 10,11 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,R,d} = 10,11 \cdot 23,5 / 1,1 \cdot 0,58 = 125 \text{ KN} > 21,1 \text{ KN}$$

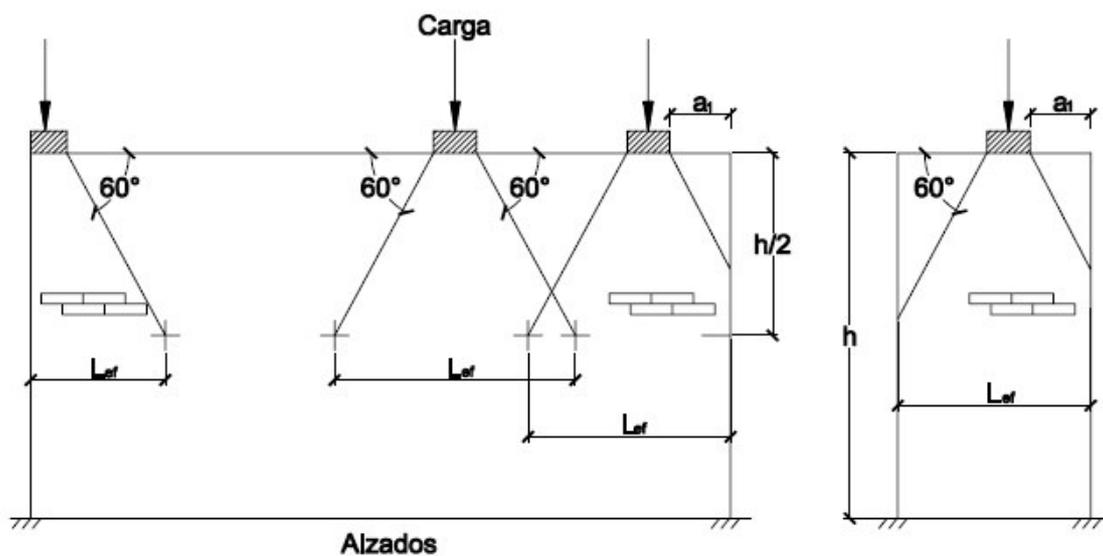
Cumple.

3.7 COMPROBACIÓN DE LAS CARGAS PUNTUALES (CTE DB SE-F)

3.7.1 Generalidades

Se comprueba la carga puntual en los apoyos de la viga metálica sobre los muros de carga de hormigón celular.

La comprobación se realiza de acuerdo al apartado 5.2.8 del DB SE-F.



$$A_{ef} = L_{ef} \cdot t$$

Al tratarse de muros realizados con bloques macizos, la resistencia de cálculo a compresión de la superficie de aplicación se puede incrementar por el factor ξ :

$$\xi = (1,1 + a/h) < 1,4$$

Con

a = distancia del borde del área cargada al borde vertical del muro más próximo

h = altura del paño hasta el nivel en que se aplica la carga

Para el muro exterior, el factor ξ será

$$\xi = (1,1 + 0,21\text{m} / 2,60\text{m}) = 1,18 < 1,4$$

En este caso a = distancia del borde del área cargada hasta el hueco de ventana

Para el muro interior, el factor ξ será

$$\xi = (1,1 + 0,11\text{m} / 3,60\text{m}) = 1,13 < 1,4$$

La carga de diseño que reciben los muros (muro exterior y muro interior) es de 21,1 KN (ver 3.6).

3.7.2 Comprobación en el muro exterior:

Superficie de apoyo de viga = 140mm (ancho de viga) · 100mm (profundidad de apoyo) = 14000 mm²

Compresión = 21,1·1000 N/ 14000 mm² = 1,51 N/mm²

Resistencia del muro = 0,9 N/mm² · ξ = 0,9 · 1,18 = 1,06 N/mm² < 1,51 N/mm²

No cumple, por lo que será necesario incrementar la superficie de apoyo o colocar la viga sobre un bloque de zuncho hormigonado, para repartir la carga.

- a) Aumento de superficie de apoyo, incrementando la profundidad de apoyo a 150mm

$$\text{Superficie} = 140\text{mm} \cdot 150\text{mm} = 21000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Compresión} = 21,1 \cdot 1000 \text{ N} / 21000 \text{ mm}^2 = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Resistencia del muro} = 1,06 \text{ N/mm}^2 > 1,00 \text{ N/mm}^2$$

Cumple.

- b) Reparto de cargas con un ángulo de 60 grados a través del hormigón en el bloque "U"

Con esto, la carga se reparte en una superficie aproximada de 312mm x 100mm hasta alcanzar el hormigón celular, por lo que la compresión queda en

$$21100 \text{ N} / (312 \cdot 100 \text{ mm}^2) = 0,67 \text{ N/mm}^2 < 1,06 \text{ N/mm}^2$$

Cumple.

Nota:

La profundidad de apoyo habría que considerarla a partir de donde empieza el dado de hormigón, por lo que sería necesario prolongar la viga 50mm en cada apoyo. En a) este aumento de superficie de apoyo ya ha

dado un resultado satisfactorio, por lo que la solución b) no tendría razonamiento.

3.7.3 Comprobación en el muro interior:

Superficie de apoyo de viga = 140mm (ancho de viga) · 100mm (profundidad de apoyo) = 14000 mm²

Compresión = 21,1·1000 N/ 14000 mm² = 1,51 N/mm²

Resistencia del muro = 1,14 N/mm² · ξ = 1,14 · 1,13 = 1,29 N/mm² < 1,51 N/mm²

No cumple, por lo que será necesario incrementar la superficie de apoyo o colocar la viga sobre un bloque de zuncho hormigonado en caso de no cumplirse la primera opción.

- a) Aumento de superficie de apoyo, incrementando la profundidad de apoyo a 150mm

Superficie = 140mm · 150mm = 21000 mm²

Compresión = 21,1·1000 N/ 21000 mm² = 1,00 N/mm²

Resistencia del muro = 1,29 N/mm² > 1,00 N/mm²

Cumple.

Aparte de esta comprobación en la zona de coronación del muro, habrá que analizar la capacidad de carga más abajo, ya que incide el apoyo puntual de un dintel del muro interior de carga perpendicular por lo que se suman dos cargas puntuales (ver Figura V).

Apoyo viga metálica

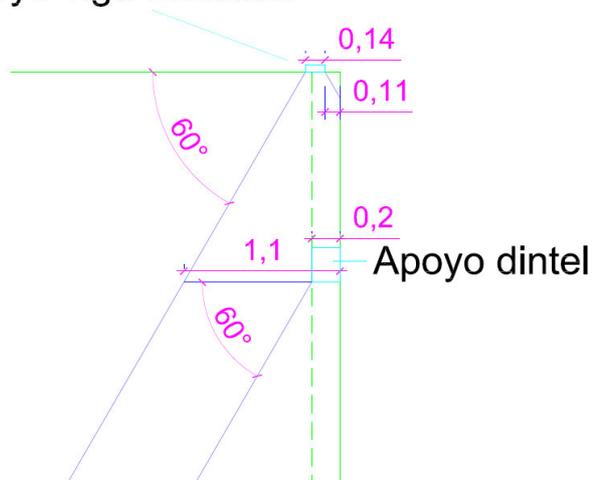


Figura V: Alzado de esquina de muro interior que recibe cargas puntuales de la viga metálica de cubierta y el dintel del muro de carga perpendicular (solape de cargas)

Carga que transmite el dintel:

Dintel de 1,30m de longitud.

Sobrecarga de cubierta = 21,1 KN/ml

Peso muro sobre dintel aproximado = 1,90m altura restante · 2,16 KN/m² = 4,2 KN/ml

Total = 25,3 KN/ml

Carga que transmite el dintel al muro que se analiza: = $25,3\text{KN/ml} \cdot 1,3\text{ml} / 2 = 16,45\text{KN}$

Esta carga se reparte en una superficie de 200mm x200mm (apoyo de dintel), por lo que genera una compresión de $16450\text{ N} / 40000\text{ mm}^2 = 0,41\text{ N/mm}^2$

A esta hay que sumar la compresión transmitida por la viga metálica, que a la altura de dintel ya se ha repartido a una anchura de 1,10m y a todo el espesor del bloque:

$21100\text{ N} / 1100\text{mm} \times 200\text{mm} = 0,10\text{ N/mm}^2$

Las compresiones se suman a $0,51\text{ N/mm}^2$, siendo inferiores a la compresión máxima del muro de $1,14\text{N/mm}^2$.

Cumple.

3.8 COMPROBACIÓN DE LOS DINTELES PREFABRICADOS

Se analizan los dinteles más solicitados (ver Figura VI).

Las cargas máximas de los dinteles prefabricados Ytong aparecen listadas en el DAU de (DAU 03/12 edición C) y en la Guía Técnica Ytong.

En caso de superarse la capacidad máxima, los dinteles se realizarán empleando bloque de zuncho "U" armados y hormigonados.

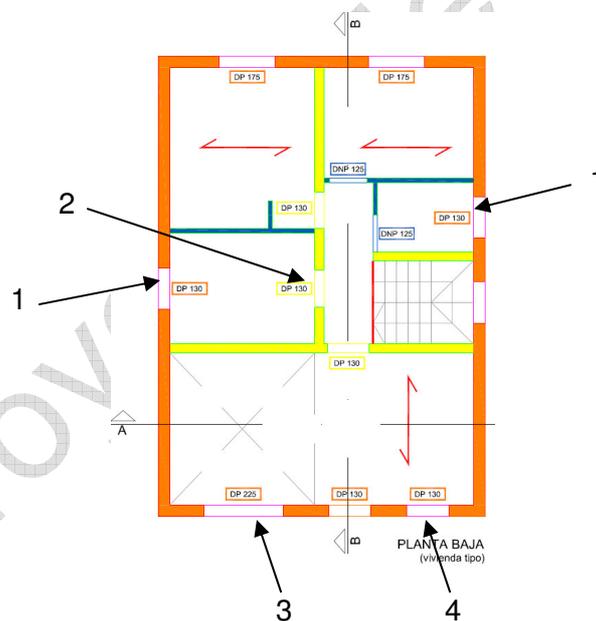
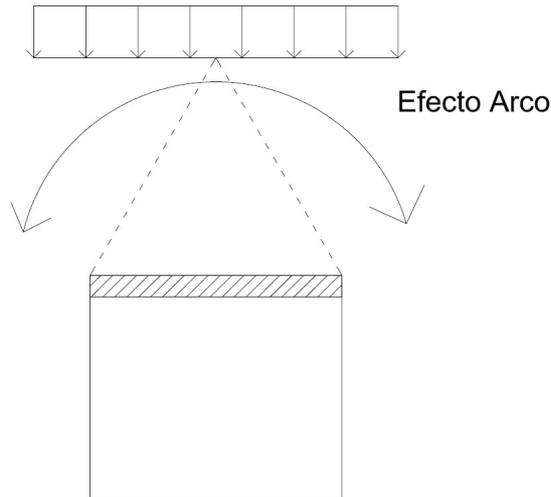


Figura VI: Dinteles más solicitados a comprobar

Efecto arco

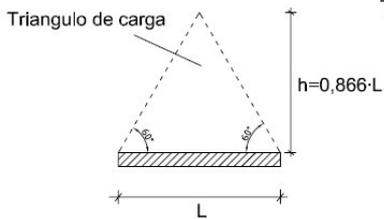
Cuando por encima y a los lados de un dintel exista un muro que permita producir un efecto arco, sin huecos que lo perturben, se podrá considerar que solamente cargará sobre el cargadero la parte inferior al arco y las eventuales cargas puntuales o lineales (forjado) que se encuentren dentro de este triángulo (ver esquemas siguientes).

Estas hipótesis de carga se basan en la DIN 1053 de estructuras de fábrica y permiten dimensionar de forma eficaz y sencilla los cargaderos sin sobredimensionarlos.

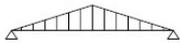


Carga de la fábrica

Solo se tiene en cuenta la carga del triángulo bajo el arco



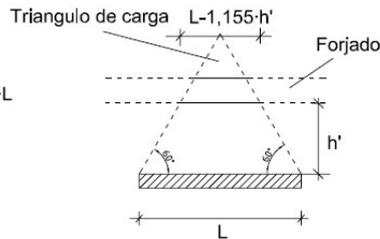
$$q_1 = \rho \cdot 0,866 \cdot L \cdot d$$



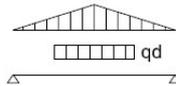
ρ = Peso específico de la fábrica
 L = Luz de dintel
 d = Espesor fábrica

Carga de forjado

Solo se tienen en cuenta cargas de forjado que están dentro del triángulo



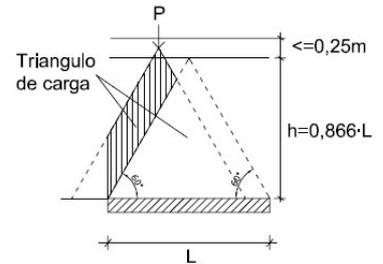
$$q_1 = \rho \cdot 0,866 \cdot L \cdot d$$



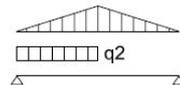
ρ = Peso específico de la fábrica
 L = Luz de dintel
 d = Espesor fábrica
 qd = Carga máx. transmitida de forjado

Carga puntual

Solo se tiene en cuenta si actúa en el tramo L y a una altura inferior a $0,25m$ por encima de la punta del triángulo



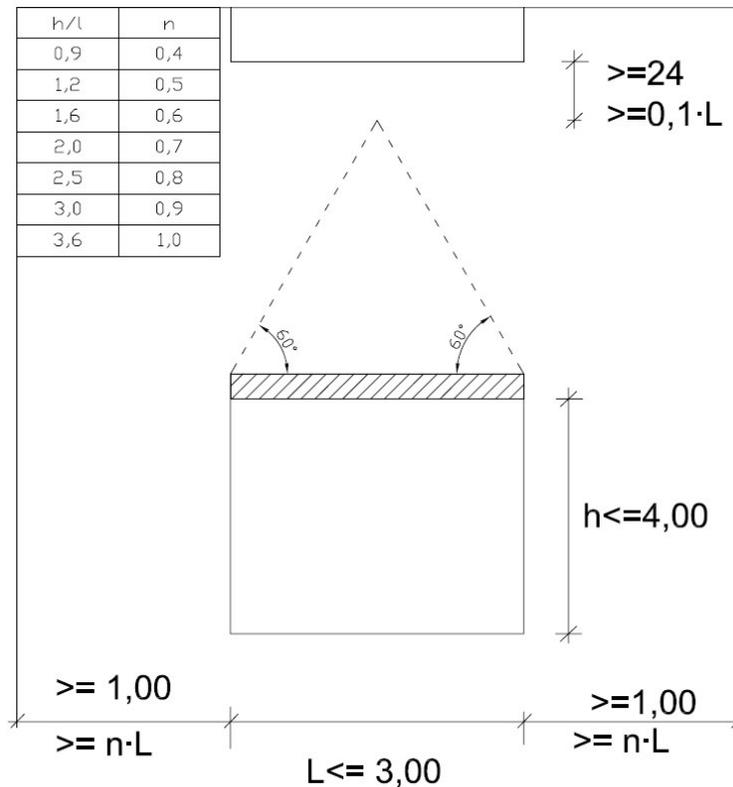
$$q_1 = \rho \cdot 0,866 \cdot L \cdot d$$



ρ = Peso específico de la fábrica
 L = Luz de dintel
 d = Espesor fábrica
 $q_2 \approx 1/hp \cdot (0,866 \cdot P + \rho \cdot k)$

$$k = (b \cdot l - b^2) \cdot d$$

Para evaluar que las dimensiones y la geometría de la fábrica y los huecos permitan que se genere el efecto arco, se puede emplear el siguiente esquema.



3.8.1 Dintel 1 en muro exterior de carga

Se analizan las dos ventanas correspondientes a los baños. Primeramente se comprueba si se puede aplicar el efecto arco.

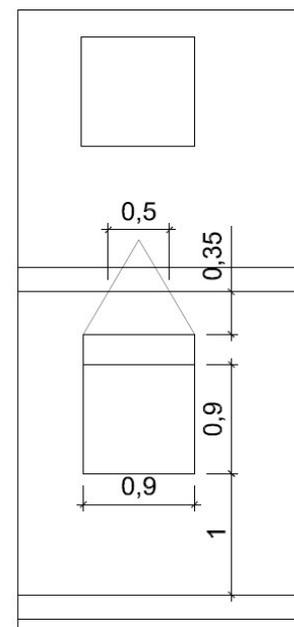
$h/L=1 \rightarrow n=0,5$ (lado seguro)

Distancia lateral mínima a hueco próximo = $n \cdot L = 0,5 < 1,0$

La dimensión $n \cdot L$ es inferior a 1 y por lo tanto no es la determinante.

La distancia a la ventana contigua (zona escaleras) es de 0,95m y se considera que se cumple el criterio $\geq 1,00$, al ser un valor muy próximo.

En alzado la distancia a la ventana superior es mayor a la mínima, por lo cual se puede tener en cuenta el efecto arco.



Las cargas a tener en cuenta son:

Triángulo de carga por peso propio de muro

$$q_1 = 1,55 \text{ KN/m}^2 \cdot 0,866 \cdot 0,9\text{m} = 1,21 \text{ KN/m}$$

Sobrecarga de forjado

$$4,94 \text{ KN/m}^2 \cdot 3,20\text{m} / 2 = 7,9 \text{ KN}$$

$$q_d = 7,9 \text{ KN/m (actuando en un ancho de 0,5m)}$$

$$\text{Suma de cargas} = 1,21 \text{ KN/m} + 7,9 \text{ KN/m} \cdot 0,5\text{m} = 5,2 \text{ KN/m}$$

Esta carga es inferior a la del dintel prefabricado Ytong de 130cm de longitud (18KN), por lo que cumple.

3.8.2 Dintel 2 en muro interior de carga

Para este dintel no se podrá aplicar el efecto arco, al coincidir prácticamente dos huecos de puerta en vertical.

Carga característica sobre dintel 1 (cargas sin mayorar):

$$\text{- Cubierta} = 2,59 \text{ KN/m}^2 \cdot (3,20 + 3,30) / 2 = 8,4 \text{ KN}$$

$$\text{- Forjado} = 4,94 \text{ KN/m}^2 \cdot (3,20 + 3,30) / 2 = 16,1 \text{ KN}$$

$$\text{- Peso propio muro} = 1,55 \text{ KN/m}^2 \cdot 4,11\text{m} = 6,4 \text{ KN}$$

$$\text{Suma cargas} = 31 \text{ KN}$$

Esta carga superior a la del dintel prefabricado Ytong de 130cm de longitud (18KN), por lo que la solución es el empleo de bloques "U" para realizar el dintel de hormigón armado.

3.8.3 Dintel 3 en muro exterior

Carga característica sobre dintel 3 (cargas sin mayorar):

El dintel solamente recibe el peso propio del muro superior, ya que no recibe cargas de cubierta ni forjado.

$$\text{- Peso propio muro} = 1,55 \text{ KN/m}^2 \cdot 3,20\text{m} = 5 \text{ KN}$$

La carga máxima del dintel prefabricado de 2,25m de longitud es de 13 KN, por lo que cumple.

3.8.4 Dintel 4 en muro exterior de carga

El dintel recibe el peso propio del muro superior y la sobrecarga del forjado.

$$\text{- Peso propio muro} = 1,55 \text{ KN/m}^2 \cdot 3,20\text{m} = 5 \text{ KN}$$

$$\text{- Forjado} = 4,94 \text{ KN/m}^2 \cdot 3,30\text{m} / 2 = 8,2 \text{ KN}$$

$$\text{Suma de cargas} = 13,2 \text{ KN} < 18\text{KN carga máxima}$$

La carga máxima del dintel prefabricado de 1,30m de longitud es de 18 KN, por lo que cumple.

4 LIMITACION DE DEMANDA ENERGÉTICA (CTE DB HE 1)

4.1 DATOS PREVIOS

La comprobación del cumplimiento de la limitación de la demanda energética se realiza mediante la opción simplificada (método prescriptivo) en la que se comparan los valores obtenidos en el cálculo con los valores límite permitidos.

Los datos previos del proyecto para determinar los límites permitidos son los siguientes:

Ubicación de la vivienda: Valencia.

Zona climática B3.

Clasificación de los espacios: Baja carga interna

Clase de higrometría: 3

Para la comprobación del cumplimiento de los huecos, es necesario determinar el porcentaje de superficie que estos ocupan en cada fachada.

En el proyecto que es objeto de estudio, la fachada principal (entrada a vivienda) está orientada hacia oeste, por lo que se obtienen las siguientes superficies y porcentajes de huecos por fachada:

Fachada	Superficie fachada	Superficie ventanas	% de hueco
Norte	55 m ²	2,2 m ²	4% (<10%)
Este	33,2 m ²	7,2 m ²	22% (<30%)
Sur	55 m ²	2,2 m ²	4% (<10%)
Oeste	33,2 m ²	8,3 m ²	25% (<30%)

En la tabla siguiente se listan los elementos de la envolvente térmica que requieren comprobación y los límites de transmitancia térmica.

La comprobación según la opción simplificada se realiza calculando la transmitancia media de cada tipo de cerramiento. Para los huecos se han obtenido los valores límite teniendo en cuenta las orientaciones y el porcentaje de superficie acristalada calculado anteriormente.

Adicionalmente, para que no haya descompensaciones térmicas en los diferentes espacios habitables, cada elemento no deberá sobrepasar el valor límite que aparece en la columna de la derecha.

Elemento	Transmitancia límite media	Transmitancia límite máxima de cada elemento
Muros de fachada	$U_{Mlim} = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$	1,07 W/m ² K
Suelos	$U_{Slim} = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,68 W/m ² K
Cubierta	$U_{Clim} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,59 W/m ² K
Huecos	U_{Hlim} Norte = 5,4 W/m ² K Este/Oeste = 4,3 W/m ² K Sur = 5,7 W/m ² K	5,7 W/m ² K
	Factor solar modificado límite de huecos: no aplica	

4.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

El cálculo de los parámetros característicos de la demanda se realiza según el Apéndice E del DB SE-1.

4.2.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

4.2.1.1 Fachadas

Las fachadas son de una hoja de bloques de hormigón celular Ytong de 25cm de espesor y 350kg/m³ de densidad. Para el cálculo de la resistencia térmica se desprecian los revestimientos, estando en el lado de la seguridad.

La conductividad térmica útil de los bloques Ytong de densidad 350kg/m³ es de 0,09 W/mK (valor declarado y especificado en el certificado CE).

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

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W} \quad \text{Resistencias superficiales según tabla E.1 DB HE1 (CTE)}$$

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

$$R_{tot} = 2,78 + 0,04 + 0,13 = 2,95 \frac{m^2K}{W}$$

$$U = \frac{1}{2,95} \frac{W}{m^2K} = 0,34 \frac{W}{m^2K}$$

4.2.1.2 Cubiertas

La cubierta se realiza con placas armadas de hormigón celular Ytong de 15cm de espesor y 600kg/m^3 de densidad. Las placas asumen la función estructural y aportan aislamiento térmico.

Sobre las placas Ytong se fijan planchas de poliestireno extruido (XPS) de 40mm de espesor y superficie superior estriada, para que agarre el tejado que se realiza sobre éstas mediante pegotes de mortero.

La conductividad térmica de los elementos aislantes es:

Placa armada Ytong $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$

Plancha XPS $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$

Cálculo de la resistencia térmica de la sección (despreciando el tejado)

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,15\text{m}}{0,16\text{W/mK}} = 0,94 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (\text{Placa Ytong})$$

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,04\text{m}}{0,035\text{W/mK}} = 1,14 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (\text{Plancha XPS})$$

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

Resistencias superficiales según tabla E.1 DB HE1 (CTE)

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

$$R_{tot} = 0,94 + 1,14 + 0,04 + 0,13 = 2,25 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{2,25} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} = 0,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

4.2.2 Cerramientos en contacto con el terreno

4.2.2.1 Suelo

El suelo se compone de una losa de hormigón armado de 20cm de espesor sobre el que se dispone de un aislamiento térmico (planchas de poliestireno extruido de 60mm de espesor).

La transmitancia térmica se obtiene de la tabla E.3 según el apartado E1.2.1 del Apéndice E, partiendo de la resistencia térmica Ra del aislante y la longitud característica B' de la solera.

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,06\text{m}}{0,035\text{W/mK}} = 1,71 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (\text{Plancha XPS})$$

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}$$

con $A = \text{Superficie de la solera} = 10 \cdot 7 = 70 \text{ m}^2$

y $P = \text{Longitud perímetro de la solera en contacto con el exterior} = 34\text{m}$

$$B' = \frac{70m^2}{0,5 \cdot 34m} = 4,11$$

→ $U_s = 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$ (de tabla E.3)

4.2.3 Huecos

Las ventanas en las fachadas norte y sur se componen de vidrios sencillos de 6mm de espesor y marcos de PVC de dos cámaras.

Las ventanas en las fachadas este y oeste se componen de vidrio aislante de dos vidrios y cámara de aire de 4-6-6mm de espesor (vidrio-cámara-vidrio), con marco de PVC de dos cámaras.

Los parámetros térmicos se obtienen del Catálogo de elementos constructivos del CTE (tabla 4.3.1.3):

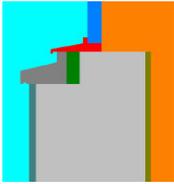
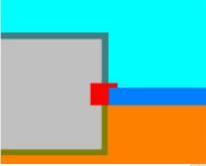
Fachada	Tipo ventana	Tipo de marco	Transmitancia térmica U_H (W/m ² K)
Norte / Sur	Vidrio Sencillo 6mm	PVC de dos cámaras	5
Este / Oeste	Vidrio aislante con cámara de aire 4mm – 6mm – 6mm		3,1

4.3 PUENTES TÉRMICOS

Según el CTE, en la opción simplificada solamente hay que considerar los puentes térmicos cuya superficie sea superior a los 0,5m² y que estén integrados en las fachadas, siendo éstos pilares, contornos de hueco, cajas de persiana, etc.

En el siguiente cuadro se resumen los puentes térmicos que se deben tener en cuenta en el presente proyecto:

Puente térmico	Transmitancia térmica	Comentario
Caja de persianas	2 W/m ² K	
Contorno de huecos (dinteles) Dinteles prefabricados Ytong	0,58 W/m ² K	
Contorno de huecos (dinteles) Dinteles con bloques "U"	1,15 W/m ² K	

<p>Contorno de huecos (antepecho)</p> <p>Marco de PVC colocado a mitad de muro, alfeizar de hormigón con 3cm de aislamiento en canto interior</p>	<p>0,092 W/mK</p> <p>(puente térmico lineal)</p>	
<p>Contorno de huecos (jambas)</p> <p>Marco de PVC colocado a mitad de muro, en jambas</p>	<p>0,028 W/mK</p> <p>(puente térmico lineal)</p>	
<p>Pilares</p>	<p>--</p>	<p>No existen pilares en este proyecto</p>

4.4 COMPROBACIÓN DE LOS VALORES LÍMITE

4.4.1 Cubiertas

La cubierta carece de lucernarios y los puentes térmicos correspondientes, por lo que la comprobación se limita a comparar el valor de transmitancia térmica de la cubierta con el valor límite.

$$U_{Cm} = 0,44 < U_{clim} = 0,45$$

Cumple.

4.4.2 Fachadas

Para obtener el valor de transmitancia térmica media de las fachadas, hay que ponderar las transmitancias de cada elemento en función de su superficie o longitud.

$$U_{Mm} = \frac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PTS} \cdot U_{PTS} + \sum L_{PTL} U_{PTL}}{\sum A_M + \sum A_{PTS}} \leq U_{Mlim}$$

Puentes térmicos

Cajas de persiana:

En planta baja:	7,70ml x 0,30m	= 2,31m ²
En planta primera:	8,60ml x 0,30m	= 2,60m ²
Total		= 4,91m ²

Dinteles prefabricados:

En planta baja:	8,40ml x 0,25m	= 2,1m ²
En planta primera:	12,30ml x 0,25m	= 3,1m ²
Total		= 5,2 m ²

Dinteles con bloques "U":

En planta baja:	3x 1,30m x 0,25m	= 1m ²
-----------------	------------------	-------------------

Antepecho

En planta baja:	7,7ml
En planta primera:	8,6ml
Total	16,3ml

Jambas

En planta baja:	19,4ml
En planta primera:	15,5ml
Total	34,9ml

Fachada

$$\text{Norte} + \text{Sur} = 55,10\text{m}^2 \cdot 2 = 110,20\text{m}^2$$

$$\text{Este} + \text{Oeste} = 33,2\text{m}^2 \cdot 2 = 66,4\text{m}^2$$

$$\text{Total} = 177\text{m}^2$$

$$\text{A restar dinteles y cajas de persiana} = 177 - 11\text{m}^2 = 166\text{m}^2$$

$$U_{Mm} = \frac{166\text{m}^2 \cdot 0,34 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}} + 4,9\text{m}^2 \cdot 2 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}} + 5,2\text{m}^2 \cdot 0,58 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}} + 1\text{m}^2 \cdot 1,15 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}} + 16,3\text{ml} \cdot 0,092 \frac{W}{\text{mK}} + 34,9\text{ml} \cdot 0,028 \frac{W}{\text{mK}}}{(166\text{m}^2 + 4,9\text{m}^2 + 5,2\text{m}^2 + 1\text{m}^2)}$$

$$U_{Mm} = \frac{72,9 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}}}{177\text{m}^2} = 0,41 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}} < U_{M\text{lim}} = 0,82 \frac{W}{\text{m}^2\text{K}}$$

4.4.3 Huecos

Los valores medios de los huecos se han obtenido del Catálogo de elementos constructivos y se comparan con los valores límite:

Fachada Norte:

$$U_{Hm} = 5 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{H\text{lim}} = 5,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Fachada Este/Oeste:

$$U_{Hm} = 3,1 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{H\text{lim}} = 4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Fachada Sur:

$$U_{Hm} = 5 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{H\text{lim}} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4.4.4 Suelos

Al igual que en la cubierta, la comprobación del suelo es directa:

$$U_{S1} = 0,49 < U_{S\text{lim}} = 0,52$$

5 SALUBRIDAD

5.1 GENERALIDADES

Solamente se trata el tema de la protección frente a la humedad (DB HS-1 del CTE) y exclusivamente en los elementos en los que el hormigón celular Ytong sea empleado como material de construcción. Esto no significa que el resto de elementos constructivos no requieran ser analizados en este aspecto de salubridad.

También queda sin analizar el resto de criterios de higiene, salud y medioambiente que son de obligado cumplimiento según el DB HS del CTE, pero que no están relacionados al sistema de construcción Ytong y por lo tanto deberán estudiarse aparte.

5.2 FACHADAS

El grado de impermeabilidad exigido depende de varios factores, siendo éstos

- zona eólica
- clase de entorno del edificio
- altura del edificio
- zona pluviométrica

Para el proyecto que se analiza, estos parámetros son

- zona eólica: A
- clase de entorno del edificio: E0
- altura del edificio: < 15m
- zona pluviométrica: IV

Con esto se obtiene un grado de impermeabilidad exigido de 3.

Las condiciones de la fachada para cumplir con este grado de impermeabilidad se obtienen de la tabla 2.7 de la normativa.

Para una fachada de una hoja, la sección debe componerse de un revestimiento del tipo R1 (resistencia media a la filtración) más una hoja principal de espesor alto (24cm).

En nuestro caso, empleamos un revestimiento continuo (monocapa) con un grado de impermeabilidad R3 (resistencia a la filtración muy alta) más una hoja principal de 25cm de espesor, por lo que superamos el mínimo exigido por la normativa y queda justificada la solución. En el mercado existen numerosos productos compatibles con el hormigón celular con clasificación R3.

5.3 CUBIERTA

Se trata de una cubierta inclinada con tejado y una pendiente de 30%, por lo que no se requiere una capa de impermeabilización.

El aislamiento repartido de las placas de cubierta Ytong y su bajo coeficiente de difusibilidad al vapor de agua eliminan el riesgo de condensaciones, por lo que no se requiere una barrera de humedad.

6 SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

En el DB SI del CTE se especifican las resistencias al fuego que deben tener los elementos estructurales y divisorios en función del tipo de edificio y las alturas de evacuación.

Para viviendas unifamiliares, la resistencia al fuego de los elementos estructurales es de R30 (DB SI 6).

La resistencia al fuego de los elementos Ytong es la siguiente:

Elemento estructural	Espesor	Resistencia al fuego (R)
Muros de carga	20cm o mayor	R120
Placas de forjado y cubierta	15cm o mayor	Hasta R120

La resistencia al fuego de las placas armadas Ytong, como la de cualquier hormigón armado, depende del revestimiento de la armadura en la cara de tracción.

Las placas se pueden fabricar con el revestimiento de las armaduras necesario para obtener la resistencia al fuego requerido, hasta una resistencia de 120 minutos. La resistencia de las placas disminuye con un mayor revestimiento de las armaduras, ya que se reduce la sección estructural.

7 PROTECCION FRENTE AL RUIDO (DB HR)

7.1 GENERALIDADES

Al tratarse de una vivienda unifamiliar aislada, solamente será necesaria la comprobación acústica a ruido aéreo para los siguientes elementos constructivos, con los valores mínimos que se indican:

- Tabiquería, $R_a \geq 33$ dBA (valor de laboratorio)
- Muros exteriores, $D_{2m,nT,Atr} \leq 30$ dBA (valor de solución construida) para estancias y dormitorios
- Cubierta, $D_{2m,nT,Atr} \leq 30$ dBA (valor de solución construida)

Los valores límite para elementos que separan espacios habitables y el exterior, dependen del índice de ruido día L_d , que se debe obtener del mapa de ruido de la zona donde esté ubicada la obra. A falta de este dato, se puede aplicar el valor de 60dBA y con este se obtiene los valores límite indicados arriba.

Hay que diferenciar entre los elementos que requieren una comprobación teniendo en cuenta la solución construida (en este caso los muros exteriores y la cubierta), y los elementos que solamente requieren una justificación del índice de reducción acústica R_a en condiciones de laboratorio (en este caso la tabiquería).

La normativa propone dos opciones para la comprobación del cumplimiento:

- **Opción simplificada**, en la que la comprobación se realiza a través de unas tablas que contemplan diferentes combinaciones de materiales y soluciones
- **Opción general**. Opción en la que se calcula el aislamiento acústico siguiendo el modelo simplificado de la UNE EN 12354. Para facilitar esta labor, el CTE pone a disposición de los arquitectos una herramienta informática libre, gratuita y descargable de la página de Internet oficial del CTE, que permite realizar este cálculo de forma rápida y sencilla.

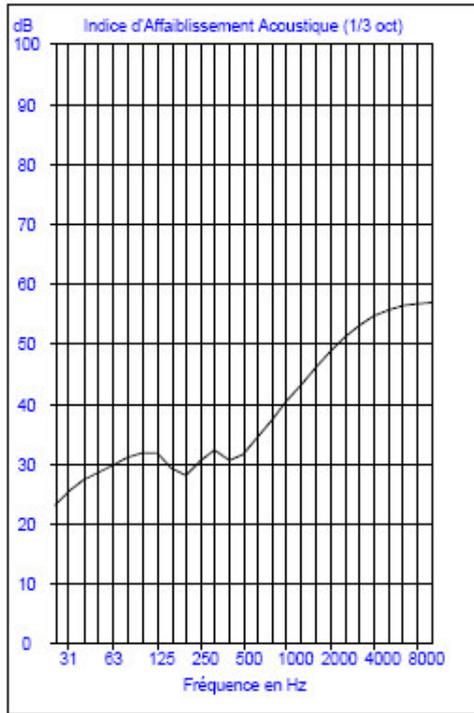
7.2 COMPROBACIÓN PARA LA TABIQUERÍA

Se adjunta la ficha justificativa del índice de reducción acústica ponderada Ra de los tabiques de 10cm de espesor.

Prévision I.A.A.

et **A**coustique **GAMBA**
et Associés

Accou STIFF-6.5Ytong.sia P1



Résultats

		ISO 717 : Rw(C;Ctr;C50-3150;Ctr50-3150;....) dB			
Intitulé	Style	100-3150 Hz	50-3150 Hz	50-5000 Hz	100-5000 Hz
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	39 (-1;-4)	39 (-1;-4)	39 (+0;-4)	39 (+0;-4)

		100-3150 Hz		50-3150 Hz		50-5000 Hz		100-5000 Hz	
Intitulé	Style	RA dB	RA,tr dB	RA dB	RA,tr dB	RA dB	RA,tr dB	RA dB	RA,tr dB
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	38	35	38	35	39	35	39	35

		NF S 31-051		
Intitulé	Style	STC dB	rose dB(A)	route dB(A)
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	39	39	35

I.A.A. par bande d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	25	30	31	30	32	40	48	54	57

I.A.A. par tiers d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	23	25	27	29	30	31	32	32	29

I.A.A. par tiers d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
Carreaux 100 mm 550 kg/m3	—	28	31	32	30	31	34	37	40	43

Prévision I.A.A.

et **A**coustique **GAMBA**
ssociés
AccuS STIFF-6.5Ytong.sia P2

I.A.A. par tiers d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Carreaux 100 mm 550 kg/m ³	—	46	49	51	53	55	56	58	57	57

Ouvrage : Carreaux 100 mm 550 kg/m³ 200.0 mm

- 1) Béton cellulaire (ens) 100.00 mm [Fuite=0.0004%]
- 2) Béton cellulaire (bloc) 100.00 mm

Fréquences significatives : Carreaux 100 mm 550 kg/m³

Fréquence critique : 466 Hz

Détail des composants : Carreaux 100 mm 550 kg/m³

Béton cellulaire (ens) de type [Simple]			
Longueur	4m	Facteur de perte interne	0.03
Largeur	2.5m	Masse surfacique	55.00 kg/m ²
Epaisseur	100.00 mm	Fréquence critique	466 Hz
Masse volumique	550 kg/m ³	Nombre de plaque(s)	1
Module Young	1E+009 N/m ²		
Béton cellulaire (bloc) de type [Simple]			
Longueur	0.5m	Facteur de perte interne	0.1
Largeur	0.6m	Masse surfacique	55.00 kg/m ²
Epaisseur	100.00 mm	Fréquence critique	190 Hz
Masse volumique	550 kg/m ³	Nombre de plaque(s)	1
Module Young	8E+009 N/m ²		

El índice global de reducción acústica ponderado Ra es de 38dBA y por lo tanto mayor que 33dBA, por lo que se cumple el requerimiento para la tabiquería.

7.3 COMPROBACIÓN PARA LA FACHADA

La comprobación se realiza según la opción simplificada del CTE, tabla 3.4.

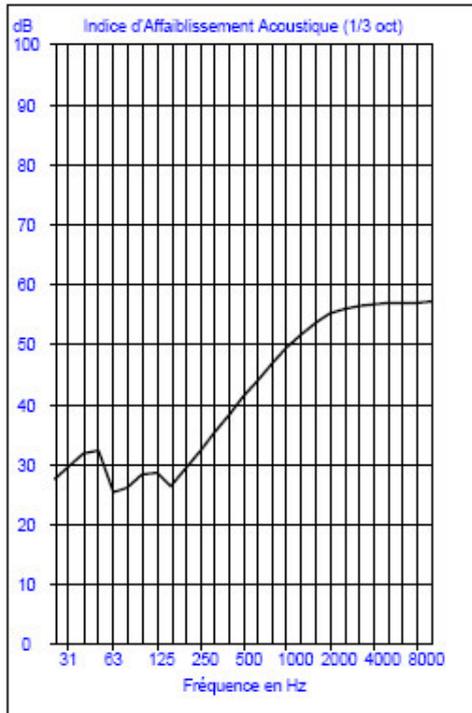
Se realiza la comprobación para la fachada del salón, con un elevado porcentaje de huecos, para un dormitorio y para la cocina (con ventanas de menor calidad).

En ambos casos, y como valor de entrada para la tabla 3.4, el índice de reducción acústica ponderado Ra para la parte ciega es >40dBA (ensayo de laboratorio da 42dBA, ver ficha acústica anexa).

Se adjunta la ficha justificativa del índice de reducción acústica ponderada Ra de los bloques de fachada de 25cm de espesor.

Prévision I.A.A.

Acoustique **GAMBA**
et Associés
AccuS STIFF-6.5Ytong.sia P1



Résultats

		ISO 717 : Rw(C;Ctr;C50-3150;Ctr50-3150;....) dB								
Intitulé	Style	100-3150 Hz		50-3150 Hz		50-5000 Hz		100-5000 Hz		
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	44 (-2;-6)		44 (-2;-7)		44 (-1;-7)		44 (-1;-6)		
Intitulé	Style	100-3150 Hz		50-3150 Hz		50-5000 Hz		100-5000 Hz		
		RA dB	RA, tr dB	RA dB	RA, tr dB	RA dB	RA, tr dB	RA dB	RA, tr dB	
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	42	38	42	37	43	37	43	38	
		NF S 31-051								
Intitulé	Style	STC dB		rose dB(A)		route dB(A)				
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	44		43		38				
I.A.A. par bande d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	29	27	28	32	40	49	55	57	57
I.A.A. par tiers d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	28	30	32	32	25	26	28	29	26
I.A.A. par tiers d'octave (Fréquence centrale en Hz)										
Intitulé	Style	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
Mur 250 mm 400 kg/m3	—	29	32	35	38	41	44	47	49	52

- 1.) Salón (espacio diáfano de planta baja y primera, por lo que se contabiliza como un espacio único)

Superficie total: 34,32m²

Superficie huecos: 8,6m²

→% Huecos = 25%

Para cumplir $D_{2m,nT,Atr} \leq 30$ dBA, el índice de reducción acústica ponderado $R_{a,tr}$ de los huecos debe ser 28dBA.

El vidrio de las ventanas en el salón son del tipo aislante (dos vidrios con cámara de aire de espesores 4mm – 6mm – 6mm), con un valor $R_{a,tr}$ de 30dBA en el caso de ventanas batientes u oscilobatientes y 27dBA en el caso de ventanas deslizantes.

Para cumplir con las exigencias acústicas las ventanas deberán ser batientes u oscilobatientes.

- 2.) Dormitorio

Superficie total: 7,8m²

Superficie huecos: 1,44m²

→% Huecos = 18%

Para cumplir $D_{2m,nT,Atr} \leq 30$ dBA, el índice de reducción acústica ponderado $R_{a,tr}$ de los huecos debe ser 28dBA.

El vidrio de las ventanas en los dormitorios son del tipo aislante (dos vidrios con cámara de aire de espesores 4mm – 6mm – 6mm), con un valor $R_{a,tr}$ de 30dBA en el caso de ventanas batientes u oscilobatientes y 27dBA en el caso de ventanas deslizantes.

Para cumplir con las exigencias acústicas las ventanas deberán ser batientes u oscilobatientes.

- 3.) Cocina

Superficie total: 6m²

Superficie huecos: 1,2m²

→% Huecos = 20%

Para cumplir $D_{2m,nT,Atr} \leq 30$ dBA, el índice de reducción acústica ponderado $R_{a,tr}$ de los huecos debe ser 28dBA.

El vidrio de la ventana en la cocina es sencillo de 6mm de espesor, con un valor $R_{a,tr}$ de 28dBA en el caso de ventana batiente u oscilobatiente y 27dBA en el caso de ventana deslizante.

Para cumplir con las exigencias acústicas la ventana deberá ser batiente u oscilobatiente.

7.4 COMPROBACIÓN PARA LA CUBIERTA

La comprobación se realiza según la opción simplificada del CTE, tabla 3.4.

El índice global de reducción acústica, ponderado A, de un elemento constructivo homogéneo de una hoja, se puede determinar mediante la ley de masa. Como simplificación en este caso se comprueba el aislamiento acústico de las placas Ytong sin tener en cuenta el aislamiento adicional ni el tejado, estando esta comprobación en el lado de la seguridad.

La masa superficial de las placas Ytong es de $0,15\text{m} \times 600\text{ kg/m}^3 = 90\text{kg/m}^2$, por lo que aplica la fórmula A.16 de la ley de masas (Apéndice A del DB HR):

$$R_A = 16,6 \cdot \lg(m) + 5 = 37,4\text{dBA}$$

Según la tabla 3.4, para cumplir $D_{2m,nT,Atr} \geq 30\text{ dBA}$, el índice de reducción acústica ponderado R_a de la parte ciega (en este caso la cubierta es 100% ciega) debe ser como mínimo 33dBA.

$$R_a = 37,4\text{ dBA} > 33\text{ dBA}$$

Cumple.

Proyecto de ejemplo

8 NORMAS Y DOCUMENTACION DE REFERENCIA

- Código Técnico de la Edificación CTE
 - DB SE Seguridad estructural
 - DB SE – AE Acciones en edificación
 - DB SE – F Estructuras de fábrica
 - DB SI Incendios
 - DB HS Salubridad
 - DB HE Ahorro energía
 - DB HR Protección frente al ruido

- UNE EN 771-4 Bloques de hormigón celular curado en autoclave

- NCSE 02 Norma de construcción sismorresistente

- DAU 03/12 Documento de adecuación al uso Xella

- Guía Técnica Ytong

- Guía de colocación Ytong