

CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE FORJADOS ALIGERADOS

FRANCESCO GUIDETTI

Ingeniero Civil, desde 2004 ha desarrollado en Italia y en el mundo la práctica de losas más ligeras, el estudio del comportamiento, los métodos de cálculo y aplicación in situ. Co-relator de dos tesis sobre losas aligeradas para la Escuela Polytech Chambéry. Ha publicado artículos para la revista «La industria italiana de cemento».

1. LOSAS

Actualmente el uso de losas para la ejecución de forjados está muy generalizado en la construcción española. Sin embargo, todavía los forjados unidireccionales están muy extendidos aunque los primeros alcanzan cada vez más porcentaje de construcción sobre los segundos.

Si tenemos en cuenta lo que actualmente se ejecuta, las vigas planas o de cuelgue se construyen solo en los países donde el coste de los materiales supera ampliamente el coste de la mano de obra.

Sin embargo, en la mayoría de los países industrializados, se ejecutan normalmente forjados con losas.

Las razones son fácilmente detectables, ya que las losas de hormigón armado:

1. Poseen una excelente rigidez gracias a la poca deformabilidad según el plano de la losa, lo que les permite reducir sensiblemente el espesor.
 - a) La reducción del espesor ahorra materiales.
 - b) Reduce la volumetría de la estructura, y por ello, maximiza el aprovechamiento de la capacidad resistente del terreno que siempre es un elemento de coste importante.
2. No necesita jácenas:
 - a) Gracias a ello, todavía se reduce más la volumetría.
 - b) Mejoran los rendimientos de mano de obra por no tener que encofrar dichas jácenas.
 - c) Facilita el paso de las instalaciones, reduciendo considerablemente los tiempos de colocación.

3. Están armadas con mallas y barras rectas:

- a) Reduce el coste de la armadura en comparación con el hierro elaborado.
- b) Mallas y barras rectas son más fáciles y rápidas de instalar.
- c) Es posible utilizar sistemas prefabricados de armaduras industrializadas, que hacen que el trabajo sea todavía más rápido (tipo de armaduras BAMTEC).

4. Tienen un excelente comportamiento al fuego y al ruido, gracias a su masa.

Si leemos los puntos anteriores, parecería que no existen razones suficientes para no ejecutar los forjados con losas. Sin embargo, estas estructuras tienen puntos débiles que restringen su uso en detrimento de otras más eficientes:

1. Son estructuras pesadas:

- Consumen mucho hormigón.
- A partir de ciertas luces, el peso propio llega a ser más importante que la sobrecarga de uso que debe soportar lo que convierte la losa en antieconómica.

2. No son estructuras dúctiles:

- No se puede calcular como estructura clásica.
- Necesitan arriostramientos para transmitir los esfuerzos a los apoyos o similares.



2. LOSAS ALIGERADAS

2.1. Ventajas

Son estructuras que tienen todas las características y ventajas de una losa maciza sin el peso propio de estas:

1. Cantos similares a los de las losas macizas.
2. No necesitan vigas.
3. Volúmenes inferiores a los de la losa maciza.
4. Se arman, normalmente, con acero sin elaborar.
5. Al reducir el peso, el campo de aplicación de las mismas se amplía.

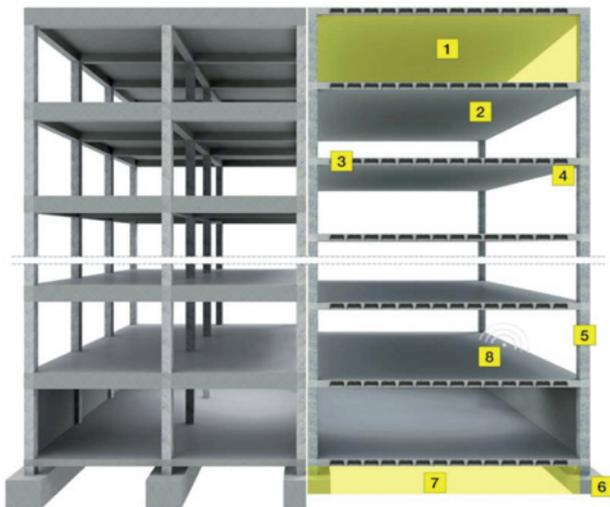


Figura 1.

2.2. Losas aligeradas

Se obtienen al incorporar cuerpos huecos en la masa de hormigón. Por lo general, estos son de polipropileno de baja densidad y reciclado, generalmente de forma cúbica. Los bloques quedan embebidos formando una red de nervios ortogonales fijados por las losas macizas delgadas superior e inferiormente.

2.2.1. Ventajas

Esta solución supera muchas de las limitaciones propias de las losas y de los forjados reticulares.

1. Gracias a la presencia de la losa inferior, el forjado es una losa en todos sus aspectos.

2. Permiten mantener los mismos espesores de los de una losa maciza o incluso menores.
3. Se consiguen ahorros importantes de hormigón y pesos propios bajos.
4. Se arman con la misma metodología que las losas macizas.
5. Cuantías de acero menores.
6. Mejoran el aislamiento acústico.
7. Excelente comportamiento frente al fuego (hasta REI 240').
8. No requieren de falso techo.

2.2.2. Desventajas

Estas estructuras presentan algunos inconvenientes.

1. En comparación con los forjados reticulares, consumen más hormigón y pesan más a igualdad de canto.
2. A igualdad de consumo de hormigón y de inercia con respecto al forjado reticular consumen un poco más de acero.

2.2.3. Conclusiones

Este tipo de solución para aplicaciones en luces pequeñas y cargas reducidas es, económicamente, menos atractivo que un forjado reticular.

Al contrario, ofrecen prestaciones mejores para todas aquellas soluciones de estructuras de canto de forjados de 28 a 60 cm y luces de 8 a 14 metros.

3. LOSAS ALIGERADAS CON CUERPOS HUECOS CÚBICOS

3.1. Características principales

Hasta hace 10 o 15 años el aligerado de las losas se hacía por la incorporación de bloques de EPS de baja densidad.

Esta manera de ejecutar losas aligeradas presentaba algunos inconvenientes:

1. Los bloques EPS eran frágiles y su almacenaje en el exterior era perjudicial para los mismos, especialmente por las acciones meteorológicas.

2. Los bloques ocupan mucho espacio haciendo complejo el almacenamiento en obra.
3. Una vez colocados, resultaba complicado sujetarlos y mantenerlos fijados a la distancia necesaria de la armadura inferior, lo que obligaba a seguir el hormigonado de la losa inferior, colocar y sujetar los bloques, armar la capa superior y rematar el vertido.

En los últimos años, ha aparecido en el mercado una solución técnica que finalmente le permite superar estos inconvenientes.

Se trata de casetones de PP reciclado de medidas 52×52 cm en planta y altura variable. Pueden, según el canto, colocarse como elementos sencillos o doble por acoplamiento de dos sencillos.

Estos elementos son apilables, lo que permite transportar una gran cantidad y permite acopiarlos en obra sin ocupar mucho espacio. Dichas piezas, llevan unos pies cónicos, de 5 a 10 cm y de altura variable de centí-

metro en centímetro. Aparte, disponen de una correa provista de agujeros que permite fijar el ancho de nervio que corresponda entre 10 y 24 cm.

Este diseño permite colocar los elementos directamente en el encofrado, manteniéndolos entre sí con el replanteador y separados de la armadura inferior gracias a los pies.



Figura 2. Alturas aligeradas de plástico de tipo «single».



A IBERTRAC, AMB 30 ANYS D'EXPERIÈNCIA, DISPOSEM D'UNA DIVISIÓ ESPECÍFICA PER A CADA PROBLEMA DE PLAGUES. TRACTEM CADA CAS AMB SERIETAT I RIGOR PROFESSIONAL, FENT SERVIR TOTS ELS RECURSOS NECESSARIS I COMPLETANT ELS PROCEDIMENTS, ASSEGURANT-NOS D'UNA EFICÀCIA DEL 100% EN ELS RESULTATS.



**TRACTAMENTS DE LA FUSTA
CONTROL DE PLAGUES**

93 439 31 04 • 93 430 43 01
www.ibertrac.com / www.termitas.net
LORETO 13-15 D 08029 BARCELONA



**CUIDEM LA
FUSTA**



Gracias a este diseño es posible colocar la armadura inferior cómodamente, quedando resuelto el armado de la capa inferior y superior así como la colocación de los elementos huecos y poder hacer que el vertido se ejecute de manera adecuada.

De esta manera los tiempos de ejecución de la losa aligerada son idénticos a los de una losa maciza.



Alturas aligeradas de plástico de tipo «double»

H23 cm	H37 cm
H26 cm	H38 cm
H29 cm	H40 cm
H30 cm	H41 cm
H32 cm	H44 cm
H33 cm	H48 cm
H34 cm	H52 cm
H36 cm	H56 cm

Figura 3. Alturas aligeradas de plástico de tipo «double».

3.2. Modelo y cálculo de las solicitaciones

La incorporación de bloques de PP reciclado crea una retícula ortogonal de nervios de sección trapezoidal encerrados entre dos losas (una superior y otra inferior), de espesor entre 5 y 10 cm.

Existen obviamente, varias maneras de idealizar esta estructura a fin de obtener las solitaciones de que se trata.

3.2.1. Modelo con una red de nervios ortogonales

Podemos imaginar la estructura como una retícula de nervios cuya sección viene determinada por la forma del aligeramiento.

La elección de la sección es importante, porque se obtiene una sección en I, y recordando la teoría de Saint Venant, los perfiles abiertos tienen rigidez nula a torsión, por tanto, los momentos flectores y esfuerzos cortantes resultarán suficientemente exactos y la estructura presentará una deformabilidad mayor por lo cual perderemos el motivo principal por el cual hemos optado por esta estructura, o sea, una losa.

Alternativamente podemos modelar nuestra retícula imponiendo una sección rectangular hueca tipo caseton recuperando así la rigidez torsional.

Otra manera, puede ser modelar una retícula de nervios en T conectados a una losa de espesor igual a la capa superior.

Desde un punto de vista puramente teórico, este método es correcto, sin embargo, corre el riesgo de perder las ventajas de la estructura tipo losa, y en cuanto a dimensionamiento y comprobación de la armadura nos obliga a trabajar sobre las solitaciones (momento flector y cortante) de cada nervio obligando a un trabajo laborioso en términos de tiempo.

3.2.2. Modelo tipo losa

Estructuras de este tipo son losas a todos los efectos. Si tomamos por ejemplo el Eurocódigo 2, como referencia aceptada en todos los estados de la UE, en el capítulo 5.3.1 (6) encontramos:

«*Ribbed or waffle slabs need not be treated as discrete elements for the purposes of analysis, provided that the flange or structural topping and transverse ribs have sufficient torsional stiffness. This may be assumed provided that:*

- *The rib spacing does not exceed 1500 mm.*
- *The depth of the rib below the flange does not exceed 4 times its width.*
- *The depth of the flange is at least 1/10 of the clear distance between ribs or 50 mm, whichever is the greater.*
- *Transverse ribs are provided at a clear spacing not exceeding 10 times the overall depth of the slab.»*

Estos casetones de PP reciclado están diseñados con una geometría que permite respetar en todo momento las prescripciones citadas (en inglés). Por lo tanto, la estructura que vamos a crear es una losa y como tal, debe ser tratada y modelada.

Si utilizamos un análisis de elementos finitos, tendremos que analizar una losa maciza que tenga las mismas características de rigidez y peso que una aligerada.

Si seguimos la teoría de las losas de Kirchhoff, una losa ortótropa se caracteriza por los siguientes parámetros:

1. Rigidez a flexión (simétrica con relación a dos direcciones ortogonales).

2. Rigidez a flexión.
3. Rigidez a cortante.

A todo esto debe añadirse que la losa será más ligera.

3.2.2.1. Rigidez a flexión

De acuerdo con la teoría de Kirchhoff la rigidez a la flexión de una placa es:

$$R_f = \frac{E \cdot J}{(1 - \mu)^2}$$

E = Módulo de elasticidad

J = Momento de inercia

μ = Coeficiente de Poisson

En el caso de una losa maciza, la rigidez a flexión de la placa por unidad de ancho será de:

$$R_f = \frac{E \cdot H^3}{(1 - \mu)^2}$$

H = canto de la losa

Teniendo en cuenta que la sección de la losa aligerada, tal como la conforman los casetones, por el Teorema de Huygens es fácil calcular el momento de inercia, obteniendo como tal:

$$J' = \int_A r^2 \cdot dA$$

Por lo tanto, la rigidez a flexión de la placa aligerada será:

$$R'_f = \frac{E \cdot J'}{(1 - \mu)^2}$$

Esto dependerá del canto total elegido, de los espesores de las losas inferior y superior, y también del intereje y de los nervios, que, aunque en menor medida, afectan a la inercia de la placa.

Porque deberá ser: $R_f = R'_f$

Para modelar una losa maciza con la misma rigidez a flexión que una aligerada será necesario o bien reducir el módulo de elasticidad E del hormigón o el momento de inercia del factor:

$$\alpha_{rf} = 12 \cdot \frac{J'}{i \cdot H^3}$$

i = intereje de los nervios.

Es decir, la relación de los momentos de inercia.

3.2.2.2. Rigidez a torsión

Incluso en este caso, se calcula la resistencia a la torsión de la sección maciza y aligerada.

$$\alpha_{rf} = \frac{J'_t}{J_T}$$

Su relación representa el factor de reducción de la rigidez a torsión.

3.2.2.3. Rigidez cortante

En este caso el factor de reducción de la rigidez a cortante será menos importante y la relación entre las áreas de la sección maciza y aligerada:

$$\alpha_t = \frac{A'}{A}$$

Esta relación puede modificarse cambiando la distancia entre nervios, es decir, aumentando o disminuyendo el ancho de los mismos en función de la relación deseada.

3.2.3. Cálculo del peso propio

El peso de la losa aligerada depende del volumen V medio y del aligeramiento elegido.

El intereje determina la relación por unidad de aligeramiento:

$$n = \frac{1}{i^2} [\text{pc}/\text{m}^2]$$

El consumo de hormigón de una losa aligerada de espesor H (expresada en metros) será, por tanto:

$$C_a = 0,01 \cdot H - (n \cdot V) [\text{m}^3/\text{m}^2]$$

Una vez más, la relación entre este valor y el valor de la losa dará el factor de reducción de la masa total del forjado:

$$\alpha_m = \frac{C_a}{C_m}$$

3.2.4. Construcción del modelo de cálculo

Ahora podemos pasar a modelar mediante elementos finitos de la estructura, dando a las partes aligeradas los coeficientes de reducción calculados anteriormente



y dejando sin cambios las de las partes que sean las de la losa maciza.

La extensión de los capiteles de los pilares se puede calcular en el primer ejemplo, tomando como extensión mínima aquella que contiene el perímetro del punzonamiento capaz de soportar sin armadura y, en cualquier caso, no inferior a $2,75 d$ desde la cara del pilar donde d es la altura útil de la sección.

3.3. Dimensionamiento y verificación de la armadura

Una vez construido, el modelo de cálculo, se pueden obtener los valores de las sollicitaciones (N, M, V) que actúan sobre la placa aligerada.

A partir de estas tensiones se puede proceder al dimensionamiento y verificación del refuerzo mediante la aplicación de los métodos habituales de la ciencia de la construcción y siguiendo las prescripciones normativas nacionales.

3.3.1. Verificación a flexión

Para la flexión se producen básicamente dos métodos comúnmente aplicados:

1. Método de Wood-Armer: uno conduce a dos momentos ficticios en dos direcciones ortogonales, M^*_{XX} e M^*_{YY} , que se calcula como una combinación adecuada de momentos según los ejes xx e yy . Nor-

malmente, el software de elementos finitos calculará automáticamente los momentos M^*_{xx} e M^*_{yy} que se utilizarán para el cálculo de refuerzo (fig. 4).

2. Método Hillerborg: también conocido de los nervios. Se divide la losa en nervios/vigas considerados independientes unos de otros y se dimensiona la armadura simplemente según los momentos M_{xx} y M_{yy} .

Una vez que ha calculado dichos momentos, las pruebas de comprobación de la armadura se pueden hacer con el cálculo habitual a la rotura del estado límite último, haciendo referencia a una sección en el hueco rectangular.

El Eurocódigo 2 indica los puntos que hay que cumplir que son los mismos que los de la losa maciza:

- 6.1. Flexión simple y compuesta.
- 6.6. Anclajes y empalmes de las armaduras.
- 7.3. Gestión de la fisuración.
- 8.1. Generalidades.
- 8.2. Recubrimientos.
- 8.3. Curvado de barras según diámetro.
- 8.4. Longitud de anclaje de la armadura longitudinal.
- 9.2.1.1. Armadura mínima.

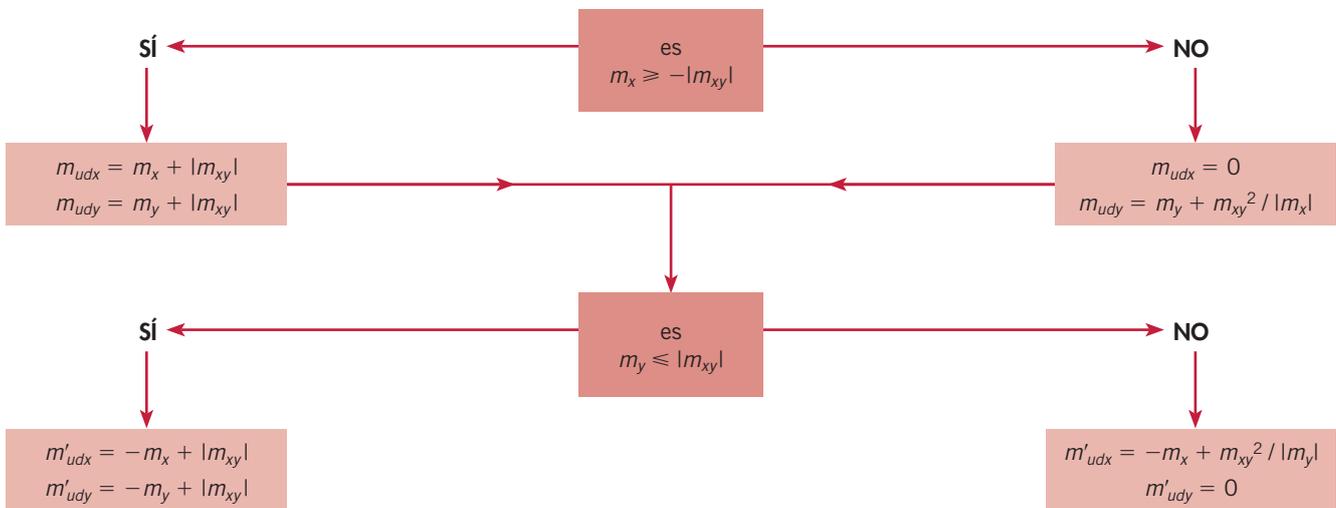


Figura 4.

- 9.3.1. Armado a flexión (forjados).
- 9.4. Forjado losa maciza.

3.3.2. Comprobación a cortante y punzonamiento

La presencia del aligeramiento reduce la sección resistente a cortante de la placa.

En referencia a la sección hueca:

$$l = (B + b)$$

La resistencia sin armadura será igual a:

$$V_{rd,c} = \alpha_t \cdot v_{rd} \cdot l \cdot d$$

Con relación entre las áreas de la sección aligerada y de la sección maciza.

$$\alpha_t = \frac{A'}{A}$$

$$v_{rd,c} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq v_{\min} \text{ según EC2-6.6.2.}$$

En todos los puntos en los que se supera este valor, normalmente en la proximidad de las capitales y de los apoyos en los muros, se deberá preveer armadura a cortante, normalmente serpientes verticales. La resistencia cortante de la sección será entonces el menor de:

$$V_{rd,m\acute{a}x.} = \alpha_t \cdot \frac{\alpha_{cw} \cdot l \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)}{1 + \cot^2 \alpha}$$

y

$$V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{wy} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

De acuerdo con EC2-6.2.3 (4) y lo indicado en 6.13 y 6.14.

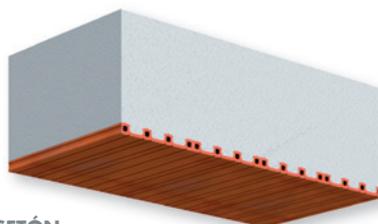
En cuanto al punzonamiento, en la proximidad de los apoyos se tienen zonas macizas se siguen los métodos tradicionales de dimensionamiento y verificación usados para las losas macizas.

Casetones KNAUF Ceraclip® para aligeramiento de forjados

- Casetones de poliestireno expandido **EPS** con tableros cerámicos insertados en la cara vista.
- Cumplen con las exigencias del Código Técnico «Documento Básico-SI».
- Resistencia **EI-90** a la propagación de fuego entre sectores de incendio, en sentido transversal (ensayo sin recubrimiento de yeso).
- Máximo aligeramiento sin problemas de fisuras en yesos o colgado de lámparas y falsos techos.



CASETÓN RETICULAR
60 x 60



CASETÓN UNIDIRECCIONAL DE GRANDES CANTOS

Knauf Miret S.L.
c/Calafell, 1-08720 Vilafranca del Penedès
Tel. 938 906 943 - Fax. 938 906 925
pilar.peiro@knauf.fr
www.knauf-industries.com

KNAUF INDUSTRIES



Hay más información disponible en los siguientes puntos del Eurocódigo 2:

- 6.2.1. Esfuerzo cortante: procedimiento general de comprobación.
- 6.4.1. Punzonamiento: generalidades.
- 8.5. El anclaje de las armaduras a cortante y las armaduras transversales.
- 9.3.2. Armadura a cortante.
- 9.4.3. Armadura a punzonamiento.

3.3.3. Retracción y deformación permanente

En este caso se puede utilizar sencillamente lo que prescribe el Eurocódigo 2:

- 2.3.2.2. Retracción y deformación permanente.
- 5.8.4. Deformación.
- Anexo B. Deformación debida a la retracción y la deformación futura.

3.3.4. Cálculo de la deformación y comprobación de la flecha

El cálculo de la deformación se puede calcular según lo que indica el Capítulo 7.4.3 del Eurocódigo 2.

Las indicaciones para la comprobación de la flecha se encuentran en el Capítulo 7.4.

Si se desea proceder a un cálculo de las flechas con el análisis de elementos finitos no lineales, hay que tener en cuenta que, en la fase de fisuración, la losa aligerada tiene la misma inercia que la maciza solo hasta que el eje neutro no corta al nervio.

Por lo tanto, es necesario controlar la posición del eje neutro y, eventualmente, aplicar incrementos adecuados para aumentar la inercia calculada de modo análogo a lo que se hizo para la sección en la fase elástica, pero en la sección fisurada.

3.4. Resistencia al fuego

Los criterios tabulados de resistencia al fuego se dan en el capítulo 5.7.5 de la Parte 1-2 EC2, tablas 5.10 y 5.11:

Resistencia estándar al fuego	Dimensiones mínimas (mm)			
	Posibles combinaciones de ancho del nervio b_{\min} y distancia del eje a			Espesor de la losa h_s y distancia del eje a en el borde
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 15^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 35$	120 25	≥ 200 15*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 45$	160 40	≥ 250 30	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 60$	190 55	≥ 300 40	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 220$ $a = 75$	260 70	≥ 410 60	$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 75	≥ 500 70	$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Para las losas nervadas pretensadas, la distancia del eje a debe aumentarse de acuerdo con 5.2 (5). A_{sd} indica la distancia medida entre el eje del refuerzo y la superficie lateral del nervio expuesto al fuego.				
* Normalmente se controlará la cubierta requerida por EN 1992-1-1.				

Tabla 5.10. Dimensiones mínimas y distancia entre ejes para losas de dos vías, simplemente soportadas en hormigón armado o pretensado.

Resistencia estándar al fuego	Dimensiones mínimas (mm)			
	Posibles combinaciones de ancho del nervio b_{\min} y distancia del eje a			Espesor de la losa h_s y distancia del eje a en el borde
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 10^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 25$	120 15*	≥ 200 10*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 35$	160 25	≥ 250 15*	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 45$	190 40	≥ 300 30	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Para las losas nervadas pretensadas, la distancia del eje a debe aumentarse de acuerdo con 5.2 (5). A_{sd} indica la distancia medida entre el eje del refuerzo y la superficie lateral del nervio expuesto al fuego.				
* Normalmente se controlará la cubierta requerida por EN 1992-1-1.				

Tabla 5.11. Dimensiones mínimas y distancias de los ejes para las losas con nervios de dos vías en hormigón armado o pretensado con al menos un borde sujeto.

Alternativamente, se puede llevar a cabo un análisis de elementos finitos con la aplicación de una curva estándar de temperatura siguiendo los requisitos del capítulo 4.3 de la Parte 1-2 EC2.

3.5. Aislamiento acústico

Normalmente, los proveedores de los aligeramientos proporcionan, a petición de la obra, pruebas de laboratorio o in situ, que muestran las prestaciones acústicas del sistema, cuyos resultados determinan el nivel de reducción de ruido.

4. COMPARACIÓN CON LAS LOSAS MACIZAS

Las losas aligeradas mantienen todas las características y ventajas de sus homólogas, las losas macizas:

1. Espesores reducidos.
2. Ausencia de nervios.
3. Alta rigidez y flecha reducida.
4. Buen comportamiento al fuego.
5. Buen comportamiento acústico.
6. Facilidad de ejecución gracias al uso de barras rectas y mallas electrosoldadas para el armado.

Obviamente la reducción de materia obtenida gracias a la incorporación del aligeramiento en el vertido produce una reducción de la rigidez de la estructura, la cual se compensa con un mayor peso propio.

4.1. Predimensionamiento

Por lo que concierne a un primer dimensionado del espesor, la losa aligerada sigue los mismos criterios y reglas prácticas que se utilizan para la losa maciza.



AHORA CON LA NUEVA CHARFLAME, LA GAMA MÁS COMPLETA DE PINTURAS PARA PROTEGER ESTRUCTURAS CONTRA EL FUEGO

PERLITA
Y VERMICULITA

Charflame

Nullifire

carboline
Coatings - Linings - Fireproofing



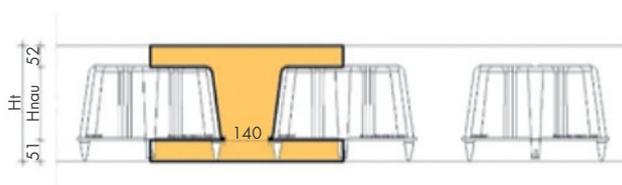
Fábrica

Polígono Can Prunera: C/ Garraf s/n
08759 Vallirana, Barcelona
Tel. +34 93 683 44 00
Fax. +34 93 683 44 01

Oficinas centrales

C/ Muntaner 400 Bajos izquierda
08006 Barcelona
Tel. +34 93 209 60 19
Fax. +34 93 240 50 51
info@perlitayvermiculita.com
www.perlitayvermiculita.com





Espacios de separación $L_x \times L_y$	Cargas $G'_k + Q_k$	Espesor propuesto	S_1	$H_{nautilus}$	S_2	Placa de inercia nautilus J_{nau}
[m]	[kN/m ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ⁴]
5	5,00	20	5	10	5	60.821,26
6	5,00	23	5	13	5	88.537,95
7	5,00	25	6	13	6	117.362,62
8	5,00	28	6	16	6	158.952,73
9	5,00	32	7	20	5	226.197,71
10	5,00	34	7	20	7	280.664,38
11	5,00	36	7	24	5	307.772,12
12	5,00	40	8	24	8	452.305,45
13	5,00	44	8	28	8	581.150,55
14	5,00	50	7	36	7	779.649,39
15*	5,00	58	10	41	7	1.236.413,18
16*	5,00	64	8	48	8	1.561.851,26
17**	5,00	68	10	48	10	1.997.584,59
18**	5,00	72	10	52	10	2.317.962,12
19**	5,00	74	10	56	8	2.386.739,39
20**	5,00	76	10	56	10	2.668.006,06

* Se recomienda hormigón de alto rendimiento

** Se recomienda el post tensionado

Tabla 1.

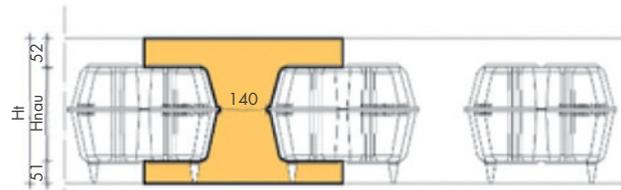
1. Losa aligerada sobre pilares: $L/25 < S < L/30$ según el criterio de carga ELU.
2. Losa aligerada sobre jácenas o capiteles colgantes: $L/30 < S < L/35$.

En la tabla 1, ofrecemos una idea de un predimensionamiento de una losa aligerada en función de las luces

entre los pilares y la hipótesis de una carga $G'_k + Q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$.

4.2. Efectos de la reducción de la rigidez

La reducción de la rigidez está en función de la geometría del aligeramiento y no es una función lineal con su



Placa plana de inercia J_{lleno}	Tablero del nautilus del peso propio P_{nau}	Placa plana de peso propio P_{lleno}	Pérdida de inercia	Peso / reducción concreta	Cargas / reducción de refuerzo
[cm ⁴]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	%	%	%
66.666,67	3,63	5,00	-8,77	-27,4	-13,0
101.391,67	4,15	5,75	-12,68	-27,8	-14,2
130.208,33	4,65	6,25	-9,87	-25,6	-13,6
182.933,33	5,18	7,00	-13,11	-26,0	-14,5
273.066,67	5,78	8,00	-17,16	-27,8	-16,4
327.533,33	6,28	8,50	-14,31	-26,1	-15,8
388.800,00	6,38	9,00	-20,84	-29,1	-18,0
533.333,33	7,38	10,00	-15,19	-26,2	-16,8
709.866,67	7,98	11,00	-18,13	-27,5	-18,2
1.041.666,67	8,48	12,50	-25,15	-32,2	-22,3
1.625.933,33	9,98	14,50	-23,96	-31,2	-22,5
2.184.533,33	10,73	16,00	-28,50	-32,9	-24,4
2.620.266,67	11,73	17,00	-23,76	-31,0	-23,4
3.110.400,00	12,43	18,00	-25,48	-30,9	-23,6
3.376.866,67	12,65	18,50	-29,32	-31,6	-24,3
3.658.133,33	13,15	19,00	-27,07	-30,8	-23,8

espesor, además la influencia del espesor de la losa inferior es, en mucha menor medida, del intereje entre los aligeramientos.

Es importante diseñar la sección aligerada de modo que la reducción de la rigidez se compense con la ligereza de la losa, ajustando de modo oportuno los espesores de las losas superior e inferior.

Las figuras 5 a 7 muestran como, al variar la altura del aligeramiento, y por ello el espesor de la losa, y fijado un intereje, se aumenta el espesor de las capas superior e inferior, para que siempre sea posible hacer que la reducción del peso sea superior a la pérdida de rigidez, manteniendo así inalteradas las prestaciones de la losa aligerada en relación con la equivalente maciza.



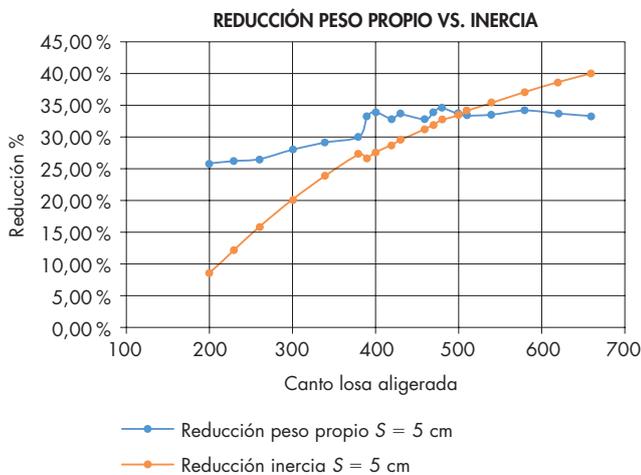


Figura 5. Pérdida de rigidez a la flexión versus la reducción de peso para las placas aligeradas con pisos superior e inferior de 5 cm de espesor.

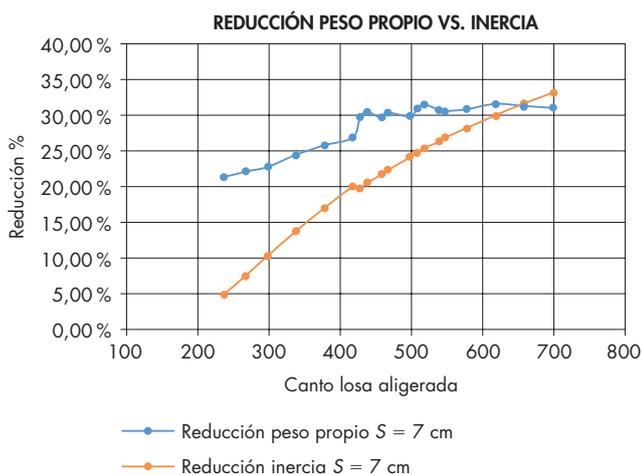


Figura 6. Pérdida de rigidez a la flexión versus la reducción de peso para las placas aligeradas con pisos superior e inferior de 7 cm de espesor.

4.2.1. Conclusiones

Si se dimensiona la sección de forma adecuada, escogiendo la altura del aligeramiento en función del espesor deseado y de los espesores adecuados de la losa superior e inferior, es siempre posible hacer que la pérdida de inercia sea netamente compensada con la reducción de peso.

Obrando de este modo, se obtienen losas que tienen un peso inferior de media un 25% respecto de la equivalente maciza, perdiendo solamente de un 8-15% de la rigidez.

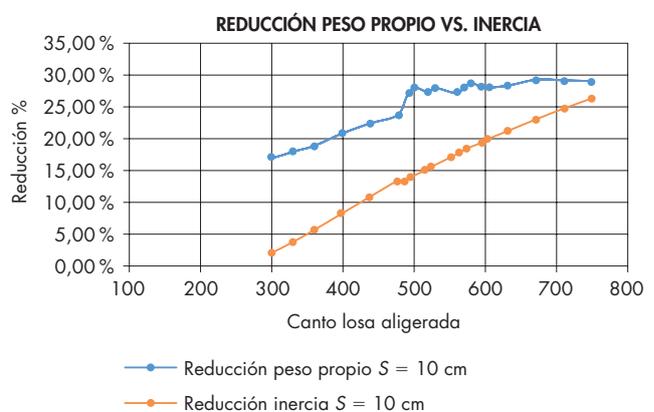


Figura 7. Pérdida de rigidez a la flexión versus la reducción de peso para las placas aligeradas con losas superior e inferior del espesor de 10 cm.

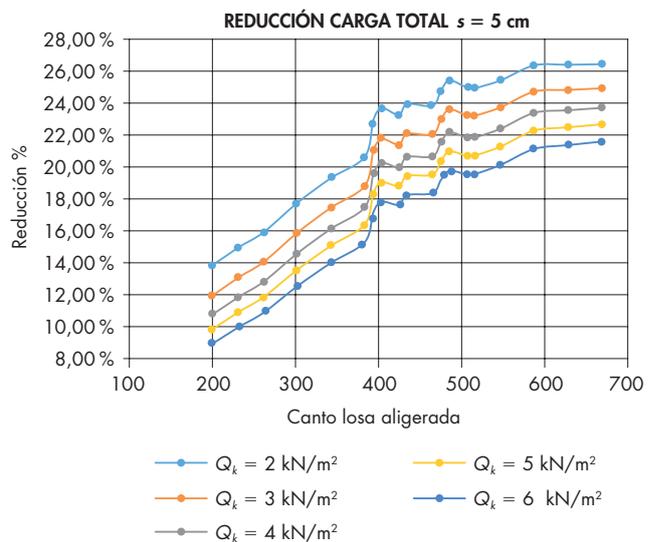


Figura 8. Reducción de la carga función ELU del espesor de la placa en el caso de losas inferior y superior del espesor de 5 cm.

4.3. Reducciones de las cargas intervinientes

La primera consecuencia de la reducción del peso a igualdad de espesor respecto de su homóloga maciza es que los forjados y la estructura vertical, todas se benefician de una reducción de carga en el ELU, que en función de la disminución del peso propio de la losa y de las sobrecargas de proyecto.

Las figuras 8 a 10 muestran, al variar el espesor de las capas superior e inferior, cómo la reducción de la car-

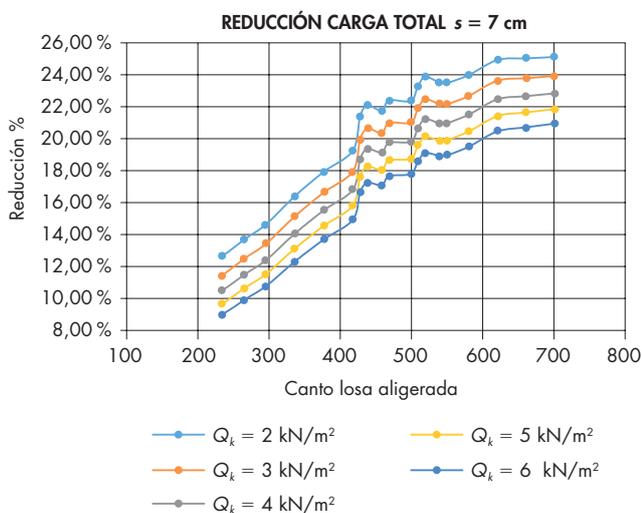


Figura 9. Reducción de la carga función ELU del espesor de la placa en el caso de losas superior e inferior y el espesor de 7 cm.

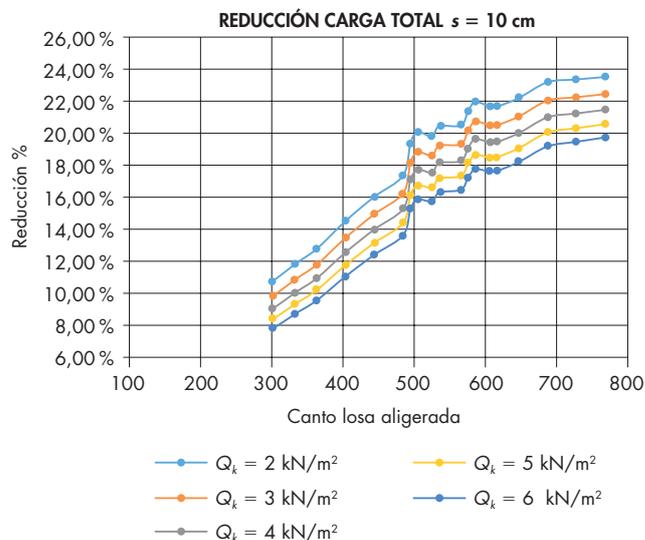


Figura 10. Reducción de la carga función ELU del espesor de la placa en el caso de losas superior e inferior y el espesor de 10 cm.

ga vertical en ELU es variable entre un 8-10% mínimo, hasta el 25%.

Las figuras también muestran la entidad del beneficio en las hipótesis de una carga permanente fija G_k fijo de 2,0 kN/m² al variar el espesor de la losa y de la carga variable Q_k . Aunque el ancho del nervio se mantiene invariable.

La reducción de la carga vertical permite un ahorro directo de cuantía de acero en el forjado y un ahorro indirecto en el dimensionamiento de los apoyos y pilares. Tales ahorros contribuyen a un aligeramiento posterior para toda la estructura con el consiguiente beneficio en la cimentación.

4.3.1. Reducción de la masa sísmica

El aligeramiento de los forjados y, en consecuencia, para el total de la estructura, tiene consecuencias importantes en el comportamiento sísmico de la misma.

Aunque no es posible dar indicaciones genéricas de la importancia del beneficio a nivel sísmico, en cuanto a la aceleración sísmica, viene dada por la curva del espectro de respuesta que es función de la frecuencia propia de la vibración de la estructura, la cual debe ser validada caso por caso, salvando todavía que la fuerza sísmica en cuestión sea función directa de la masa del edificio.

El aligeramiento de los forjados y de la estructura vertical comporta así mismo una reducción importante de la fuerza sísmica en cuestión sobre el edificio.

4.3.2. Comparación con un edificio tipo

A título de ejemplo hemos hecho una comparación entre dos edificios idénticos. Uno con forjados de losa maciza y uno con losas aligeradas.

Las hipótesis de inicio son las siguientes:

1. Forjado de espesor 28 cm y superficie aproximada de 500 m².
2. Luces entre pilares 8 × 8 m.
3. Edificio de 10 plantas.
4. Pilares y apoyos dimensionados automáticamente según el software FEM para estimar el ahorro de carga verticales.
5. Cargas de proyecto:

$$G_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 - Q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2.$$

6. Aceleración sísmica: 0,257 g (fig. 11).



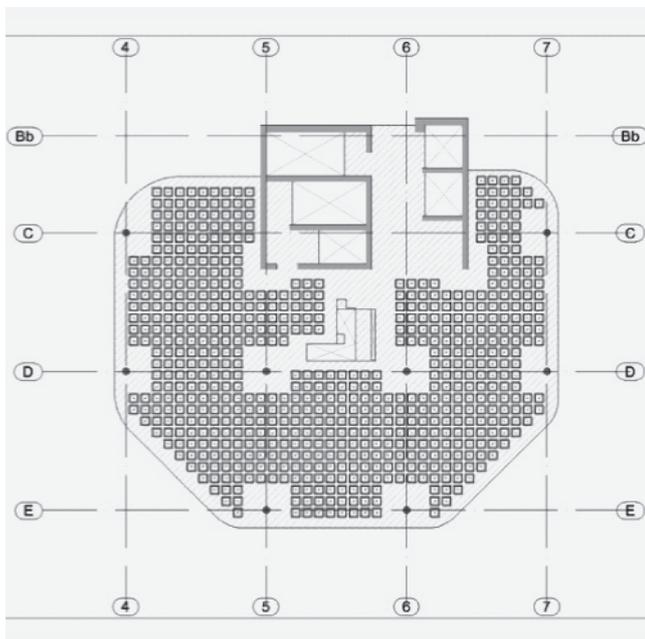


Figura 11. Planta de desbastes tipo aligerado.

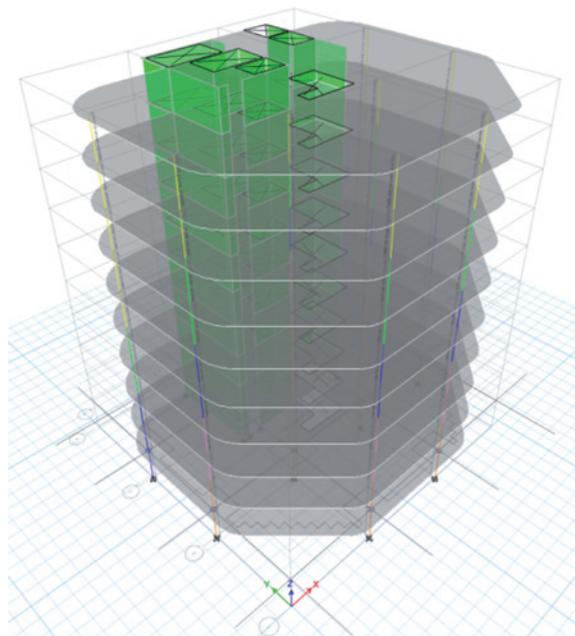


Figura 12. Modelo de los cálculos del edificio.

SGS

SGS es líder Mundial en Inspección, Verificación, Ensayos y Certificación

Fundado en 1878, SGS está considerada como principal referente mundial en calidad e integridad. Con más de 85.000 empleados, SGS opera a través de su red de 1.800 oficinas y laboratorios por todo el mundo.

El núcleo de sus actividades lo constituyen los servicios de inspección y supervisión del comercio internacional de productos agrícolas, minerales, petróleo y petroquímicos, equipos industriales y bienes de consumo. A lo largo de los años, SGS ha ampliado sus actividades hacia campos no dependientes del comercio,

como son la certificación de calidad y la gestión industrial.

Establecido en España desde 1929 dentro de su sector de actividad de control del tráfico de mercancías, SGS se constituye en **el mayor grupo empresarial en el sector de calidad.**

En la actualidad, el Grupo SGS España cuenta con más 3.700 profesionales, que son su principal activo. Está presente en todas las Comunidades Autónomas a través de sus 131 oficinas y laboratorios (entre fijos y móviles).

NUESTROS PRODUCTOS

- Organismo de Control Técnico.
- Asistencia Técnica en la Edificación.
- Geotecnia (Estudios y Asesorías).
- Edificación (Estructuras, Instalaciones, Acabados, Patologías, Due Diligence...).
- Monitorización de Estructuras de Edificación y Obra Civil.
- Obra Civil (Asistencia Técnica en Proyectos y Obras).
- Laboratorio de Materiales de Construcción.



Edificio SGS en Barcelona.

DATOS DE LA EMPRESA

Nombre: **SGS**
 Fecha de creación: **1878**
 Delegaciones en España: **en todas las Comunidades Autónomas**
 N.º de trabajadores en España: **3.700**
 Oficinas en Barcelona:
SGS
 c/ Llull 95-97, 5.ª planta
 08005 Barcelona
 Tel.: +34 93 320 36 17
 Fax: +34 93 320 36 20 / 21
 www.sgs.es

		Losa maciza	Losa aligerada
Espesor total	H [mm]	280	280
Espesor losa inferior	S_1 [mm]		60
Espesor losa superior	S_2 [mm]		60
Altura aligeramiento	H [mm]		160
Ancho del nervio	B [mm]		140
Intereje	l [mm]		660
Inercia del forjado	J [cm ⁴ /m]	182,933	158,844
Consumo de hormigón	C [m ³ /m ²]	0,280	0,207
Peso propio	P [kN/m ²]	7,0	5,18

Tabla 2.

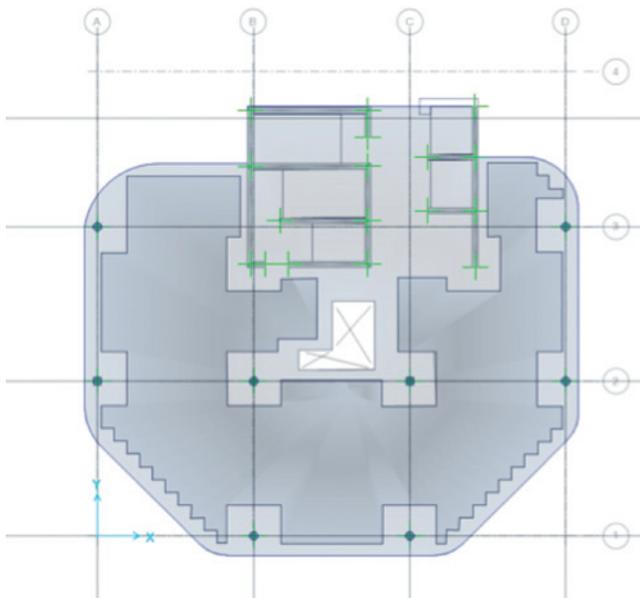


Figura 13. Modelo FEM de la placa típica.

1. En gris oscuro: losa aligerada.

- a) Factor de reducción de la rigidez a flexión: 0,87.
- b) Factor de reducción de la rigidez a cortante: 0,60.
- c) Factor de reducción de la masa: 0,74.

2. En gris claro: losa maciza.

- a) Factor de reducción de la rigidez a flexión: 1,00.
- b) Factor de reducción de la rigidez a cortante: 1,00.
- c) Factor de la reducción de la masa: 1,00.

4.3.3. Comparación de la deformada

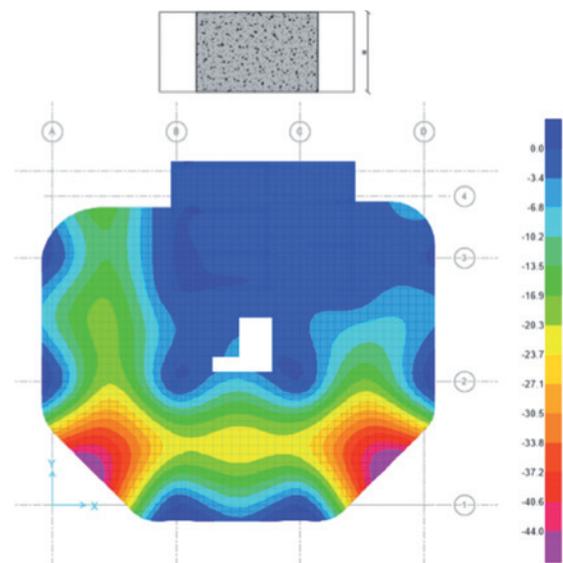


Figura 14. A largo plazo de flecha: 49,76 mm.

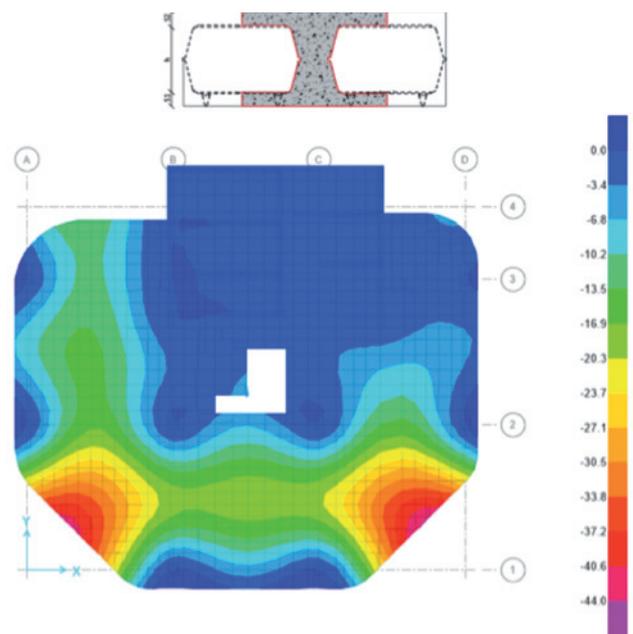


Figura 15. A largo plazo de flecha: 42,77.

4.3.4. Comparación de los momentos flectores

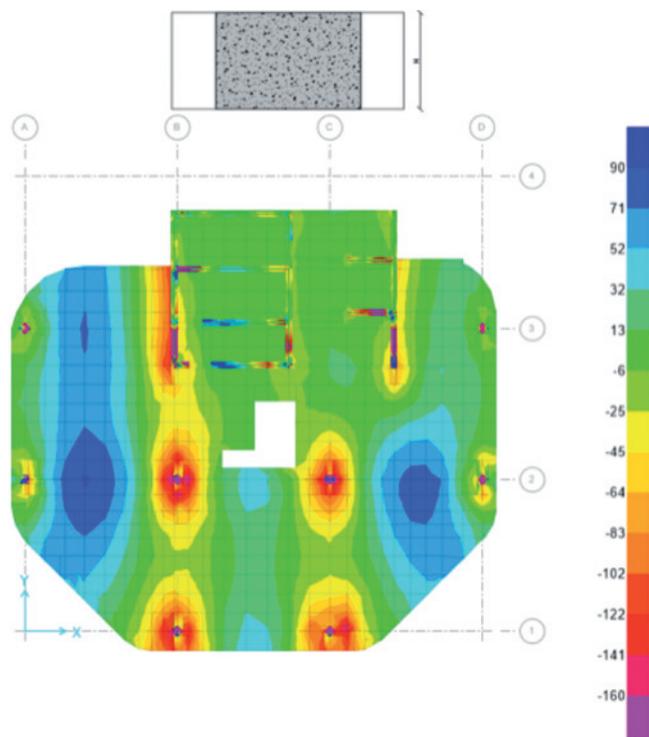


Figura 16. Placa llena: M_{xx} .

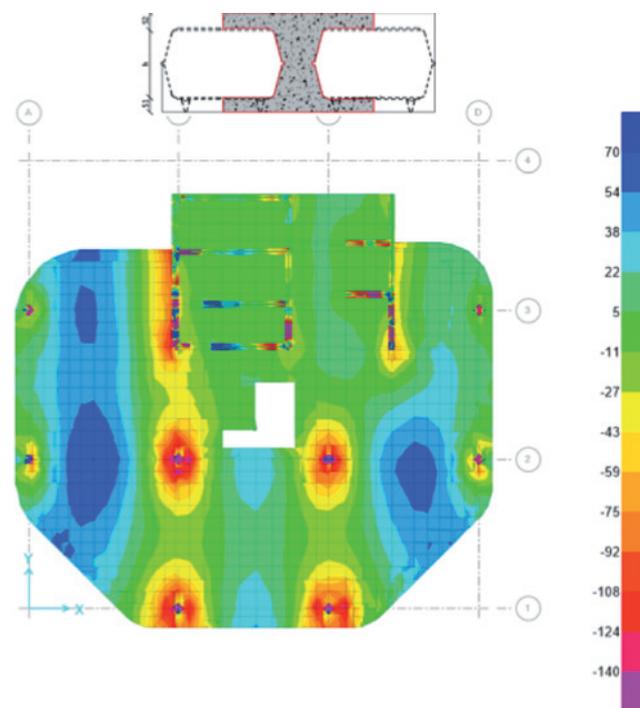


Figura 17. Placa aligerada: M_{yy} .

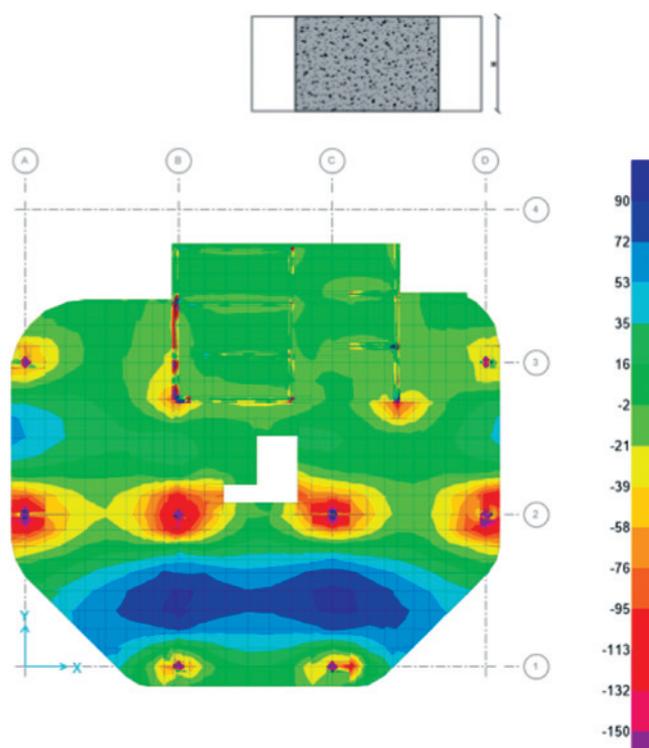


Figura 18. Placa llena: M_{yy} .

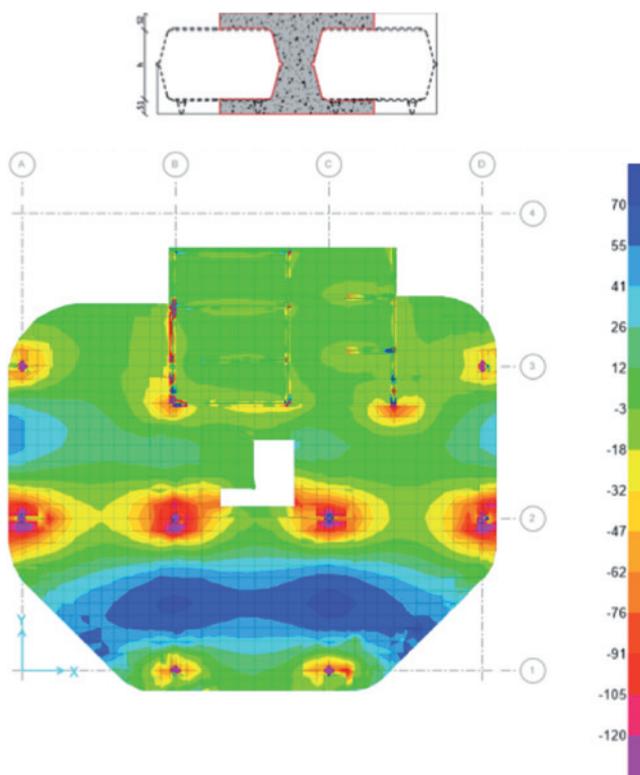


Figura 19. Placa aligerada: M_{yy} .

4.3.5. Conclusiones

	Maciza	Aligerada	Dif. %
FLECHA [mm]	49,76	42,77	-14%
	Maciza	Aligerada	Dif. %
M_{xx+} [kNm]	115,02	73,56	-36,05%
M_{xx-} [kNm]	-425,06	-229,75	-45,95%
M_{yy+} [kNm]	91,84	98,87	7,65%
M_{yy-} [kNm]	-346,82	-287,99	-16,96%

Tabla 3.

Los momentos flectores quedan afectados por la redistribución debida al hecho de que la losa maciza tiene rigidez constante mientras que la aligerada es más rígida en los apoyos con la consiguiente migración del momento negativo.

La reducción media del momento flector está entorno al 17%.

4.3.6. Reducciones de la carga total

Si tenemos en cuenta la valoración de la reducción del peso y la carga de cada forjado, añadiendo a la reducción del peso debida a la optimización de la estructura vertical sujeta a cargas menores, el beneficio total es todavía mayor:

Macizo		Aligerado	
Caja de carga/combo	FZ kN	Caja de carga/combo	FZ kN
Peso propio	45.097	Peso propio	30.464
Útil	13.627	Útil	13.627
Perm.	9.084	Perm.	9.084
ELU	93.586	ELU	73.831

Tabla 4.

Fijaciones metálicas para proyectos de ingeniería y construcción



Consultoría y servicio técnico

www.fator.es

comercial@fator.es



Certificación CE para pernos estructurales de alta resistencia para precarga EN 14399-1
 Certificación CE para pernos estructurales sin precarga EN 15048-1



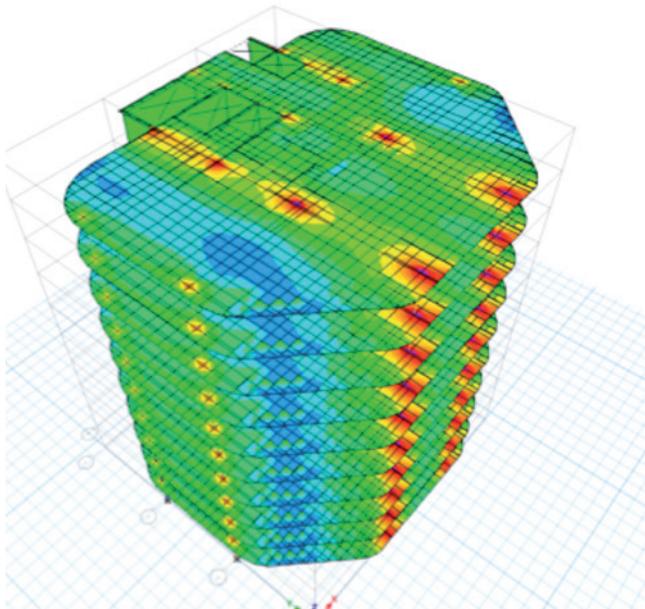


Figura 20.

1. -26% sobre el peso propio del forjado.
2. -32% del peso total del edificio.
3. -21% de la carga total de los cimientos.

4.3.7. Reducción de carga sísmica

Hemos hecho una comparación entre los dos edificios desde el punto de vista sísmico, tomando como referencia la curva del espectro de respuesta de la norma italiana, en una zona de elevada sismicidad y en la hipótesis más pesimista de un solo tipo **D** (fig. 21).

La tabla 5 muestra las diversas masas de participación modal en el caso de un edificio con forjado macizo o forjado aligerado.

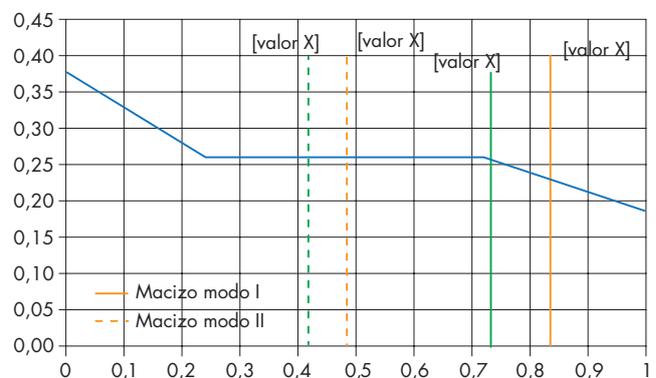


Figura 22.

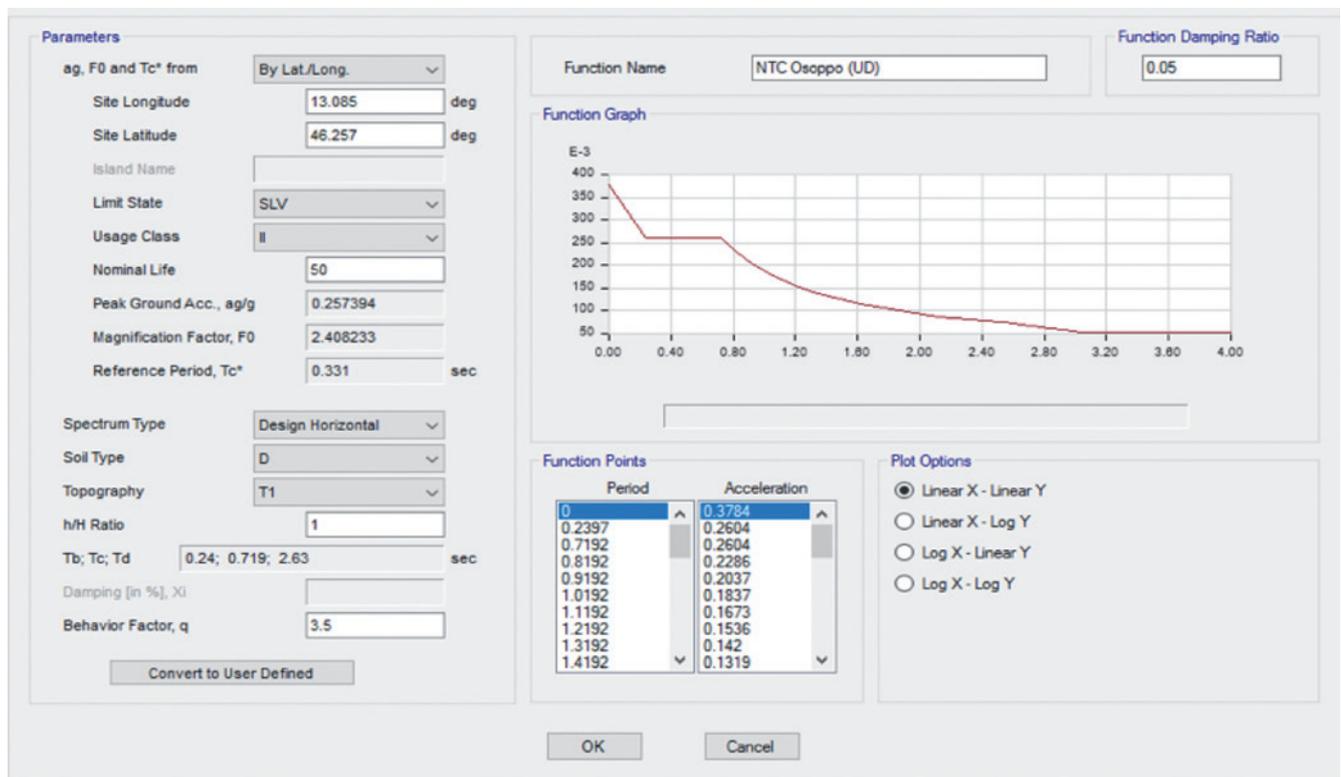
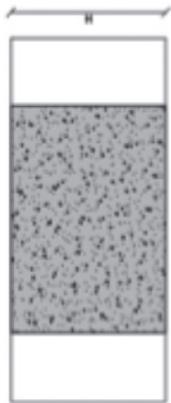
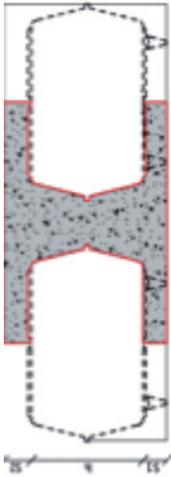


Figura 21.



Macizo													Aligerado					
Caso	Modo	Periodo seg.	UX	UY	UZ	Suma UX	Suma UY	Caso	Modo	Periodo seg.	UX	UY	UZ	Suma UX	Suma UY			
Modal	1	0,83	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	Modal	1	0,732	0,49	0,00	0,00	0,49	0,00			
Modal	2	0,48	0,00	0,68	0,00	0,50	0,68	Modal	2	0,419	0,00	0,68	0,00	0,49	0,68			
Modal	3	0,34	0,15	0,00	0,00	0,66	0,68	Modal	3	0,306	0,17	0,00	0,00	0,66	0,68			
Modal	4	0,22	0,15	0,00	0,00	0,80	0,68	Modal	4	0,192	0,14	0,00	0,00	0,80	0,68			
Modal	5	0,11	0,01	0,11	0,00	0,81	0,79	Modal	5	0,098	0,00	0,15	0,00	0,80	0,83			
Modal	6	0,11	0,01	0,10	0,00	0,83	0,89	Modal	6	0,093	0,02	0,05	0,00	0,82	0,89			
Modal	7	0,08	0,08	0,00	0,00	0,91	0,89	Modal	7	0,073	0,09	0,00	0,00	0,91	0,89			
Modal	8	0,07	0,02	0,00	0,00	0,93	0,89	Modal	8	0,06	0,02	0,00	0,00	0,93	0,89			
Modal	9	0,05	0,01	0,00	0,00	0,94	0,89	Modal	9	0,044	0,01	0,02	0,00	0,93	0,91			
Modal	10	0,05	0,00	0,06	0,00	0,94	0,95	Modal	10	0,044	0,00	0,04	0,00	0,93	0,95			
Modal	11	0,04	0,00	0,00	0,00	0,94	0,95	Modal	11	0,036	0,00	0,00	0,00	0,93	0,95			
Modal	12	0,04	0,03	0,00	0,00	0,97	0,95	Modal	12	0,034	0,03	0,00	0,00	0,97	0,95			
Modal	13	0,04	0,00	0,00	0,00	0,97	0,95	Modal	13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,97	0,95			

Tabla 5.



El edificio con forjado macizo tiene un periodo propio de vibración ligeramente mayor mientras que el edificio con forjado aligerado se sitúa bajo la línea de la curva (fig. 22).

Además la reducción de la masa global interviene de forma mucho más relevante en la fuerza sísmica resultante (figs. 23 y 24).

El desplazamiento resulta ser un 36% inferior en el caso de forjados aligerados.

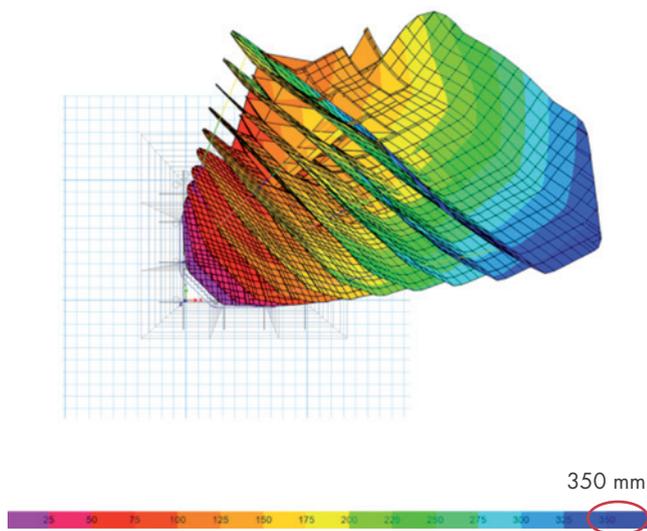


Figura 23. Desplazamiento debido a fuerzas similares, con la construcción de placa llena.

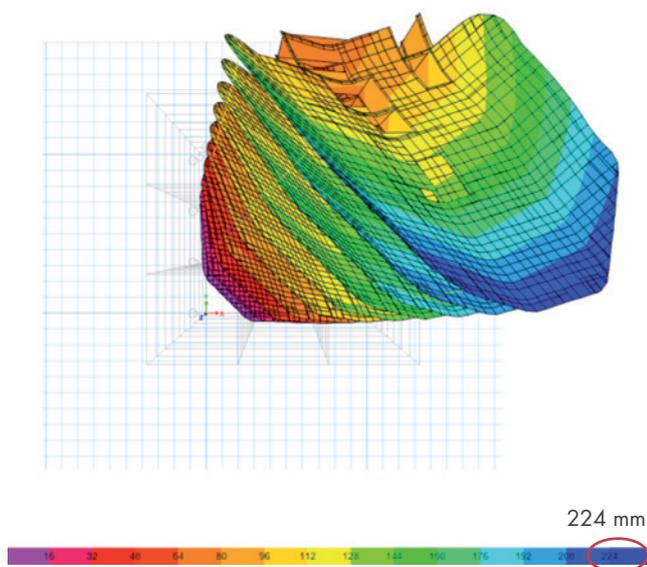


Figura 24. Desplazamiento debido a fuerzas similares, con la construcción de losa aligerada.

4.3.8. Reducción de las solicitaciones sísmicas

Véanse las tablas 6a y 6b y las figuras 25 y 26.

Aunque en este caso, la reducción de la fuerza sísmica solicitante es importante y del orden del 36% menos.

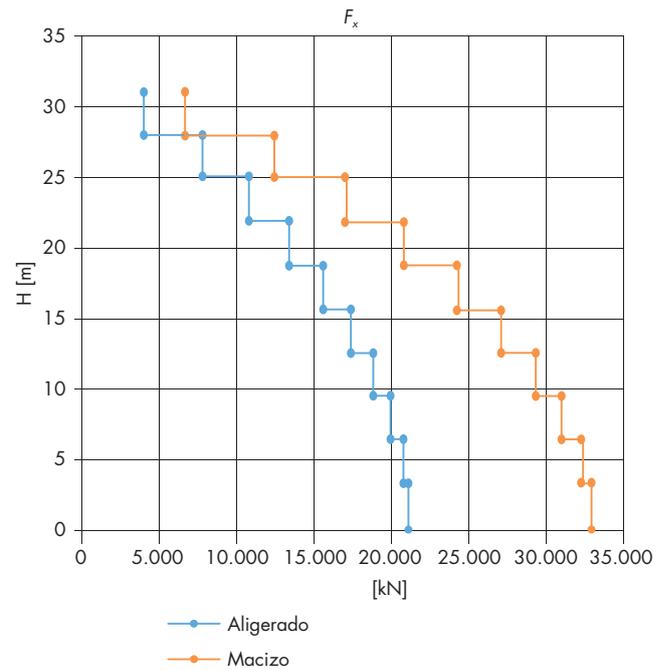


Figura 25. Fuerza sísmica horizontal al plano: dirección X.

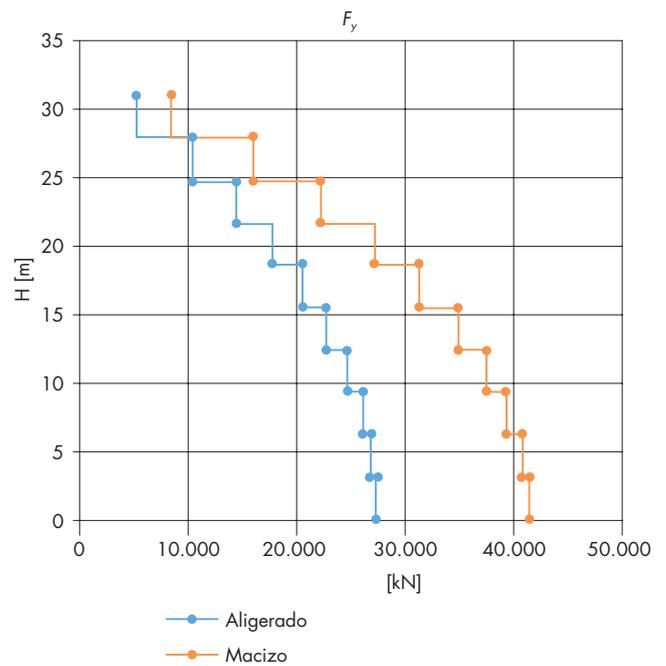
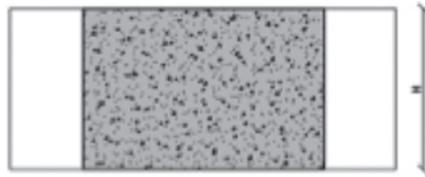
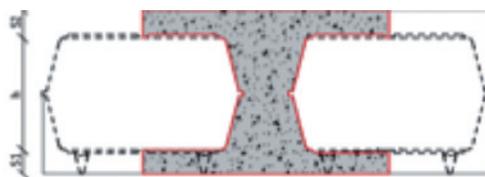


Figura 26. Fuerza sísmica horizontal al plano: dirección Y.



Macizo							
Piso	Combo	Localización	VX kN	VY kN	T kN·m	MX kN·m	MY kN·m
Piso10	SISM ENV Máx	Arriba	6.624	8.491	131.852	0	0
Piso10	SISM ENV Máx	Abajo	6.624	8.491	131.852	26.324	20.534
Piso9	SISM ENV Máx	Arriba	12.362	16.163	252.730	26.324	20.534
Piso9	SISM ENV Máx	Abajo	12.362	16.163	252.730	76.339	58.755
Piso8	SISM ENV Máx	Arriba	16.931	22.274	349.612	76.339	58.755
Piso8	SISM ENV Máx	Abajo	16.931	22.274	349.612	144.945	110.856
Piso7	SISM ENV Máx	Arriba	20.760	27.247	429.263	144.945	110.856
Piso7	SISM ENV Máx	Abajo	20.760	27.247	429.263	228.241	173.971
Piso6	SISM ENV Máx	Arriba	24.216	31.379	495.901	228.241	173.971
Piso6	SISM ENV Máx	Abajo	24.216	31.379	495.901	323.377	246.246
Piso5	SISM ENV Máx	Arriba	27.037	34.762	550.577	323.377	246.246
Piso5	SISM ENV Máx	Abajo	27.037	34.762	550.577	428.035	326.638
Piso4	SISM ENV Máx	Arriba	29.229	37.455	594.336	428.035	326.638
Piso4	SISM ENV Máx	Abajo	29.229	37.455	594.336	540.161	413.830
Piso3	SISM ENV Máx	Arriba	30.919	39.516	627.928	540.161	413.830
Piso3	SISM ENV Máx	Abajo	30.919	39.516	627.928	657.940	505.905
Piso2	SISM ENV Máx	Arriba	32.153	40.886	650.204	657.940	505.905
Piso2	SISM ENV Máx	Abajo	32.153	40.886	650.204	775.759	598.300
Piso1	SISM ENV Máx	Arriba	32.774	41.511	660.294	775.759	598.300
Piso1	SISM ENV Máx	Abajo	32.774	41.511	660.294	899.933	696.001

Tabla 6a.



Aligerado							
Piso	Combo	Localización	VX kN	VY kN	T kN·m	MX kN·m	MY kN·m
Piso10	SISM ENV Máx	Arriba	3.989	5.271	83.905	0	0
Piso10	SISM ENV Máx	Abajo	3.989	5.271	83.905	16.340	12.365
Piso9	SISM ENV Máx	Arriba	7.746	10.369	167.271	16.340	12.365
Piso9	SISM ENV Máx	Abajo	7.746	10.369	167.271	48.425	36.311
Piso8	SISM ENV Máx	Arriba	10.809	14.443	234.249	48.425	36.311
Piso8	SISM ENV Máx	Abajo	10.809	14.443	234.249	92.912	69.569
Piso7	SISM ENV Máx	Arriba	13.373	17.759	289.053	92.912	69.569
Piso7	SISM ENV Máx	Abajo	13.373	17.759	289.053	147.222	110.371
Piso6	SISM ENV Máx	Arriba	15.537	20.509	334.565	147.222	110.371
Piso6	SISM ENV Máx	Abajo	15.537	20.509	334.565	209.460	157.446
Piso5	SISM ENV Máx	Arriba	17.309	22.759	371.808	209.460	157.446
Piso5	SISM ENV Máx	Abajo	17.309	22.759	371.808	278.086	209.654
Piso4	SISM ENV Máx	Arriba	18.749	24.546	401.687	278.086	209.654
Piso4	SISM ENV Máx	Abajo	18.749	24.546	401.687	351.718	265.888
Piso3	SISM ENV Máx	Arriba	19.872	25.909	424.734	351.718	265.888
Piso3	SISM ENV Máx	Abajo	19.872	25.909	424.734	429.115	325.172
Piso2	SISM ENV Máx	Arriba	20.638	26.818	440.092	429.115	325.172
Piso2	SISM ENV Máx	Abajo	20.638	26.818	440.092	506.547	384.614
Piso1	SISM ENV Máx	Arriba	21.004	27.235	447.049	506.547	384.614
Piso1	SISM ENV Máx	Abajo	21.004	27.235	447.049	588.138	447.342

Tabla 6b.

4.3.9. Conclusiones

Aligerar las losas de un edificio tiene como impacto inmediato la reducción de la cuantía de armadura en relación a la misma losa maciza del orden del 12-15%.

Por otro lado, el menor peso propio permite reducir el peso total del edificio ya que la estructura horizontal puede reducirse a causa de la mayor ligereza de los forjados.

El beneficio se incrementa al aumentar el número de plantas del edificio y puede llegar a una reducción del peso total del edificio del 30% y una reducción de la carga total en cimientos del 20%.

Análogamente, la fuerza sísmica llega a disminuir sensiblemente y en el ejemplo citado, representa un 36% menor.

Por todo ello, todos los ahorros citados compensan

ampliamente el coste de adquisición de los aligeramientos y su puesta en obra.

Como ya sabemos, el coste del hormigón, que es muy variable según cada país y región, y el impacto del coste del uso de elementos para aligerar, será mayor o menor.

De media, el coste del aligeramiento queda compensado en gran parte por el menor consumo del hormigón y también del ahorro de cuantía de acero que se logra en el global del edificio.

El tiempo de colocación de los aligeramientos es reducido (30-40 m²/h y operario), y se compensa ampliamente por el hecho de que el ahorro de acero en el forjado reduce el tiempo de colocación del mismo, y dicho tiempo, puede ser utilizado para la colocación en obra de los aligeramientos.

Todo esto, comporta que la ejecución de una losa aligerada resulta ser la misma que la de una losa maciza.



NUEVO NAUTILUS EVO

Elementos de PP reciclado para aligeramiento de losas

PARA MÁS INFORMACIONES



DALIFORMA, S.L.
c/ Tuset, 19
08006 - BARCELONA
Tel: 934 142 329
e-mail: info@daliforma.com



- ✓ LUCES HASTA 20 METROS
- ✓ FORJADO MÁS LIGERO
- ✓ FÁCIL COLOCACIÓN



NUEVO NAUTILUS EVO

El casetón modular de Geoplast garantiza:

- MEJOR RENDIMIENTO
- RÁPIDA EJECUCIÓN
- BAJO COSTE

El sistema de Geoplast se ha utilizado recientemente para la creación del majestuoso Marmara Kule, un complejo residencial y comercial de 30 pisos en el corazón de la ciudad de Estambul, en Turquía. Con respecto a una losa, Nuevo Nautilus Evo ha permitido reducir el consumo de hormigón y disminuir las cargas sobre los pilares y los cimientos. Ha contribuido a una reducción significativa de los costes y a la mejora de la respuesta sísmica del edificio.

