

**ESTUDIO DE ESTRUCTURA
EDIFICIO DE HARINERA DE CASETAS.
ZARAGOZA**

*Este Informe es propiedad intelectual de Laboratorio de Ensayos Técnicos.
No podrá ser reproducido parcialmente de forma que su contenido pueda cambiar el sentido de lo que se expone.*

Material resistente

Se trata de vigas de madera, por lo que aplicaremos para todos los cálculos y evaluación de capacidad resistente de la madera el CTE en su Documento Básico SE-M Estructuras de Madera.

En primer lugar, consideramos la madera, según el CTE, como madera maciza y le asignaremos una capacidad resistente de acuerdo con el citado Documento Básico, Estructuras de Madera en su anejo E.

Al no conocer la madera en sí y no poder ensayarla, vamos a considerar que se trata de madera aserrada especies coníferas, con una resistencia a flexión de 18 Megapascals (N/mm²).

El documento también especifica los coeficientes que se deben aplicar a las propiedades de la madera, para llegar a los valores de cálculo, así se especifica en el artículo 2.2.3.:

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

Siendo:

- X_k valor característico de la propiedad del material;
- γ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material definido en la tabla 2.3;
- k_{mod} factor de modificación, cuyos valores figuran en la tabla 2.4 teniendo en cuenta, previamente, la clase de duración de la combinación de carga de acuerdo con la tabla 2.2 y la clase de servicio del apartado 2.2.2.2.

En este caso considerando una madera aserrada o maciza, estos valores serían:

X_k (Resistencia Característica a Flexión) = 18,0 N/mm².

$\gamma_M = 1,30$

$k_{mod} = 0,60$

Por lo que la resistencia a flexión de cálculo será:

$X_d = k_{mod} \cdot (X_k/\gamma_M) = 0,60 \cdot 18,0/1,30 = 8,31$ N/mm².

Cálculo de la capacidad resistente.

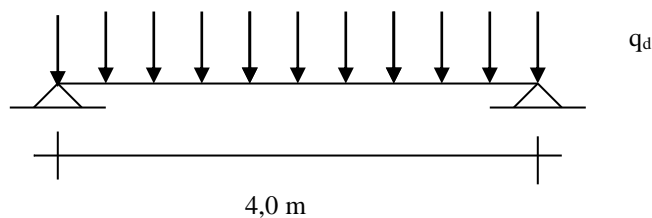
FORJADO ALTILLO

Viga principal.

Se han calculado estas vigas apoyadas en pilares de fundición cuyas características geométricas son:

- Luz: 4.0 m
- Anchura equivalente de carga: 2,05 metros (4,10/2)
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)
 $b = 230$ mm
 $h = 320$ mm

En estas condiciones, y sabiendo que la estructura de madera se comporta como un elemento bi apoyado en los pilares de fundición tendremos:



Como ya hemos indicado en líneas generales el aspecto de la madera en la viga principal es aceptable y pensamos que no se han perdido sus características resistentes.

Vamos a calcular la sobrecarga de uso máxima que puede soportar esta viga, partiendo de las siguientes cargas

CARGAS PERMANENTES.

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| Peso Propio Entramado | 1,0 kN/m ² |
| Tabiquería | 0,0 kN/m ² |
| Peso Propio Pavimento | 0,3 kN/m ² |

SOBRECARGAS.

Uso Us kN/m²

Con estos datos y los coeficientes de seguridad siguientes:

| | |
|----------------------------|------|
| Mayoración permanentes ... | 1,35 |
| Mayoración uso | 1,50 |

La carga uniformemente repartida será:

$$q_d = (1,30 \cdot 1,35 + U_s \cdot 1,50) \cdot 2,05 = 3,60 + 3,075 S_u$$

valor que vendrá dado en kN/m, si S_u se da en kN/m²

Como sabemos:

$$\sigma = M_d / W_x$$

Siendo W_x el módulo resistente en esa dirección y M_d el momento de cálculo.

$$W_x = 1/12 \cdot b \cdot H^3 / H/2 = 1/12 \cdot 23 \cdot 32^3 / 16 = 3.925,33 \text{ cm}^3.$$

Y, por lo tanto:

$$\sigma = M_d / 3.925,33 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

por lo tanto

$$M_d < 8,31 \text{ N/mm}^2 \cdot 3.925,00 \text{ cm}^3 = 32,62 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Como sabemos al tratarse de una viga biapoyada, su momento es

$$M_d = 1/8 q_d \cdot L^2 = 1/8 \cdot q_d \cdot 4^2 = 2 \cdot q_d < 32,62 \text{ kN/m}$$

Por lo que

$$q_d = 3,60 + 3,075 S_u < 16,31 \text{ kN/m} \rightarrow S_u = 4,13 \text{ kN/m}^2$$

Viguetas de forjado.

Estas viguetas inicialmente apoyaban en la viga principal anteriormente calculada, aunque en estos momentos tienen un refuerzo, que no sabemos si se puso, por verse que estas viguetas no tenían la capacidad resistente deseada, o por si se colocó posteriormente a su construcción, alguna máquina o cualquier otro sobrepeso que así lo aconseje. No obstante, el refuerzo tiene mal aspecto, los pilares de fundición están colocados de manera poco homogénea, dejando luces muy dispares, de hecho, se ha colocado en algún caso puntales, y la nueva viga entre estos pilares, que debe soportar a las viguetas, no tiene gran entidad 150x100 mm. Veamos en su estado primitivo en que la tensión de las viguetas:

- Luz: 4,10 m
- Anchura equivalente de carga: 0,52 metros
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm}$$

Operando de igual manera que antes:

La carga uniformemente repartida será:

$$q_d = (1,30 \cdot 1,35 + U_s \cdot 1,50) \cdot 0,52 = 0,91 + 0,78 S_u$$

valor que vendrá dado en kN/m, si S_u se da en kN/m²

Como sabemos:

$$\sigma = M_d / W_x$$

Siendo W_x el módulo resistente en esa dirección y M_d el momento de cálculo.

$$W_x = 1/12 \cdot b \cdot H^3 / H/2 = 1/12 \cdot 7 \cdot 24^3 / 12 = 672,00 \text{ cm}^3.$$

Y por lo tanto:

$$\sigma = M_d / 672 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

por lo tanto

$$M_d < 8,31 \text{ N/mm}^2 \cdot 672,00 \text{ cm}^3 = 5,58 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Como sabemos al tratarse de una viga biapoyada, su momento es

$$M_d = 1/8 q_d \cdot L^2 = 1/8 \cdot q_d \cdot 4,1^2 = 2,10 \cdot q_d < 5,58 \text{ kN/m}$$

Por lo que

$$q_d = 0,91 + 0,78 S_u < 5,58/2,10 \text{ kN/m} \rightarrow S_u = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

Valor que no llega al mínimo deseado (pensando en museos)

Viga corta luces del atillo

Por lo tanto, la viga existente que acortaba la luz de las viguetas y liberaba de carga a la viga principal, parece que si sería necesaria su utilización, si operamos como hemos hecho hasta ahora, tendríamos.

- Luz: 2,1 m (en el peor de los casos)
- Anchura equivalente de carga: 2,05 metros
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

Y con los mismos cálculos:

$$W_x = 250 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M_d / 250 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 2,05 \cdot 2,1^2 / 8 > 2,08 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 1,34 \text{ kN/m}^2$$

Valor menor que todos los anteriores. A la vista de estos resultados, pensamos que la mejor solución sería sustituir esta viga de madera de poco canto, por una viga metálica y a partir de aquí, ver la situación resistente de nuestro “nuevo” forjado.

Como el canto está limitado a 10 cm, proponemos colocar un IPE 100, cuyo módulo resistente es de 20 cm³, por lo que tendríamos

$$W_x = 20 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M_d / 20 \text{ cm}^3 > 275 / 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 2,15 \cdot 2,1^2 / 8 > 5,24 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 5,16 \text{ kN/m}^2$$

En estas circunstancias, y haciendo trabajar a esta viga intermedia, veamos el resto de estructura cómo se comporta.

Viguetas del altillo

- Luz: 2,05 m
- Anchura equivalente de carga: 0,52 metros
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 70 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm}$$

$$W_x = 672,00 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M_d / 672 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 0,52 \cdot 2,05^2 / 8 > 5,58 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 12,45 \text{ kN/m}^2$$

Viga principal del altillo

- Luz: 4.0 m
- Anchura equivalente de carga: 1,05 metros (2,10/2)
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 230 \text{ mm}$$

$$h = 320 \text{ mm}$$

$$W_x = 3.925,33 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma = M_d / 3.925,33 \text{ cm}^3 > 32,62 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 1,05 \cdot 4,00^2 / 8 > 32,62 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 9,18 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, en esta nueva situación, retirando la viga de madera “corta luces” de 15 centímetros de ancho y 10 de canto y sustituyéndola por un perfil metálico laminado IPE 100 del mismo canto, la nueva estructura del altillo podría soportar una sobrecarga de uso muy superior a 5,0 kN/m², y por lo tanto emplearse para un museo.

Veamos las plantas más elevadas, en las que las vigas principales soportarán dos vanos de 4,10 metros cada uno.

FORJADOS OTRAS PLANTAS.

Operamos de igual manera que el caso anterior. Ahora, tenemos los siguientes parámetros

Vigas principales.

- Luz: 4,00 m
- Anchura equivalente de carga: 4,10 metros
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 350 \text{ mm}$$

$$W_x = 5.104,17 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M_d / 5.104,17 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 4,10 \cdot 4,00^2 / 8 > 42,42 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 2,28 \text{ kN/m}^2$$

Como se ve estas vigas podrían soportar una sobrecarga de uso de 2,00 kN/m², es decir zonas de oficinas o similares, siempre además que no hubiera tabiques y

el peso propio del forjado fuera el actual, el de la estructura y placas de madera del canto necesario como solado.

Viguetas del forjado.

- Luz: 4,10 m
- Anchura equivalente de carga: 0,54 metros
- Sección viga (datos promedio, considerados como representativos)

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$W_x = 666,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = M_d / 5.104,17 \text{ cm}^3 > 8,31 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = (1,30 \cdot 1,35 + S_u \cdot 1,50) \cdot 0,54 \cdot 4,10^2 / 8 > 5,54 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow S_u = 2,08 \text{ kN/m}^2$$

CONCLUSIONES.

De la inspección y cálculos realizados se deducen las siguientes conclusiones:

- La madera de vigas y viguetas tiene un buen aspecto general y considerando una madera (Madera de pino silvestre de calidad C-18, del lado de la seguridad).
- El altillo, que en principio se destina a museo, para poder emplearlo para este fin, debería de cambiarse la viga de madera existente de 150x100 mm por un IPE 100, del mismo canto, y en estas condiciones, las vigas y viguetas además cumplen holgadamente con los cálculos realizados para las nuevas cargas. Habría que tener en cuenta, en obra la posibilidad de sustituir alguna vigueta de madera que pudiera estar en mal estado y que en la presente inspección no se hubiera detectado.
- La estructura de madera del resto del edificio, en las zonas mas elevadas, tan solo podrá dedicarse a un uso tal, que la sobrecarga no supere los 2,0 kN/m².
- Las cerchas que soportan la cubierta están en malas condiciones y de la inspección realizada pensamos que debería de sustituirse.
- Los pilares de fundición y los de hormigón de los silos están en buenas condiciones de uso.

En Zaragoza a 25 de febrero del año dos mil dieciséis.

Javier PRATS RIVERA
Ingeniero de Caminos. Colegiado 7.880

