

S. Estrada-Martínez^a, V. Mollón^b, J. Bonhomme^c^a Fundación ITMA. Parque Tecnológico de Asturias, Llanera^b Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo^c Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo**Estudio del ensayo de flexión, en dos vanos, de estructuras sandwich****RESUMEN**

Historia del artículo:

Recibido 5 de Mayo 2017

En la versión revisada 5 de

Mayo 2017

Aceptado 31 de Mayo
2017Accesible online 21 de
Junio 2017

En este trabajo se presenta un estudio del ensayo de flexión, de apoyos simples y dos vanos, necesario para establecer los criterios de aceptación de un panel sándwich de caras derivadas de la madera, sometido a carga uniforme.

Se han llevado a cabo ensayos en paneles sándwich provistos de marcado CE y que han superado todos ellos el proceso de evaluación de ETA (European Technical Approval) para el uso para el que están especificados.

Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales se han comparado con modelos analíticos y con modelos de elementos finitos. Se ha observado que los modelos de elementos finitos coinciden con los resultados experimentales, siempre y cuando los parámetros de los materiales constituyentes del panel sándwich sean conocidos con exactitud y las condiciones de contorno se modelicen adecuadamente.

El modelo analítico también coincide adecuadamente con el modelo de elementos finitos cuando se modelizan apoyos ideales.

Palabras clave:

Sandwich

FEM

Ensayo de Flexión

Study of the bending test, in two spans, of sandwich structures**ABSTRACT**

Keywords:

Sandwich

FEM

Flexural test

This paper presents a study of the flexural test, simply supported and two spans, necessary to establish the acceptance criteria of a sandwich panel of faces derived from wood, subjected to uniform load.

Tests have been carried out on sandwich panels with CE marking and all of them have passed the European Technical Approval (ETA) evaluation process for the use for which they are specified.

The results obtained in the experimental tests have been compared with analytical models and with finite element models. It has been observed that the finite element models coincide with the experimental results as long as the properties of the constituent materials of the sandwich panel are accurately known and the boundary conditions are suitably modeled.

The analytical model also matches the finite element model when ideal supports are modelled.

1 Introducción

El objetivo de este trabajo es comparar formulaciones analíticas, resultados experimentales y modelos de elementos finitos para el cálculo a flexión en dos vanos de estructuras sandwich con caras derivadas de la madera y núcleo de espuma de poliestireno (XPS) siguiendo el ensayo del anexo C1 del documento EOTA-ETAG 016-Part 1: "Guideline for European Technical Approval of Self-supporting Composite Lightweight Panels" [1, 2]

La influencia de diferentes configuraciones de carga y su influencia en los resultados finales también ha sido objeto de estudio.

En este trabajo se comprobó que la aplicación de una carga repartida uniformemente se puede simular adecuadamente de manera experimental mediante la aplicación de ocho líneas de carga.

En la figura 1 se muestra la disposición del panel con la configuración de ensayo en dos vanos sometida a una carga uniformemente repartida y su simulación mediante ocho líneas de carga concentradas.

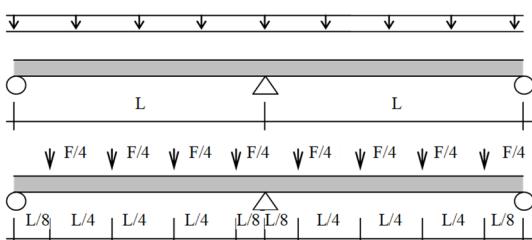


Figura 1. Configuración de ensayo. Carga uniformemente repartida y su simulación mediante ocho líneas de carga concentrada.

A lo largo del trabajo se utilizará la siguiente notación:

B_s = rigidez a flexión del sándwich

A_c = área efectiva del núcleo

A_{F1}, A_{F2} = área de las secciones de las caras 1 y 2

E_{F1}, E_{F2} = módulos elásticos de las caras 1 y 2

e_{F1}, e_{F2} = espesor de las caras del sándwich

e = distancia entre el punto medio de las caras

d_c = espesor del núcleo

b = anchura del sándwich

G_{eff} = módulo elástico a cortadura efectivo del núcleo

2 Materiales

El panel sandwich en estudio se denomina PAR-XPS80-FIR, con el siguiente significado:

PAR: tablero no estructural de partículas de madera

XPS: poliestireno extruido de espesor 80 mm

FIR: láminas de manera

En la tabla 1 se muestran los parámetros geométricos y en la tabla 2 las propiedades mecánicas de los materiales individuales que forman parte de la estructura sandwich obtenidos mediante ensayo.

Tabla 1. Parámetros geométricos

Propiedad	Valor
b (mm)	600
L (mm)	1225
e_{F1} (mm)	19,0
e_{F2} (mm)	9,5
d_c (mm)	80

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los elementos constituyentes

Propiedad	Valor
E_{F1} (MPa)	1867
E_{F2} (MPa)	9140
G_c (MPa)	7.35

3 Modelo analítico

El modelo analítico utilizado en este trabajo fue desarrollado por Davies [3] y está basado en la teoría de vigas con deformación a cortadura. La viga estáticamente indeterminada cargada uniformemente se resuelve como suma de dos vigas isostáticas.

En esta situación se tiene para el primer vaneo, $0 \leq x \leq L$, la siguiente expresión:

$$w = \frac{q}{48B_s(1+k)} [(2 + 2k)x^4 - (3 + 4k)Lx^3 - (8k + 8k^2)L^2x^2 + (1 + 10k + 8k^2)L^3x] \quad (1)$$

Siendo:

$$k = \frac{3B_s}{A_c G_{eff} L^2} \quad (2)$$

Donde:

$$B_s = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2} \cdot e^2}{E_{F1} \cdot A_{F1} + E_{F2} \cdot A_{F2}} \quad (3)$$

$$G_{eff} = \frac{G_c \cdot e}{d_c} \quad (4)$$

$$A_c = b \cdot e \quad (5)$$

La deflexión en el punto medio del vaneo es por tanto:

$$w_{x=0.5L} = \frac{qL^4(0.25+2.625k+2k^2)}{48B_s(1+k)} \quad (6)$$

4 Modelo de elementos finitos

El modelo numérico por elementos finitos fue llevado a cabo con el programa Ansys Research 17.2. El elemento utilizado fue el Solid185 (figura 2).



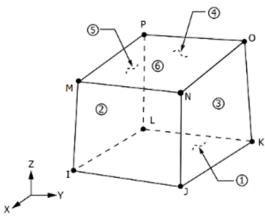


Figura 2. Elemento Solid185. Ansys Documentation Manual.

Se realizaron varios modelos con distintos tamaños y refinamientos en zonas de interés hasta llegar a un modelo optimizado.

En las figuras 3 y 4 se pueden ver imágenes del modelo.

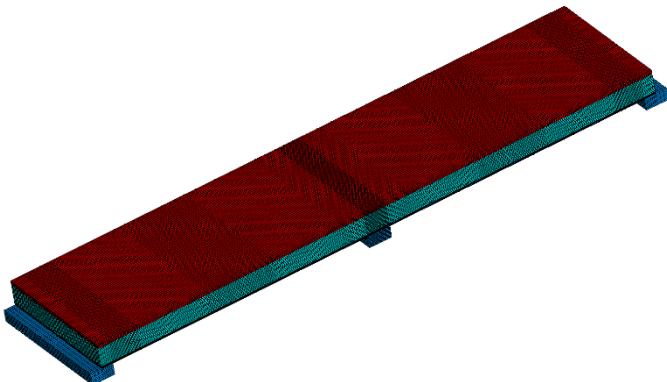


Figura 3. Modelo de elementos finitos.

Inicialmente se llevó a cabo una comparación de la diferencia de resultados que producía la modelización de una carga uniformemente repartida y la aplicación de la carga mediante ocho líneas de carga concentrada. Este estudio se realiza ya que a nivel experimental es mucho más sencillo aplicar cargas puntuales con las máquinas clásicas de ensayos mecánicos.

Se aplicaron las dos situaciones de carga que se pueden ver en la figura 1. El análisis demostró que ambas distribuciones de carga producían diferencias del orden del 1% en la deflexión medida en el punto medio del vano bajo una carga de 15 kN en cada uno de los vanos.

Este estudio permitió validar el uso de ocho líneas de carga en los ensayos experimentales.

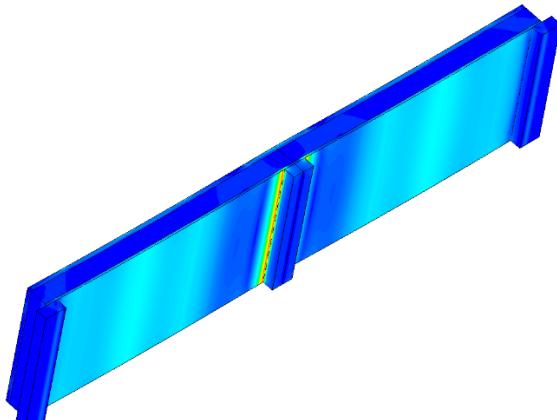


Figura 4. Estado tensional del panel.

5 Resultados

Se ensayaron paneles reales con la configuración de ocho líneas de carga puntual sobre paneles PAR-XPS80-FIR [4] siguiendo las directrices de la guía EOTA.



Figura 5. Ensayo experimental [4].

Se calculó la fuerza necesaria para obtener una deflexión $w_m = L/200$ en el punto medio del vano por medio de ensayos experimentales, modelo analítico y cálculo por elementos finitos.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de las cargas necesarias para producir una deflexión $w_m = L/200$ en el punto medio del vano

Método de cálculo	Carga equivalente (kN/m)	Error
Experimental	14,230	---
Analítico	11,850	-16,7%
MEF panel con correas	13,723	-3,6%

Como se puede ver en la tabla anterior, el modelo experimental y el modelo de elementos finitos presentan una buena coincidencia. El modelo analítico muestra un error mayor. Esto es debido a las condiciones de contorno ya que tanto el ensayo experimental como el modelo de elementos finitos estaban apoyados en tres correas clavadas al tablero. Sin embargo, en el modelo analítico los apoyos se consideraron ideales. De hecho, la modelización por elementos finitos sin correas (con apoyos ideales) solo difiere un 4% respecto al modelo analítico, confirmando de esta manera la influencia de las condiciones de contorno sobre los resultados.

6 Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado que tanto el modelo analítico como el modelo de elementos finitos describen adecuadamente el comportamiento experimental del panel de caras derivadas de madera y núcleo de espuma de poliestireno extruido.

La aplicación de la carga en ocho puntos de la estructura simula adecuadamente el comportamiento de una carga repartida.

La diferencia del 16,7% entre el resultado experimental y el analítico se debe fundamentalmente a la diferencia en las condiciones de contorno que son ideales en el caso del modelo analítico, mientras que en el modelo experimental el panel se apoya en tres correas clavadas al tablero. El modelo de elementos finitos coincide adecuadamente con los



resultados experimentales cuando se modelizan las correas (diferencia de 3,6%), mientras que coincide adecuadamente con el modelo analítico cuando se modelizan condiciones ideales.

Referencias

- [1] ETAG 016-Part 1. Guideline for European Technical Approval of Self-supporting Composite Lightweight Panels. Part one: General. Edition November 2003. European Organisation for Technical Approvals, EOTA. (2003)
- [2] ETAG 016-Part 2. Guideline for European Technical Approval of Self-supporting Composite Lightweight Panels. Part 2: Specific aspects relating to Self-supporting Composite Lightweight Panels for use in roofs. Edition November 2003. European Organisation for Technical Approvals, EOTA. (2003)
- [3] JM. Davies. *Lightweight sandwich construction*. 1st edition. London: Blackwell Science Ltd., ISBN: 0-632-04027-0. (2001)
- [4] S. Estrada-Martínez, V. Mollón, J. Bonhomme. *Construction and Building Materials*. **102**. 281-296 (2016)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.119>

