

SIMULACIÓN NUMÉRICA MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE LA UNIÓN ENTRE VIGUETAS Y VIGAS DE EUCALIPTO CON COLA DE MILANO

Guaita Fernández, M. * ; Soilán Cañas, M^a. A..

Dpto. Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.
C/ Benigno Ledo s/n 27002 Lugo España

*Autores para la correspondencia: guaita@lugo.usc.es

Boletín del CIDEU 4: 111-116 (2007)
ISSN 1885-5237

Resumen

La introducción del control numérico en la fabricación y talla de piezas de madera está impulsando la introducción de uniones carpinteras, permitiendo crear multitud de ensambles y uniones de diversas geometrías y diseños. Se genera, por tanto, un vacío de conocimiento en cuanto al estado tensional y de deformación de estos tipos de unión.

En este trabajo se ha generado un modelo en elementos finitos con una ley constitutiva ortótropa ajustada al verdadero comportamiento de la madera de uniones generadas con el software de CAD "CADWORK" para su posterior modelización con elementos finitos.

Se expondrá el comportamiento de las uniones y su estado tensional realizando propuestas sobre su dimensionado y la evaluación de su capacidad resistente teniendo en cuenta el rozamiento entre las superficies de contacto.

Palabras clave: uniones en madera, elementos finitos, eucalipto.

Summary

Numeric simulation of timber joints between eucalypt beam.

The introduction of the numerical control in the manufacture of pieces of wood is stimulating the introduction of timber joints, allowing to create multitude of unions of diverse geometries and designs. There's no knowledge about tensional state and deformation of these types of joint.

In this work a model has been generated with finite elements with a constitutive orthotropy law to the real behavior of timber joints generated with CAD's software ("CADWORK") for its later modeling with finite elements.

There will be exposed the behavior of joints and their tensional state realizing offers about their desing and the evaluation of their resistance capacity between contact's surfaces.

INTRODUCCIÓN

Con el control numérico el diseño hecho por ordenador se transmite directamente a la máquina encargada de realizar la talla de las piezas finales con las medidas exactas extraídas de los ficheros de dibujo, lo cual supone una gran mejora del rendimiento en cuanto a ejecución y diseño. El calculista será el encargado de decidir las dimensiones necesarias de la unión para asegurar un funcionamiento correcto de la unión, proceso hasta ahora realizado manualmente sin considerar el efecto de rozamiento entre las superficies en contacto.

J.R. Villar López en la Universidad de Extremadura, está desarrollando su tesis doctoral tratando de simular mediante el método de los elementos finitos el comportamiento del ensamble en barbilla entre par y tirante en cerchas de madera.

Otras investigaciones anteriores se centran en el estudio mediante elementos finitos del comportamiento de uniones metálicas en madera. Hussein (2000) trata de simular el comportamiento de placas metálicas empleados para la unión entre par y tirante en cerchas mediante la simulación numérica. Mientras que otros autores como Chen *et al.* (2003) o Williams (2000) emplean el método de los elementos finitos para estudiar el comportamiento de las uniones tipo clavija.

Otros estudios como los desarrollados en la

Universidad del Estado de Oregón por el profesor Gupta, comparan los modelos numéricos elaborados con ANSYS con ensayos experimentales sobre el comportamiento de los conectores en uniones de cerchas de madera (Gupta y Gebremedhin, 1990).

Se concluye, por tanto, que al no haberse encontrado trabajos previos, resulta de interés desarrollar un modelo que permita conocer el estado tensional y de deformación en las uniones en cola de milano, estimando las fuerzas de sección teniendo en cuenta el rozamiento entre las superficies de contacto para evaluar las diferencias entre varios diseños propuestos.

MATERIAL Y MÉTODOS

En cuanto a la metodología desarrollada se ha generado una macro empleando el lenguaje APDL de ANSYS. Este modelo permite la generación automática de los casos analizados con lo que con el modelo desarrollado cualquier calculista puede acceder a la información obtenida sin necesidad de conocer ANSYS ni sus aplicaciones.

Para la generación del modelo se han introducido inicialmente las características geométricas de la unión (Fig. 1), que permitirán estudiar diferentes diseños. Estos datos junto con las características del material y la carga, serán los que deberá introducir el calculista para conocer el comportamiento de la unión.

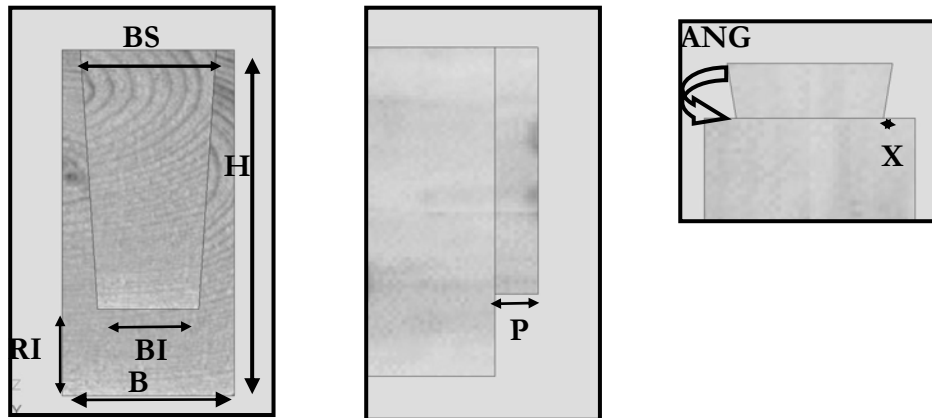


Fig. 1. Datos geométricos a introducir en el modelo.

Inicialmente, se realiza el cálculo para dimensionar las viguetas según unas cargas previamente definidas, obteniéndose en esta ocasión como sección de la vigueta 100x200 mm, valores que se han introducido como propiedades geométricas iniciales.

Se continúa definiendo las propiedades del material (en este caso eucalipto, perteneciente a una clase resistente D40) en cada una de las direcciones, considerando la dirección del eje X en la dirección de las fibras (longitudinal), el eje Y en la dirección radial y el eje Z en la tangencial. Los valores del módulo de elasticidad del eucalipto se han estimado en función de la relación del módulo longitudinal (conocido como resultado de ensayos) con los módulos radial (E_R) y tangencial (E_T) según las leyes de ortotropía del material.

$$E_x = E_L = 18430 \text{ MPa}$$

$$E_R = E_L / 8$$

$$E_T = E_L / 13,5$$

Se ha introducido en el modelo el coeficiente de rozamiento madera-madera (0,6 según Wood Handbook, 1974). Para el mallado se ha empleado una malla regular adaptándola a la zona de mayor gradiente de tensiones para minimizar el error.

Se definen las condiciones de contorno en los apoyos de la viga y de la vigueta, considerando para cada pieza uno de los apoyos articulado fijo y el otro articulado en deslizadera. Se incorpora la carga uniforme sobre la vigueta.

Para considerar el rozamiento entre las piezas, se definen superficies de contacto con el coeficiente de rozamiento introducido anteriormente, factor que no se tiene en cuenta al realizar el cálculo manual de este tipo de uniones. Del mismo modo se ha incorporado el contacto entre la parte de la vigueta que queda por debajo de la cola y la zona de la viga que entraría en contacto con ella para tratar de evitar que la vigueta penetre en la viga.

Una vez acabado el modelo, se procedió a lanzar 15 casos con distintas geometrías variando los valores de BS, BI y RI para analizar los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se analizan los resultados de deformación de una unión representativa para entrar más adelante a discutir los comportamientos de los distintos diseños de uniones, variando los valores de las variables tal y como se muestra a continuación:

Anchura de la parte superior (BS): 90, 70

Anchura de la parte inferior (BI): 90, 70, 50
 Distancia de la base de la cola de milano a la parte inferior de la vigueta (RI): 70,50,30
 De la combinación de estos valores surgen las diversas geometrías analizadas.

En la siguiente figura se puede observar la deformación que sufre tanto la cola como la caja de la viga donde se apoya la vigueta. La simulación del rozamiento permite considerar el efecto de contacto entre piezas diferentes. Se observa cómo la cola tiende a separarse de la vigueta en su parte superior mientras que la parte inferior será la que entre en contacto con la viga.

En la figura 2 se observa cómo la entrada en flexión de la vigueta no sólo produce la compresión en el fondo sino que el giro de la sección en la parte superior hace que las esquinas de la parte de arriba de la caja se vean arrastradas hacia fuera por el contacto entre superficies y el efecto de retención que la simulación del rozamiento ha permitido modelizar.

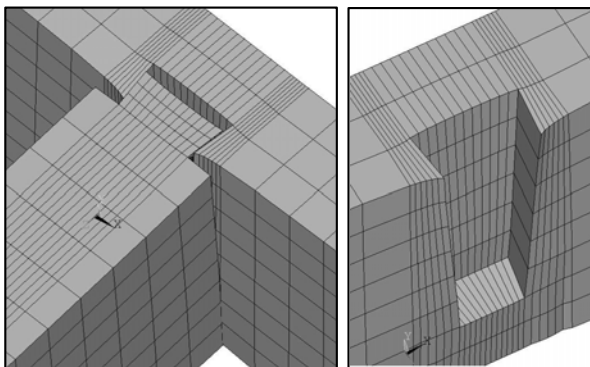


Fig.2. Deformación de la unión y deformación de la viga.

En cuanto a las tensiones, se presentan a continuación las imágenes de las tensiones con colores más intensos en las zonas que alcanzan la rotura por fallos de la unión. En la leyenda se han incluido los valores de rotura para las distintas propiedades ($f_{t,90,k}=0,6 \text{ N/mm}^2$, $f_{c,90,k}=8,8 \text{ N/mm}^2$).

En la fig. 3 se aprecian dos zonas de rotura, la de las esquinas superiores y la que parte de las proximidades de la base extendiéndose hacia los laterales.

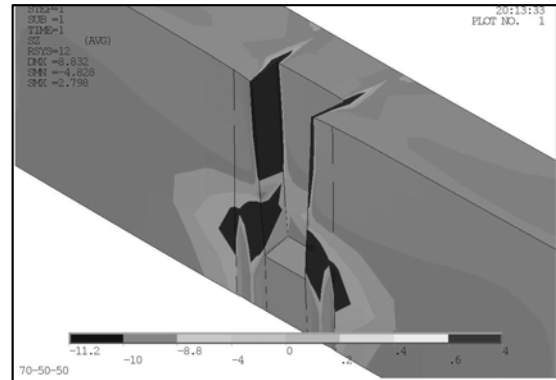


Fig. 3. Tensiones σ_z en la dirección perpendicular a la fibra de la viga y paralela a la dirección tangencial.

En cuanto a las tensiones σ_y en la dirección perpendicular a la viga paralela a la dirección radial, los resultados muestran que también se produce una compresión en la parte inferior de la viga, bajo la caja de recepción de la espiga.

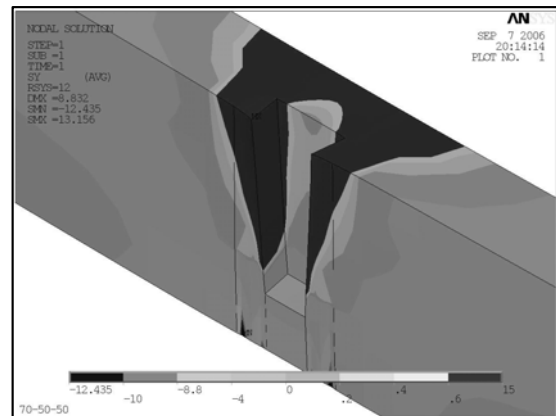


Fig. 4. Tensiones σ_y en la dirección perpendicular a la fibra de la viga y paralela a la dirección radial.

Las tensiones en la cola de milano se pueden observar en las figuras 4 y 5, la más representativa de los resultados en la vigueta donde se pueden ver los problemas por tracción perpendicular bajo la cola de milano.

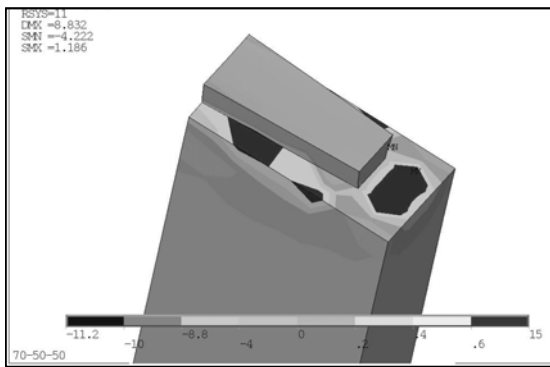


Fig. 5. Tensiones σ_z en la dirección perpendicular a la fibra de la viga y paralela a la dirección tangencial.

En cuanto al análisis de los casos estudiados, el diseño que reduce en mayor porcentaje (57 %) la carga que llega a la base de la cola es aquel cuya geometría es BS: 70mm, BI: 50 mm, RI: 30 mm. El caso de geometría que menos porcentaje de carga (38 %) absorbe es BS: 70mm; BI: 70 mm; RI: 70 mm.

CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos por la simulación numérica se concluye lo siguiente:

a) Las roturas más graves en estas piezas se producen en tres zonas.

- En las esquinas superiores de la caja de la viga que recibe la cola de milano.

- Por tracción perpendicular bajo el plano de apoyo de la cola de milano.

- Por tracción perpendicular en la vigueta bajo la cola de milano.

Estas tensiones máximas coinciden con lo observado en casos reales.

b) Se ha obtenido un modelo automático de generación de este tipo de uniones sin más que cambiar las variables geométricas. Incluye cualquier especie de madera.

c) El haber simulado el rozamiento ha permitido por primera vez cuantificar el valor de la fuerza que realmente llega al fondo del apoyo en la caja que recibe la vigueta. En base a esta discusión se concluye lo siguiente:

- A mayor longitud de la cola de milano menor carga llega al fondo, pero también menor cantidad de viga queda en la parte inferior debiendo analizar el balance en cada caso concreto.

- De hacer la caja rectangular a forzar un gran ángulo en la cola de milano podemos reducir la carga que gravita en el fondo desde un 72% hasta un 43%.

d) Desde un punto de vista constructivo se aconseja lo siguiente.

- Si la rotura prevista es en las esquinas superiores de la caja interesa que no entren en contacto las piezas o que no se fuerce un bisel en la cola de milano para evitar el arrastre de las esquinas. Así toda la carga descansará en el fondo.

- Si la rotura prevista es por tracción perpendicular en la viga bajo el fondo de la caja interesa el máximo rozamiento y forzar el ángulo de la cola. A esto también le favorecerá la incorporación de un tirafondo que introducido por el canto superior de la vigueta produzca una unión entre ambas piezas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto titulado “*Simulación numérica de uniones tradicionales y evaluación de la pérdida de resistencia que los defectos generan en la madera estructural*” y cofinanciado por los fondos FEDER.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ansys. 2003. Theory manual version 8.1. Ansys, Inc., Canonsburg.
- Argüelles Álvarez, R.; Arriaga Martitegui, F.; Martínez Calleja, J. J. 2000. Estructuras de madera. Diseño y cálculo. AITIM.
- Argüelles Álvarez, R. 1992. Fundamentos de elasticidad y su programación por elementos finitos Ed. Bellisco.
- Argüelles Bustillo, Ramón. 1994. Predicción con Simulación Animada del comportamiento de piezas de madera, Tesis Doctoral.
- Chen C. J., Lee T.L.; Jeng, D.S. 2003. Finite element modeling for the mechanical behaviour of dowel-type timber joints. *Computer and Structures*. 81: 30-31, 2731-2738.
- Gupta R, Gebremedhin KG, Grigoriu Md. 1992. Characterizing the strength of wood truss joints *Transactions of the Asae* 35 (4): 1285-1290.
- Hussein R. 2000. Parametric investigation of the buckling performance of metal-plate-connected joints *Advances in Engineering Software* 31 (1): 45-56.
- U.S. Department of Agriculture. Forest products laboratory (Forest Service). 1974. *Wood: handbook: wood as an engineering material*.
- Villar López, J.R. En proceso de realización. Simulación mediante el método de elementos finitos del ensamble en barbilla entre par y tirante. Tesis doctoral.
- Williams JM, Fridley KJ, Cofer WF, Falk. 2000. Failure modeling of sawn lumber with a fastener hole *Finite Element in Analysis and Design*. 36 (1): 83-98.