

Estructuras de madera

# Comportamiento cíclico de uniones

Este resumen extendido muestra la investigación del comportamiento de conectores, como el anillo dentado y la placa dentada, en estructuras de madera ante un sismo.

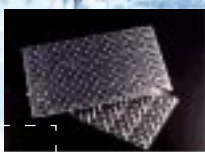
.....  
**Sebastián Otero** / Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Concepción  
**Peter Dechent** / Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Concepción  
**Guido Bolle** / Departamento de Ingeniería Civil, University of applied Sciences, Fachhochschule Neubrandenburg,



Probeta ensayada placa dentada



Probeta ensayada placa anillo dentado



Placa dentada



Anillo dentado

Uno de los elementos más importantes en las construcciones de madera es el conector. De hecho, se ha podido comprobar que la respuesta global de una estructura de madera está determinada por el comportamiento de sus conectores. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo de investigación corresponden fundamentalmente a profundizar el conocimiento del comportamiento de los conectores de tipo anillo dentado y placa dentada en estructuras de madera al ser sometidos a cargas cíclicas, con el fin de poder predecir el comportamiento real de las estructuras.

Uno de los primeros modelos matemáticos para estructuras de madera que realmente se asemejaba al comportamiento real fue el modelo histerético de Bouc de 1967, que posteriormente fue modificado por Wen, Baber y Noori hasta 1986. En el modelo de BWBN, el objeto modelado es simplificado y representado por un sistema equivalente consistente en una masa conectada en paralelo con un resorte lineal, un amortiguador viscoso lineal y un elemento histerético. El modelo separa los elementos lineales de los no-lineales y todo el comportamiento no-lineal es atribuido al elemento histerético, semejante a un resorte no lineal. La fuerza histerética es producida por un desplazamiento histerético ficticio, que a su vez es función del desplazamiento total. Así, la energía total absorbida por el elemento histerético y el desplazamiento histerético controlan la respuesta no lineal. El modelo de BWBN tiene gran aplicabilidad y gran versatilidad para reproducir suavemente curvas de histéresis de distintas formas y por lo tanto es el elegido para ser calibrado en busca de reproducir las curvas de los ensayos realizados en este trabajo.

## CONECTORES EN ESTRUCTURAS DE MADERA

En contraste con las conexiones clavadas, muy poca investigación se ha realizado en conexiones con pernos, anillos o placas dentadas sometidos a estados de carga cíclicos, a pesar de que las sollicitaciones cíclicas entregan información importante sobre las propiedades de absorción de energía y amortiguamiento, las que resultan esenciales a la hora de analizar el desempeño sísmico. Las características histeréticas de la conexión gobiernan el comportamiento cíclico de la estructura, y si el comportamiento histerético de uniones de madera es determinado, el desempeño de estructuras y sistemas estructurales de madera puede ser caracterizado.

Las uniones de madera son diseñadas para incurrir en deformaciones inelásticas durante sollicitaciones dinámicas asociadas a desastres naturales tales como terremotos o vientos fuertes. Las uniones apernadas en madera, así como las con anillos y placas dentadas, exhiben ciclos histeréticos(\*) de carga - deformación con una degradación progresiva de la rigidez lateral para cada ciclo sucesivo de carga, conocido como el fenómeno de «pinching». Así, la carga resistida decrece entre dos ciclos sucesivos para el mismo nivel de deformación.

### DESARROLLO: COMPORTAMIENTO

Se realizó un análisis con el fin de estudiar el comportamiento de cada conector sometido a su carga admisible antes y después de sufrir deformaciones producidas por una fuerza mayor. Para ello se alternan las cargas admisibles con cargas mayores crecientes, de manera de aumentar las deformaciones sufridas por el conector, y se analiza su comportamiento posterior bajo el estado de carga admisible.

Como resultado del ensayo, se observa un aumento lineal de las deformaciones que sufre el conector cuando es sollicitado por la carga admisible posterior a las sollicitaciones de niveles superiores de carga. Se propone un gráfico de tres ejes (figura 1a y 1b) en el que el dato de entrada es la deformación producida por sollicitaciones superiores a la admisible (deformación máxima producida por una carga eventual, flecha 1), y los datos de salida son el nivel de deformación (residual) que experimenta la unión bajo cargas admisibles (Flecha 2) y la rigidez equivalente (Flecha 3), posterior a dicha sollicitación superior.

### DESARROLLO: CALIBRACIÓN DE BWBN

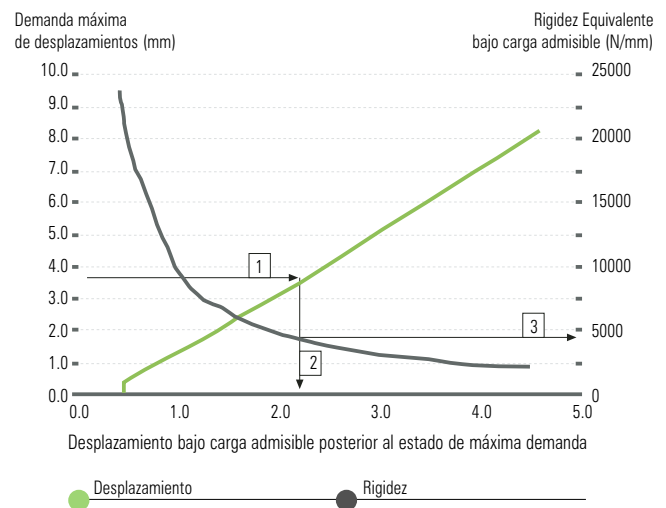
Con el fin de verificar la validez del modelo de BWBN y las posibilidades de aplicación de éste, se comparan los resultados experimentales con los obtenidos a través del modelo calibrado, obteniéndose buenos resultados, dentro de los que se destaca el modelo para grandes deformaciones del anillo dentado tipo bulldog (ver figura 2).

(\*) Los ciclos histeréticos son aquellos de carga - deformación que describen curvas no lineales complejas en las que la curva de carga es distinta a la de descarga, la curva creciente es diferente de la decreciente, produciéndose en cada ciclo un aumento de la deformación hasta alcanzar la capacidad última de material, fenómeno denominado histéresis. El ciclo completo sería la curva de histéresis del material, o comportamiento histerético, o en el caso del trabajo la curva histerética del conector estudiado.

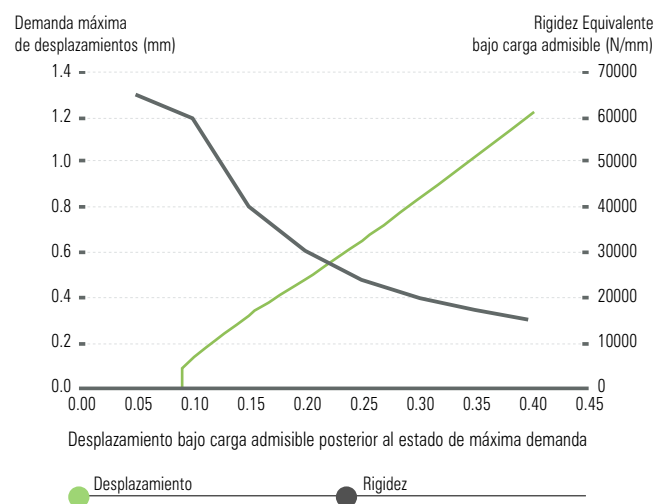


**Figura 1 | DESPLAZAMIENTO BAJO CARGA ADMISIBLE POSTERIOR AL ESTADO DE MÁXIMA DEMANDA**

#### 1a Anillo dentado bulldog

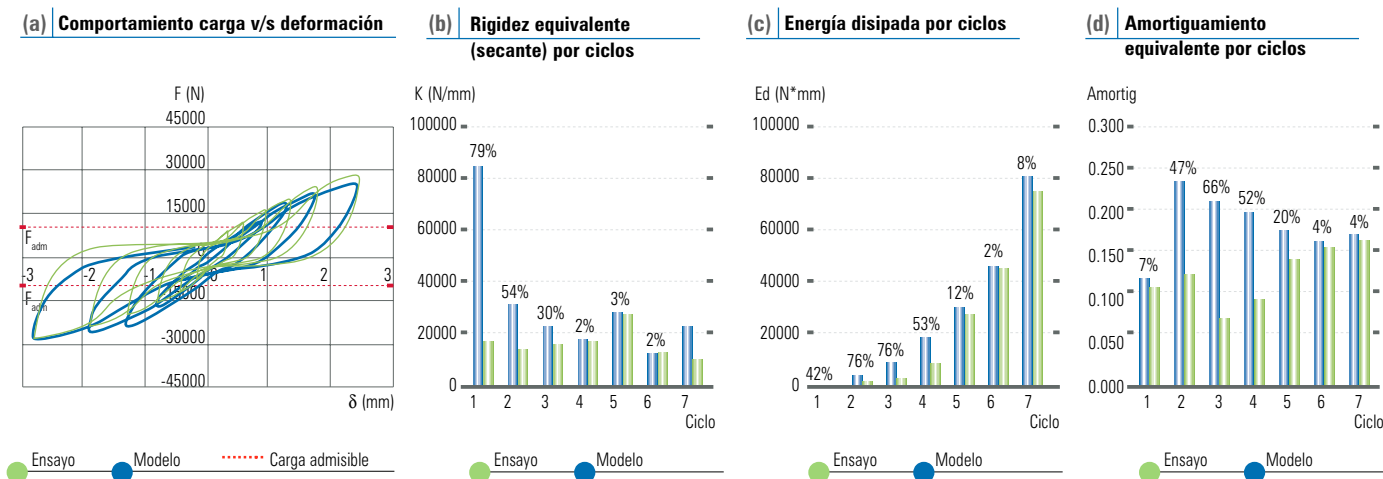


#### 1b Placa dentada





**Figura 2 | ANILLO DENTADO BULLDOG SOMETIDO A CIZALLE DOBLE;  
RESULTADOS ENSAYO Y MODELO DE BWBN PARA GRANDES DEFORMACIONES**



**CONCLUSIONES**

Los conectores de anillo dentado tipo Bulldog poseen una gran capacidad de disipación de energía, ya sea a través del roce entre los elementos o a través del aplastamiento de la madera. Presentan un comportamiento dúctil alcanzando deformaciones últimas de hasta 4 veces su deformación de fluencia para cargas hasta 3,5 veces la carga admisible. Sin embargo este comportamiento dúctil sólo es posible de obtener si se respetan las distancias y dimensiones recomendadas por las normas, ya que de modo contrario su falla se produce por agrietamiento y desgarramiento de la madera, que se traduce en una falla frágil.

Los conectores de placa dentada poseen una capacidad de disipación de energía notablemente menor a la de los conectores de anillo Bulldog, ya que los elementos de madera se encuentran menos confinados con lo que el roce entre ellos es menor. Por lo tanto la disipación se produce a través del aplastamiento de la madera y flexión de los dientes y en menor medida por fricción. Sin embargo hay que considerar que generalmente estos conectores se utilizan en elementos que no requieren de gran disipación de energía (como estructuras de techumbre) y por otro lado se puede considerar el efecto de grupo que se produce al trabajar en conjunto con otros conectores dentro de la misma estructura.

Los conectores de placa dentada presentan un comportamiento frágil para solicitaciones cíclicas con alto nivel de deformaciones debido al desprendimiento de la placa por la disminución de la adherencia que se genera por el aplastamiento de la madera en ambas direcciones. Debido a esto se estima que la capacidad bajo carga monotónica debe ser superior a la capacidad bajo cargas cí-

licas. Sin embargo, alcanzan deformaciones últimas de hasta 10 veces su deformación de fluencia para cargas hasta 3,5 veces su carga admisible.

El modelo de BWBN calibrado para ambos conectores permite reproducir de forma eficaz las curvas de histéresis, obteniéndose una buena aproximación de la curva envolvente, los peak de desplazamiento, la rigidez equivalente, el amortiguamiento equivalente y los niveles de energía disipada por ciclos, tanto para estados de pequeñas como grandes deformaciones. **B**

**Referencias:**

1. Deutsches Institut für Bautechnik (1999). «Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: Alpine-Nagelplatten», N° Z-9.1-294.
2. Deutsches Institut für Normung (2000). «Holzbau 1: Berechnung, Prüfung, Ausführung und Holzschutz, Dauerhaftigkeit», 9ª Edición.
3. Deutsches Institut für Normung (2000). «Holzbau 2: Baustoffe und Verbindungsmittel», 1ª Edición.
4. Ehlbeck, J. & Schlager, M. (1993). «Hirnholzdübelverbindungen bei Brettstichholz und nadelvollholz», cap. 6/92, pags. 522-528.
5. Heine, C.; «Simulated Response of Degrading Hysteretic Joints With Slack Behavior», Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Wood Science and Forest Products, Blacksburg, Virginia, (2001).
6. Salgado, M.; Memoria de Título: «Modelación de leyes constitutivas de uniones apernadas sometidas a cargas cíclicas», Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción (2001).

➔ Para obtener la investigación completa: [www.achisina.cl](http://www.achisina.cl)