

Efecto de la Relación de Diámetro de Entalladura y Diámetro del Elemento de Fijación en la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Álamo "*Populus*".

Lucas Martín Prieto ⁽¹⁾, Prof. Luis Arenas ⁽²⁾, Ing. Pablo Manzione ⁽³⁾

¹. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería. prie3@hotmail.com
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina.

². Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina. larenas@uncoma.edu.ar

³. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina. manzione@uncoma.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo experimental muestra la influencia de la relación del diámetro de entalladura (D) con el diámetro del elemento de fijación (d) en la resistencia al aplastamiento (R_{AP}) para Uniones Metálicas sobre Madera. Se analiza la diferencia en el valor de diseño al usar diferentes relaciones d/D y considerando, en el cálculo, el área real de contacto entre el bulón y la superficie del orificio. Existen normas que determinan el procedimiento de cálculo de esta propiedad (ASTM, NCh, UNE). En el presente trabajo se ensayaron 60 muestras según ASTM D 5764-97 en tres grupos de 20. Se les practicaron agujeros en dirección perpendicular a las fibras de diámetro 7mm, diámetro 19mm y diámetro infinito (sin perforación).

A partir de los datos experimentales se efectuó un análisis estadístico a los dos conjuntos de valores R_{AP} : el primer conjunto se refiere a los valores obtenidos por el método propuesto calculado con el área de contacto real entre bulón y probeta, en tanto que el segundo conjunto es el determinado por los valores obtenidos bajo normas ASTM. Los valores de R_{AP} obtenidos muestran una clara diferencia entre los calculados a través de la Norma ASTM y los calculados a partir de la determinación de la superficie de contacto. Los primeros se mantienen estadísticamente constantes, mientras que en el segundo caso, el R_{AP} cae a medida que el diámetro del orificio disminuye. Cuando el diámetro del orificio es igual al del bulón, el valor de R_{AP} obtenido por ambos métodos es coincidente.

Se demuestra que a medida que aumenta la diferencia entre el diámetro del orificio y el diámetro del bulón, la diferencia porcentual del R_{AP} respecto del valor obtenido por norma aumenta. Cuando d es diferente a D se puede determinar la diferencia respecto del valor obtenido por norma cuando se considera la superficie real de contacto. El valor de R_{AP} calculado por norma es conservativo con respecto al real, con una diferencia que se puede determinar gráficamente.

El análisis experimental se realizó sobre muestras de Madera de Álamo (*Populus*) extraídas de plantaciones de la zona alto valle de Río Negro y Neuquén.

Palabras claves: Resistencia de aplastamiento, propiedades mecánicas de la madera, uniones metálicas en madera

1. INTRODUCCIÓN

La madera en estado natural es única entre los materiales de importancia ingenieril por que es extremadamente eficiente mecánicamente comparada con otros materiales.

La madera está compuesta principalmente por celulosa y lignina; la primera con zonas cristalinas y la segunda con comportamiento básicamente viscoso. Para el calculo de uniones metálicas, se deben considerar y determinarse ciertos valores característicos. Entre los más importantes se encuentra la Resistencia al Aplastamiento (R_{AP}). La R_{AP} se determina experimentalmente a través de ensayos como se muestra en la Figura N°1 [3,4]. En laboratorio el diámetro del orificio es el mismo que el del elemento de fijación, pero en obra, en general, esto no sucede.

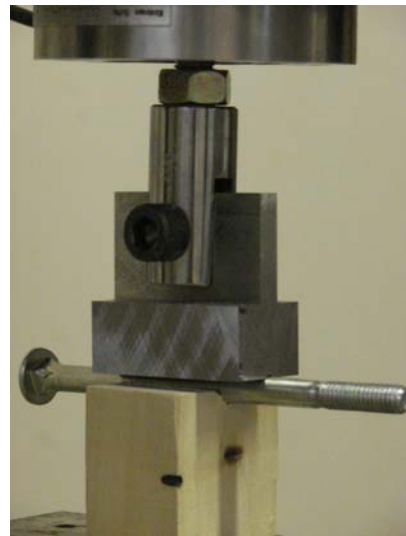


Figura 1: Ensayo de R_{AP} en la UNCo

Este trabajo pretende determinar el efecto de la relación d/D sobre la propiedad resistencia al aplastamiento calculada cuando se utiliza la superficie de contacto real entre el elemento de fijación y el orificio. Se comparan los valores obtenidos por este método con los determinados bajo normas.

2. MATERIAL Y MÉTODO

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional del Comahue¹. Las probetas se extrajeron de tablas cepilladas de 0.9m x 2" x 5 1/2" con sierra sin fin mediante una cuadrícula previamente enumerada de 35mm x 50mm para realizar posteriormente el muestreo estadístico. Se obtuvieron 70 muestras normalizadas según ASTM D 5764-97 a. inciso 8, adoptando las dimensiones 35x43x50 mm.

Tabla 1: Diámetros de la entalla y su relación con el diámetro del bulón

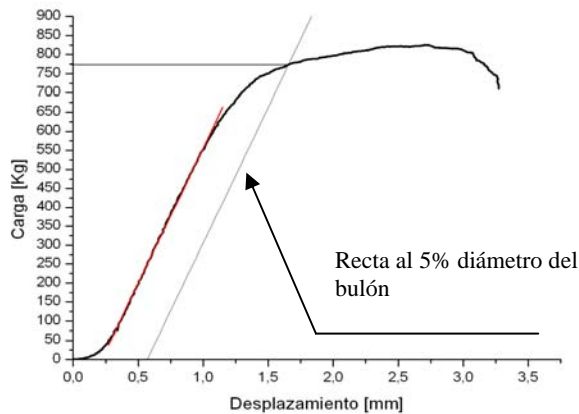
Diámetro	Entalladura Semicircular	Relación d/D	Descripción
1	7 mm	1	El bulón ajusta perfectamente a la entalladura semicircular ($d=D$)
2	19 mm	0.37	El bulón apoya sobre la zona inferior de la entalladura ($d<D$)
3	infinito	0	No se practica entalladura sobre la probeta ($D=$ infinito).

Para el muestreo estadístico se eligieron al azar tres grupos de 20 probetas y a dos de ellos se les practicaron agujeros en dirección perpendicular a las fibras a alta velocidad de corte para evitar el

¹ Laboratorio GEPSyN Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue (UNCo).

desgarro de las fibras [5]. Los diámetros de las perforaciones fueron de 7mm y 19mm, en tanto que a al tercer grupo restante no se le practicó ninguna perforación a fin de representar un diámetro infinito.

Se utilizó el Método de Ensayo Standard de medio agujero, según lo indica la Norma ASTM D 5764-97a. Se obtuvo la carga de aplastamiento para cada una de las sesenta (60) probetas ensayadas a través de los registros carga vs deformación. Para ello se trazó una recta paralela a la



pendiente inicial de la curva Carga vs. Deformación desplazada una cantidad igual al 5% del diámetro del bulón ensayado. La carga para el cálculo de R_{AP} surge como resultado de la intersección de esta línea recta con el registro como muestra la Figura 2. Finalmente la resistencia al aplastamiento se obtiene dividiendo la carga de aplastamiento antes citada por el

Figura 2: Registro y determinación gráfica de la carga

probeta, proyectada sobre el un plano perpendicular a la aplicación de la carga. El área resultante es plana y resulta del producto del diámetro del bulón (d) y el espesor de la probeta (t). La ecuación para el cálculo de R_{APASTM} :

$$R_{APASTM} = \frac{Q_{ap}}{d \times t} \quad (1)$$

Donde: Q_{ap} = carga de aplastamiento, t = espesor de la probeta

En este trabajo se compara el resultado obtenido por la ec. (1) con los valores obtenidos considerando el valor real del área de contacto para las diferentes situaciones de d/D . De acuerdo al diámetro del orificio las áreas de contacto varían según el esquema que se muestra en la Figura 3. La superficie de contacto estará en función del diámetro de entalladura y el descenso del bulón.

Como puede observarse, cuando la probeta se deforma plásticamente, las secantes delimitan el sector de contacto entre el bulón y la madera ensayada. El cálculo de la secante para cada probeta ensayada se realizó con el desplazamiento del punto de aplicación de la carga, δ , a partir del registro carga vs desplazamiento. El área de contacto proyectada será la secante por el espesor de la probeta (t), por lo que R_{AP} :

$$R_{ap_s} = \frac{Q_{ap}}{Sec. \times t} \quad (2)$$

Donde: Q_{ap} = carga de aplastamiento, Sec = secante de contacto, t = espesor de la probeta

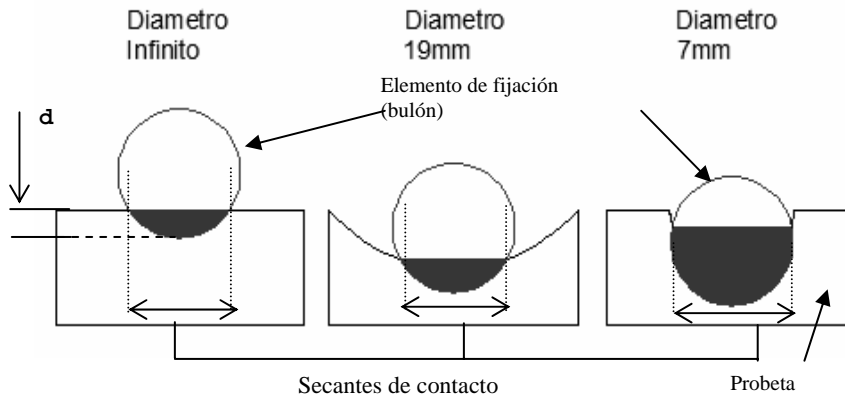


Figura 3: Áreas de contacto entre el bulón y la probeta

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Evaluación de los ensayos

Los valores calculados bajo norma (ecuación 1) presentan una dispersión que será analizada estadísticamente [9] existiendo una importante similitud en los valores promedios para cada diámetro. En tanto que los valores calculados con la ecuación (2) se observa un aumento de la R_{AP} en la medida que aumenta el diámetro del orificio.

3.2. Evaluación estadística

3.2.1. Análisis de los datos obtenidos por el método propuesto

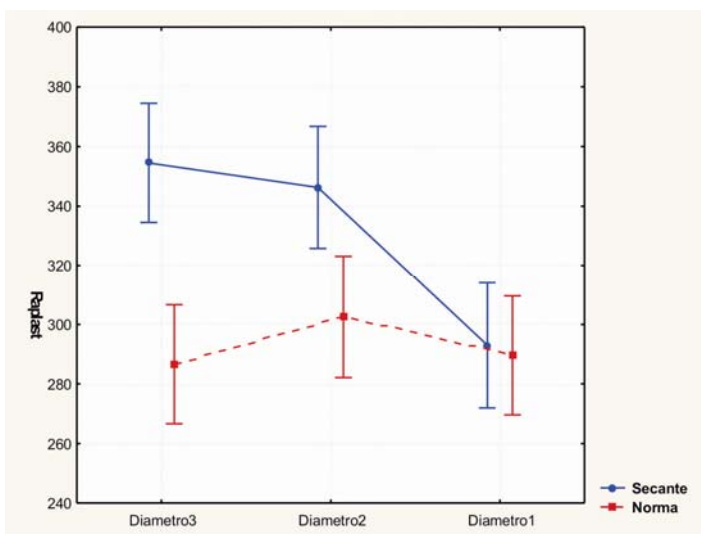


Figura 4: Intervalos de confianza de R_{AP} según D

El siguiente análisis se realizó con los datos de R_{AP} , obtenidos considerando la superficie real de contacto. Del análisis de Variancia de los datos surge que la diferencia entre las medias de la resistencia de aplastamiento es altamente significativa (valor-P = 0,0002). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se puede concluir que hay efecto de los diámetros de entalladura sobre la resistencia de aplastamiento.

3.2.2. Análisis de los datos obtenidos por ASTM

Un análisis estadístico similar al anterior se desarrolló para los valores de R_{AP} calculada a través de las normas ASTM. En este caso la hipótesis de igualdad no fue rechazada, es decir, los valores medios obtenidos en cada diámetro son estadísticamente iguales.

3.3. Análisis comparativo

La figura N° 4 presenta los intervalos del 95% de confianza para las medias de cada diámetro de entalladura. Para el caso de los valores obtenidos por el método propuesto (trazo continuo), los recorridos de los intervalos de Diámetro 2 y Diámetro 3 están yuxtapuestos lo cual indica que no hay diferencia significativa entre sus medias. En cambio el intervalo correspondiente a Diámetro 1 no se superpone lo cual sugiere que este valor es estadísticamente diferente a los otros dos. Para el caso de los valores obtenidos por norma ASTM, los intervalos de confianza se yuxtaponen para los tres diámetros (ver figura 4:trazo discontinuo). Esto indica que no existe variación estadística significativa para los valores calculados con diferentes diámetros.

4. DISCUSIÓN

Los valores de R_{AP} obtenidos muestran una clara diferencia entre los calculados a través de la Norma ASTM y los calculados a partir de la determinación de la superficie real de contacto.

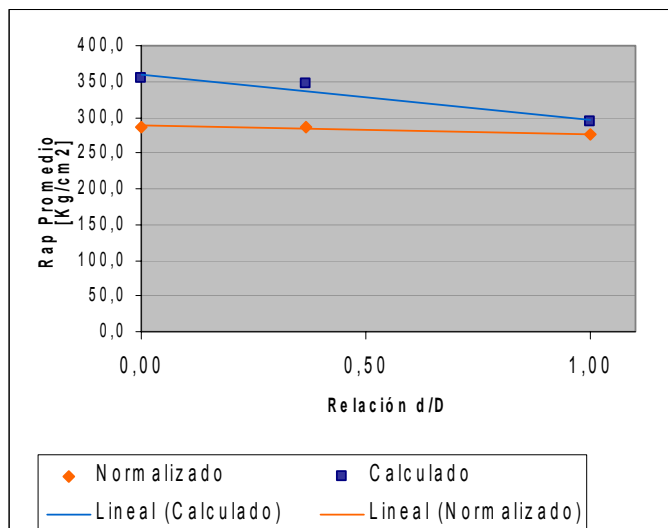


Figura 5: Variación del Rap en función d/D

En los valores calculados a partir de la norma (R_{APASTM}) no se aprecia diferencia en diámetro 2 y 3 con la variación del tamaño del orificio practicado en la madera. Las dispersiones existentes son debidas a la propia heterogeneidad de la madera, errores en el proceso de medición, etc. y los valores obtenidos son comparables a los encontrados en la bibliografía [6,7,8]. Por otro lado, los

valores calculados con la ecuación N° 2 muestran una diferencia entre los valores de R_{AP} para los diferentes diámetros de orificio. Esto es debido a que el área calculada es diferente en cada situación, es decir para cada diámetro escogido. Si observamos la figura N° 3 se puede apreciar que el área de contacto varía según la secante que se va generando a medida que el bulón desciende por aplicación de la carga. Se ha

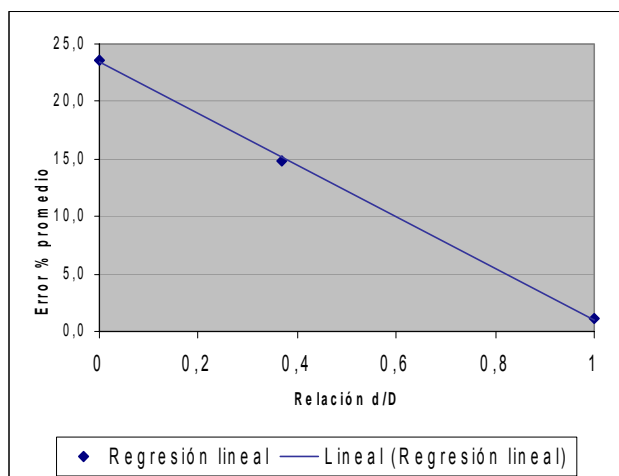
considerado para su análisis y discusión la relación del diámetro del bulón con el del orificio (d/D) (Ver Tabla 1).

Esto significa que se trabajó con los extremos (para radio infinito probeta plana y $d/D=0$ y para radio igual que el bulón $d/D=1$) y un valor intermedio de diámetro del orificio de 19mm ($d/D=0.37$). El gráfico de figura N° 5 muestra los valores de R_{AP} para cada situación calculado según norma y calculado con la superficie de contacto real. Se observa que los valores calculados a partir de la norma se mantienen constantes, mientras que los valores calculados con el área real de contacto disminuyen a medida que el diámetro del orificio disminuye hasta coincidir con el diámetro del bulón.

La diferencia cometida entre un método y el otro se indica en el gráfico de la figura N° 6. Para un orificio de 19mm ($d/D=0.37$) el error cometido respecto del normalizado es aproximadamente del 15 % (14,8 %). Esto significa que a medida que aumenta la diferencia entre el diámetro del orificio y el diámetro del bulón, el error porcentual en el cálculo del R_{AP} aumenta.

5. CONCLUSIONES

Los registros obtenidos en los ensayos muestran valores típicos de resistencia al aplastamiento



para el álamo. La metodología estadística aplicada muestra que para el experimento propuesto no hay diferencia significativa en los registros medios en Resistencia al Aplastamiento calculados por norma. Esto cambia si se calcula el R_{AP} con el área real de contacto. Con este método aumenta el valor de R_{AP} a medida que el diámetro del orificio aumenta. La diferencia existente con el método normalizado se puede determinar

Figura 6: Diferencia entre métodos

para cualquier relación entre el diámetro del

bulón y el diámetro del orificio. Las diferencias pueden alcanzar valores significativos.

El valor calculado de R_{AP} por norma es un valor conservativo con respecto al método propuesto, con el cual se obtiene un valor más exacto de R_{AP} dado que tiene en cuenta la verdadera superficie de contacto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. United Estate of Departament of Agriculture. Forest Service.
- [2] ASTM D5764 (*Nacional 1997, "Standard" 1996*) verificar normas
- [3] NCh 1198-2006. Norma Chilena. Instituto Nacional de Normalización. Madera-Construc. de Madera-Calculo
- [4] UNE-EN 383. Norma Europea. Comité Europeo de Normalización. 1993
- [5] Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. United Estate of Departament of Agriculture. Forest Service. Capítulo 7
- [6] Douglas R. Rammer. *Effect of Moisture Content on Nail Bearing Strength*. United State Department of Agriculture. Reserch Paper FPL-RP-591
- [7] Thomas L. Wilkinson. *Dowel Bearing Strength*. United Department of Agriculture. Forest Service. Reserch Paper FPL-RP-505
- [8] Douglas R. Rammer, Steve G. Winistorfer . *Effect of Moisture Content on Dowel-Bearing Strength*. Wood and Fiber Science. 33(1), 2001.. pp 126-139
- [9] Montgomery,D.C., *Análisis y Diseño de Experimentos*.Grupo Editorial Iberoamérica,Mexico 1994.

7. Agradecimiento

Los autores agradecen al MsC Jorge Lomagno por la colaboración prestada en el diseño experimental.