

Comportamiento de uniones tipo clavija con pernos deformables en madera de Araucaria angustifolia

Alfredo A. Guillaumet

Profesor Titular, Investig., Univ. Tec. Nacional
Venado Tuerto, Argentina
aaguillaumet@rec. utn.edu.ar



Roberto D. Manavella

Profesor Titular, Investig., Univ. Tec. Nacional
Venado Tuerto, Argentina
rdmvt@yahoo.com



María Cecilia Filippetti

Profesor Adjunto, Investig., Univ. Tec. Nacional
Venado Tuerto, Argentina
cecilia_filippetti@hotmail.com



Jacinto Diab

Profesor Titular, Investig., Univ. Tec. Nacional
Venado Tuerto, Argentina
jacintodiab@frvt.utn.edu.ar



Alberto Armas

Profesor Titular, Investig., Univ. Tec. Nacional
Venado Tuerto, Argentina
albertoarmas@gmail.com



Palabras clave: Araucaria angustifolia; Uniones acero madera; Uniones deformables, estructuras de madera

Keywords: Araucaria Angustifolia, steel-wood unions; deformable union; wooden structures

RESUMEN

El proceso de discusión pública del Reglamento para el Cálculo de Estructuras de Madera en Argentina genera el momento propicio para impulsar el desarrollo de trabajos de caracterización de especies y comportamiento estructural. Este trabajo tiene por objetivo comparar los resultados experimentales de uniones tipo clavija en madera de Araucaria angustifolia, con las resistencias determinadas por aplicación del Eurocódigo 5 y la National Design Specification for Wood Construction (NDS). Los ensayos se realizaron durante el año 2007 de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE EN 383. Se ensayaron 54 juegos de 6 probetas cada uno, para relaciones de esbeltez $t/d=3$, $t/d=5,14$ y $t/d=7,20$ y las direcciones paralela y perpendicular a las fibras. Los pernos utilizados fueron de acero al carbono trefilado. Se obtuvieron buenas correlaciones entre la densidad y la resistencia al aplastamiento. Con el Eurocódigo se determinaron resistencias que oscilan entre el 36% y el 58% de los valores experimentales, mientras que por aplicación de la NDS oscilan entre el 25% y el 39%. La tensión característica al

aplastamiento de la Araucaria angustifolia es superior a la propuesta por la NDS en función de la gravedad anhidra y el diámetro.

ABSTRACT

The process of public discussion of the Regulation for the Calculation of wooden Structures in Argentina generates the favorable moment to impel the development of works of characterization of species and structural behavior. This work has for objective to compare the experimental results of unions type peg in wood of Araucaria angustifolia, with the resistances determined by application of the Eurocode 5 and the National Design Specification for Wood Construction (NDS). The rehearsals were carried out during the year 2007 according to the Norma's prescriptions it UNITES IN 383; 54 sets of 6 test specimens each one, were rehearsed, for relationships of slenderness $t/d = 3$, $t/d = 5,14$ and $t/d=7,20$ and the parallel and perpendicular direction to the fibers. The used bolts were of stranded carbon steel. Good correlations were obtained between the density and the resistance to the squashing. With the Eurocode resistances were determined, whose values range between 36% and 58% of the experimental values, while for application of the NDS, they oscillate between 25% and 39%. The characteristic tension to the squashing of the Araucaria angustifolia is superior to the proposal for the NDS in function of the anhydrous graveness and the diameter.

1. Introducción

La aplicación rigurosa de normas de cálculo de estructuras de madera exige cada vez más del desarrollo de trabajos experimentales que caractericen el comportamiento estructural de las distintas especies. El proceso de discusión pública del Reglamento para el Cálculo de Estructuras de Madera en Argentina genera el momento propicio para impulsar el desarrollo de compilación de trabajos de caracterización de especies y comportamiento estructural. En este marco resulta de interés la realización de la comparación de resultados de ensayos de laboratorio con las capacidades portantes que se determinan por aplicación de distintos reglamentos.

Este trabajo tiene el objetivo de sumar información sobre el comportamiento estructural de la Araucaria angustifolia, en particular de las uniones tipo clavija, aportando datos a los profesionales de la construcción para la realización de estructuras más confiables y económicas. La tensión de aplastamiento en uniones con perno rígido fue publicada en las Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural (Guillaumet et al. 2010), en esta instancia se avanza en el comportamiento de pernos deformables.

Para el cálculo correcto de las uniones se debe aplicar la normativa de diseño adecuada y además contar con la caracterización de la especie con que se construye la estructura. La importancia de disponer de valores rigurosos de la resistencia al aplastamiento, la capacidad portante y su deformación, aumenta a medida que se incrementa el número de uniones en las construcciones.

En Argentina, la falta de una normativa a nivel nacional, conduce a realizar ensayos aplicando distintas normas y procedimientos. Los trabajos disponibles no son suficientes para que el proyectista estructural pueda diseñar las uniones de sus estructuras a partir de datos experimentales comparables, aunque se pueden mencionar entre otros: "*Calculo teórico de uniones en madera*" de Pino Ponderosa de la Patagonia Argentina (Lomagno 2004), "*Uniones con perno para madera laminada de Pino Elliott*" (Palazzi y Anaya 2006), "*Capacidad de carga en uniones con perno*" para madera aserrada de Pino Elliott (Castria y Pallazzi 1992) y "*Resistencia al aplastamiento de piezas de Eucaliptus grandis con un único elemento de fijación*" (Sosa Zitto, 2010).

2. Material y Métodos

El trabajo experimental consistió en ensayar 54 juegos de 6 probetas cada uno, utilizando clavijas de tres rigideces distintas (relación longitud/diámetro del perno) y teniendo en cuenta las direcciones paralelas y perpendiculares a las fibras.

Las probetas se confeccionaron con madera aserrada de *Araucaria angustifolia* (Pino Paraná), provenientes de la Provincia de Misiones, Argentina. La selección de las mismas se realizó en forma aleatoria sobre tirantes de 2 pulgadas de espesor, acopiadas en Venado Tuerto, Argentina. Los juegos de probetas se extrajeron del mismo sector del tirante.

La figura 1 esquematiza las probetas, y la tabla 1 presenta sus dimensiones.

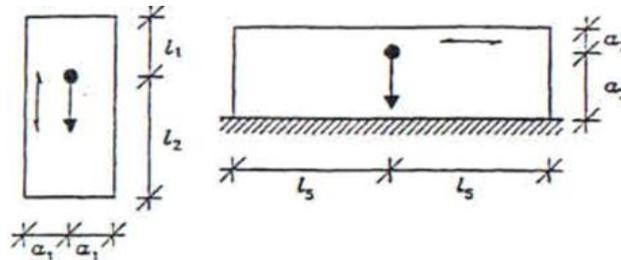


Figura 1: Esquema de las probetas de ensayo

Dimensión	U.	Dirección paralela			Dirección perpendicular		
		Diámetro del Perno			Diámetro del Perno		
		12 mm	7 mm	5 mm	12 mm	7 mm	5 mm
t (espesor)	mm	36	36	36			
a1	mm	36	21	15			
l1	mm	84	49	35			
l2	mm	84	49	35			
a2	mm				24	14	10
a3	mm				48	28	20
l5	mm				84	49	35

Tabla 1: Dimensiones de las probetas ensavadas

Los pernos estaban contruidos con acero al carbono trefilado. Se utilizaron los diámetros 12 mm ($t/d=3$), 7 mm ($t/d=5,14$) y 5 mm ($t/d=7,20$).

En este trabajo se aplicaron Normas Europeas para ser consecuentes con los ensayos que dieron origen a las Normas IRAM 9662/1/2/3 (2005) de clasificación de tablas para la construcción de vigas laminadas encoladas y también a la clasificación en clases resistentes de vigas aserradas de *Araucaria angustifolia* realizada por Guillaumet et al, 2007.

El procedimiento de ensayo se realizó de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:1993. Esta norma fue modificada a mediados del año 2007 cuando ya la serie de ensayos se estaba desarrollando. La diferencia fundamental entre ambas ediciones es un incremento en las dimensiones de las probetas para los ensayos en la dirección perpendicular a la fibra.

La aplicación de la carga se realizó de la siguiente manera: se estimó la carga de rotura, se aplicó la carga hasta un 40% de la carga estimada, se la mantuvo por espacio de 30 segundos, se ajustó la carga al 10%, se la mantuvo nuevamente durante 30 segundos y a partir de allí se aplicó carga hasta alcanzar la rotura o una deformación de 5 mm. Una vez concluido el ensayo, se cortó un trozo de cada probeta y se procedió a determinar la humedad de la misma y su densidad.

Las figuras 2 y 3 ilustran el dispositivo de cargas. Se observan la celda de cargas, la rótula, el dispositivo de aplicación de la carga y de medición de las deformaciones.

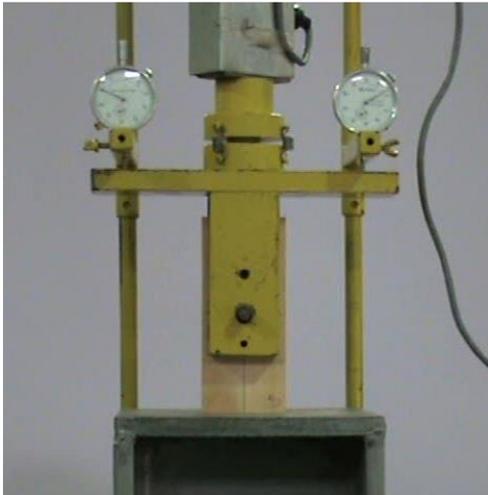


Figura 2: Ensayo paralelo a las fibras

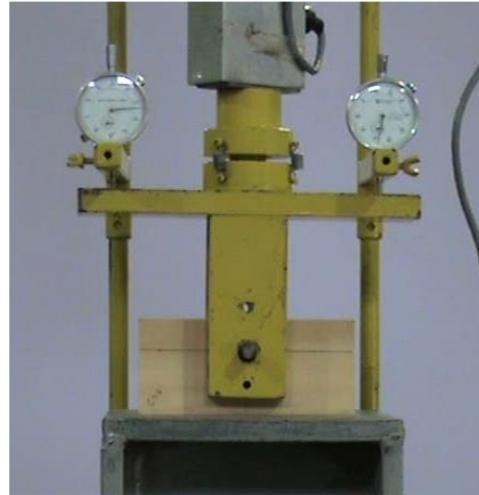


Figura 3: ensayo perpendicular a las fibras

Para las distintas determinaciones se utilizó la expresión (1):

$$f_h = \frac{f_{m\acute{a}x}}{d \times t} \quad (1)$$

Donde:

f_h = Resistencia al aplastamiento (N/mm²)

$f_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación (N)

d = Diámetro del perno (mm)

t = Espesor de la probeta (mm)

3. Resultados y discusión

3.1 Valores experimentales

Si bien el objetivo de este trabajo es analizar la rotura de la unión con pernos flexibles, resulta de mucha utilidad comparar los resultados con los obtenidos para pernos rígidos. La tabla 2 presenta los valores de fuerza y tensiones de rotura obtenidos en los ensayos para la dirección paralela a las fibras. Las tensiones que se presentan provienen de dividir la fuerza de rotura por el diámetro y el largo del perno, independientemente de la rigidez del mismo (t/d).

ENSAYOS PARALELOS A LAS FIBRAS							
PARAMETRO	FUERZA DE ROTURA [N]			TENSIÓN DE ROTURA [N/mm ²]			Densidad 12 % Kg / cm ³
	D= 5 mm	D= 7 mm	D= 12 mm	D= 5 mm	D= 7 mm	D= 12 mm	
PROMEDIO	6.864,35	12.557,41	20.885,00	38,14	49,83	48,34	476,39
DESVIO	694,72	1.853,50	3.066,04	3,86	7,36	7,10	51,37
MAXIMO	8.280,00	16.275,00	27.010,00	46,00	64,58	62,52	556,58
MINIMO	5.415,00	8.450,00	15.185,00	30,08	33,53	35,15	390,16
PERCENTIL 5%	6.006,75	9.727,50	16.637,00	33,37	38,60	38,51	401,15
COEF. VARIACION	0,10	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0,11

Tabla 2: Resultados de los ensayos en uniones en la dirección paralela a las fibras

La tabla 3 presenta los valores experimentales, obtenidos con el mismo procedimiento que los anteriores, para la dirección perpendicular a las fibras.

ENSAYOS PERPENDICULARES A LAS FIBRAS							
PARAMETRO	FUERZA DE ROTURA [N]			TENSION DE ROTURA [N/mm ²]			Densidad 12 %
	D= 5 mm	D= 7 mm	D= 12 mm	D= 5 mm	D= 7 mm	D= 12 mm	Kg / cm ³
PROMEDIO	6.453,70	10.498,74	14.337,31	35,85	41,66	33,19	476,39
DESUDIO	965,96	2.567,71	3.620,43	5,37	10,19	8,38	51,37
MAXIMO	8.345,00	15.450,00	21.150,00	46,36	61,31	48,96	556,58
MINIMO	4.520,00	6.225,00	8.275,00	25,11	24,70	19,16	390,16
PERCENTIL 5%	5.043,25	6.923,50	8.781,75	28,02	27,47	20,33	401,15
COEF. VARIACION	0,15	0,24	0,25	0,15	0,24	0,25	0,11

Tabla 3: Resultados de los ensayos en uniones en la dirección perpendicular a las fibras

En la tabla 4 se observan las deformaciones promedio de los pernos cuando sus extremos se desplazaron 5 mm. Se puede apreciar que el perno de 12 mm ($t/d=3$) se comportó como rígido, que el de 7 mm ($t/d=5,14$) se deformó ligeramente y que el perno de 5 mm ($t/d= 7,20$) sufrió importantes deformaciones.

	PERNO DE 5 mm			PERNO DE 7 mm			PERNO DE 12 mm								
	Paralelo			Perpendicular			Paralelo			Perpendicular					
Posición	EI	C	ED	EI	C	ED	EI	C	ED	EI	C	ED	EI	C	ED
Deformación [mm]	0	2,4	0	0	2,4	0	0	0,6	0	0	0,5	0	0	0	0
EI: extremo izquierdo - C: centro - ED: extremo derecho															

Tabla 4: Deformación promedio observada en los pernos para las direcciones paralela y perpendicular

En la tabla 5 se observa la buena correlación existente entre la densidad de las probetas y su resistencia al aplastamiento, se aprecian mejores valores para la dirección perpendicular y para el perno rígido.

Dimensión	Dirección paralela			Dirección perpendicular		
	Diámetro del Perno			Diámetro del Perno		
	12 mm	7 mm	5 mm	12 mm	7 mm	5 mm
Correlación densidad - tensión	0,84	0,51	0,68	0,93	0,78	0,76

Tabla 5: Correlación entre la densidad y la resistencia de aplastamiento para cada diámetro y dirección.

3.2 Determinaciones por aplicación del Eurocódigo 5

A los efectos de comparar los resultados experimentales, con la capacidad de carga calculada de acuerdo a los lineamientos del Eurocódigo 5, se procedió a determinar el momento plástico de los pernos utilizados, aplicando la Norma UNE-EN 409. La tabla 6 resume los valores de ensayo.

DIAMETRO	MOMENTO PLASTICO
mm	Nmm
5	16.029
7	65.488

Tabla 6: Momentos Plásticos de los pernos de unión

Para uniones acero-madera con chapas de espesor grande el Eurocódigo 5 contempla 2 tipos de rotura, que se presentan en la Figura 4.

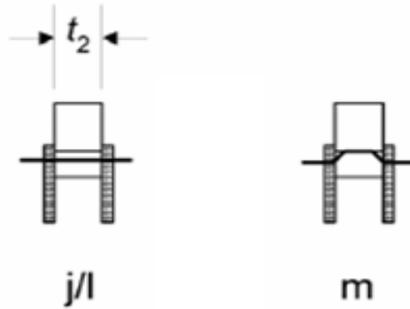


Figura 4: Modos de Rotura para dos secciones de corte con placas laterales de acero gruesas de acuerdo al Eurocódigo 5

La determinación de la capacidad de carga “ $F_{v,Rk}$ ” se realizó con la expresión (2) correspondiente al tipo de rotura “j/l” y con la expresión (3) para la rotura tipo “m”.

$$F_{v,Rk} = 0,5 \times f_{h,2,k} \times t_2 \times d \quad (2)$$

$$F_{v,Rk} = 2,3 \times \sqrt{M_{y,Rk} \times f_{h,2,k} \times d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (3)$$

Donde:

- $f_{h,2,k}$ Resistencia al aplastamiento característica
- t_2 Espesor de la pieza central de madera
- d Diámetro del perno
- $M_{y,Rk}$ Momento plástico característico del medio de unión
- $F_{ax,Rk}$ Capacidad de carga a la extracción del medio de unión

Para aplicar a las expresiones anteriores, se consideró como valor característico de aplastamiento $f_{h,2,k}$ el determinado según las prescripciones de la Norma UNE 383:1993, es decir 38,51 N/mm² para la dirección paralela y 20,33 N/mm² para la dirección perpendicular a las fibras, ver tablas 2 y 3. De acuerdo al punto 8.2.2 del Eurocódigo 5 se consideró al aporte de $F_{ax,Rk}=0$. Los valores obtenidos se presentan en las tablas 7 y 8. Se puede apreciar que en todos los casos el menor valor corresponde a la rotura tipo “l”. Esta situación no coincide con la faz experimental, dado que para la clavija de 5 mm la rotura fue claramente del tipo “m”, ver la magnitud de las deformaciones en la tabla 4.

Tipo de rotura	D=12 mm	D=7 mm	D=5 mm
	$F_{v,Rk}$ [N]	$F_{v,Rk}$ [N]	$F_{v,Rk}$ [N]
l	8.319	4.852	3.466
m		9.664	4.041
Mínimo	8.319	4.852	3.466
Experimental	16.637	9.728	6.007
Mínimo / Experimental %	50%	50%	58%

Tabla 7: Valores de capacidad de carga característica para uniones en la dirección paralela a las fibras

Para la dirección paralela a las fibras apreciamos una disminución en la relación entre el valor experimental y el determinado por aplicación del Eurocódigo 5 para el diámetro más pequeño.

Tipo de rotura	D=12 mm	D=7 mm	D=5 mm
	$F_{v,Rk}$ [N]	$F_{v,Rk}$ [N]	$F_{v,Rk}$ [N]
l	4.391	2.561	1.830
m		7.021	2.936
Mínimo	4.391	2.561	1.830
Experimental	8.782	6.924	5.043
Minimo / Experimental %	50%	37%	36%

Tabla 8: Valores de capacidad de carga característica para uniones en la dirección perpendicular a las fibras

En la dirección perpendicular a las fibras observamos un aumento en la relación entre el valor experimental y el determinado por aplicación del Eurocódigo 5, para los diámetros más pequeños. De la comparación entre los resultados experimentales y las determinaciones de acuerdo al Eurocódigo 5 se puede expresar que:

- Los valores de la capacidad de carga característica determinados por aplicación del Eurocódigo oscilan entre el 50% y el 58 % de los valores experimentales para la dirección paralela y entre 36 % y el 50% para la dirección perpendicular
- No existe coincidencia entre el tipo de rotura reflejada en la determinación reglamentaria y la experimental para la clavija deformable de 5 mm.

3.3 Determinaciones por aplicación del National Design Specification for Wood Construction (NDS 2005)

La NDS contempla, para dos secciones de corte, los 4 tipos de rotura que se presentan en la figura 5.

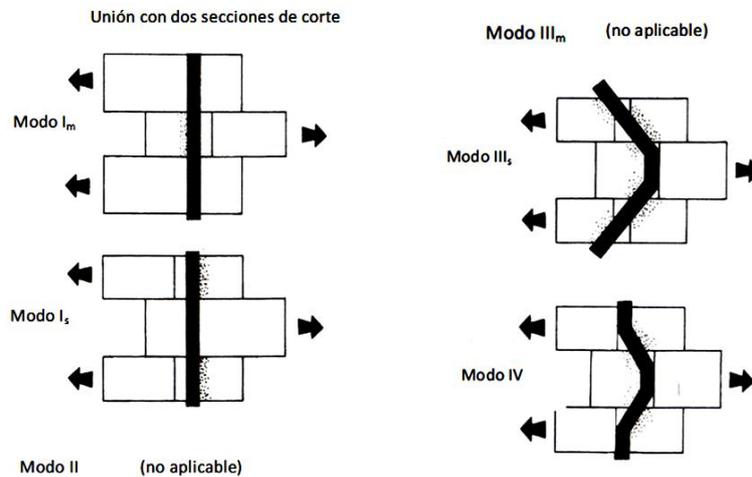


Figura 5: Modos de Rotura para dos secciones de corte en las NDS

Como en los modos de rotura solo se contemplan uniones madera-madera, para comparar con los ensayos realizados, que poseían dos placas laterales de acero gruesas, se consideró en las fórmulas para la tensión del miembro lateral la correspondiente a la tensión de compresión de las placas de acero. Para la determinación de la tensión de fluencia en flexión de los elementos de fijación se utilizaron los valores en función del diámetro propuestos en el apéndice de la NDS.

La NDS propone una tabla para los valores de resistencia al aplastamiento en función del diámetro y de la gravedad anhidra. La gravedad anhidra de 5º percentil de las probetas ensayadas es de 0,40 g/cm³, y para estos valores la tabla sugiere, para un perno de 12 mm., en la dirección paralela a las fibras 28,6 N/mm² y para la dirección perpendicular 14,6 N/mm². Como estos

valores son sensiblemente inferiores a los experimentales, ver tablas 1 y 2, utilizaremos en las expresiones los valores de ensayo pero respetando las variaciones para diámetros distintos a 12 mm (perno rígido utilizado, ver tabla 3). La tabla 9 presenta los valores de resistencia al aplastamiento utilizados.

Diámetro	Resistencia al aplastamiento		Observaciones
	Paralelo [N/mm ²]	Perpendicular [N/mm ²]	
12	38,51	20,33	Experimental
7	38,51	27,06	Por relación de diámetro en las NDS
5	32,1	28,6	Por relación de diámetro en las NDS

Tabla 9 : Resistencia al aplastamiento utilizadas en la aplicación de la NDS con la corrección por diámetro

Como indica la NDS se determinaron las resistencias laterales para todos los tipos de rotura y se consideró como válida la menor. Las tablas 10 y 11 presentan los valores de resistencia obtenidos. Tanto para la dirección paralela como para la perpendicular a las fibras en las clavijas de 12 mm ($t/d=3$) y 7 mm ($t/d=5,14$) el valor de la resistencia lo determinó el tipo de rotura "I_m" y para la de 5 mm ($t/d=7,20$) lo determinó el tipo "IV", coincidente con las deformaciones observadas en los ensayos, ver la magnitud de las deformaciones en la tabla 4.

Las expresiones 4 y 5 son las que permitieron calcular el valor de la resistencia lateral para los tipos de rotura "I_m" y "IV" respectivamente:

$$Z = \frac{D l_m F_{em}}{R_d} \quad (4)$$

$$Z = \frac{2D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1+R_e)}} \quad (5)$$

Donde:

- D: diámetro nominal del elemento de fijación
- F_{em}: resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal
- F_{es}: resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral
- F_{yb}: tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación
- l_m: longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal
- l_s: longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral
- R_d: coeficiente de reducción (Table 11.3.1B NDS 2005)
- R_e: F_{em} / F_{es}

Tipo de Rotura	Diámetro 12 mm			Diámetro 7 mm			Diámetro 5 mm		
	Z(1) [N]	Rd	Z [N]	Z(1) [N]	Rd	Z [N]	Z(1) [N]	Rd	Z [N]
I _m	16.636	4	4.159	9.705	4	2.426	5.760	2,46	2.341
I _s	69.120	4	17.280	40.320	4	10.080	28.800	2,46	11.707
II		3,6			3,6			2,46	
III _m		3,2			3,2			2,46	
III _s	18.572	3,2	5.804	9.560	3,2	2.988	6.153	2,46	2.501
IV	23.463	3,2	7.332	9.219	3,2	2.881	5.087	2,46	2.068
Mínimo	16.636		4.159	9.219		2.426	5.087	2,46	2.068
Experimental	16.637		16.637	9.728		9.728	6.007		6.007
Mínimo/Experimental %			25,00%			24,94%			34,43%

Z(1): Valores de resistencia antes de ser afectados por el Coeficiente de Reducción "Rd"

Tabla 10: Valores de resistencia lateral para uniones en la dirección paralela a las fibras.

Se puede apreciar para la dirección paralela a las fibras que los valores de resistencia obtenidos, antes de ser afectados por el coeficiente de reducción (R_d), son muy similares a los experimentales, salvo para el perno de 5 mm que presenta un valor menor condicionado por la corrección por diámetro que sugieren la NDS (ver tabla 8), si no se hubiera aplicado la reducción el valor determinado sería de 5.500 N.

Tipo de Rotura	Diámetro 12 mm			Diámetro 7 mm			Diámetro 5 mm		
	Z(1) [N]	Rd	Z [N]	Z(1) [N]	Rd	Z [N]	Z(1) [N]	Rd	Z [N]
Im	8.783	4	2.196	6.819	4	1.705	5.148	2,46	2.093
Is	69.120	4	17.280	40.320	4	10.080	28.800	2,46	11.707
II		3,6			3,6			2,46	
IIIIm		3,2			3,2			2,46	
IIIIs	14.302	3,2	4.469	8.356	3,2	2.611	5.897	2,46	2.397
IV	17.633	3,2	5.510	7.892	3,2	2.466	4.840	2,46	1.967
Mínimo	8.783		2.196	6.819		1.705	4.840		1.967
Experimental	8.782		8.782	6.924		6.924	5.043		5.043
Mínimo/Experimental %			25,00%			24,62%			39,01%
Z(1): Valores de resistencia antes de ser afectados por el Coeficiente de Reducción "Rd"									

Tabla 11: Valores de resistencia lateral para uniones en la dirección perpendicular a las fibras.

Para la dirección perpendicular a las fibras los valores determinados por la NDS, antes de ser afectados por el coeficiente de reducción (R_d), son muy similares a los valores experimentales. En este caso la aplicación de la corrección por diámetro (ver tabla 9) permitió el acercamiento a los mencionados valores.

De la comparación entre los resultados experimentales y las determinaciones de acuerdo a la NDS se puede expresar que:

- Los valores experimentales y los determinados por la NDS son coincidentes y el coeficiente de reducción " R_d " se constituye en un coeficiente de seguridad real.
- Los valores de la capacidad de carga característica determinados por aplicación de la NDS oscilan entre el 25 % y el 39 % de los valores experimentales para las dos direcciones, correspondiendo el mayor porcentaje al perno más deformable.
- Existe concordancia entre el tipo de rotura de la determinación reglamentaria y la experimental.
- Para uniones acero-madera resultó satisfactorio aplicar las expresiones de la NDS considerando para las placas laterales de acero su resistencia al aplastamiento y espesor.
- Los valores propuestos de resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra en la NDS son inferiores a los obtenidos experimentalmente para la Araucaria angustifolia de la Provincia de Misiones, Argentina.

4. Conclusiones:

- La Araucaria angustifolia cultivada en la Provincia de Misiones, Argentina, presenta mayores valores de resistencia al aplastamiento que los tabulados en la National Design Specification for Wood Construction (NDS 2005).
- Ajustar la tensión de aplastamiento en función del diámetro, para una misma gravedad anhidra, tal como lo propone la NDS, permitió alcanzar valores reglamentarios de Resistencia lateral similares a los experimentales, antes de la aplicación del coeficiente de reducción.
- Por la aplicación del Eurocódigo 5 se determinan valores de resistencia de las uniones acero-madera que alcanzan un porcentaje mayor en relación a la carga de rotura obtenida experimentalmente, que por aplicación de la NDS.
- Las expresiones reglamentarias que arrojaron el menor valor de resistencia en la NDS se correspondieron con el modo de rotura experimental, mientras que por la Aplicación del Eurocódigo 5 no ocurrió lo mismo para la clavija más flexible

Referencias Bibliográficas

- Agencia Española de Normalización y Certificación. (1993). Determinación de la resistencia al aplastamiento y módulo de aplastamiento para elementos de fijación tipo clavija. EN 383:1995. Madrid. España
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (1993). Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija. Clavos EN 409:1993. Madrid. España
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2009). Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija. Clavos EN 409:2009. Madrid. España
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (1997). Eurocódigo 5. Proyecto de Estructuras de Madera. UNE-ENV 1995. España
- Castria N. y Pallazzi S. (1992). Capacidad de carga en uniones con pernos. Revista de Ciencias exactas e Ingeniería de la Universidad Nacional de Tucumán. Año 2, n. 2, p 13-29
- Deutsches Institut Für Normung. (2007). Bestimmung der Lochleibungsfestigkeit und Bettungswerte für stiftförmige Verbindungsmittel. DIN EN 383:2007. Berlín.
- Deutsches Institut Für Normung (2005) Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines. Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004. Berlín
- Guillaumet A.A., Manavella R.D; Filippetti M.C., Diab J. y Armas A.. (2007). Clasificación visual resistentes de la Araucaria Angustifolia procedente de Eldorado, Misiones, Argentina. III Congreso Iberoamericano de productos forestales. Buenos Aires. Argentina.
- Guillaumet A.A., Manavella R.D; Filippetti M.C., Diab J. y Armas A.. (2010). Tensiones de aplastamiento en uniones tipo clavija en madera de Araucaria angustifolia. XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. San Juan. Argentina
- Lomagno, J (2004). El cálculo teórico de uniones de madera. XVIII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires. Argentina
- National Design Specification for Wood Construction (2005). American Forest & Paper Association. American Wood Council. Washington DC. USA
- Palazzi, S. y Anaya, D. (2006). Uniones con perno en madera laminada de Pino Elliotti. XIX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Mar del Plata. Argentina.
- Sosa Zito, A (2010). Resistencia al aplastamiento de piezas de Eucalyptus grandis unidas con un único elemento de fijación. 3^{er} Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales. Concepción del Uruguay. Argentina.