

Observaciones al Espaciamiento entre Clavos Exigido en la Norma NCh 1198.EOf 77

Pág. 77-93

Arturo Holmgren G.

Ingeniero investigador, Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago.

RESUMEN: el diseño de una unión clavada en madera, utilizando la norma nacional, obliga a la utilización de goussets y/o elementos con escuadrías mayores a las determinadas por el cálculo estructural, debido al espaciamiento y capacidad resistente de los clavos que dicha norma estipula. En este trabajo se recopiló antecedentes y especificaciones de normas, nacionales y extranjeras, y se exponen los resultados preliminares de una línea experimental de investigación, cuyo objetivo fue cuantificar el efecto del espaciamiento entre clavos en la capacidad resistente de una unión. Los resultados confirman que la norma NCh 1198.EOf77 "Madera. Construcciones en Madera. Cálculo", es demasiado conservadora y parecerían indicar que podrían ser aplicadas reducciones, a los valores actualmente vigentes, del orden del 50 y 40% en los espaciamientos en dirección paralela y perpendicular a la fibra, respectivamente, sin alterar significativamente la capacidad resistente de una unión.

I. INTRODUCCION

Las estructuras están constituidas por elementos que van unidos entre sí, generalmente en los extremos. Las soluciones adoptadas para conectarlos son variadas. Sin embargo, en nuestro país las uniones en las estructuras de madera son realizadas, usualmente, mediante clavos, por ser un método económico y fácil de ejecutar.

Al estudiar las especificaciones de la norma NCh 1198.EOf77: "Madera- Construcciones en madera-Cálculo" (1), se concluye que las escuadrías de los elementos quedan establecidas más bien por el diseño de las uniones que por la resistencia del elemento como tal. Esto se debe a que dicha norma estipula una baja capacidad de carga de los clavos y un exagerado espaciamiento entre ellos.

Este trabajo se basa en los resultados preliminares obtenidos de una investigación experimental que se planteó la problemática del espaciamiento entre clavos, con el objeto de justificar la realización de un acabado estudio analítico y experimental que, a mediano plazo, permita recomendar modificaciones a la actual norma vigente.

II. CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS EN MADERA

Mediante análisis teóricos y resultados experimentales, se ha obtenido una gran cantidad de expresiones y recomendaciones referentes a las uniones clavadas en madera. Con el fin de tener una visión mayor, se expondrá a continuación un resumen de aquellos antecedentes más relevantes.

En primer lugar se presenta el criterio seguido por Mateus (2), por ser la base, en cuanto a uniones clavadas en madera, de nuestra actual norma nacional NCh 1198 (1).

2.1 Criterio de Mateus (2)

Mateus supuso que se podía establecer una expresión para la capacidad de carga de un clavo sometido a extracción lateral, en función de los siguientes parámetros significativos:

- espesor real del madero que participa en la unión
- diámetro del clavo, y
- tensión admisible a la compresión de la madera.

Con sus análisis concluyó que: "para un clavo de diámetro y tipo de acero determinado y una calidad dada de la madera, el espesor del material leñoso que participa realmente en la resistencia de la unión es constante" (2). Este espesor lo designó " p ". En la Figura N° 1 se ha dibujado el diagrama de tensiones y deformaciones, tal como se los imaginó Mateus, en la etapa de grandes deformaciones. En esta etapa se puede considerar una distribución uniforme de tensiones en el espesor " p ". Luego, por equilibrio de fuerzas:

$$R_{\max} = 2 p d \sigma_R' \quad [1]$$

en que:

R_{\max} = fuerza máxima que la unión puede soportar, (kgf).

P = espesor que realmente interviene en la unión, (cm).

d = diámetro del clavo, (cm).

σ_R' = tensión unitaria máxima que puede soportar la madera bajo los esfuerzos transmitidos por el clavo, (kgf/cm²).

De ensayos de laboratorio obtuvo valores para σ_r , los que correlacionó con los valores de la resistencia a la compresión paralela de la madera, σ_R , determinados por ensayos normales en probetas de 2 x 2 x 6 cm. Esta relación la expresó como:

$$\sigma_R = 1,3 \sigma_r \quad [2]$$

Por otra parte, los resultados de ensayos en uniones clavadas le permitieron deducir la siguiente expresión:

$$p = 2,36 d \quad [3]$$

Luego, al reemplazar las ecuaciones [2] y [3] en [1], obtuvo:

$$R_{\max} = 6,14 d^2 \sigma_R \quad [4]$$

Esta es la expresión general de Mateus, que entrega la fuerza máxima a soportar por un clavo sometido a cizalle doble, con maderas cuya tensión de rotura en compresión paralela es

σ_R .

2.2 Norma chilena NCh 1198.EOf77 (1)

Las disposiciones relativas a las uniones clavadas que establece esta norma son aplicables para las siguientes condiciones: cualquiera sea el ángulo formado por las direcciones de la carga solicitante y las fibras de la madera; sólo a aquellas realizadas con clavos que atraviesen completamente los elementos a unir y que sean redondos, de cabeza plana y alambre común, colocados con su eje perpendicular a la superficie de la madera seca; y aún cuando se use una perforación guía cuyo diámetro no exceda el 75% del diámetro del clavo. Además, se debe cumplir que el menor espesor de los elementos a unir sea mayor que 2,5 veces el diámetro del clavo usado.

2.2.1 Resistencia a la extracción lateral

La determinación de la carga admisible de extracción lateral de un clavo está basada en el criterio de Mateus (2), en el cual aparecen como parámetros: el diámetro del clavo y la tensión de rotura a la compresión paralela de la madera en probetas de 2 x 2 x 6 cm., σ_R . De ambos, el más variable es σ_R por su dependencia de la estructura de la madera. Con el propósito de tomar en cuenta esta variabilidad y tener presente su valor mínimo probable que se puede esperar con cierta confianza, la norma chilena substituye σ_R , de la ecuación [4], por la tensión de rotura mínima probable, σ_{Rmin} . De este modo, se obtiene la expresión para la carga lateral mínima probable para extraer un clavo sometido a cizalle doble:

$$R_{czd, \min} = 6.14 \sigma_{Rmin} \cdot d^2 \quad [5]$$

Para obtener una expresión que permitiera calcular la carga admisible, se aplicó un coeficiente de seguridad que considerara los efectos de: carga de larga duración, mano de obra imperfecta, reducción de la carga máxima a un valor de diseño, etc.

Ensayos realizados por el Instituto Forestal (3), han entregado valores de resistencia que aconsejan adoptar un factor de seguridad, igual a 2,5, para obtener el valor de la carga admisible. Luego, las expresiones resultantes para la carga admisible de extracción lateral, asumiendo que la resistencia a la extracción lateral en cizalle simple es la mitad de la correspondiente al cizalle doble, son:

$$\text{Cizalle simple: } R_{czs, adm} = 1,228 \sigma_{Rmin} \cdot d^2 \quad [6]$$

$$\text{Cizalle doble: } R_{czs, adm} = 2,456 \sigma_{Rmin} \cdot d^2 \quad [7]$$

en que:

$R_{czs, adm}$ y $R_{czd, adm}$ = resistencia admisible de extracción lateral de un clavo sometido a cizalle simple y doble, respectivamente, (kgf).

σ_{Rmin} = tensión de rotura a la compresión paralela mínima probable, considerando 1% de defectuosos, (kgf/cm²).

d = diámetro del clavo (cm).

2.2.2 Espaciamientos

Los espaciamientos mínimos que deben tener los clavos colocados sin perforación guía, sometidos a esfuerzos de extracción lateral por una sollicitación cuya dirección es paralela a las fibras de la madera, son los que se indican en la Tabla N°1 y esquematizados en la Figura N°2.

TABLA N°1. Espaciamientos mínimos para clavos sometidos a extracción lateral, colocados sin perforación guía, según distintas normas, (cm).

| NORMA | e_{\parallel} | $e_{bc\parallel}$ | e_{\pm} | $e_{bd\perp}$ |
|-------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------|
| Alemana (*) | 10d (12d) | 15d | 5d | 5d |
| Japonesa | 12d | 15d | 5d | 5d |
| Inglesa | 20d | 20d | 10d | 5d |
| Chilena | 20d | 20d | 10d | 5d |

d: cm.

e_{\parallel} y e_{\perp} son los espaciamientos mínimos entre clavos medidos paralela y perpendicularmente a la dirección de la fibra, respectivamente, $e_{bc\parallel}$ es la distancia mínima al borde cargado medida según la dirección de la fibra y $e_{bd\perp}$ es la distancia al borde descargado medida perpendicularmente a la dirección de la fibra. Ver Figura N°2.

* Para clavos con diámetro superior a 0,42 cm., se considera la restricción indicada entre paréntesis.

2.3 Norma Alemana DIN 1052 (4)

2.3.1 Capacidad de carga admisible

La norma alemana DIN 1052 (4) establece que la capacidad de carga admisible, por superficie de cizalle, de un clavo que une elementos de madera de coníferas, está dada por:

$$R_{czs\ adm} = \frac{500 d^2}{1 + d}$$

$R_{czs adm.}$ = carga admisible por superficie de cizalle de un clavo en una unión (kgf).

d = diámetro del clavo (cm).

Los valores de resistencia así obtenidos son válidos siempre y cuando se cumpla con las siguientes exigencias de penetración mínima en el último elemento a unir, S_1 , y de espesor mínimo de los maderos,

a_{min} :

$$S_1 = 12 d, \text{ para cizalle simple, y} \quad [9]$$

$$S_1 = 8 d, \text{ para cizalle doble} \quad [10]$$

$$a_{min} = d (3+8 d) \geq 2,4 \text{ cm. , } d \text{ en cm.} \quad [11]$$

2.3.2 Espaciamientos

La norma alemana considera, además, el caso de uniones en que la sollicitación es perpendicular a las fibras de la madera y, por lo tanto, especifica las distancias correspondientes a dicho caso.

Los spaciamientos mínimos que exige la norma DIN 1052 (4) para la situación esquematizada en la Figura N°2, se resumen en la Tabla N°1.

2.4 Norma Japonesa (5)

Esta norma se refiere a las especificaciones básicas recomendadas para el diseño estructural de construcciones de madera, tomadas principalmente desde el punto de vista de la resistencia.

2.4.1 Cargas admisibles de clavos sometidos a esfuerzos laterales

La carga admisible para clavos sometidos a esfuerzos laterales por cizalle simple, aplicada en cualquier dirección, se especifica en la Tabla N°2, (pino insigne: madera blanda, grupo I). Para el caso de cizalle doble, la carga admisible es el doble de los allí indicados y podrá aumentarse o reducirse, dependiendo de algunos aspectos como:

- cantidad de clavos colocados en extremos de elementos en tracción, en una misma línea paralela a la dirección de la carga.
- utilización de elementos no climatizados.
- uniones de elementos de diferentes especies.
- uso de placas metálicas como elementos laterales.

TABLA N°2. Carga admisible para clavos sometidos esfuerzos laterales para cizalle simple, según norma japonesa.

| clavos | | carga (kgf) | | | | recomendación del espesor de la pieza central (mm) |
|--------------|---------------|-----------------------|----|---|----|--|
| largo (pulg) | diámetro (mm) | permanente | | eventual | | |
| | | maderas blandas grupo | | maderas blandas grupo | | |
| | | I | II | I | II | |
| 1,5 | 2,11 | 11 | 8 | | 15 | |
| 2 | 2,77 | 18 | 13 | | 18 | |
| 2,5 | 3,05 | 22 | 16 | tres veces el valor de carga permanente | 21 | |
| 3 | 3,40 | 27 | 19 | | 30 | |
| 3,5 | 3,76 | 32 | 23 | | 30 | |
| 4 | 4,19 | 40 | 29 | | 40 | |

2.4.2 Espaciamientos

El número de clavos para una unión sometida a esfuerzos laterales deberá ser mayor que 4, excepto en uniones de escasa importancia, y el espaciamiento, para el caso indicado en la Figura N°2, deberá cumplir los valores indicados en la Tabla N°1. Cabe hacer notar que, al igual que la norma alemana, se establecen los espaciamientos mínimos para el caso en que la sollicitación sea perpendicular a la dirección de las fibras de la madera.

2.5 Norma Inglesa BS 5268 (6)

2.5.1 Capacidad de carga

A diferencia de las especificaciones anteriormente señaladas con respecto a la capacidad de carga de clavos sometidos a extracción lateral, esta norma estipula valores de carga básica para una situación ideal. Esto significa que para obtener la carga admisible, se debe multiplicar la carga básica por una serie de factores de modificación que consideran, por ejemplo, la penetración del clavo en los elementos a unir. Sin embargo, para los fines que persigue este trabajo, se ha estimado la carga admisible como el valor de la carga básica.

Por otra parte, esta norma ha clasificado las especies en clases o grados estructurales. Es así como especifica distintos valores de carga básica para un determinado diámetro de clavo, según los diferentes grados. Debido a que la especie en interés es el Pino Insigne, se han tomado en cuenta sólo aquellos valores correspondientes a dicha clasificación, los que se muestran en la Tabla N°3.

TABLA N°3. Carga básica para clavos sometidos a esfuerzos laterales para el Grado Estructural equivalente al Pino Insigne, según norma inglesa,(kgf).

| Clavos diámetro (mm) | Cizalle simple | Cizalle doble |
|----------------------|----------------|---------------|
| 2.65 | 26.5 | 53 |
| 3.00 | 34.0 | 68 |
| 3.35 | 42.0 | 84 |
| 3.75 | 53.0 | 106 |
| 4.00 | 60.0 | 120 |
| 4.50 | 76.0 | 152 |
| 5.00 | 94.0 | 188 |
| 5.60 | 118.0 | 236 |
| 6.00 | 135.0 | 270 |

2.5.2 Espaciamientos

Los espaciamientos mínimos entre clavos colocados sin perforación guía, sometidos a extracción lateral por una sollicitación de dirección paralela a las fibras de la madera, están indicadas en la Tabla N°1 (ver Figura N°2).

III. COMPARACION DE LOS DIFERENTES CRITERIOS

Se han presentado los criterios adoptados en algunos países. Sin embargo, sería interesante enfrentarlos en un gráfico para visualizar la diferencia en los valores de resistencia para una determinada unión. Para ello, se entregan en un gráfico, Figura N°3, las curvas de capacidad resistente admisible que entrega cada uno de los criterios expuestos. Se ha calculado sólo para cizalle doble, ya que el caso de cizalle simple sostiene una relación similar entre los criterios. Para el caso de la norma nacional, se ha considerado $\sigma_{R_{\min}}$ igual a 210 kgf/cm².

Al observar las curvas de la Figura N°3 se concluye que, en capacidad resistente, la norma nacional NCh 1198 (1) ocupa un lugar conservador, siendo las normas alemana (4) e inglesa (6) las que conducen a resistencias más elevadas. A su vez, de la Tabla N°1 se concluye que la norma alemana es la menos exigente en cuanto a espaciamiento entre clavos.

Tello y Becker (7) realizaron ensayos con 5 probetas para clavos de 3" y 5 para clavos de 4", llegando a la conclusión de que en ambos casos es ventajoso utilizar el criterio DIN 1052 (4) en cuanto a los espaciamientos. Dicha publicación adolece de algunos errores numéricos y sus resultados avalan lo dicho para los clavos de 3", pero no para los de 4". Sin embargo, deja de manifiesto la necesidad de reconsiderar los espaciamientos exigidos por la norma nacional.

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1 Metodología

En vista de lo anterior, se realizó una investigación con el fin de analizar el parámetro espaciamiento de los clavos exigidos por la norma nacional y alemana. Para ello, se diseñaron probetas compuestas por tres elementos, existiendo simetría respecto al madero central, y unidas por un total de cuatro clavos.

Se llevó a cabo una encuesta en terreno para averiguar el tipo de clavo y madera que con mayor frecuencia se utiliza en nuestro país, dando como resultado: clavos corrientes de longitud 3", diámetro 0,34cm., fabricados por Inchalam y madera pino insigne, $c_{Rpromedio}=440 \text{ kgf/cm}^2$, ambos en razón de su bajo costo y alta disponibilidad.

Se prepararon probetas en que los tres maderos tenían igual espesor, y otras en que el elemento central tenía un espesor igual al doble de los laterales. En ambos casos las probetas fueron unidas por cuatro clavos, que fueron solicitados a cizalle simple o doble. Esto permite obtener una primera visión del efecto del espesor relativo de los elementos que componen una unión.

Para una mejor comprensión del tipo de probetas utilizadas, la Figura N°4 muestra un esquema de ellas. También se realizaron ensayos normales de compresión paralela en probetas de 2 x 2 x 6 cm.

Se confeccionaron tres probetas para cada uno de los esquemas de unión presentados en la Figura N°4, totalizando una cantidad de 24 probetas. Las probetas fueron clavadas con martillo manual el día anterior al ensayo.

La aplicación de la carga se realizó mediante compresión con un cilindro hidráulico Lukas de 20 toneladas. La disposición del ensayo se muestra en la Figura N°5.

Para las mediciones de carga y deformación relativa entre el madero central y los laterales, se utilizaron transductores eléctricos lineales Hewlett-Packard, los cuales permitieron obtener las curvas carga versus deformación en un inscriptor X-Y Hewlett-Packard 7046-A.

La aplicación de la carga se hizo a velocidad constante y sin detenciones, durando cada ensayo, aproximadamente, 8 minutos.

4.2 Resultados

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N°4. Los valores de resistencia máxima a la extracción lateral de un clavo, que entrega la expresión desarrollada por Mateus, ecuación [4], considerando $d=0,34$ cm y $\sigma_R=323$ kgf/cm², obtenido de los ensayos normales de compresión paralela, son:

cizalle doble : $R_{max} = 230$ kgf

cizalle simple: $R_{max} = 115$ kgf

TABLA 4 Resumen de resultados de los ensayos

| Probeta tipo | R_{max} (kgf) | | | R_{max} (kgf) | R_{max} /clavo (kgf) | Norma | Cizalle |
|--------------|-----------------|------|------|-----------------|------------------------|---------|---------|
| A | 1120 | 1250 | 1325 | 1232 | 308 | Chilena | Doble |
| B | 1075 | 1150 | 1250 | 1158 | 290 | Alemana | |
| C | 500 | 560 | 625 | 562 | 140 | Chilena | Simple |
| D | 450 | 525 | 625 | 533 | 133 | Alemana | |
| E | 630 | 730 | 750 | 703 | 176 | Chilena | Doble |
| F | 580 | 700 | 710 | 663 | 165 | Alemana | |
| G | 440 | 460 | 460 | 453 | 113 | Chilena | Simple |
| H | 420 | 440 | 500 | 453 | 113 | Alemana | |

V. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados de los ensayos se observa que los valores de las probetas A, B, C y D son superiores a los obtenidos con la expresión de Mateus (2) y sólo los de las probetas tipo G y H están de acuerdo con ella, considerando el valor real de σ_R . Por otra parte, las tipo E y F entregan valores de resistencia bastante inferiores. Por lo tanto, a pesar de que Mateus no limita el espesor de los elementos a unir, y que la exigencia de la norma nacional al respecto se cumple con creces en estos ensayos, los resultados obtenidos de las probetas E y F estarían justificando hacer un estudio más profundo del valor establecido en NCh 1198 de este parámetro.

Otro aspecto que se observa al comparar los valores obtenidos en las probetas C y D con las G y H y las A y B con las E y F, respectivamente, es que aunque se cumpla con los espesores mínimos de los elementos, estipulados en las normas correspondientes, y la penetración sea completa en el último madero penetrado (probetas C, D, G y H), es conveniente la utilización de espesores iguales de los maderos a unir, ya sea en el caso de cizalle simple o doble. Esto no se ve tan claro al comparar las A, B con las E, F, pues se puede responsabilizar al poco espesor de los elementos laterales de las E y F, su baja resistencia obtenida. Sin embargo, las C, D y G, H cumplen con los espesores y penetración mínima establecidos en la norma DIN

1052 (4), ver sección 2.3.1. Por lo tanto, no es tan válido lo que sostienen algunos investigadores en cuanto a que sólo basta establecer un espesor y penetración mínimos, dejando fuera de consideración lo conveniente del uso de espesores iguales en los elementos que intervienen en una unión. Esto último se puede esclarecer al pensar en un clavo sometido a cizalle simple penetrando completamente los maderos, y uno de ellos es de mayor espesor que el otro. Aquella longitud del clavo que está embebida en el madero mayor, se verá más propensa a deformarse por flexión que la otra. Esto se traducirá, a partir de cierta carga, en que la unión muestre un gran deslizamiento relativo entre sus partes constituyentes con respecto a una misma unión con maderos de igual espesor, en la cual el momento máximo que solicita al clavo será inferior. En el caso de cizalle doble se producirá una superposición de tensiones en el madero central. Sin embargo, por el hecho de disminuir la longitud sobre la cual actúan dichas tensiones, se producirá un momento flector inferior que aquel producido cuando se utiliza un madero central con espesor mayor al de los elementos laterales. Cabe dejar en claro que tampoco se debe utilizar un madero central con espesor menor al de los laterales, ya que ello aumenta las tensiones en él.

La conclusión más importante es la que se refiere al espaciamiento entre clavos. Con los resultados obtenidos se observa un aumento promedio de apenas 4,6% en capacidad resistente de la unión de aquellas probetas que cumplen con la norma nacional con respecto a la alemana. Sin embargo, los espaciamientos longitudinal y transversal, entre clavos, especificados por la norma chilena son un 94% y 70% mayores que los de la norma DIN 1052, respectivamente. Por lo tanto, es posible que reducciones del orden de un 50% en el espaciamiento longitudinal y de un 40% en el transversal, podrían ser aplicados a los exigidos actualmente por NChl 198.EOf77 (1).

REFERENCIAS

1. INN. "Madera-Construcciones en madera-Cálculo". Norma NCh 1198.EOf77. Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 1977.
2. Mateus, T.J.E., "Bases para el dimensionamiento de estructuras de madera", Memoria N°179, Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, Lisboa, 1962.
3. Pérez, V., "Uniones clavadas para construcción en maderas", Informe N°51, Instituto Forestal de Chile, Santiago, 1979.
4. DIN. "Timber Structures Design and Construction". Norma DIN 1052, Parte I. 1969.
5. Jorquera, L. y Bonhomme, F., "La norma japonesa para estructuras de madera", Informe N° 17, Centro de la Vivienda y Construcción de la Universidad de Chile, Santiago, 1964.
6. BS. "Structural Use of Timber". Norma BS 5268, Parte II. British Standard Institution, 1984.
7. Tello, P. y Becker, A., "Estudio de los parámetros condicionantes de la capacidad de carga en uniones clavadas", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 1979.

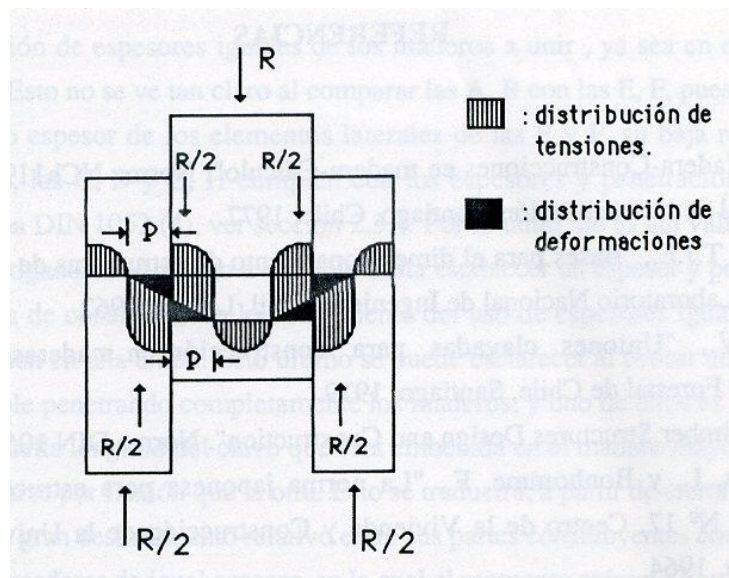
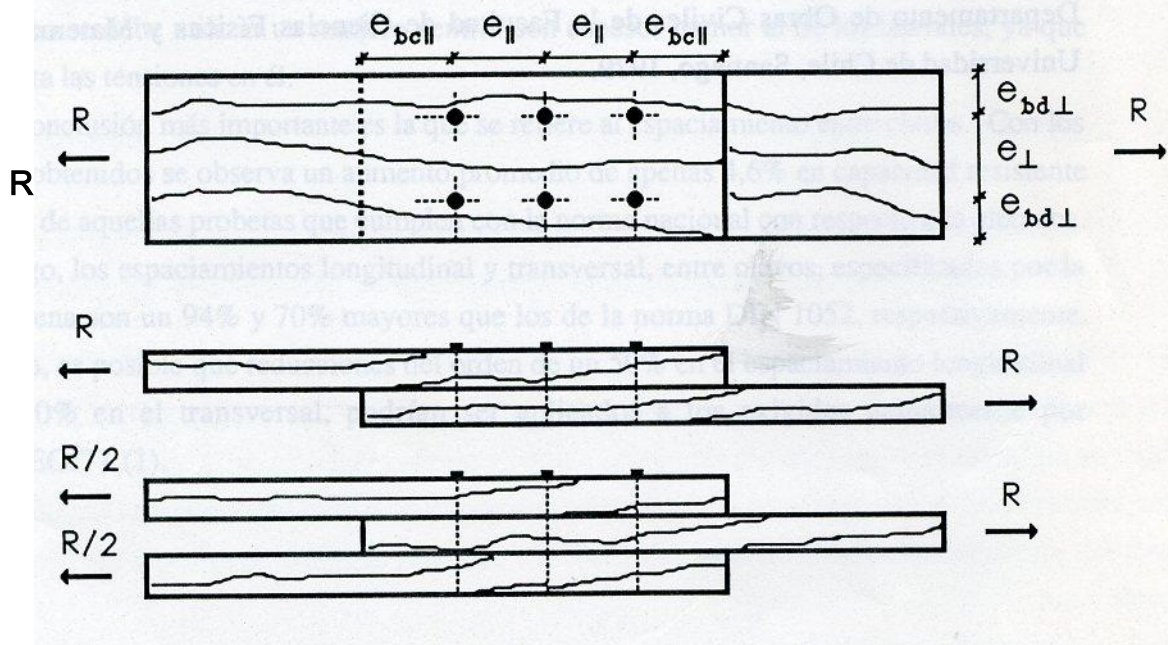


Figura 1 Modelo de la distribución de tensiones y deformaciones en uniones clavadas supuesto por Mateus (2), en la etapa de grandes deformaciones.



Figura

2 Especificaciones del espaciamiento mínimo para clavos sometidos a extracción lateral, para el esquema presentado, y colocados sin perforación guía. Los valores se indican en la tabla N°1, según distintos criterios.

Figura 3 Carga máxima admisible de extracción lateral para cizalle doble, según las especificaciones de algunos países.

Figura 4 Esquema de las probetas utilizadas en la investigación.

Figura 5 Disposición del ensayo