

C.2



0006033

3 - SET. 1979

INFORME TECNICO Nº 51



UNIONES CLAVADAS
PARA CONSTRUCCIONES EN MADERA

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL



INFOR

INSTITUTO FORESTAL
SANTIAGO-CHILE

ABRIL 1979

**BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL**

INSTITUTO FORESTAL
DIVISION INDUSTRIAS
DEPTO. CONSTRUCCIONES EN MADERA

Informe Técnico N° 51.

**UNIONES CLAVADAS
PARA CONSTRUCCIONES EN MADERA**

Vicente Antonio Pérez Galaz

Instituto Forestal
Inscripción N° 49.733
Junio 1979

Instituto Forestal
Huérfanos 554 — Casilla 3085
Santiago — Chile

INDICE

Página

RESUMEN	5
SUMMARY	7
INTRODUCCION	9
GENERALIDADES	10
1. RESISTENCIA A LA EXTRACCION DIRECTA DEL CLAVO	13
1.1. Factores que afectan la resistencia a la extracción directa del clavo.	13
1.2. Ensayos Realizados	14
1.3. Cargas admisibles de extracción directa normal a las fibras	17
2. RESISTENCIA A LA EXTRACCION LATERAL DEL CLAVO	20
2.1. Factores que afectan la resistencia a la extracción lateral del clavo.	20
2.2. Ensayos realizados	35
2.3. Cargas admisibles de extracción lateral	42
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
3.1. Para la resistencia a la extracción directa del clavo	45
3.2. Para la resistencia a la extracción lateral del clavo	45
ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE CALCULO Y DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS	47
A.1. Disposiciones Generales	49
A.2. Extracción directa	49
A.3. Extracción Lateral	49
A.4. Clavos "lanceros"	50
ANEXO B: EJEMPLOS DE APLICACION EN EL DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS	59
B.1. Ejemplo de aplicación	61
B.2. Ejemplo 2 de aplicación. Extracción lateral	62
B.3. Ejemplo 3 de aplicación. Extracción lateral	64
B.4. Ejemplo 4 de aplicación. Extracción lateral	65
BIBLIOGRAFIA	67

R E S U M E N

El clavo es uno de los medios más simples para ligar piezas de madera, por lo cual es importante revisar las leyes que gobiernan su comportamiento en las uniones de elementos estructurales.

Existen dos tipos de sollicitaciones en las uniones clavadas: **de extracción directa**, en la cual la dirección del esfuerzo coincide con el eje del clavo y la de **extracción lateral** en donde la dirección de la carga es perpendicular al eje del clavo y que depende de la resistencia a la compresión paralela de la madera, del diámetro del clavo y del tipo de sollicitación.

En el presente informe se revisan los parámetros que inciden sobre el comportamiento de una unión clavada; los diferentes esfuerzos que distintos países han realizado para encontrar las expresiones que permitan establecer la resistencia de estas uniones y la aplicabilidad de dichas expresiones a nuestros materiales. De tales consideraciones se recomiendan fórmulas de cálculo para las sollicitaciones de extracción directa y de extracción lateral, las que se justifican a través de ensayos experimentales realizados con clavos comunes y especies madereras nacionales.

Finalmente, el informe proporcionará especificaciones de cálculo y diseño para uniones clavadas que podrán servir de base para regularizar el diseño con este elemento de unión.



S U M M A R Y

The simplest way of joining wooden parts is by the use of nails. It is therefore important to know the laws that rule their behavior, when used for assembling structural elements.

Two types of solicitations occur when using nail joints: one of **direct extraction** where the direction of the force coincides with the axis of the nail, and another of **lateral extraction** where the direction of the load is perpendicular to the axis of the nail and which depends of the parallel compression resistance of the wood, the diameter of the nail and the type of soliciting force.

The present report reviews the parameters that determine the behavior of nailed joints; the various efforts undertaken by several countries to obtain the formulas capable of expressing the resistance of these joints, and the aplicability of these formulas for our wooden materials. From these considerations some formulas are suggested for the direct and lateral solicitations which are justified by experimental trials carried out with common nails and chilean woods.

Finally, this report gives design and calculation specifications for nailed joints, with the hope that they may serve as a starting point for the regularization of designs with this joining element.



INTRODUCCION

La resistencia y estabilidad de cualquier estructura dependen en gran medida de los elementos que unen las diferentes partes que la constituyen. Dentro de los materiales usados en estructuras, la madera es una excepción, debido a la facilidad con que las diferentes partes estructurales constituidas de madera pueden unirse entre sí, y debido también a la amplia variedad existente de elementos de unión, tales como: clavos, tornillos, pernos, tirafondos, conectores, etc.

El clavo, es sin duda, uno de los medios más simples para ligar piezas de madera. Su uso en la construcción se remonta a tiempos inmemoriales, como lo prueban ciertas obras que aún hoy en día se conservan y que atestiguan la capacidad inventiva del hombre antiguo y la confianza que ellos tenían en este medio de unión. Un ejemplo clásico es el correspondiente a los barcos construídos por los vikingos en los siglos XI y XII, en los cuales el clavo fue ampliamente utilizado.

En la construcción civil, tal como lo han establecido STOIY y FONROBERT, sólo en la mitad del siglo XVI el clavo empezó a desempeñar un papel significativo, gracias al constructor PHILIBERT DELORME que, ya en esa época, se preocupaba de la dificultad de encontrar piezas lo suficientemente grandes para satisfacer las exigencias de la construcción y proponía como solución la de construir elementos estructurales compuestos a partir de piezas de pequeña dimensión unidas con clavos.

Durante muchos años, el clavo fue utilizado empíricamente en las estructuras y ciertamente por eso los reglamentos de construcción de los diferentes países o lo omitían de sus prescripciones o prohibían su empleo en elementos resistentes impor-

tantes, relegándolo a obras provisorias o de interés secundario.

Poco a poco comenzó a crecer, particularmente en Europa, el interés por las estructuras clavadas, especialmente después de los trabajos de STOIY (1930), GABER (1940), GRABBE (1939), MARTEN, FONROBERT, y de algunas realizaciones de gran mérito que impusieron definitivamente el clavo como elemento de unión universal, simple de aplicar, barato y eficiente,

STERN (1946) considera las estructuras clavadas como: económicas, versátiles, resistentes y elásticas, pudiendo soportar igualmente bien cargas estáticas y dinámicas y adaptarse tanto a las estructuras provisorias como definitivas.

Ciertamente, debido a estas cualidades, se han difundido ampliamente las normas relativas al empleo del clavo en la construcción y se han multiplicado los estudios sobre las uniones clavadas.

En nuestro país se conoce muy poco acerca de la resistencia que presentan los clavos que aquí se fabrican, cuando actúan en las especies nativas o aclimatadas de uso corriente en estructuras y construcciones de madera. La presente investigación contempla el estudio de la resistencia de estos elementos cuando se les somete a esfuerzos de extracción de dirección paralela al eje del clavo (extracción directa) y a esfuerzos con dirección perpendicular al eje del elemento de unión (extracción lateral o cizalle).

La finalidad de este estudio es proporcionar, en base a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, tablas y ábacos que orienten al calculista en el diseño de uniones de madera estructural, obteniéndose con ello una mayor economía y seguridad en el uso de clavos.

GENERALIDADES

El clavo fue la primera solución que surgió como capaz de transmitir, de un elemento a otro de una estructura, los esfuerzos que en ella se generan por la acción de fuerzas exteriores. Es un elemento de unión simple y de fácil aplicación, ofreciendo la ventaja de su gran divulgación que lo convierte en práctico y económico.

Su condición de elemento metálico de pequeña sección transversal, hace que el esfuerzo que es capaz de transmitir esté limitado por la concentración de tensiones que introduce en la madera y que tienden a rajarla en el lugar donde él actúa. Por esta razón es imprescindible ubicar, en una misma unión, varios elementos, a fin de que la fuerza aplicada se reparta en un área que garantice que las tensiones desarrolladas se mantengan bajo el valor que provoca la rotura de la madera. El número de elementos en una unión tampoco puede ser muy alto, puesto que clavos muy cercanos producirían también el rajamiento de la madera y actuarían más como cuña sobre ella que como elemento de unión. Deberá, por lo tanto, existir, un justo término medio entre ambos criterios.

Otra característica de las uniones clavadas es la que se refiere a su deformabilidad, la cual es ocasionada por la transmisión del esfuerzo a través de un elemento que tiende a rajar la madera debido a su pequeña sección transversal, y por la deformación por flexión del clavo, debido a su largo y a su pequeño momento de inercia.

Sin embargo, si esta deformabilidad se restringe a ciertos límites, se convierte en una virtud, pues la unión puede absorber las tensiones que se producen debido a la aparición de esfuerzos secundarios que pueden transformarse en tensiones adicionales importantes, si tal deformación no se produjese.

Existen diferentes tamaños y formas de clavos. Dentro de esta variedad se pueden distinguir los clavos de uso corriente y los destinados a propósitos especiales. En este estudio se abordan sólo los clavos comunes a fin de tener, entre otros datos, un nivel de comparación cuando, en futuras investi-

gaciones, se estudie la resistencia de clavos con características especiales.

Las fórmulas y tablas que aquí se presentan para determinar cargas admisibles, se deben aplicar a clavos lisos, confeccionados con alambre de acero común y colocados en madera que no tenga una evidencia aparente de rajamiento. Las características de los clavos que comúnmente se encuentran en el comercio chileno son las indicadas en la Tabla A. (Ver Anexo). La identificación de los clavos se hará de acuerdo al largo de ellos, expresado en pulgadas, debido a que esa es la forma como se les identifica actualmente en el comercio y en las obras de construcción.

La dirección de la fuerza de extracción del clavo, respecto al eje de él, establece dos tipos de resistencia de las uniones clavadas:

- a. Resistencia a la extracción directa del clavo y
- b. Resistencia a la extracción lateral del clavo.

Si la carga es paralela al eje del clavo, la unión presentará una "resistencia a la extracción directa". (Ver figura 1 a).

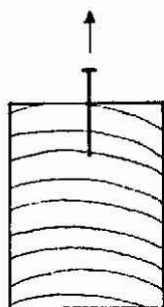
Si la carga es normal al eje del clavo, la unión presentará una "resistencia a la extracción lateral". (Ver figura 1 b). Según el número de elementos que conforman la unión, esta "resistencia lateral" se podrá dividir en:

- i. Resistencia al cizalle simple
- ii. Resistencia al cizalle múltiple.

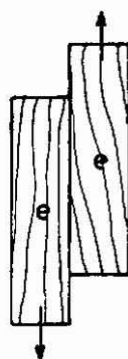
Se tendrá resistencia lateral con cizalle simple si los elementos unidos por el clavo son dos, es decir, el clavo queda solicitado al cizalle en una sola sección transversal. (Ver figura 1 b).

Se tiene resistencia lateral con cizalle múltiple si el clavo une tres o más elementos, es decir, él queda solicitado al cizalle en dos o más secciones. (Ver figura 1 c).

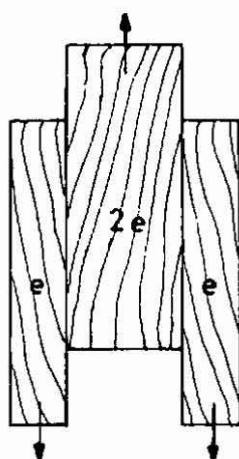
FIGURA 1. DIFERENTES TIPOS DE UNIONES CLAVADAS.



a. Resistencia a la extracción directa.



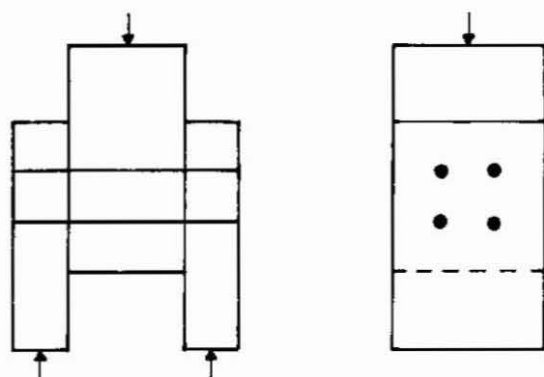
b. Resistencia lateral Cizalle simple.



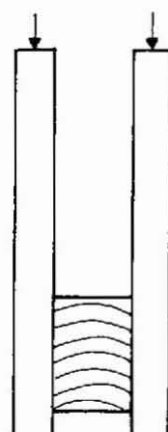
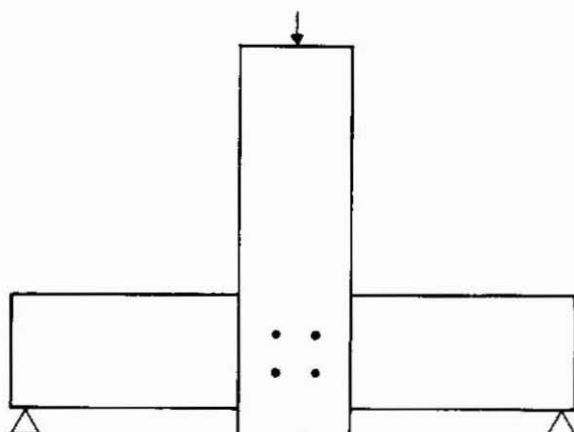
c. Resistencia lateral cizalle doble.

Al considerar la dirección de la carga aplicada se presentan los siguientes tipos de resistencia en las uniones clavadas:

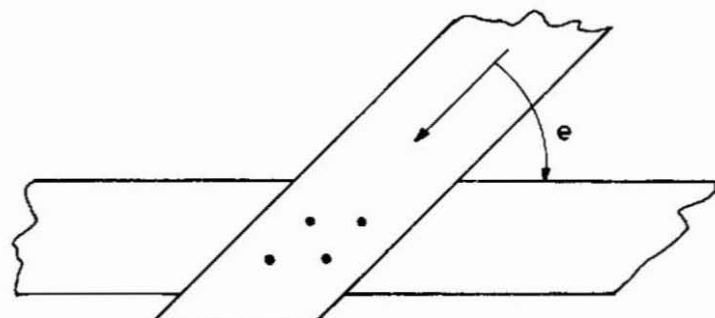
FIGURA 2. TIPOS DE UNIONES SEGUN LA DIRECCION DE LA CARGA, RESPECTO A LA DIRECCION DE LAS FIBRAS DE LA MADERA.



Carga paralela a las fibras



Cargas normal a las fibras.



Cargas que forman un ángulo dado con las fibras.

1. RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DIRECTA DEL CLAVO.

1.1 Factores que afectan la Resistencia a la Extracción directa de un Clavo.

Son muchas las variables involucradas que influyen sobre este tipo de resistencia; parte de ellas atribuibles a la naturaleza y condición de la madera en la cual se coloca el clavo, y parte, ocasionadas por la forma y características del clavo y a la forma de ubicarlos en la madera. De las mencionadas en primer término, podemos enumerar la densidad de la madera, su mayor o menor tendencia a rajarse y cualquier cambio del contenido de humedad ocurrido entre el instante de la colocación del clavo y el de su extracción, conjuntamente con el período de tiempo que media entre ambas operaciones. Se encuentran entre los factores mencionados en segundo lugar, las variables inherentes al clavo, como la forma de su espiga, la de su punta, su diámetro, la naturaleza de la superficie de contacto con la madera, la profundidad de penetración y la posición del clavo con respecto a las fibras de la madera.

1.1.1. Antecedentes generales.

Estudios realizados en otros países han demostrado que los factores que influyen mas fuertemente en la resistencia a la extracción directa son:

- a. Profundidad de penetración.
- b. Estado de la madera. Contenido de Humedad.
- c. Dirección de colocación respecto a la fibra de la madera.
- d. Densidad de la madera, y
- e. Diámetro del clavo.

Profundidad de penetración:

Se entiende por profundidad de penetración a la longitud del clavo, en centímetros, que queda contenida en la madera. Se ha demostrado empíricamente que existe una relación lineal entre la resistencia a la extracción directa y la profundidad de penetración.

Contenido de humedad de la madera:

Los ensayos realizados en USA., Inglaterra y otros países, han demostrado que no existe diferencia significativa entre las cargas necesarias para extraer clavos, recién colocados, tanto en madera seca como en madera verde.

Se pierde gran parte de resistencia a la extracción, si el clavo se coloca en madera en estado verde que se seca antes del ensayo de extracción o si

se coloca en madera seca que se humedece antes de dicho ensayo.

Dirección de colocación respecto a las fibras de la madera:

El eje del clavo puede colocarse en dirección paralela a las fibras de la madera o perpendicular a ellas. En este último caso puede consultarse además la ubicación respecto a los anillos de crecimiento de la madera resultando una ubicación "normal tangencial" o "normal radial". En diferentes países se acepta que un clavo colocado en dirección paralela a las fibras, no tiene resistencia a la extracción directa, no recomendándose tal ubicación en una especificación de cálculo de uniones, clavadas.

Respecto a clavos colocados con su eje normal a las fibras de la madera, no se ha demostrado la existencia de una diferencia notable entre la resistencia a la extracción de clavos "normales tangenciales" y "normales radiales".

Densidad:

Existe una reconocida influencia de la densidad de la madera sobre la resistencia a la extracción directa de un clavo. Un aumento en la densidad incrementa la resistencia a la extracción. En maderas de alta densidad convendría usar clavos de pequeño diámetro, a fin de evitar rajaduras originadas en la separación de las fibras de la madera al introducir el clavo.

Diámetro del clavo.

La resistencia a la extracción directa de un clavo aumenta con el incremento de su diámetro

1.1.2. Relación entre los factores que influyen en la resistencia a la extracción directa de los clavos.

Se ha encontrado que la expresión que liga la carga máxima de extracción, la densidad, el diámetro del clavo y la profundidad de penetración es:

$$P_{\text{máx.}} = K \cdot D_{ss}^n \cdot d^m \cdot L \quad (I)$$

en que:

- | | |
|-------------------|--|
| $P_{\text{máx.}}$ | = carga máxima de extracción. |
| K | = constante que depende de las unidades empleadas en la expresión. |
| D_{ss} | = densidad basada en el peso y volumen seco al horno. |
| d | = diámetro del clavo. |
| L | = profundidad de penetración. |
| n, m | = exponentes de la densidad y del diámetro, respectivamente. |

Esta expresión se puede transformar en:

$$P_{\text{máx.}} = K \cdot D_{ss}^n \cdot d^m \quad (2)$$

en que:

$P_{\text{máx.}}$ = carga máxima de extracción por unidad de penetración.

Los valores de K, n y m dependerán de la relación que existe entre las especies nativas de cada país y los tipos de clavos que se fabriquen en ese territorio.

En Madison, Wisconsin, U.S.A., se ha establecido para esta relación la siguiente expresión:

$$P_{\text{máx.}} = 6.900 D_{ss}^{5/2} \cdot d \quad (3)$$

en que:

$P_{\text{máx.}}$ = carga máxima de extracción en libras, por pulgada de penetración del clavo.

D_{ss} = densidad basada en el peso y volumen seco al horno.

d = diámetro del clavo en pulgadas.

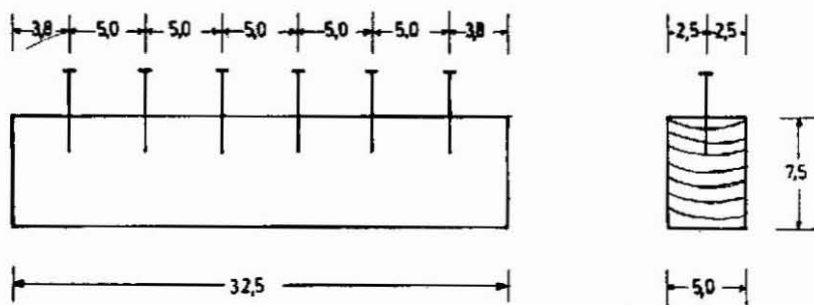
1.2. Ensayos Realizados.

En Chile, y con el fin de comprobar la aplicabilidad de la expresión determinada en el Forest Products Laboratory, Madison, U.S.A., se ha realizado una serie de experiencias que se llevaron a efecto en el Laboratorio de Investigaciones en Productos Forestales del IDIEM, Universidad de Chile.

1.2.1. Probeta y método de ensayo.

La extracción directa normal a las fibras se efectuó en clavos ubicados en probetas cuyas dimensiones fueron: 5 x 7,5 x 32,5 cm. (2" x 3" x 13"), en la cual se colocaron 6 clavos, distribuidos como se indica en la Figura N° 3.

FIGURA N° 3 PROBETA USADA EN LA EXTRACCION DIRECTA NORMAL A LAS FIBRAS.



NOTA: medidas en cm.

Los clavos se ubicaron a una distancia de 3,8 cm. (1 1/2") del extremo de la probeta y a una distancia de 5 cm (2") entre ellos, alineándose en el centro de la cara más angosta, de modo que quedara una distancia de 2,5 cm. (1") al centro de la probeta.

La extracción se efectuó en una máquina de ensayo marca Amsler, con capacidad máxima de 15 ton. y precisión de 1 kg. en su escala menor. El esfuerzo se aplicó, a velocidad constante, mediante un dispositivo fabricado especialmente para tal efecto. La carga se aplicó a la cabeza del clavo, hasta determinar la carga máxima de extracción.

El número de probetas varió de acuerdo al factor que se estudiaba.

Luego del ensayo, se extrajeron muestras de la probeta, para determinar el contenido de humedad y la densidad de la madera usada.

El contenido de humedad se determinó en la muestra, a través de pesadas y luego de un secado al horno (a $103 \pm 2^\circ\text{C}$) hasta obtener peso constante. El porcentaje de humedad queda determinado por:

$$H = \left(\frac{P}{P_0} - 1 \right) \times 100$$

en que:

P_0 = peso original de la muestra, en gr.

P_s = peso seco al horno de la muestra a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ en gr.

H = contenido de humedad, en %.

La densidad que se usó en este trabajo fue la basada en el peso y volumen seco al horno. Para su determinación se usó la misma muestra empleada en la determinación de la humedad, procediéndose a determinar su volumen, después del secado, mediante inmersión en un depósito de mercurio. Midiendo el nivel de mercurio antes y después de la inmersión y conociendo el área basal media del depósito, es posible obtener el volumen de la probeta. La densidad basada en el peso y volumen seco, se calculó como sigue:

$$D_{ss} = P_s / V_s$$

en que:

P_s = peso seco al horno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ en gr.

V_s = volumen seco de la muestra en cm^3 .

D_{ss} = densidad basada en el peso y volumen seco al horno, en gr/cm^3 .

1.2.2. Resultados.

Se hicieron un total de 160 extracciones, dentro de las cuales se incluyeron 5 especies y 6 diferentes diámetros. Los valores medios de los resultados obtenidos, se indican en la Tabla N° 1.

TABLA Nº 1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DESTINADOS A DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LA DENSIDAD Y DEL DIAMETRO SOBRE LA EXTRACCION DIRECTA NORMAL A LAS FIBRAS.

Especie	Nº de ensayos	Clavo	Carga media por unidad de penetración p kg/cm.	Diametro del clavo d mm	Densidad media seca D _{ss} kg/m ³	Humedad media H o/o
Alamo	5	1"	7,5	1,6	352	11,0
	5	1 1/2"	9,4	2,2	312	12,5
	7	2"	11,6	2,8	328	12,4
	5	2 1/2"	11,7	3,1	363	10,5
	8	3"	19,8	3,8	319	12,2
	5	4"	27,3	4,3	318	11,2
Pino Insigne	5	1"	11,6	1,6	485	12,0
	5	1 1/2"	14,3	2,2	492	11,8
	3	2"	18,5	2,8	491	11,9
	5	2 1/2"	21,0	3,1	443	12,3
	5	3"	31,9	3,8	496	11,7
	14	4"	36,9	4,3	417	13,0
Laurel	5	1"	16,1	1,6	533	12,4
	5	1 1/2"	22,8	2,2	533	12,3
	5	2"	29,0	2,8	500	12,5
	4	2 1/2"	34,9	3,1	550	11,8
	4	3"	51,1	3,8	500	12,5
	6	4"	57,8	4,3	537	12,0
Pino Araucaria	4	1"	21,7	1,6	527	12,1
	4	1 1/2"	30,6	2,2	527	12,1
	6	2"	40,8	2,8	524	12,1
	4	2 1/2"	51,3	3,1	535	12,2
	4	3"	56,7	3,8	527	12,1
	4	4"	70,0	4,3	527	12,1
Coihue	5	1"	23,5	1,6	601	11,5
	4	1 1/2"	33,2	2,2	610	11,6
	7	2"	49,0	2,8	664	15,1
	6	2 1/2"	56,9	3,1	623	12,1
	5	3"	71,7	3,8	601	11,5
	6	4"	87,7	4,3	661	14,1

Estos valores experimentales se han comparado con los teóricos que se obtienen de la fórmula de MADISON, que para las unidades usadas en Chile, se convierte en:

$$P_{\text{máx.}} = 500 \times D_{ss}^{5/2} \times d \text{ kg/cm.}$$

en que:

- $P_{\text{máx.}}$ = carga unitaria máxima de extracción directa normal a las fibras, en kg/cm.
 D_{ss} = densidad basada en peso y volumen seco, en gr/cm³.
 d = diámetro del clavo, en cm.

El resultado de esta comparación se observa en el gráfico de la Figura 4. De él se puede deducir que la fórmula da valores menores a los encontrados experimentalmente, lo cual se hace más evidente para los diámetros mayores. En dicha zona los puntos experimentales se alejan bastante de la recta de MADISON. Investigaciones realizadas en IDIEM de la Universidad de Chile, han establecido curvas del tipo señalado en la figura, 4 que se acercan bastante a los valores experimentales encontrados en Chile para nuestros clavos y especies madereras. De ellas se ha deducido una nueva expresión para establecer la carga máxima necesaria para extraer, por extracción directa, un clavo colocado en dirección normal a las fibras de la madera. Esta expresión es:

$$P_{\text{máx.}} = 1.000 D_{ss}^{5/2} \times d^{3/2} \text{ kg./cm} \quad (1)$$

en que:

- $P_{\text{máx.}}$ = carga unitaria máxima de extracción directa normal a las fibras, en kg/cm.
 D_{ss} = densidad basada en peso y volumen seco, en gr./cm³.
 d = diámetro del clavo, en cm.

Las curvas que representan la expresión señalada anteriormente, se indican en la figura 4 con línea discontinua. Es notoria la mejor aproximación que estas curvas tienen a los puntos experimentales, comparada con la que se lograba con la recta de MADISON.

La expresión recomendada se aplicará:

1. a uniones con madera verde que conserve ese estado durante su servicio, o con madera seca que no altere su estado mientras dure la unión. Lo anterior se deduce de lo indicado en el párrafo 1.1.1., Antecedentes generales, relacio-

nado con el "contenido de humedad de la madera".

2. a uniones con clavos redondos, de cabeza plana, extraídos de alambre común, colocados sin perforación guía inicial y con su eje ángulo recto a las fibras de la madera.

1.3. Cargas Admisibles de Extracción Directa Normal a las Fibras.

1.3.1. Valor mínimo probable.

En la expresión adoptada para establecer la carga máxima necesaria para extraer clavos, colocados normalmente a las fibras, con esfuerzos de dirección paralela al eje del clavo, aparece la densidad de la madera y el diámetro del clavo. De estos dos parámetros el más crítico es la densidad, debido a las características variables de la madera.

A fin de considerar tal variabilidad, se determinará la densidad mínima probable de la especie, mediante la expresión:

$$(D_{ss}) \text{ mín.} = D_{ss} - 2,33 s D_{ss}$$

Ella da un riesgo de sólo 1 % de obtener uniones con madera de una densidad menor al valor establecido como mínimo probable.

Por lo tanto, la carga unitaria mínima probable necesaria para extraer un clavo con diámetro "d", se obtendrá de la expresión:

$$P_{\text{mín.}} = 1.000 D_{ss}^{5/2} \text{ mín.} \times d^{3/2} \text{ kg/cm.}$$

en que:

$D_{ss} \text{ mín.}$ = es el valor mínimo probable de la densidad de la especie y que puede establecerse con una seguridad de 99 %.

1.3.2. Coeficiente de seguridad.

Conjuntamente con las cargas de Extracción, mínimas probables, es necesario considerar una serie de otros factores tales como: duración de la carga, fallas de la mano de obra, calidad del elemento de unión y reducción de la carga máxima a un valor de diseño.

Todos estos factores se reúnen bajo un sólo término llamado "coeficiente de seguridad" y que, aplicado al valor mínimo probable de la carga de extracción directa, proporciona el valor de la carga admisible que puede soportar el clavo sin que la unión se destruya.

Para los elementos de unión, este coeficiente está comprendido entre 2 y 3,5.

FIGURA 4

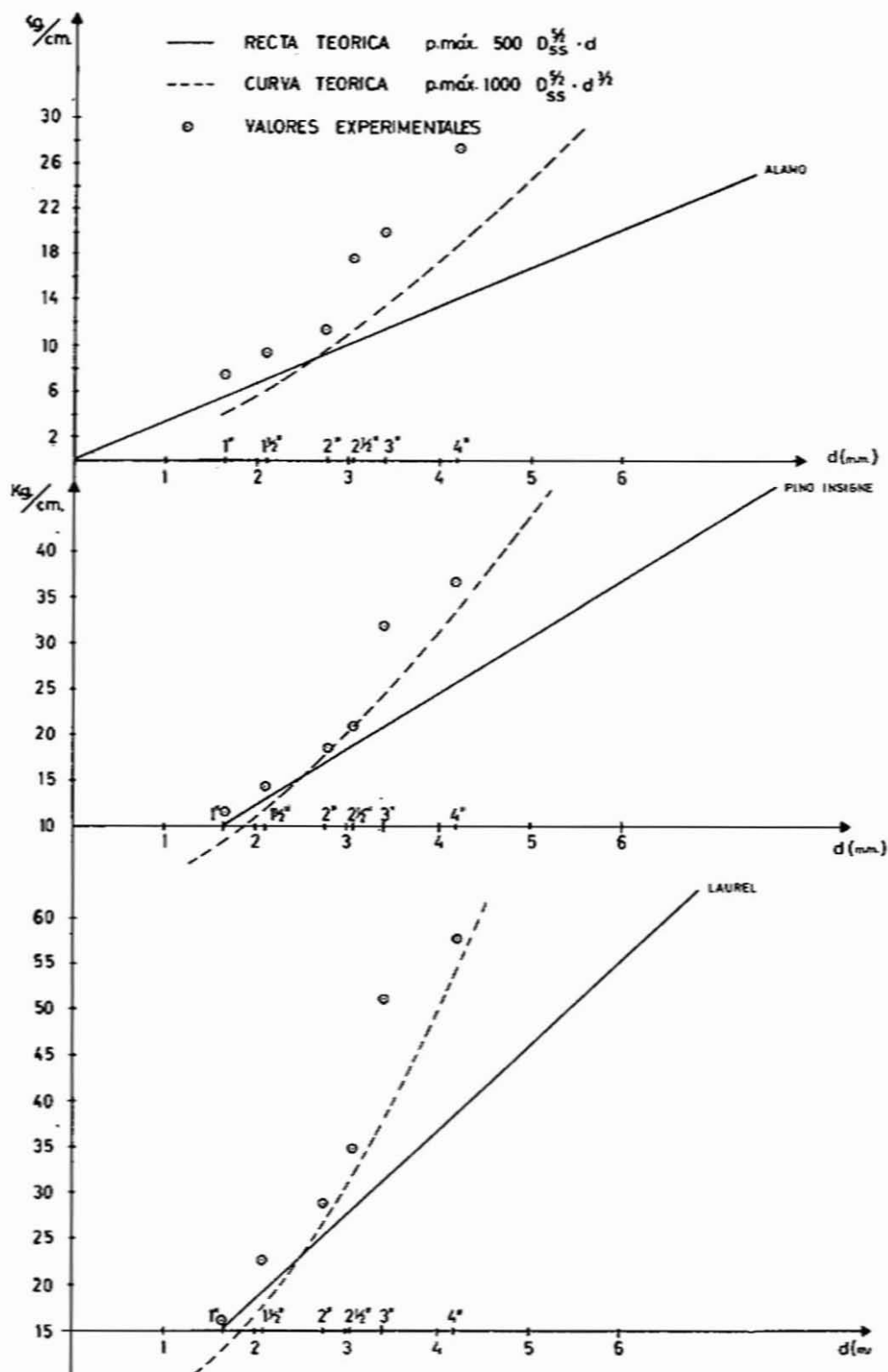
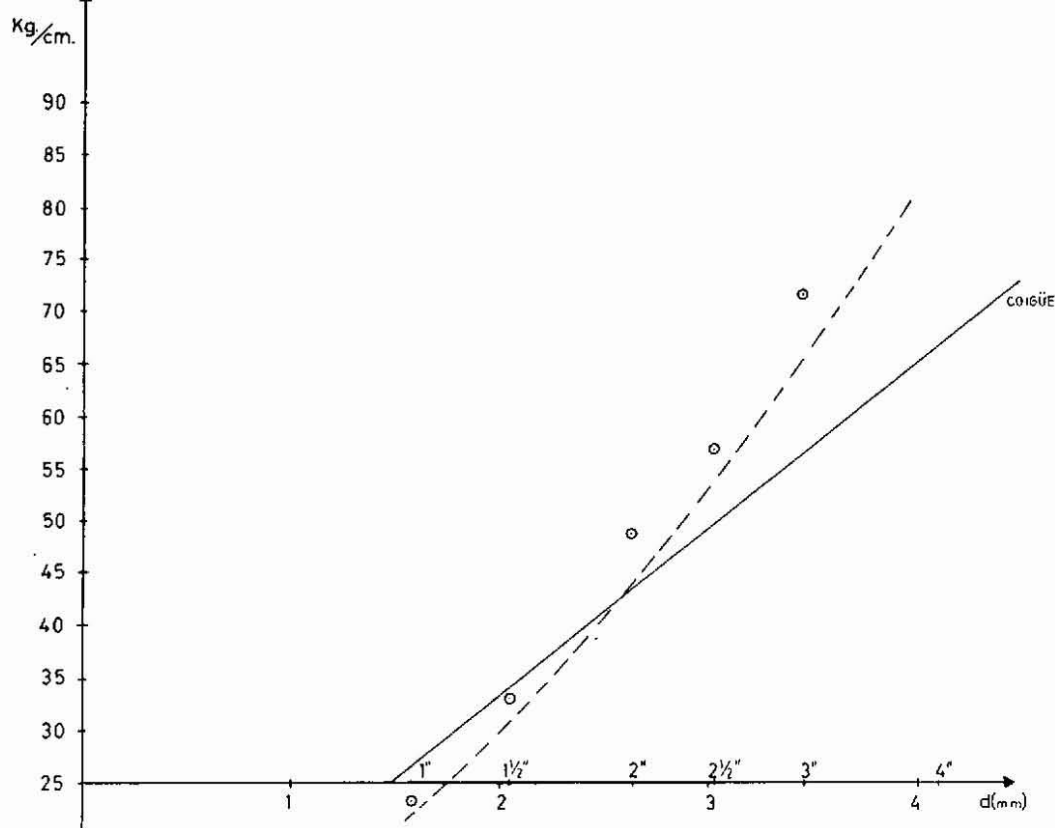
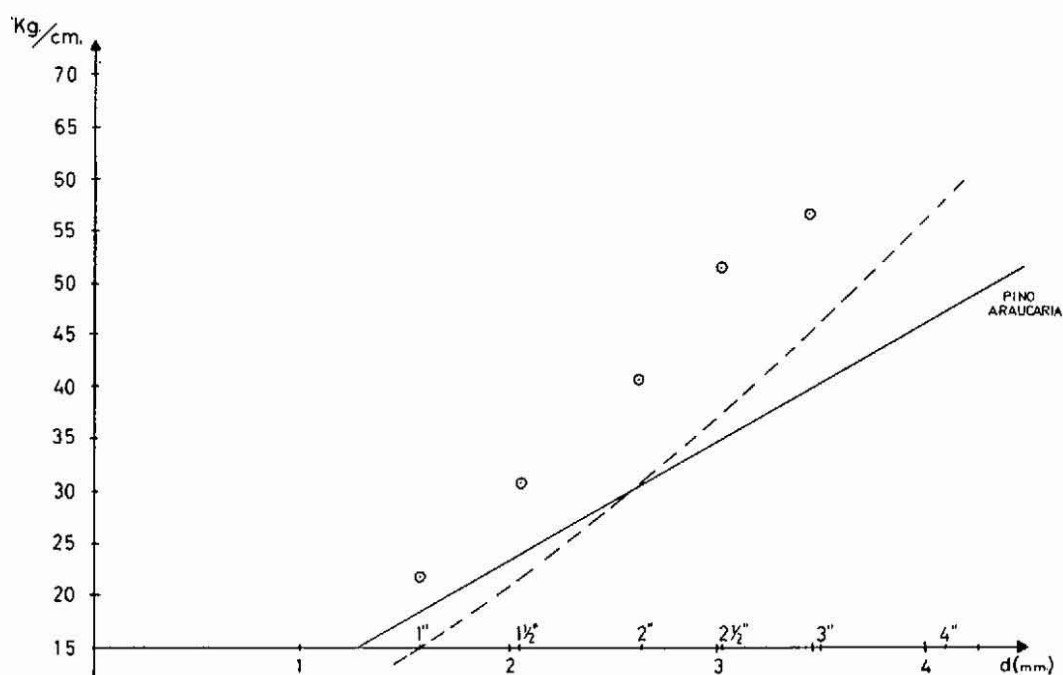


FIGURA 4A



En nuestro caso, considerando: la poca experiencia acumulada en este campo, el tipo de elementos de unión, y otros factores, se elegirá el valor máximo (3,5) como coeficiente de seguridad

1.3.3. Cargas admisibles.

De los numerales anteriores se deduce que la expresión para determinar cargas admisibles es:

$$p. adm. = \frac{P_{mín.}}{3,5} = \frac{1.000 D_{ss}^{5/2} mín. \times d^{3/2}}{3,5}$$

$$p. adm. = 285 D_{ss}^{5/2} mín. \times d^{3/2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

La expresión es general y se puede aplicar a clavos comunes de cualquier diámetro.

La aplicación de esta fórmula a diferentes especies nacionales y distintos clavos se puede encontrar en el Anexo A Tabla A 2. y Figura A.1

2. RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN LATERAL DEL CLAVO.

2.1. Factores que afectan la Resistencia a la Extracción Lateral de un Clavo.

2.1.1. Antecedentes generales.

Densidad.

En el Capítulo Generalidades, se ha establecido que una fuerza con dirección perpendicular al eje del clavo origina una "resistencia de extracción lateral" en la unión.

Esta resistencia depende principalmente de la densidad de la especie maderera que constituye la unión y su valor determina el aporte de la madera a la resistencia de la unión.

Diámetro del clavo.

La característica del clavo que mayor incidencia tiene sobre la resistencia de la unión es su diámetro y ella aparece en las distintas fórmulas que los diferentes países han establecido para determinar la resistencia a la extracción lateral de una unión clavada.

Es la variable de la cual depende el valor del esfuerzo transmitido al elemento leñoso y la deformación de la unión.

Espesor de los elementos que se unen.

Muchas investigaciones han establecido que el espesor de los elementos que se unen incide también en la resistencia de la unión clavada. Otros, en cambio, se inclinan por establecer una zona limitada del espesor como influyente en la resis-

cia total de la unión. Más adelante se verá algo más sobre cada uno de estos criterios.

Contenido de humedad de la madera.

Tal como se ha expresado en el párrafo 1.1.1. no existe gran diferencia entre las resistencias de uniones clavadas con madera seca y madera húmeda, siempre que tales estados de la madera se mantengan mientras la unión esté en servicio. El contenido de humedad de la madera afecta a la resistencia de la unión, sólo si él aumenta o disminuye en forma considerable durante la vida de la unión.

2.1.2. Relación entre los Factores que influyen en la Resistencia a la Extracción lateral de los Clavos.

Se han establecido diferentes expresiones para relacionar los factores mencionados en el párrafo anterior.

Revisaremos, a continuación, los diversos criterios que existen en diferentes países:

2.1.2.1. En Alemania.

Los numerosos trabajos de W. STÖY, desde 1930 han aportado una larga y valiosísima contribución para el conocimiento de las uniones clavadas. Los diferentes estudios consistieron en la realización de ensayos que relacionaban la resistencia de las uniones clavadas con el coeficiente s/d , en que:

s : representa el espesor de las piezas de madera

s : representa el espesor de las piezas de madera, y

d : el diámetro del clavo.

Según STÖY, en la resistencia a los esfuerzos transmitidos por el clavo a la madera, es decisiva la tensión que se ejerce entre clavo y madera y que se acepta distribuida a todo el largo de la superficie de contacto.

El valor admisible de esta tensión, σ_s , depende de la relación entre el espesor (s) de la madera y el diámetro (d) del clavo.

STÖY propuso los siguientes valores extremos para σ_s admisible, de acuerdo con el tipo de unión y el valor de la razón s/d .

a. Unión de tres piezas de igual espesor (Cizalla simple o cizalla doble).

$$\sigma_s = 60 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } s/d = 6$$

$$\sigma_s = 25 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } s/d = 12$$

b. Unión de tres piezas (Cizalle doble) en que la pieza central tiene un espesor $S > s$.

$$\sigma_s = 120 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } S/d = 6$$

$$\sigma_s = 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } S/d = 12$$

Los diferentes ensayos realizados por el investigador permitieron determinar la variación de σ_s en los intervalos de s/d señalados anteriormente.

Ejemplo:

Espesor mínimo : $s = 30 \text{ mm.} = 3 \text{ cm.}$
de la madera.

diámetro del clavo : $d = 5 \text{ mm.} = 0,5 \text{ cm.}$

Relación s/d : 6

Tensión admisible σ_s : 60 kg/cm^2 .

Esfuerzo máx. admisible por clavo:

Cizalle simple : $3 \times 0,5 \times 60 = 90 \text{ kg.}$

Cizalle doble : $3 \times 0,5 \times (2 \times 60) = 180 \text{ kg.}$

2.1.2.2. En U.R.S.S.

Las normas soviéticas para construcciones en madera, establecen las siguientes fórmulas, aplicables a clavos:

Cizalle simple : $F M_1 = 304 d^2$.

$$F M_1 = 32 \times S \times d$$

$$F M_1 = 48 \times s \times d$$

Cizalle doble : $F M_2 = 608 d^2$

$$F M_2 = 80 \times S \times d$$

$$F M_2 = 112 \times s \times d$$

$F M_1$ y $F M_2$ representan, respectivamente, el esfuerzo máximo admisible por clavo en uniones de dos piezas (cizalle simple) y en uniones de tres piezas (cizalle doble); d , es el diámetro del clavo; S , el espesor del elemento central en una unión de cizalle doble o el mayor espesor de una unión de cizalle simple, y, s , el espesor de un elemento lateral en una unión con tres piezas o el menor espesor de una unión con dos piezas.

Las fórmulas expuestas se refieren a la madera de pino, y se debe calcular en cada caso los 3 valores dados para un mismo esfuerzo, tomándose el menor de ellos como fuerza máxima admisible.

2.1.2.3. En Suecia.

EKSTROM propone el siguiente criterio para determinar las cargas admisibles para cualquier sección transversal resistente del clavo.

Sección circular : $F M = (400 - 6 l) A$

Sección cuadrada: $F M = (500 - 7,5 l) A$

en que:

A : área de la sección transversal, en cm^2 .

l : largo del clavo, en cm .

2.1.2.4. En EE.UU.

Se usa la siguiente fórmula general:

$$F M = k \times d^{3/2}$$

en que:

$F M$: representa la carga máxima admisible, en lb., por clavo, en uniones con dos piezas.

K : es una constante, que depende de la especie.

d : diámetro del clavo, en pulgadas.

Es posible transformar el valor de "k" dado por los manuales americanos a sistema métrico decimal de modo que $F M$ se obtenga en Kg., para un diámetro d , en cm .

Por ejemplo, para un pino insigné se obtendría;

$$F M = 126 d^{3/2}$$

en que:

$F M$: carga máxima admisible, en kg.

d : diámetro, en cm .

2.1.2.5. En Inglaterra.

Las investigaciones recientes de G.R. BROCK, sobre uniones clavadas, han conducido a establecer relaciones entre la carga máxima F por clavo, obtenida en los ensayos, la densidad de la madera D_{50} , referida al peso seco al horno y al volumen de la madera con un contenido de humedad de $18 \pm 2\%$, y al diámetro d del clavo.

Cizalle simple : $F = 38.000 G \times d^2$.

Cizalle doble : $F = 70.000 G \times d^2$.

En estas fórmulas F está expresado en lb. y d , en pulgadas.

Las cargas admisibles por clavo se deducen de estas expresiones, sustituyendo en ellos G , por un valor que considere la variabilidad de la madera, a través de la densidad, y aplicando un coeficiente de seguridad que tome en cuenta el efecto de otros factores que afectan la resistencia de las uniones y que no intervienen en los ensayos. Así se llega a:

Cizalle simple: $F \text{ adm.} = \frac{38.000 D_{50} \text{ m/m.} \times d^2}{n}$

$$\text{Cizalle doble : } F_{adm.} = \frac{70.000 D_{so} \text{ mfn.} \times d^2}{n}$$

en que

F_{adm} = carga admisible por clavo, en lb.

$D_{so \text{ min.}}$ = densidad mínima probable, basada en peso seco y volumen a $H = 18\%$, calculada en base a la expresión indicada en 1.3.1.

d = diámetro del clavo, en pulgadas.

n = coeficiente de seguridad que puede variar entre 2 y 3,5, según sean los factores que él considere.

Si se acepta:

- un coeficiente de seguridad de $n = 3$
- una densidad mínima probable de $D_{so \text{ mfn.}} = 0,35 \text{ gr/cm}^3$, y
- se transforman las unidades al Sistema Métrico Decimal, se obtiene.

para:

Cizalle simple : $F M = 312 d^2$.

Cizalle doble : $F M = 575 d^2$.

valores que, aproximadamente, corresponden al pino insignia.

2.1.2.6. En Francia.

Ensayos recientes realizados en el Centre Technique du Bois, conducen a las siguientes expresiones :

Cizalle simple ; $F M = 0,8 d \sqrt{e}$

Cizalle doble : $F M = 2 d \sqrt{e}$

Tres piezas de

igual espesor : $F M = 1,3 d \sqrt{e}$

en que:

$F M$ = resistencia a la extracción lateral, por clavo, en kg.

d = diámetro del clavo, en mm.

e = espesor del clavo, en mm.

2.1.2.7. Comparación entre los diferentes criterios.

Para tener una imagen clara de los valores comparados de resistencia a la extracción lateral, tanto en cizalle simple como en cizalle doble, se han construido las diferentes curvas en base a las expresiones usadas en los diversos países.

En el eje de las abscisas se llevaron los distin-

tos parámetros que, en las diferentes fórmulas, son necesarios para la obtención del valor de la carga de extracción máxima por clavo. En ordenadas se han graficado los valores de dicha carga de extracción.

La figura 5 se refiere a las curvas obtenidas para el cizalle simple y la figura 6 da las curvas para el cizalle doble.

Una apreciación general de dichas curvas nos dice que los americanos, suecos y franceses son extremadamente cautelosos con respecto a rusos, ingleses y alemanes, llegando a verificarse diferencias entre usos y otros criterios que llegan al doble y al triple, al menos en solicitaciones de cizalle simple.

El más usado, es sin duda, el criterio de la norma DIN 1052, basado en los trabajos de STÖY, pues, conduce a los valores de resistencia más elevados, por lo menos dentro de los límites establecidos en los gráficos de las figuras 5 y 6.

De todas las expresiones expuestas para el cálculo de este tipo de uniones clavadas, la que tiene una deducción más segura es la de BROCK, de Inglaterra, pues, hace depender la resistencia del clavo a la extracción lateral de dos factores que, según lo expuesto en 2.1.1., son decisivos para el comportamiento de la unión: la densidad de la madera y el diámetro del clavo, variable de la cual depende el valor de la tensión transmitida al elemento leñoso y, además, la deformación de este elemento metálico de unión.

2.1.2.8. Criterio seguido en Portugal, desarrollado por TOMAS J. E. MATEUS.

Se expone a continuación el criterio planteado por MATEUS, en Portugal, para determinar la resistencia de uniones clavadas y sometidas a cargas de extracción lateral.

MATEUS establece que una de las conclusiones más importantes que se puede extraer de los estudios de STÖY sobre uniones clavadas en la que establece que para un diámetro dado de un clavo, las resistencias obtenidas en uniones con piezas de diferentes espesores, difieren muy poco entre sí.

A fin de confirmar este hecho MATEUS confeccionó, con los valores publicados por BROCK, las curvas que se presentan en la figura 7 y que relacionan las resistencias obtenidas (para cada diámetro (d) de clavo considerado con el espesor (s) de los elementos unidos) con el cociente s/d . Estas curvas muestran que la capacidad de carga de un clavo es prácticamente independiente del espe-

FIGURA 5

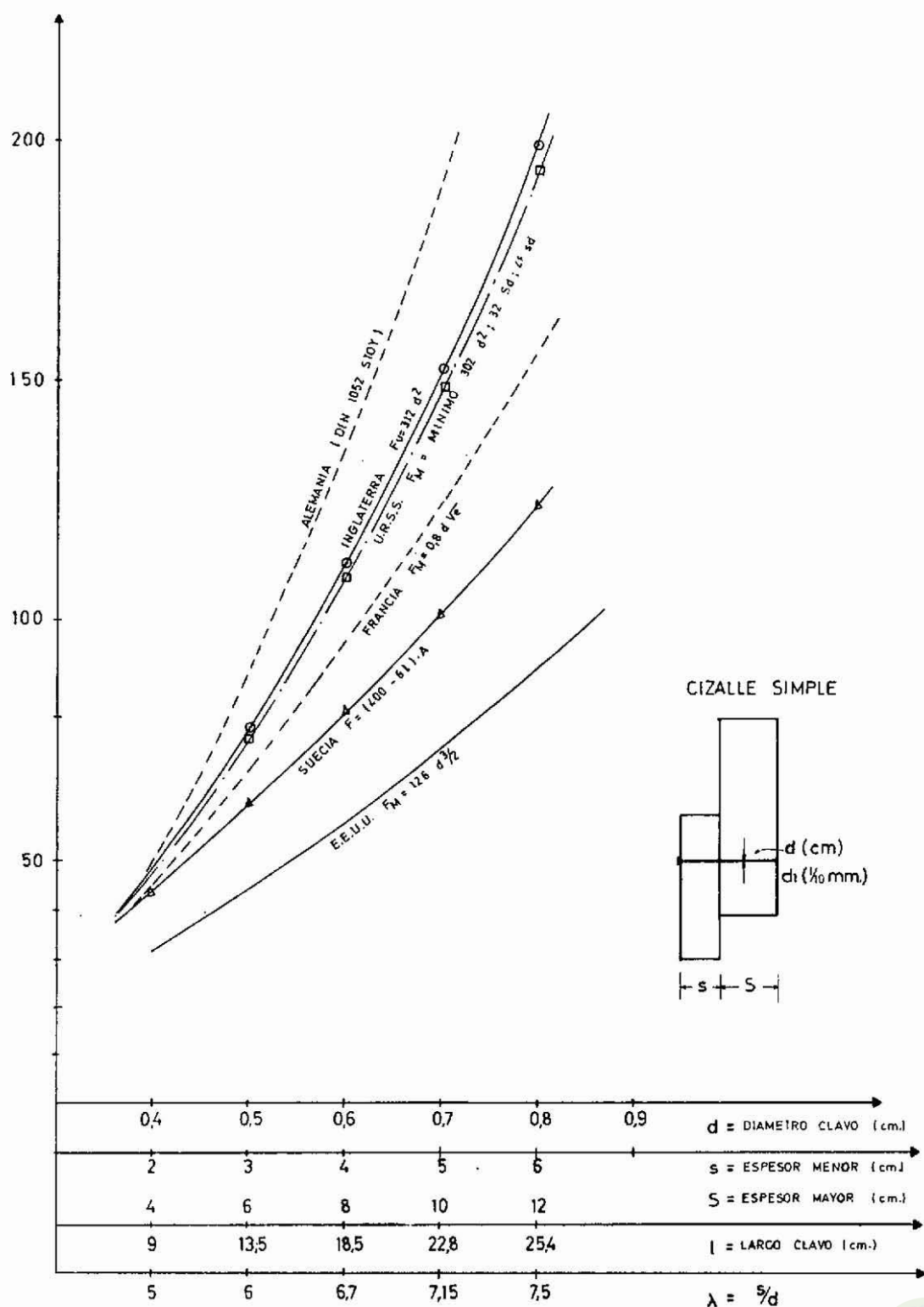
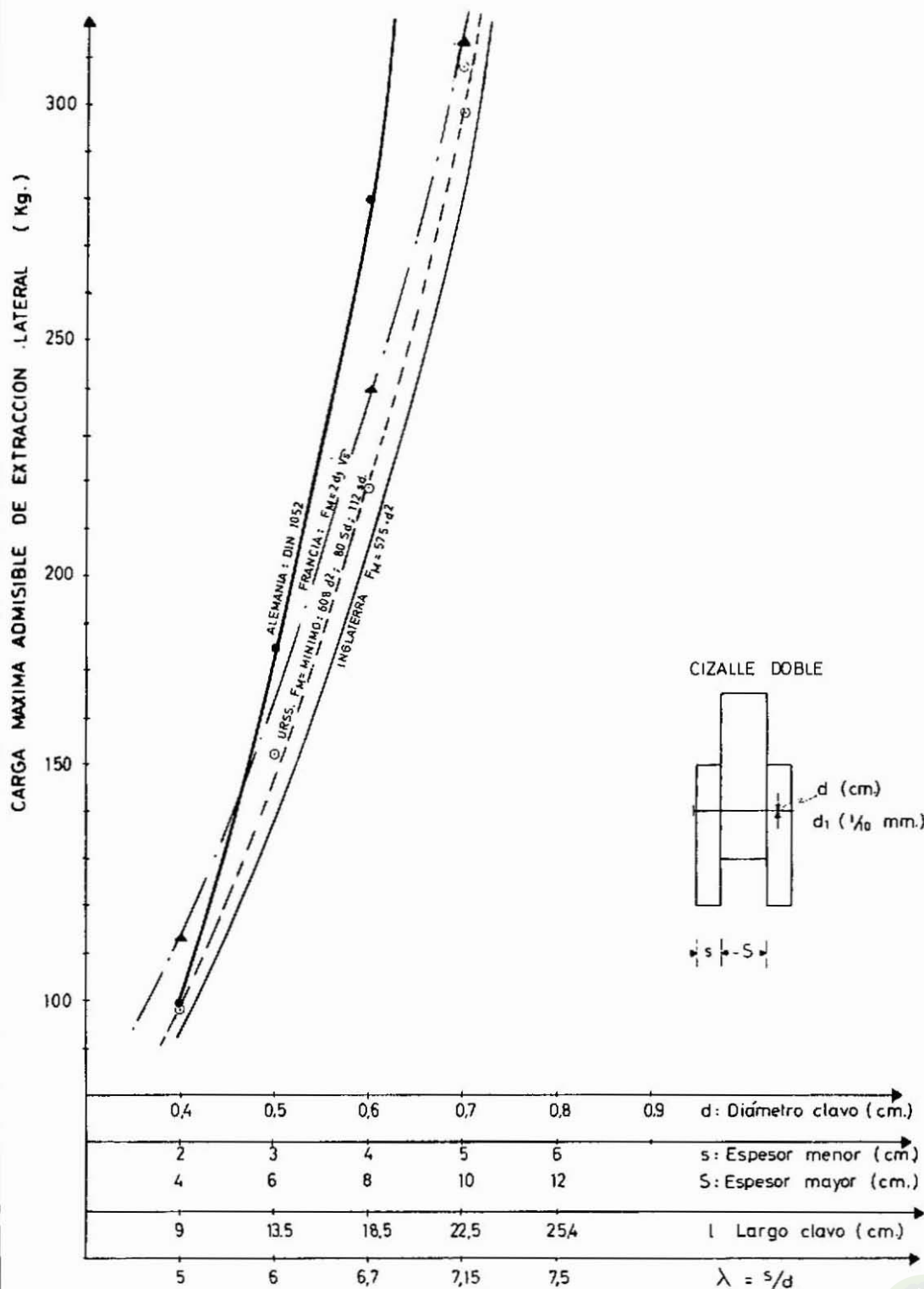


FIGURA 5A



sor de los elementos que él une, tanto para cizalle simple como para cizalle doble. Es necesario establecer que tal independencia se verifica a partir de un cierto valor de $\lambda = s/d$, pues, se demostró que para espesores (s) muy pequeños, la resistencia baja grandemente.

Observando la forma cómo el clavo rompía la madera en las proximidades de las caras de contacto y la correspondiente deformación de estos elementos de unión, MATEUS dedujo que es muy poca la porción de material leñoso que queda en contacto con el clavo contribuyendo a la resistencia del conjunto. Este hecho se debe al efecto de concentración de tensiones que se origina en las proximidades de los planos de sollicitación de cizalle, concentración que queda determinada a su vez por la deformabilidad del clavo (tanto mayor cuanto menor es su diámetro) y por la del material leñoso que conforma la unión.

Este efecto es prácticamente ignorado en los criterios de dimensionamiento de este tipo de uniones clavadas, los cuales admiten, según lo establecido por STOY una distribución uniforme de las tensiones que se desarrollan entre clavo y madera, resultando consideraciones artificiasas consistente en resistencias variables del material leñoso, según sea el valor de la razón s/d . En muchos criterios se olvida también la variabilidad propia de la madera reflejada en sus propiedades mecánicas, la cual es causada por la heterogeneidad de la estructura de la madera o por las fluctuaciones

de su contenido de humedad durante la vida de la estructura.

Un criterio que considere estos aspectos de una manera explícita parece ser más seguro y sobre todo, más realista.

MATEUS supuso que era posible establecer una expresión que diera la capacidad de carga de un clavo sometido a extracción lateral en función de los parámetros que intervienen efectivamente en la eficiencia de una unión.

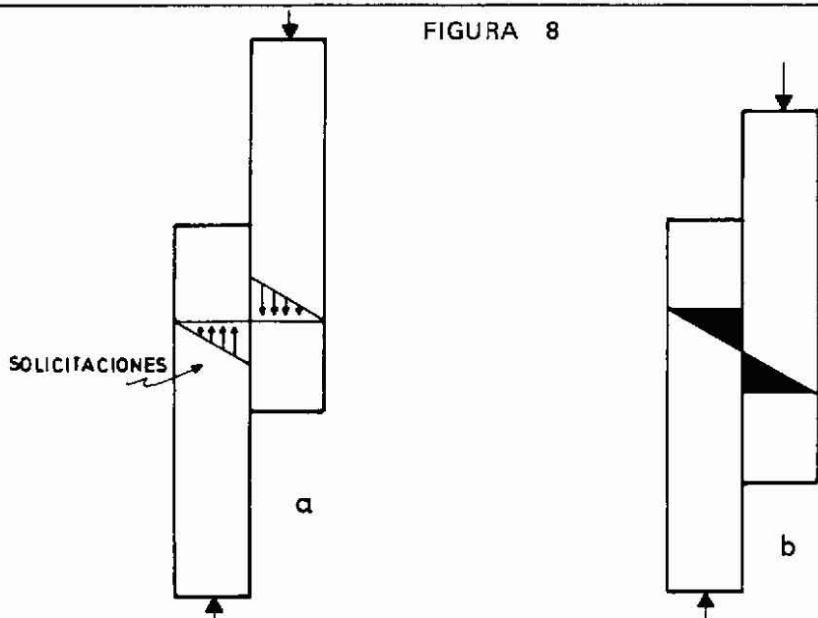
- espesor del material que realmente participa en la transmisión del esfuerzo.
- diámetro del clavo, y
- tensión admisible de la madera.

Al explicar su criterio MATEUS considera una serie de uniones constituidas por piezas de espesores variables y ligadas con clavos de un mismo tipo, con diámetro constante y largos tales que, en cada caso, atraviésen las piezas de lado a lado. Si estas piezas son delgadas, acepta que todo su espesor intervienen en la resistencia de la unión. Acepta también, que la distribución de tensiones a que queda sujeta la madera no es uniforme y que los esfuerzos tienden a solicitarlas más en las proximidades de las caras de contacto.

Admite que la distribución es triangular y analiza, en diferentes figuras, lo que acontece con diferentes tipos de uniones.

Si la unión está constituida por dos piezas delgadas como se indica en la figura 8 a, el clavo gira

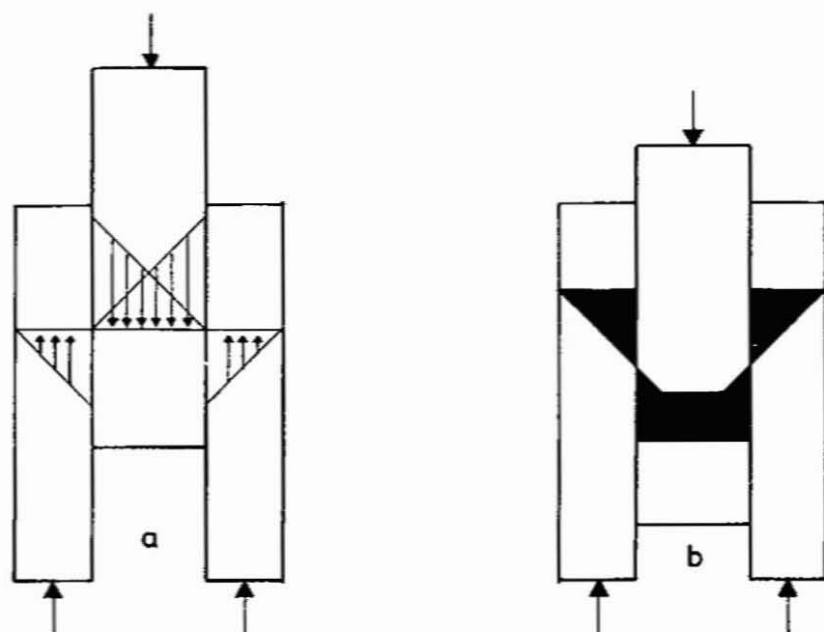
FIGURA 8



a. Solicitaciones clavadas de dos piezas.

b. Aplastamiento de la madera en una unión.

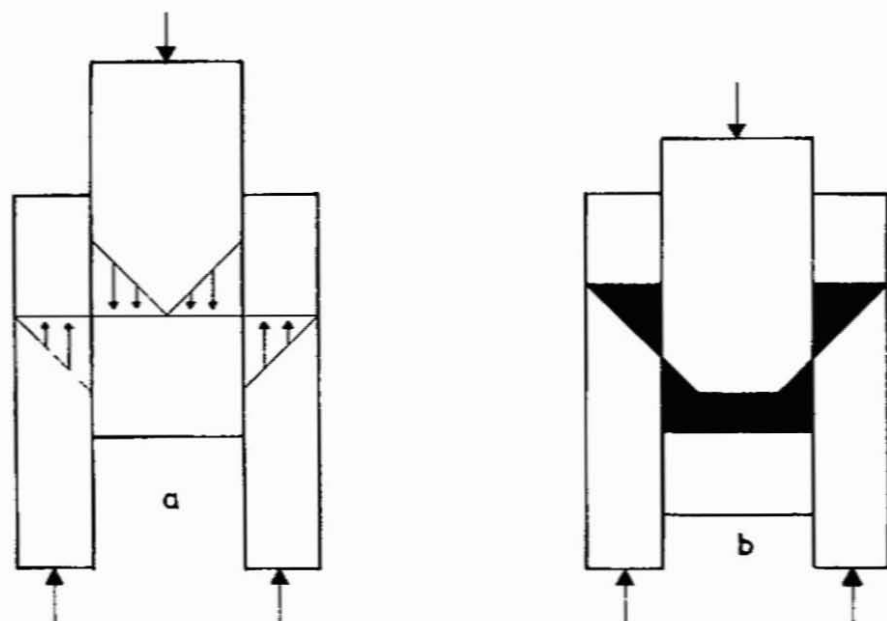
FIGURA 10. SOLICITACIONES Y APLASTAMIENTO DE LA MADERA EN UNIONES CLAVADAS DE 3 PIEZAS CON UNA LEVE ZONA CENTRAL DE DISTRIBUCION UNIFORME DE TENSIONES



2. No existe una sobreposición de tensiones. Ver figura 11 a y b. En este caso la deformación del clavo también es en forma de U abierta.

Si se supone, ahora, que se aumenta aún más el espesor del elemento central y a la vez se empieza a aumentar el espesor de las piezas laterales, se tienen las situaciones siguientes:

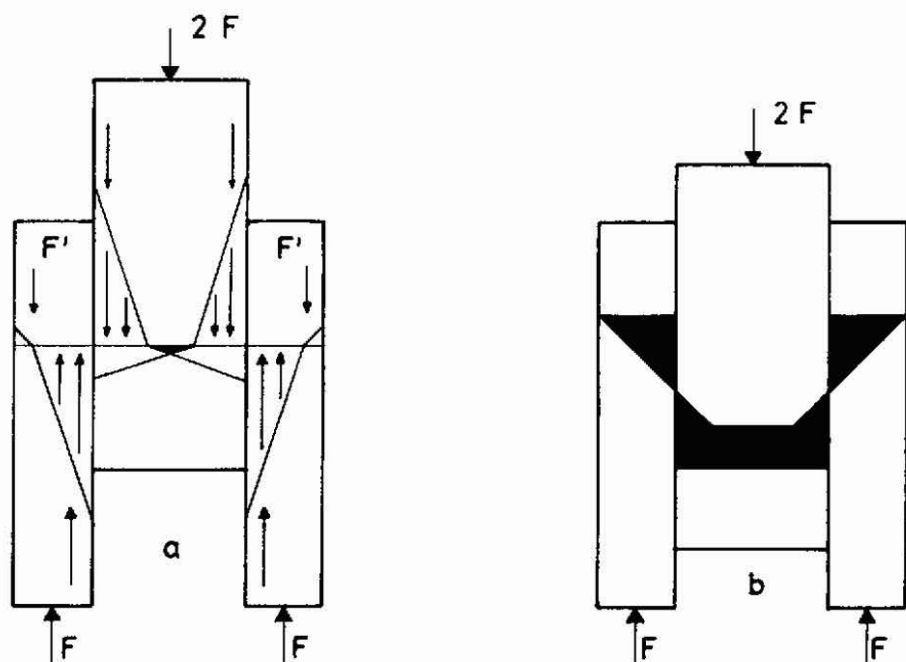
FIGURA 11. UNION CLAVADA DE 3 ELEMENTOS EN LAS CUALES NO EXISTE SOBREPOSICION DE TENSIONES



1. Empiezan a originarse fuerzas de reacción F' , Ver Figura 12, que son contrarias a la deformación del clavo y que le crean un cierto grado de empotramiento en las zonas externas de las piezas laterales y en la región central del elemento interme-

dio. De esta circunstancia resulta un determinado aumento en la resistencia de la unión, en virtud que la menor deformabilidad del clavo contribuye a una mejor distribución de las tensiones que él transmite a la madera. Ver figura 12 a y b.

FIGURA 12. UNION DE 3 ELEMENTOS EN LAS CUALES SE INICIA UNA FUERZA F' CONTRARIA A LA DEFORMACION, EN LOS EXTREMOS DEL CLAVO Y EN LA ZONA CENTRAL

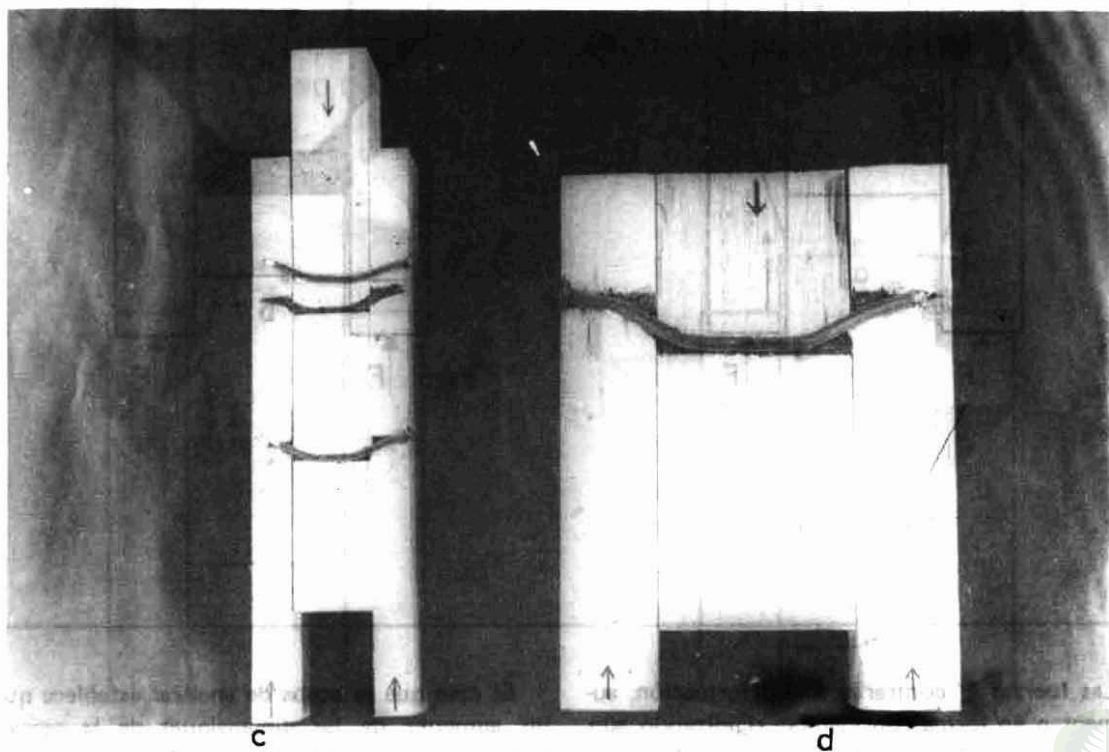
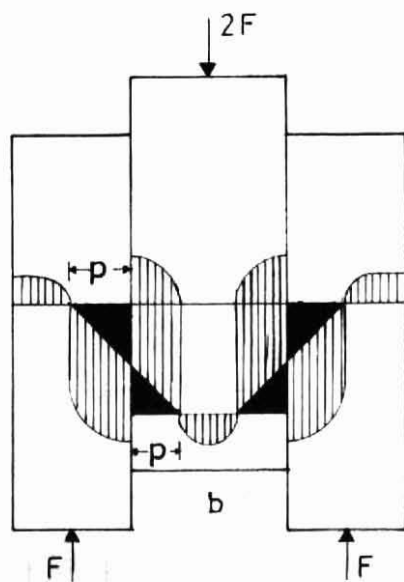
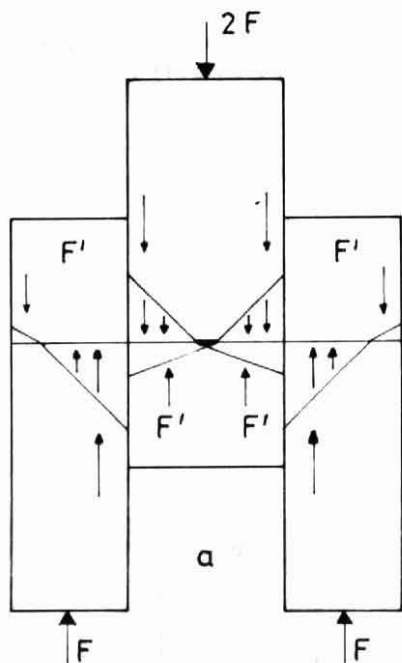


2. Las fuerzas F' contrarias a la deformación, aumentan en forma considerable rigidizando aún más el clavo. Ver figuras 13 a, b, c, y d).

El caso que se acaba de analizar establece que, un aumento de las dimensiones de la sección transversal de los elementos que forman las unio-

FIGURA 13. UNIÓN CLAVADA DE 3 ELEMENTOS EN LAS CUALES SE INDICA:

- Distribución de tensiones.
- resultado de la superposición de ellas.
- Unión clavada de 3 elementos, después de la aplicación de la carga.
- Indica la deformación del clavo, cuando el espesor del elemento central es elevado.



nes clavadas, origina un cierto empotratamiento de los clavos, que es beneficioso para la resistencia de la unión.

En el esquema desarrollado anteriormente, se ha aceptado que la distribución de tensiones transmitidas por un clavo de un diámetro determinado, a la madera, no depende del espesor de los elementos que forman la unión, con excepción de los casos en que comienzan a entrar en juego fuerzas de reacción limitantes de la deformación del elemento de unión. Aún en estos casos MATEUS considera que estas fuerzas de reacción son muy pequeñas comparadas con las que se originan en las proximidades de los planos de cizalle de la unión. Esto equivale a suponer que, para un clavo de diámetro dado, de determinado tipo de acero, y una calidad dada de la madera, la base de los diagramas de tensiones es constante, o lo que es lo mismo: "el espesor del material leñoso que participa realmente en la resistencia de la unión, es constante". En la figura 13 b), tal espesor se ha representado por "p". En esta figura se han dibujado, además, los diagramas de tensiones tal como MATEUS se los imagina en la etapa de las grandes deformaciones tanto del clavo como de la madera. En esta etapa se puede considerar, con relativa aproximación, que la distribución de las tensiones es uniforme en el diagrama que tiene como base "p". En estas condiciones se tendrá, para una unión de cizalle doble, como la que aparece en Figura 14:

$$F/2 = p \times d \times \sigma_{R'}$$

en que:

F = fuerza máxima que la unión puede soportar, en kg.

p = longitud de la zona de madera que realmente interviene en la unión, en cm.

d = diámetro del clavo, en cm.

$\sigma_{R'}$ = tensión unitaria máxima que puede soportar la madera bajo la acción de los esfuerzos transmitidos por el clavo, en kg/cm².

De aquí resulta:

$$F = 2p \cdot d \cdot \sigma_{R'}$$

MATEUS obtuvo valores experimentales para la variable $\sigma_{R'}$, provocando el aplastamiento de la madera a través de diversos clavos uniformemente cargados en todo su largo. Estos valores resultan mayores que los obtenidos mediante un ensayo normal de compresión paralela en probetas de 2 x 2 x 6 cm. Si las tensiones de rotura de

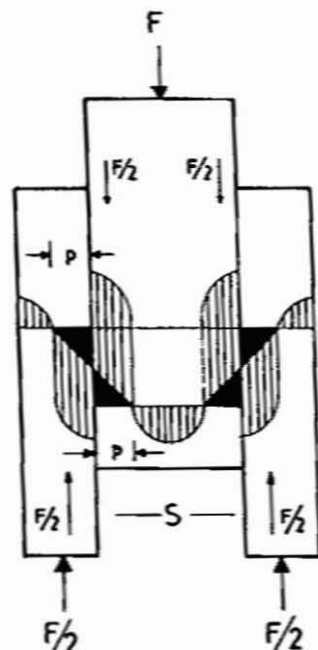
compresión axial, determinadas en estas probetas, se designan con σ_R , MATEUS encontró la siguiente relación entre σ_R y $\sigma_{R'}$.

$$\sigma_{R'} = 1,3 \sigma_R \quad (4)$$

que, reemplazada en la expresión (3), da:

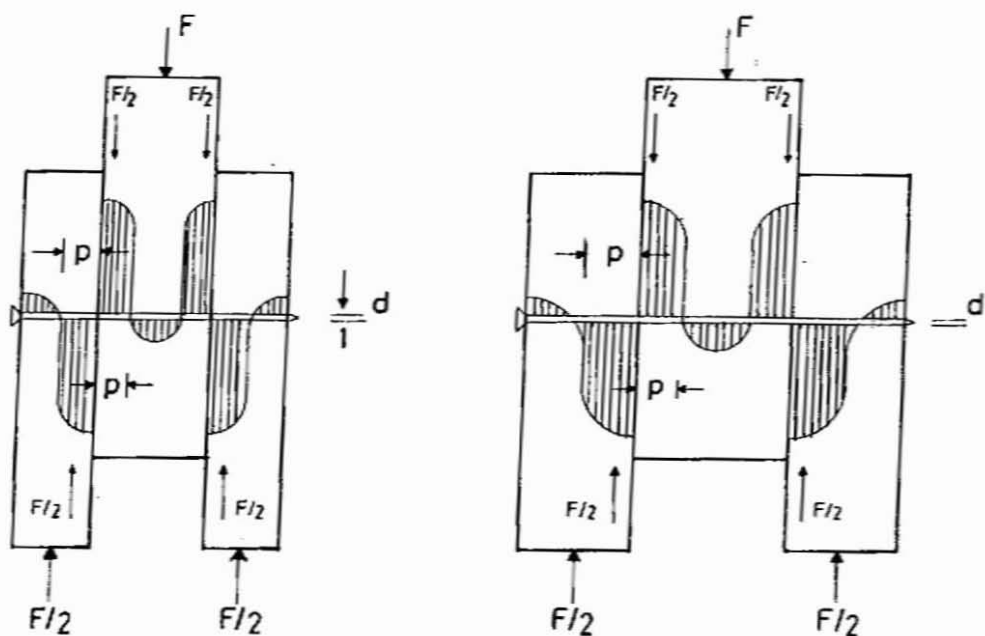
$$F = 2,6 \cdot p \cdot d \cdot \sigma_R \quad (5)$$

FIGURA 14. DIAGRAMA DE TENSIONES EN UNA UNION DE CIZALLE DOBLE.



Se admitió que para una misma especie "p" no dependía prácticamente del espesor de las piezas que constituyen la unión, hipótesis que parece bastante aceptable y que ha sido confirmada por los gráficos de la Figura 7, los cuales fueron confeccionados con los datos experimentales de BROK; sin embargo esta dependencia no se cumple en relación con el diagrama del clavo, según se grafica en la Figura 15.

FIGURA 15. VARIACION DEL ESPESOR "p" DE LA MADERA INVOLUCRADA EN LA RESISTENCIA DE LA UNION CON EL DIAMETRO d DEL CLAVO



Los resultados de los ensayos realizados por MATEUS en uniones clavadas le permitieron determinar p, aplicando la expresión:

$$F = 2 \cdot p \cdot d \cdot \sigma_R$$

$$p = \frac{F}{2 \cdot d \cdot \sigma_R}$$

en que:

F = fuerza máxima por clavo obtenida de los ensayos, en kg.

Los valores encontrados para "p" fueron:

Diámetro del clavo (cm)	Valores de "p" (cm)
0,38	0,93
0,45	1,04
0,49	1,17
0,54	1,26
0,59	1,24

Con estos valores y admitiendo que la relación entre "p" y "d" es lineal, se trazó la recta de la figura 16, cuyo coeficiente angular queda perfectamente definido, a pesar de tener tan pocos puntos, una vez que se establece que ella debe pasar por el origen, es decir, para

$$d = 0, \text{ se debe cumplir:}$$

$$p = 0.$$

La ecuación de esta recta es:

$$p = 2,36 \quad (6)$$

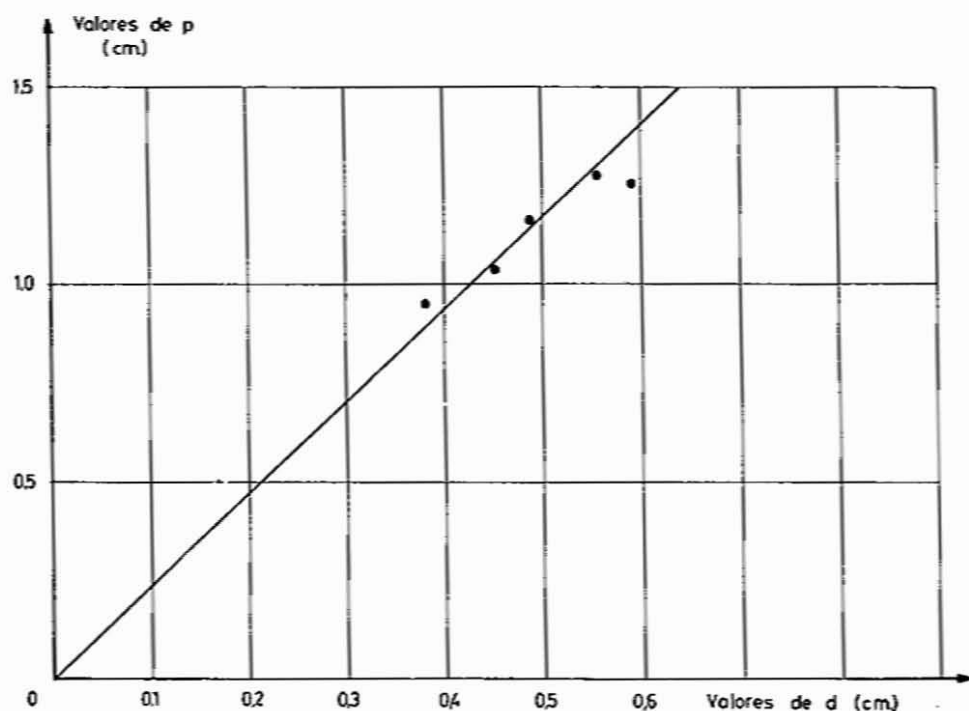
Sustituyendo esta expresión en la ecuación (5) se obtiene:

$$F = 2,6 \cdot (2,36 \cdot d) \cdot d \cdot \sigma_R$$

$$F_{\text{máx.}} = 6,14 \cdot d^2 \cdot \sigma_R \quad (7)$$

Esta es la expresión general de MATEUS que da la fuerza máxima que puede soportar un clavo de diámetro "d", sometido a cizalla doble, en una unión clavada con madera cuya tensión de rotura en compresión paralela es σ_R .

FIGURA 16. RELACION ENTRE LOS VALORES DE "p" y "d"



Para cizalle simple se tendrá: (Ver Figura 17)

$$F = p \cdot d \cdot \sigma_R$$

$$F = 1,3 \cdot p \cdot d \cdot \sigma_R$$

$$F_{\text{máx.}} = 3,07 d^2 \cdot \sigma_R \quad (8)$$

2.1.2.9. Comparación entre los criterios de MATEUS y de BROCK (Inglaterra)

A fin de decidir el criterio en base al cual se determinarían los valores de resistencia de uniones sometidas a cargas de extracción lateral, en Chile, se tomaron las fórmulas de cizalle doble de BROCK y de MATEUS y se aplicaron al pino insignie y al raulí en una serie de ensayos que se analizarán más adelante.

La posición relativa de ambas ecuaciones para el pino insignie se indica en la figura 18.

Las fórmulas aplicadas fueron:

$$\text{MATEUS } F_{\text{máx}} = 6,14 \cdot \sigma_R \cdot d^2$$

$$\text{BROCK } F_{\text{máx}} = 4980 D_{so} \cdot d^2$$

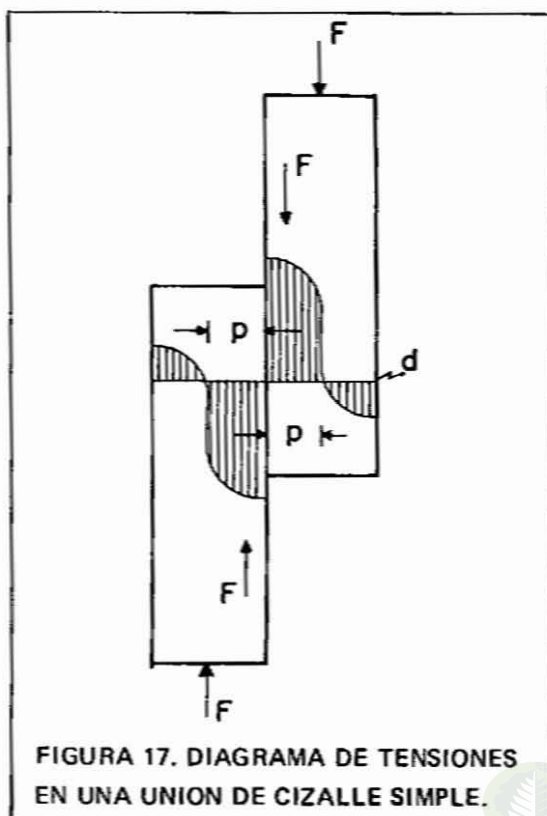
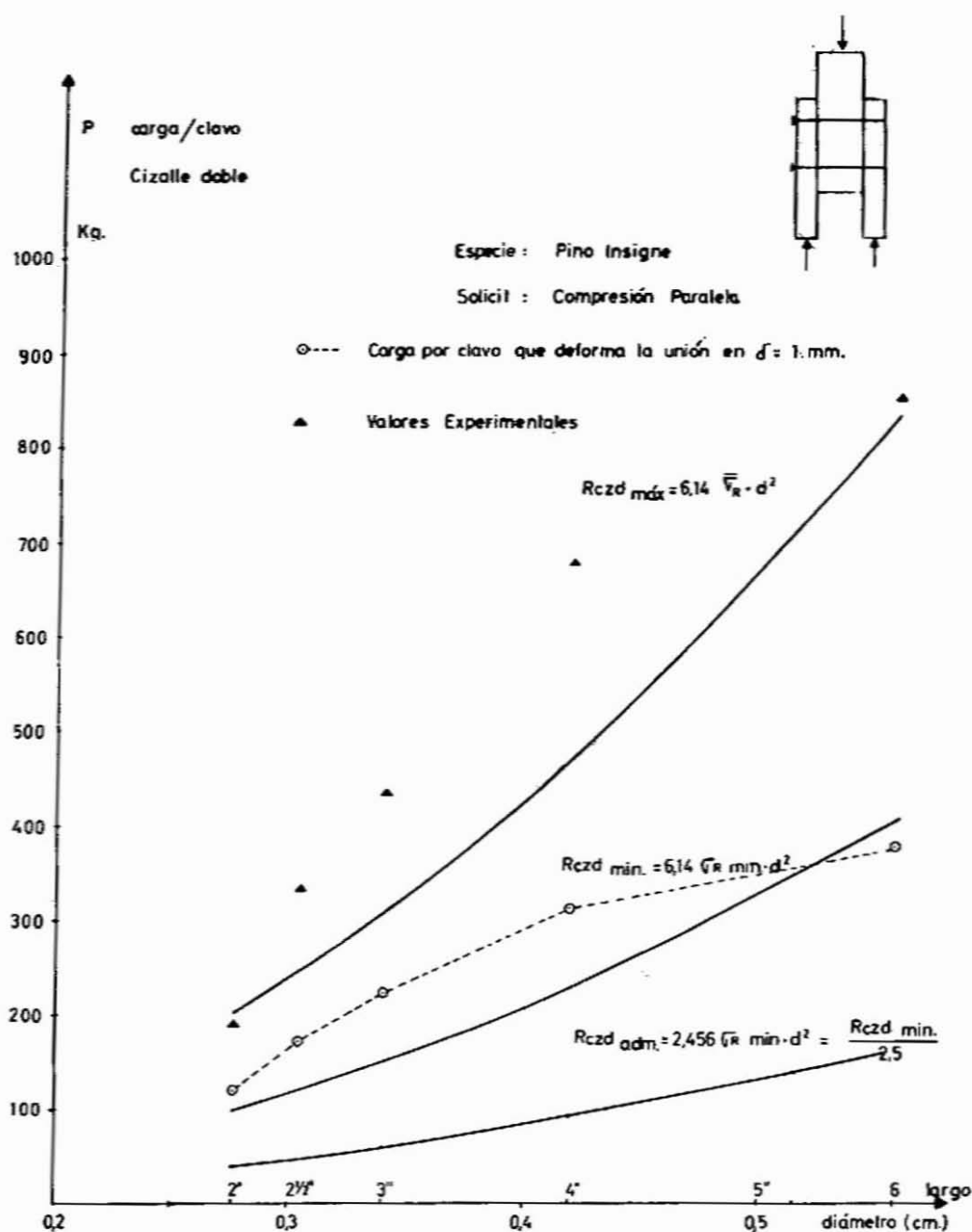


FIGURA 17. DIAGRAMA DE TENSIONES EN UNA UNION DE CIZALLE SIMPLE.

FIGURA 18



En estas expresiones:

- $F_{\text{máx.}}$ = carga máxima soportada por un clavo, en kg.
 d = diámetro, en cm.
 D_{so} = densidad media basada en el peso seco al horno y volumen a un contenido de humedad de $H = 12\%$, en gr/cm^3 .
 σ_R = tensión de rotura media a compresión axial, en probetas de $2 \times 2 \times 6$ cm., en kg/cm^2 .

Los valores determinados en el pino insigne D_{so} y σ_R , fueron:

- $D_{\text{so}} = 0,447 \text{ gr/cm}^3$
 $\sigma_R = 438 \text{ kg/cm}^2$.

con lo cual las expresiones quedan:

- MATEUS : $F_{\text{máx.}} = 2.689 \cdot d^2 \text{ kg}$
BROCK : $F_{\text{máx.}} = 2.226 \cdot d^2 \text{ kg}$

La figura 18 de la posición relativa entre las dos curvas y con ello se logra también la posición de la curva de MATEUS con los criterios que se han estudiado, y que aparecen resumidos en la figura 6.

2.2. Ensayos Realizados.

2.2.1. Consideraciones preliminares.

Ante la diversidad de criterios para establecer la resistencia de las uniones clavadas sometidas a cargas de extracción lateral y considerando la necesidad de adoptar uno de tales criterios en base principalmente, de su adaptabilidad a los materiales existentes en nuestro país, se decidió realizar diferentes ensayos de uniones clavadas, de modo de comparar los valores experimentales resultantes con los diferentes valores teóricos que dan los distintos criterios presentados en 2.1.2., especialmente con los de MATEUS y BROCK que son los que tienen mayor base teórica.

2.2.2. Diseño de la parte experimental.

Se consideraron diferentes variables y para cada una de ellas se escogieron valores que incidían en la valorización de la meta perseguida. Las variables y los valores seleccionados para ellos se indican a continuación.

2.2.2.1. Especie.

Una de las propiedades, inherentes a la especie, que influye en casi todos los criterios de determi-

nación de resistencias de uniones clavadas es la densidad, cualquiera sea la forma como ella se determina.

A fin de establecer la aplicabilidad de los criterios en estudio, se decidió escoger dos especies madereras, una conífera y otra latifoliada, y que, además, tuviesen bastante uso en la construcción de madera. A nuestro parecer, las especies que reunían los requisitos señalados eran: **Pino insigne** y **raulí**.

2.2.2.2. Tipo de sollicitación en los clavos.

Para evitar un trabajo experimental muy extenso, se decidió escoger un solo tipo de sollicitación en los clavos, a saber: sollicitación de **cizalla doble**.

Otra razón para tal elección es la mayor simplicidad del ensayo en probetas de cizalla doble, pues, al contar con tres elementos existe una simetría respecto al plano central que facilita la aplicación de la carga la medición de las deformaciones de la probeta.

2.2.2.3. Tipo de carga aplicada.

La carga aplicada fue siempre de compresión, con direcciones paralelas y normales a las fibras. De compresión, para simplicidad del ensayo y de dirección normal y paralela a las fibras, porque interesaba conocer si existía diferencia significativa entre las resistencias de uniones clavadas cuando la carga se aplica con diferentes ángulos entre la dirección de la carga y la dirección de las fibras de la madera. Las probetas resultantes fueron como las que se indican en la Figura 19 y Figura 20.

2.2.2.4. Tipo y número de clavos usados.

Los clavos usados fueron redondos, de cabeza plana, extraídos de alambre común, colocados sin perforación guía inicial y con su eje, en ángulo recto a las fibras de la madera.

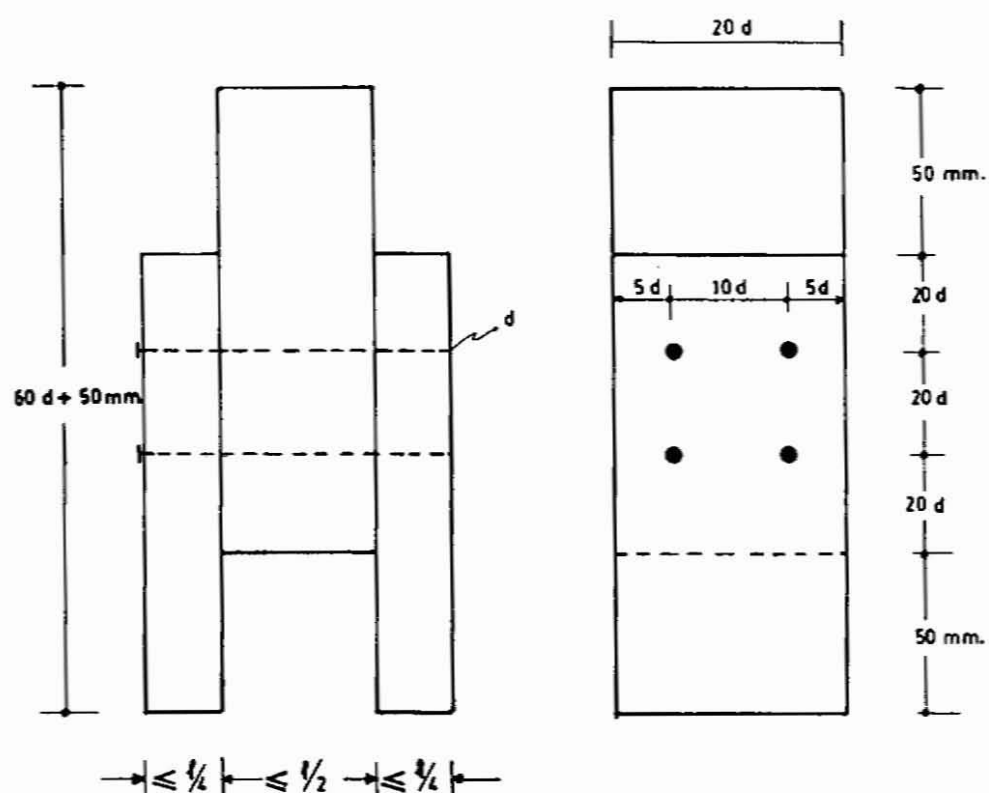
Se usaron 4 clavos por probeta y su distribución estuvo en función del diámetro del clavo, según lo indicado en las figuras 19 y 20.

Los clavos usados en cada grupo de probetas fueron los siguientes, designados por su largo, en pulgadas: 2", 2 1/2", 3", 4" y 6".

2.2.2.5. Contenido de humedad.

Se eligió un sólo estado de la madera. Contenido de humedad siempre menor a 15%, tanto para el pino insigne como para el raulí.

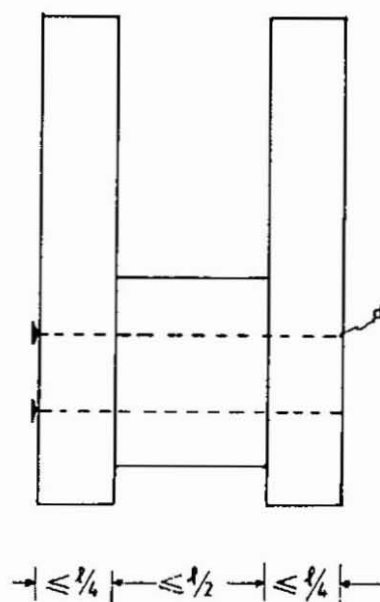
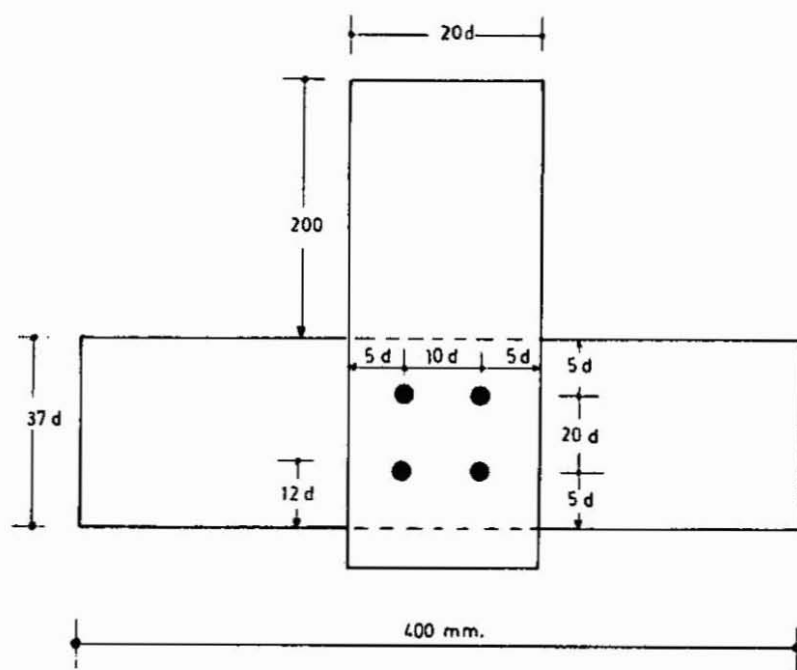
FIGURA 19. TIPO DE PROBETA DE COMPRESION PARALELA, CIZALLE DOBLE.



d = diámetro del clavo.

l = largo del clavo.

FIGURA 20. TIPO DE PROBETA DE COMPRESION NORMAL, CIZALLE DOBLE.



d = diámetro del clavo.

l = largo del clavo.

2.2.3. Probetas y métodos de ensayo.

2.2.3.1. Probetas.

Las probetas tenían la forma indicada en la figura 19, para uniones de extracción lateral, cizalle doble, compresión paralela, 4 clavos por unión.

Sus dimensiones, Ver Tabla 2, dependían de las características del clavo usado, según lo indicado en dichas figuras.

El largo del clavo correspondía a la suma de los espesores de los 3 elementos unidos.

Para uniones de cizalle doble, compresión normal, 4 clavos por unión, las probetas tenían la forma indicada en la figura 20. En este tipo de probetas el clavo también traspasaba los tres elementos de la unión.

Las dimensiones de las probetas de compresión normal dependían de su diámetro y ellas se incluyen en la Tabla N° 3.

TABLA N° 2 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS DE COMPRESION PARALELA CIZALLE DOBLE						
Clavo		Elemento lateral mm x mm x mm	Elemento central mm x mm x mm .	20 d mm	10 d mm	5 d mm
1 pulg.	dd mm					
2"	2,8	14 x 56 x 218	28 x 56 x 218	56	28	14
2 1/2"	3,1	16 x 62 x 236	32 x 62 x 236	62	31	16
3"	3,8	19 x 76 x 278	38 x 76 x 278	76	38	19
4"	4,3	26 x 86 x 308	52 x 86 x 308	86	43	21
6"	5,5	38 x 110 x 380	76 x 110 x 380	110	55	27

TABLA N° 3 DIMENSIONES PROBETA DE COMPRESION NORMAL. CIZALLE DOBLE							
Clavo		Elemento lateral mm x mm x mm	Elemento central mm x mm x mm	20 d mm	12 d mm	10 d mm	5 d mm
1 pulg.	d mm						
2"	2,8	14 x 56 x 326	28 x 104 x 400	56	34	28	14
2 1/2"	3,1	16 x 62 x 340	32 x 115 x 400	62	37	31	16
3"	3,8	19 x 76 x 371	38 x 140 x 400	76	45	38	19
4"	4,3	26 x 86 x 394	52 x 159 x 400	86	52	43	21
6"	5,5	38 x 110 x 448	76 x 204 x 400	110	66	55	27

Para cada grupo de parámetros elegidos, se ensayaron 20 probetas.

El total de probetas ensayadas fueron 524, resultado que se desglosa en la Tabla N° 4.

TABLA N° 4				
TOTAL DE PROBETAS USADAS				
Especie	Tipo de carga aplicada	Tipo de clavos	Número de probetas	Total
Pino Insigne	Compresión paralela	2"	36	114
		2 1/2"	19	
		3"	20	
		4"	20	
		6"	19	
	Compresión normal	2"	32	111
		2 1/2"	19	
		3"	20	
		4"	20	
		6"	20	
Raulí	Compresión paralela	2"	20	100
		2 1/2"	20	
		3"	20	
		4"	20	
		6"	20	
	Compresión normal	2"	20	99
		2 1/2"	20	
		3"	20	
		4"	20	
		6"	19	
		TOTAL		524

2.2.3.2. Método de ensayo.

Todos los ensayos y determinaciones descritos a continuación se realizaron con la colaboración del LABORATORIO DE PRODUCTOS FORESTALES DEL IDIEM DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE. Se usó una máquina de ensayo universal marca AMSLER, capacidad máxima de 15 ton. Mediante dispositivos adecuados, para cada unión, se determinó la curva carga deformación, detectándose así la carga necesaria para que la unión se deforme en 1 mm.

El ensayo se continuó hasta que se alcanzó la carga máxima de la unión, definiéndose como tal a aquella carga con la cual la unión aumentaba grandemente sus deformaciones con pequeños incrementos de carga.

De cada uno de los tres elementos de la unión, se sacaron muestras, en las cuales se determinó: la

densidad original (basada en el peso y volumen obtenidos al contenido de humedad de ensayo), la densidad básica (calculada con el peso seco al horno y el volumen obtenido al contenido de humedad de ensayo), y la densidad seca (basada en el peso y volumen seco al horno) y el contenido de humedad de ensayo.

Además, cuando fue posible, de cada elemento de la unión se sacó una probeta de 2 x 2 x 6 cm. para realizar un ensayo de compresión axial y determinar así la tensión de rotura (σ_R), parámetro necesario para aplicar el criterio de MATEUS.

2.2.4. Resultados

Tanto los valores medios de las propiedades físicas determinadas como los promedios obtenidos para las propiedades resistentes se presentan en la Tabla 5. Se incluyen en ella las cargas máximas que le correspondería a cada clavo.

TABLA N° 5
PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE UNIONES CLAVADAS
CIZALLE DOBLE

Especie	Tipo de Carga	Tipo de clavo	Contenido de humedad promedio H O/o	DENSIDAD PROMEDIO			RESISTENCIA		
				Original D ⁰⁰ gr/cm3	Básica D ⁹⁰ gr/cm3	Seca D ^{ss} gr/cm3	Rotura compresión paralela R kg/cm2	Deformac. =1mm. R kg.	Máxima por clavo R czd kg.
Pino Insigne	Compresión paralela.	2"	12,6	0,464	0,411	0,434	412	121	192
		2 1/2"	12,3	0,555	0,495	0,517	497	173	336
		3"	13,8	0,517	0,452	0,479	474	224	435
		4"	12,3	0,585	0,517	0,545	552	314	680
		6"	12,2	0,497	0,440	0,459	456	378	856
	Compresión Normal	2"	12,8	0,468	0,417	0,445	417	110	176
		2 1/2"	14,0	0,508	0,444	0,467	385	138	322
		3"	12,9	0,517	0,457	0,484	443	199	399
		4"	13,3	0,556	0,482	0,506	374	262	534
		6"	12,5	0,461	0,408	0,430	404	321	960
Raulí	Compresión paralela	2"	10,0	0,534	0,486	0,508	386	131	194
		2 1/2"	11,1	0,557	0,500	0,518	467	165	284
		3"	11,7	0,576	0,513	0,549	511	222	365
		4"	10,3	0,547	0,495	0,516	477	268	600
		6"	11,0	0,545	0,490	0,515	470	424	1059
	Compresión Normal	2"	9,5	0,591	0,539	0,551	518	137	233
		2 1/2"	11,2	0,560	0,503	0,535	532	162	310
		3"	11,5	0,564	0,505	0,536	506	200	340
		4"	9,8	0,588	0,488	0,513	471	239	616
		6"	10,4	0,549	0,491	0,516	497	344	1185

Los valores experimentales de resistencia máxima por clavo (R_{czd}), para el pino insigne, se han ubicado en la Figura 18, a fin de ver su aproximación a los criterios de MATEUS y BROCK.

En la figura 19 se han graficado ambos criterios, aplicados al raulí agregándose a dicho gráfico los valores resistentes máximos (R_{czd}) por clavo que se determinaron de los ensayos.

2.2.5. Análisis de los resultados.

2.2.5.1. Elección del criterio.

Al elegir los criterios de MATEUS y BROCK como las curvas con más base teórica y compararlas con los valores extraídos de los ensayos de probetas confeccionadas con maderas y clavos nacionales se ve que la más cercana a los valores experimentales es la correspondiente al criterio de MATEUS. Lo anterior es efectivo tanto para la madera de pino insigne como para la de raulí.

Considerando la buena base teórica y la correspondencia con los valores experimentales, se escogerá el criterio de MATEUS como base para determinar la resistencia de uniones clavadas sometidas a esfuerzos de extracción lateral. La expresión que da la carga máxima de extracción, para cizalle doble, es:

$$R_{czd} = 6,14 \cdot \sigma_R \cdot d^2 \quad (9)$$

en que:

R_{czd} = carga máxima de extracción lateral, en cizalle doble, en kg.

σ_R = tensión de rotura a la compresión axial, en kg/cm².

d = diámetro del clavo, en cm.

y la correspondiente al cizalle simple, será:

$$R_{czs} = 3,07 \cdot \sigma_R \cdot d^2 \quad (10)$$

según lo analizado en el párrafo 2.1.2.8.

en que:

R_{czs} = carga máxima de extracción lateral en cizalle simple, en kg.

2.2.5.2. Contenido de humedad.

Al observar la Tabla 5, se ve que el contenido de humedad de las probetas sometidas a ensayo no sobrepasó el valor $H = 15\%$. Esto involucra que los resultados obtenidos por la resistencia máxima por clavo, R_{czd} , y la tensión de rotura de compresión paralela, σ_R se refieren al mismo estado de la madera.

Sin embargo, la aplicación de estos valores se podrá hacer a uniones con madera seca que permanecerán con tal contenido de humedad durante su vida útil o a uniones con madera verde que no verán modificado su estado, mientras ellas permanezcan en servicio.

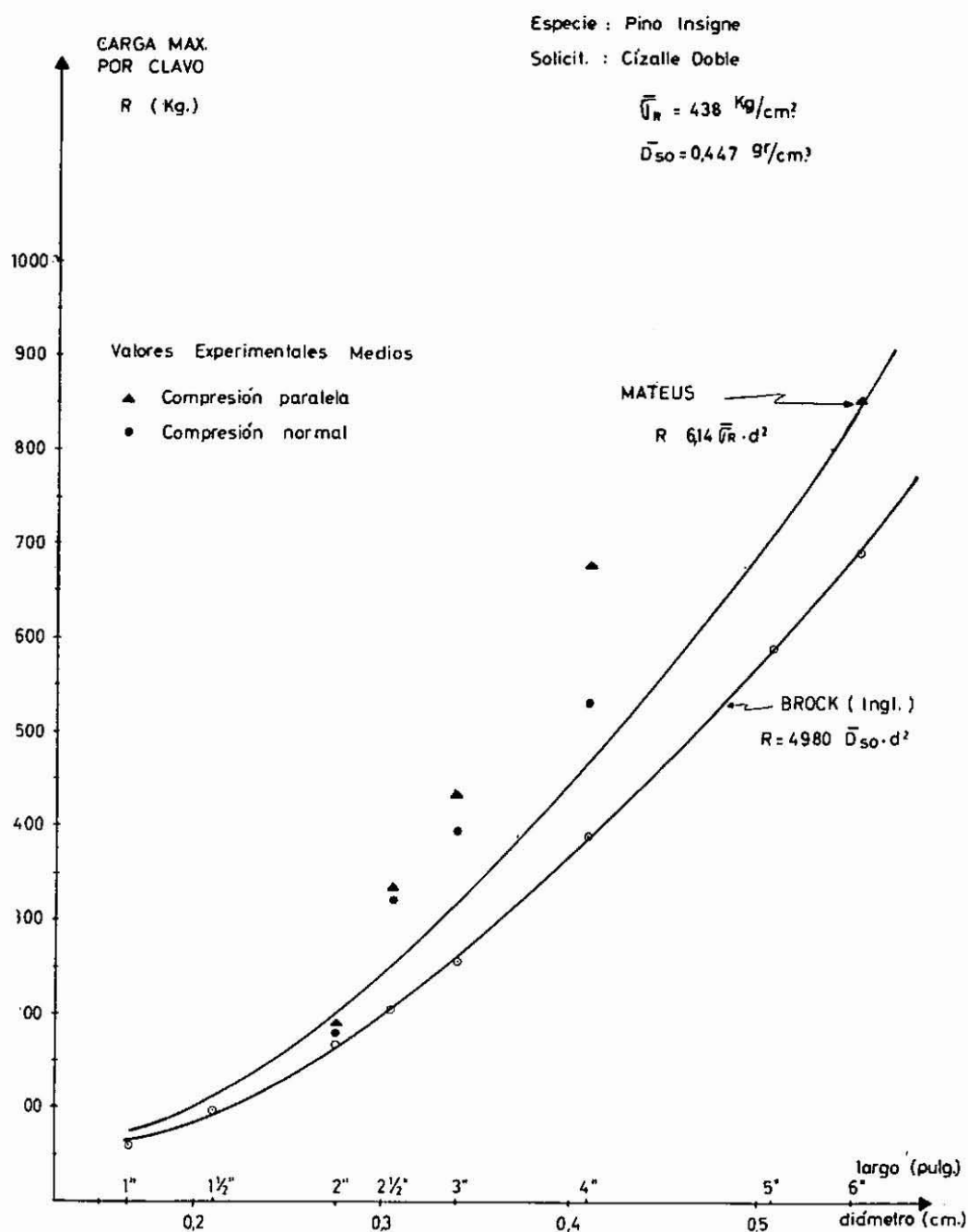
2.2.5.3. Comparación entre los valores encontrados para probetas de compresión normal y de compresión paralela.

Los valores encontrados para la resistencia máxima por clavo, en ambos tipos de probetas, son los que se indican en la Tabla 6.

TABLA N° 6

Especie	Tipo de clavo	RESISTENCIA MAXIMA POR CLAVO EN PROBETAS DE					
		Compresión paralela			Compresión normal		
		N	Media X	Desviac. Estand. s_x	N	Media X	Desviac. Estand. s_x
Pino Insigne	2"	36	192	18,2	32	176	21,8
	2 1/2"	19	336	24,4	19	322	29,0
	3"	20	435	37,7	20	399	42,8
	4"	20	680	65,5	20	534	70,1
	6"	19	856	53,6	20	960	81,1
Raulí	2"	20	194	22,4	20	233	27,0
	2 1/2"	20	284	23,1	20	310	37,2
	3"	20	365	34,6	20	340	29,9
	4"	20	600	67,6	20	616	65,1
	6"	20	1059	118,4	19	1185	116,8

FIGURA 21



Cizalle simple:

$$R_{czs\text{ adm.}} = \frac{R_{czs\text{ mfn.}}}{2,5}$$

$$R_{czs\text{ adm.}} = \frac{3,07 \cdot \sigma_R\text{ mfn.} \cdot d^2}{2,5}$$

$$R_{czs\text{ adm.}} = 1,228 \cdot \sigma_R\text{ mfn.} \cdot d^2 \quad (15)$$

en que:

$R_{czs\text{ adm.}}$ = carga admisible de un clavo sometido a cizalle simple, en kg.

$$\sigma_R\text{ mfn.}, d = \text{id. expresión} \quad (14)$$

Las expresiones (14) y (15) son generales y se pueden aplicar a clavos comunes de cualquier diámetro.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones y recomendaciones que se obtienen de los trabajos existentes sobre esta materia en otros países, y de los ensayos que se realizan en este estudio, son las que se señalan a continuación:

3.1. Para la Resistencia a la Extracción Directa del Clavo.

- 3.1.1. La resistencia a la extracción directa depende: de la profundidad de penetración del clavo en la madera, de la densidad de la madera y del diámetro del clavo.
- 3.1.2. No existe diferencia significativa entre las cargas necesarias para extraer clavos, recién colocados, tanto en madera seca como en madera verde.
- 3.1.3. Se pierde gran parte de la resistencia a la extracción directa si el clavo se coloca en madera verde que se seca antes de una sollicitación de extracción, o si, se coloca en madera seca que se humedece antes de dicha sollicitación.
- 3.1.4. No se recomienda el uso de clavos colocados en dirección paralela a las fibras de la madera, soportando cargas de extracción directa.
- 3.1.5. Se recomienda la siguiente expresión para determinar la carga unitaria máxima de extracción directa de clavos colocados en dirección normal a las fibras de la madera.

$$P_{\text{máx.}} = 1.000 \cdot D_{ss}^{5/2} \cdot d^{3/2}$$

en que:

$P_{\text{máx.}}$ = carga máxima de extracción directa, por unidad de penetración normal a las fibras, en kg/cm.

D_{ss} = densidad basada en peso y volumen seco al horno, en gr/cm³.

d = diámetro del clavo, en cm.

3.1.6. Se recomienda la siguiente expresión, para determinar la carga unitaria admisible de un clavo sollicitado a esfuerzos de extracción directa.

$$P_{\text{adm.}}; 285 \cdot D_{ss}^{5/2}\text{ mfn.} \cdot d^{3/2}$$

en que:

$P_{\text{adm.}}$ = carga unitaria admisible de extracción directa, normal a las fibras, en kg/cm.

$D_{ss}\text{ mfn.}$ = densidad mínima probable, determinada en base a peso y volumen seco al horno, con una certeza de 99 0/0, en gr/cm³.

d = diámetro del clavo, en cm.

3.1.7. Las expresiones recomendadas en 3.1.5. y 3.1.6. se aplicarán a uniones con madera verde, que conserven ese estado durante su servicio, o, con madera seca que no altere su estado mientras dure la unión.

3.1.8. Las expresiones recomendadas en 3.1.5. y 3.1.6. se aplicarán a uniones con clavos redondos, de cabeza plana, extraídos de alambre común, colocados sin perforación guía inicial y con su eje en ángulo recto a las fibras de la madera.

3.2. Para la Resistencia a la Extracción Lateral del clavo.

3.2.1. Los factores que mayor incidencia tienen sobre la resistencia a la extracción lateral de un clavo son: la resistencia de la madera, el diámetro del clavo y el espesor del material que realmente participa en la transmisión del esfuerzo.

3.2.2. Existe una pequeña diferencia entre las resistencias de uniones clavadas con madera seca y madera húmeda, siempre que tales estados se mantengan mientras la unión esté en servicio.

3.2.3. El contenido de humedad de la madera afecta fuertemente a la resistencia de la unión, si él aumenta o disminuye en forma considerable durante la vida de la unión.

3.2.4. Se recomienda las siguientes expresiones para determinar la carga máxima de extracción lateral de un clavo:

$$\text{Cizalle doble : } R_{czd} = 6,14 \sigma_R \cdot d^2$$

$$\text{Cizalle simple : } R_{czs} = 3,07 \sigma_R \cdot d^2$$

en que:

R_{czd} = carga máxima de extracción lateral, para un clavo sometido a cizalle doble, en kg.

R_{czs} = carga máxima de extracción lateral para un clavo sometido a cizalle simple, en kg.

σ_R = tensión de rotura a la compresión axial, determinada en una probeta de 2x2x6 cm., en kg/cm².

3.2.5. Se recomienda las siguientes expresiones para determinar la carga admisible de un clavo:

$$\text{Cizalle doble : } R_{czdadm} = 2,456 \sigma_{Rmín.} \cdot d^2$$

$$\text{Cizalle simple : } R_{czsadm} = 1,228 \sigma_{Rmín.} \cdot d^2$$

en que:

R_{czdadm} = resistencia admisible de un clavo sometido a cizalle doble, en kg.

R_{czsadm} = resistencia admisible de un clavo sometido a cizalle simple, en kg.

$\sigma_{Rmín.}$ = valor mínimo probable de compresión axial, determinada con una certeza de 99 0/0, en kg/cm².

d = diámetro del clavo, en cm.

3.2.6. Las expresiones recomendadas en 3.2.4.

3.2.5. se aplicarán a uniones con madera seca que no verá alterado su contenido de humedad mientras ellas estén en servicio.

3.2.7. Las expresiones recomendadas en 3.2.4. y 3.2.5. son válidas para uniones clavadas y solicitadas con carga de extracción lateral, cualquiera sea la dirección de esta carga, respecto a las fibras de la madera que conforma la unión.

3.2.8. Las expresiones recomendadas en 3.2.4. y 3.2.5. se aplicarán a uniones con clavos redondos, de cabeza plana, extraídas de alambre común, colocados sin perforación guía inicial y con su eje en ángulo recto respecto a las fibras de la madera.

ANEXO A

ESPECIFICACIONES DE CALCULO Y DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS



A. ESPECIFICACIONES DE CALCULO Y DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS.

A.1. Disposiciones Generales.

- A.1.1. Las siguientes disposiciones se aplican sólo a uniones con clavos redondos, de cabeza plana, extraídos de alambre común, y con su eje en ángulo recto de la madera.
- A.1.2. Los clavos deberán tener, como mínimo, las características que se incluyen en la Tabla A.1.
- A.1.3. Cuando se usa más de un clavo en una unión, la carga admisible total, de extracción directa o lateral, se calcula como la suma de las cargas admisibles de cada clavo que conforma la unión.
- A.1.4. Cuando se usa una perforación guía inicial cuyo diámetro no supera el 75 % del diámetro del clavo usado, se aplicarán las cargas admisibles que establecen las expresiones dadas en A. 2.1.1. y A.3.1. para extracción directa y extracción lateral, respectivamente.
- A.1.5. Los valores de cargas admisibles que aquí se dan son los máximos que se deberán aplicar a clavos en uniones sometidas a carga permanente. Si la carga es de corta duración, será necesario realizar los siguientes incrementos:
- 30 % si existen fuerzas ocasionadas por vientos, nieve o sismo.
 - 55 % para fuerzas derivadas de la combinación de viento y nieve, viento y sismo, o sismo y nieve.
 - 100 % para fuerzas de impacto.

A.2. Extracción Directa.

- A.2.1. El diseño estructural deberá evitar la existencia de clavos sometidos a extracción directa. Cuando esto no se pueda evitar, deberá aplicarse las disposiciones que a continuación se indican.

A.2.1.1. Si se cumple que:

- a. Los clavos tienen las características incluidas en párrafo A.1.1.
- b. Los clavos son colocados con su eje perpendicular a las fibras de la madera.
- c. La madera es verde y se mantendrá en ese estado, o, la madera es seca y no alterará su contenido de humedad mientras la unión dure.

La carga admisible de extracción directa por unidad de penetración, se obtendrá de la expresión:

$$P_{adm} = 285 D_{ss}^{5/2} m\acute{in}. \cdot d^{3/2}$$

en que:

P_{adm} = carga admisible de extracción directa, por unidad de penetración, en kg/cm.

$D_{ss} m\acute{in}$ = densidad mínima probable, determinada en base a peso y volumen seco al horno, con una certeza de 99 %, en gr/cm³.

d = diámetro del clavo, en cm.

La representación gráfica de esta ecuación para las diferentes especies nacionales, se indica en la figura A.1.

La Tabla A.2. da los mismos valores y los parámetros necesarios para ampliarla a diámetros que no aparecen en dicha Tabla. Ej.:

$$D_{ss} m\acute{in}. , D_{ss}^{5/2} m\acute{in}. , etc.$$

- A.2.1.2. Cuando el clavo se coloca perpendicular a las fibras, en madera verde que luego sufre un proceso de secado, la carga admisible de extracción directa por unidad de penetración se tomará igual al 25 % de los valores dados por la expresión indicada en A.2.1.1.

- A.2.2. El diseño estructural deberá eliminar la sollicitación de extracción directa en clavos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera.

A.3. Extracción Lateral

- A.3.1. Las cargas de extracción lateral soportadas por clavos ubicados normalmente a las fibras de madera seca y que atraviesan totalmente los elementos o piezas que se unen, quedan determinadas por las siguientes expresiones:

$$\text{Cizalle simple : } R_{czs adm} = 1,228 \frac{\sigma}{R} m\acute{in}. d^2$$

$$\text{Cizalle doble : } R_{czd adm} = 2,456 \sigma_R m\acute{in}. d^2$$

en que:

R_{czs} = carga admisible de un clavo sometido a cizalle simple, en kg.

R_{czd} = carga admisible de un clavo sometido a cizalle doble, en kg.

$\sigma_R m\acute{in}.$ = valor mínimo probable de compresión axial determinado en probetas de 2 x 2 x 6 cm., con una certeza de 99 % en kg/cm².

d = diámetro del clavo, en cm.

La Tabla A.3. da los valores de R y Rmín. correspondiente a las diferentes especies nacionales.

- A.3.2. Las expresiones indicadas en el párrafo anterior son válidas cualquiera sea el ángulo formado por la dirección de la carga y la dirección de las fibras de la madera.
- A.3.3. Las expresiones del numeral A.3.1. se aplicarán sólo cuando las respectivas densidades de los elementos que constituyen la unión son aproximadamente iguales. Cuando los elementos tienen densidades diferentes, el diseño queda determinado por la especie de densidad menor.
- A.3.4. Cuando un clavo de una unión se coloca perpendicular a las fibras de madera verde, que permanecerá verde o que será sometida a carga antes que ella se seque, su carga admisible corresponderá al 75% de los valores que entregan las expresiones dadas en A.3.1.
- A.3.5. Cuando se une madera y metal a través de clavos, se determinará la carga admisible de cada uno de éstos en base a las expresiones dadas en A.3.1. más un incremento de 25%.
- A.3.6. La carga admisible de un clavo sometido a extracción lateral y colocado con su eje paralelo a las fibras de la madera se tomará igual al 65% de los valores dados por las expresiones del párrafo A.3.1.
- A.3.7. Los espaciamientos mínimos que deberán tener los clavos colocados sin perforación

guía y sometidos a esfuerzos de extracción lateral, son los que se indican en la figura A.3. y en la Tabla A.4.

Si el clavo se coloca con perforación guía de diámetro no mayor a 80% del diámetro del clavo, se considerarán los espaciamientos indicados en Tabla A.4. y en la figura A.4.

- A.3.8. Las cargas admisibles que se recomiendan en A.2.1. son válidas para las relaciones entre espesor (e) de elementos y diámetro (d) del clavo que se indican en la Tabla A.5.

A.4. Clavos "Lanceros"

- A.4.1. La carga admisible de extracción directa para un clavo colocado como "clavo lancero", para cualquier contenido de humedad de la madera, se tomará igual al 65% de los valores dados por las expresiones que se indican en el párrafo A.2.1.1.
- A.4.2. La carga admisible de extracción lateral para un clavo colocado como "clavo lancero" es equivalente al 30% del valor dado por la expresión de cizalle simple que aparece en el párrafo A.3.1. para igual penetración del clavo.

NOTA: Se recomienda que los clavos ubicados como clavos lanceros se coloquen formando un ángulo de 30° con la pieza donde va a quedar la cabeza del clavo, y a una distancia aproximadamente igual a 1/3 del largo del clavo, midiéndolo a partir del extremo de dicha pieza. Ver figura A.2.

TABLA A.1.
CARACTERISTICAS DE LOS CLAVOS COMUNES

Nº de fábrica	LARGO		Calibre 13 W.G.	Diámetro medio d cms	POTENCIA DE d.		Nº de cla- vos por kg
	Pulgadas	cms			d2 cm2	d ^{3/2} cm ^{3/2}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	6	15,2	5	0,558	0,3114	0,4168	35
2	5	12,7	6	0,515	0,2652	0,3696	47
3	4	10,4	8	0,419	0,1756	0,2712	86
4	3 1/2	8,9	9	0,375	0,1406	0,2296	126
5	3	7,7	10	0,340 *	0,1156	0,1982	170
6	3	7,7	11	0,304	0,0924	0,1676	218
7	2 1/2	6,6	11	0,304	0,0924	0,1676	261
8	2 1/2	6,6	12	0,276	0,0762	0,1450	324
9	2	5,2	12	0,276*	0,0762	0,1450	411
10	2	5,2	13	0,241	0,0581	0,1183	456
11	2	5,2	14	0,210	0,0441	0,0962	693
12	1 3/4	4,4	14	0,210	0,441	0,0962	794
13	1 1/2	3,8	14	0,210	0,441	0,0962	880
14	1 1/4	3,2	15	0,182	0,0331	0,0777	1368
15	1	2,6	16	0,165	0,0272	0,0670	2076

(2) La identificación del clavo se realizará por su largo expresado en pulgadas.
* De mayor uso.

GRAFICO A1

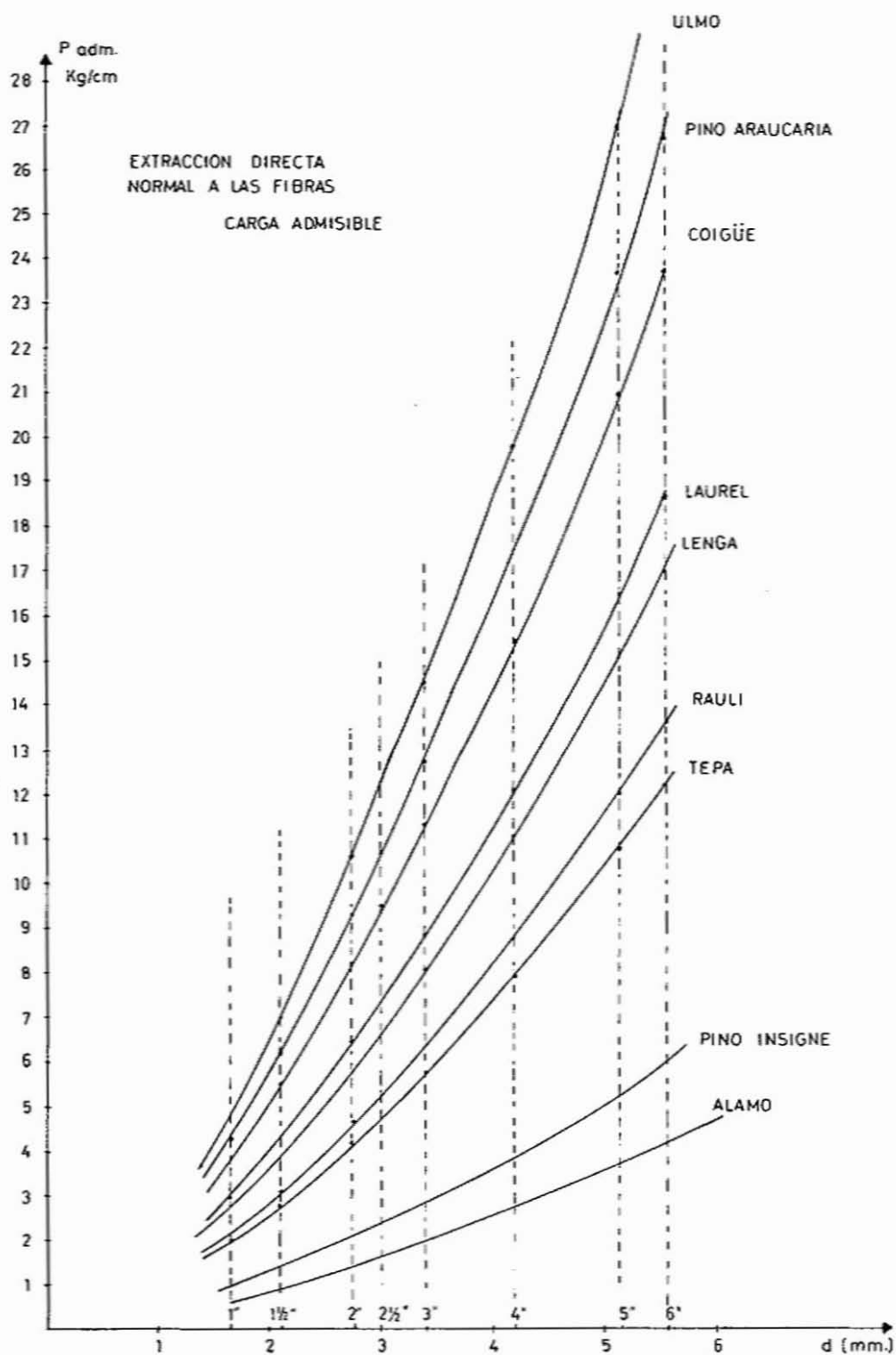


TABLA A.2.
CARGAS ADMISIBLES PARA CLAVOS SOMETIDOS A EXTRACCION DIRECTA Y
COLOCADOS EN SU EJE NORMAL DE LAS FIBRAS DE LA MADERA

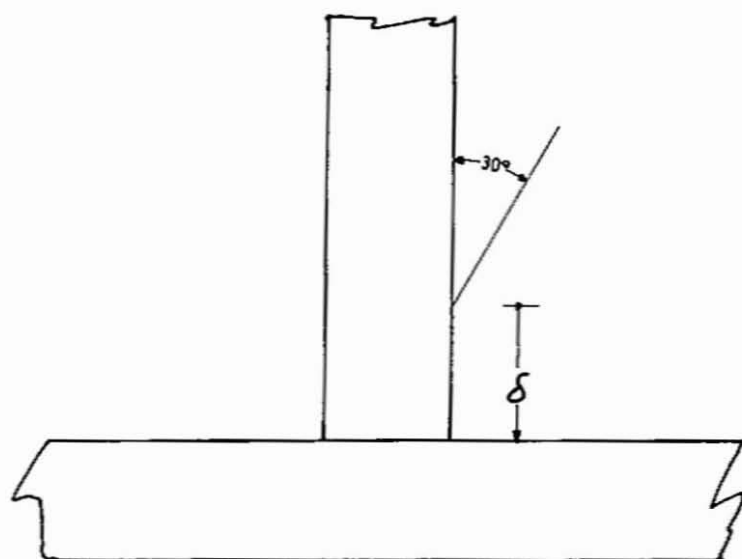
Especie	DENSIDAD			CLAVO			
	Media D_{ss}	Mínima Probable $D_{ss\text{ mín}}$	$D_{ss}^{5/2\text{ mín}}$	Largo	Diámetro d	$d^{3/2}$	Resistencia Admisible por clavo P_{adm}
	cm3	gr/cm3		pulg.	cm		kg/cm
Alamo	0,343	0,273	0,03890	1"	0,165	0,0670	0,7
				1 1/2"	0,210	0,0962	1,1
				2"	0,276	0,1450	1,6
				2 1/2"	0,304	0,1676	1,6
				3"	0,340	0,1982	2,2
				4"	0,419	0,2712	3,0
				5"	0,515	0,3696	4,1
				6"	0,558	0,4168	4,6
Pino Insigne	0,433	0,302	0,05012	1"	0,165	0,0670	1,0
				1 1/2"	0,210	0,0964	1,4
				2"	0,276	0,1449	2,4
				2 1/2"	0,304	0,1676	2,4
				3"	0,340	0,1982	2,8
				4"	0,419	0,2712	3,9
				5"	0,515	0,3696	5,3
				6"	0,558	0,4168	6,0
Tepa	0,514	0,402	0,10242	1"	0,165	0,0670	2,0
				1 1/2"	0,210	0,0964	2,8
				2"	0,276	0,1449	4,2
				2 1/2"	0,304	0,1676	4,9
				3"	0,340	0,1982	5,8
				4"	0,419	0,2712	7,9
				5"	0,515	0,3696	10,8
				6"	0,558	0,4168	12,2
Raulí	0,459	0,420	0,11432	1"	0,165	0,0670	2,2
				1 1/2"	0,210	0,0964	3,1
				2"	0,276	0,1449	4,7
				2 1/2"	0,304	0,1676	5,5
				3"	0,340	0,1982	6,5
				4"	0,419	0,2712	8,8
				5"	0,515	0,3696	12,0
				6"	0,558	0,4168	13,6

(Continúa)

NOTA: Los valores dados en esta tabla se basan en determinaciones de densidad hechos en los laboratorios del IDIEM de la U. de Chile y del INSTITUTO FORESTAL. Para el caso de las especies que no aparecen en la presente Tabla o en la figura 5, deberá determinarse la densidad (D_{ss}) respectiva y usar la fórmula dada en el numeral A.2.1.1.

Especie	DENSIDAD			CLAVO			
	Media D_{ss}	Mínima Probable $D_{ss} m/n$	$D_{ss} 5/2 m/n$	Largo	Diámetro d	$d^{3/2}$	Resistencia Admisible por clavo P_{adm}
	cm ³	gr/cm ³		pulg.	cm		kg/cm
Lenga	0,546	0,460	0,14352	1"	0,165	0,0670	2,7
				1 1/2"	0,210	0,0964	3,9
				2"	0,276	0,1449	5,9
				2 1/2"	0,304	0,1676	6,8
				3"	0,340	0,1982	8,1
				4"	0,419	0,2712	11,1
				5"	0,515	0,3696	15,1
				6"	0,558	0,4168	17,0
Laurel	0,498	0,476	0,15632	1"	0,165	0,0670	3,0
				1 1/2"	0,210	0,0964	4,3
				2"	0,276	0,1449	6,5
				2 1/2"	0,304	0,1676	7,5
				3"	0,340	0,1982	8,8
				4"	0,419	0,2712	12,1
				5"	0,515	0,3696	16,5
				6"	0,558	0,4168	18,6
Coihue	0,636	0,447	0,19981	1"	0,165	0,0670	3,8
				1 1/2"	0,210	0,0964	5,5
				2"	0,276	0,1449	8,2
				2 1/2"	0,304	0,1676	9,5
				3"	0,340	0,1982	11,3
				4"	0,419	0,2712	15,4
				5"	0,515	0,3696	21,0
				6"	0,558	0,4168	23,7
Pino Araucaria	0,550	0,474	0,22467	1"	0,165	0,0670	4,3
				1 1/2"	0,210	0,0964	6,2
				2"	0,276	0,1449	9,3
				2 1/2"	0,304	0,1676	10,7
				3"	0,340	0,1982	12,7
				4"	0,419	0,2712	17,4
				5"	0,515	0,3696	23,7
				6"	0,558	0,4168	26,7
Ulmo	0,636	0,506	0,25604	1"	0,165	0,0670	4,9
				1 1/2"	0,210	0,0964	7,0
				2"	0,276	0,1449	10,6
				2 1/2"	0,304	0,1676	12,2
				3"	0,340	0,1982	14,5
				4"	0,419	0,2712	19,8
				5"	0,515	0,3696	27,0
				6"	0,558	0,4168	30,4

FIGURA A2. CORRECTA FORMA DE UBICAR UN CLAVO LANCERO.



$\delta = 1/3$ = distancia del extremo de la pieza.

l = largo del clavo.

TABLA N° A.3.
VALORES DE TENSIONES DE ROTURA
A LA COMPRESION AXIAL
PROBETA 2x 2x 6 cm.

Especie*	Tensión de rotura	Compresión axial
	Valor medio σ_R kg/cm ²	Valor mínimo probable $\sigma_{Rmín}$ kg/cm ²
Araucaria	481	343
Coihue	548	330
Lenga	497	402
Olivillo	391	293
Raulí	483	349
Roble	527	253
Tepa	433	307
Tineo	602	512
Ulmo	636	469
Pino Insigne	438	213

* Para las especies que no aparecen en esta Tabla no se encontraron los datos correspondientes.



FIGURA A.3. ESPACIAMIENTOS MINIMOS PARA CLAVOS SOLICITADOS POR EXTRACCION LATERAL Y COLOCADOS SIN PERFORACION GUIA INICIAL

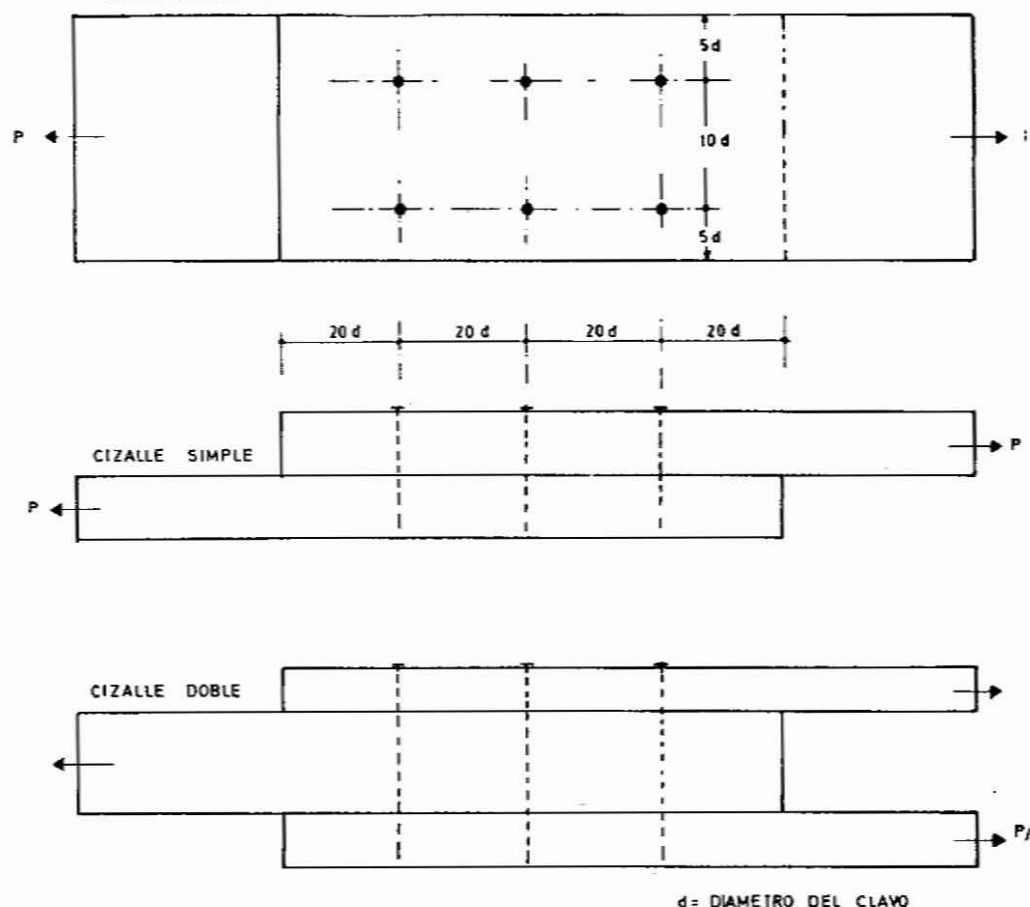


TABLA A.4.
VALORES, EN mm, DE LOS ESPACIAMIENTOS MINIMOS.

LARGOS DE CLAVOS MAS USADOS	DIAMETRO CLAVO. d mm	$20d$ mm	$10d$ mm	$5d$ mm	$3d$ mm
2"	2,76	55,2	27,6	13,8	8,3
2 1/2"	3,04	60,8	30,4	15,2	9,1
3"	3,40	68,0	34,0	17,0	10,2
4"	4,19	83,8	41,9	21,0	12,6
5"	5,15	103,0	51,5	25,8	15,5
6"	5,58	111,6	55,8	27,9	16,7

FIGURA A.4. ESPACIAMIENTOS MINIMOS PARA CLAVOS SOLICITADOS POR EXTRACCION LATERAL Y COLOCADOS CON PERFORACION GUIA INICIAL

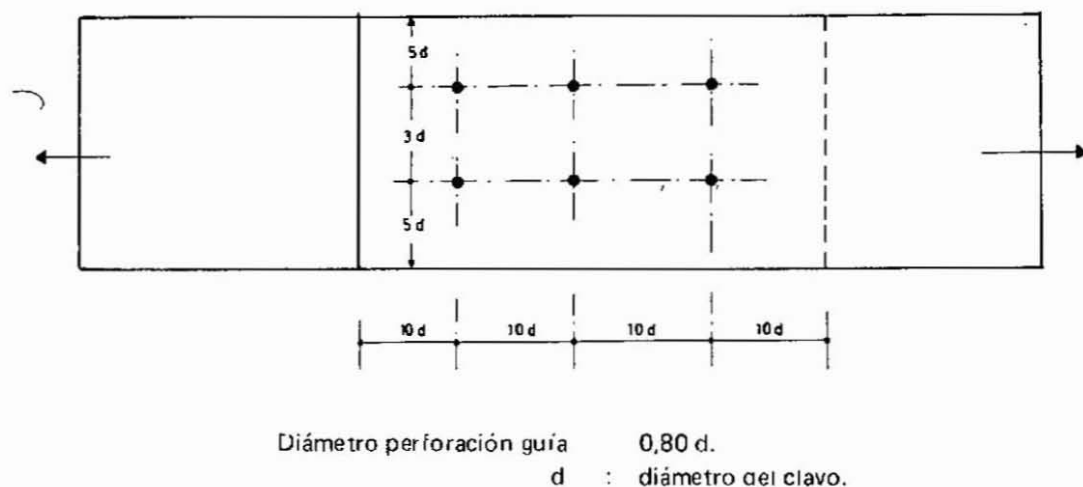


TABLA N° A.5. RELACIONES ENTRE ESPESOR DE ELEMENTO (e) DIAMETRO DEL CLAVO (d), PARA LAS CUALES SE DAN LAS CARGAS ADMISIBLES DE EXTRACCION LATERAL

SOLICITACION	TIPO UNION	RELACION ESPESOR/DIAMETRO
CIZALLE SIMPLE		$e/d > 2,5$
		$e_1/d > 2,5$
CIZALLE DOBLE		$e/d > 2,5$
		$e_1/d > 2,5$

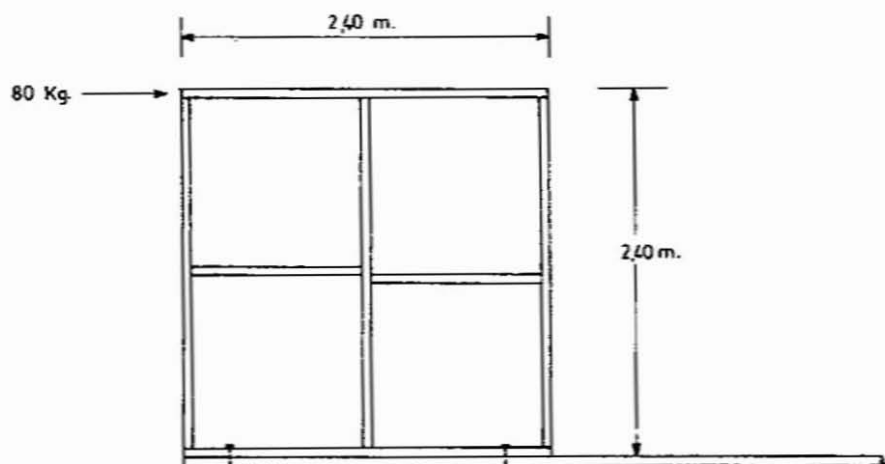
A N E X O B

EJEMPLOS DE APLICACION EN EL DISEÑO DE UNIONES CLAVADAS

B.1. Ejemplo de aplicación.

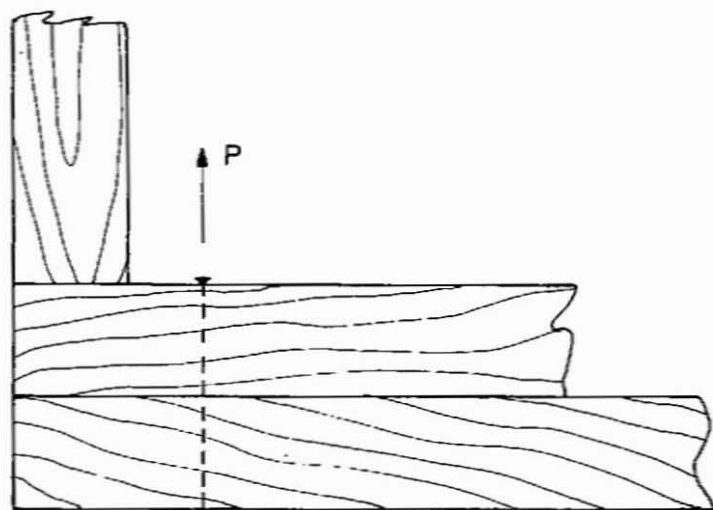
Se desea fijar el panel de la figura B.1.a la solera horizontal de 80 kg., que puede tener, indistintamente la dirección indicada o la contraria a ella.

FIGURA N° B.1. ESFUERZO Y DIMENSIONES DEL PANEL DEL EJEMPLO DE APLICACION.



El momento M que se origina induce un par de fuerzas sobre la solera, de magnitud P , que será necesario absorber mediante clavos solicitados a la extracción directa, ubicados en ambos extremos de la solera inferior del panel. Ver. figura B.2.

FIGURA N° B.2. UBICACION DE LOS CLAVOS EN EL EJEMPLO DE APLICACION



Datos:

Especie : Pino insigné.

Densidad : $D_{ss} \text{ m/n.} = 0,302 \text{ gr/cm}^3$.

$$D_{ss}^{5/2} \text{ m/n} = 0,05012$$

Momento : $M = 80 \times 240 = 19.200 \text{ kg/cm}$

Esfuerzo : $P = \frac{M}{300} = 19.200/300 = 64 \text{ kg}$

Supondremos que el clavo sólo puede transpasar las dos soleras inferiores, es decir, puede tener un largo máximo de:

espesor solera panel + espesor solera = 9,0 cm.

De lo anterior y revisando la Tabla 1 "Características de los Clavos Comunes", se obtiene que el más conveniente es el clavo N° 4, con las siguientes especificaciones:

Largo en pulgadas : $3 \frac{1}{2}"$

Largo en cm. : 8,9 cm.

Calibre : B W G 9

Diámetro medio : $d = 0,375 \text{ cm}$.

$$d^{3/2} = 0,22964$$

La penetración que podrá tener cada clavo y que originará la fijación del panel a la solera, será:

Penetración = largo clavo - espesor solera, panel.

$$= 8,9 - 4,5 = 4,4 \text{ cm.}$$

Carga admisible unitaria/clavo

$$= 285 \times D_{ss}^{5/2} \text{ m/n} \times d^{3/2} \text{ kg/cm.}$$

$$= 285 \times 0,05012 \times 0,22964$$

$$= 3,3 \text{ kg/cm.}$$

Carga admisible total/clavo

$$= 3,3 \times 4,4 = 14,5 \text{ kg.}$$

Número de elementos necesarios.

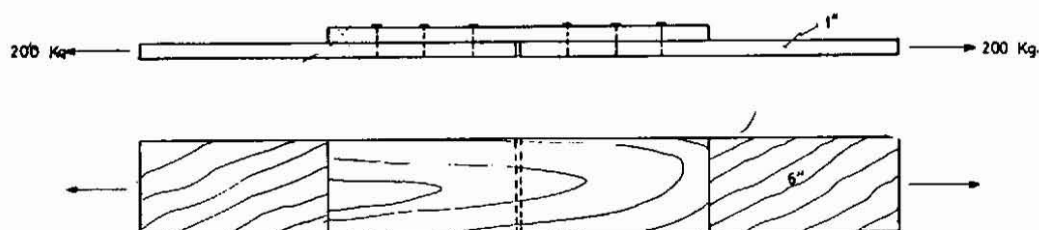
$$= 64/14,5 = 5 \text{ clavos.}$$

B.2. Ejemplo 2 de aplicación. Extracción lateral.

Se desea efectuar un empalme como el indicado en la figura B.3. para unir dos piezas que están solicitadas por una fuerza de tracción permanente de 200 kg.

Estas piezas son de pino insigné y tienen una escuadría de $1" \times 6"$

FIGURA B.3. TIPO DE EMPALME A EFECTUAR EN EL EJEMPLO 2 DE APLICACION



Se elegirá para el empalme una pieza de pino insigne de 1" y 6" y clavos de 2" de largo, trabajando al cizalle simple.

De acuerdo al párrafo A.3.1. de las especificaciones, la carga admisible quedará dada por:

$$R_{czs}^{adm} = 1,228 \times \sigma_{R\text{mín}} \cdot d^2$$

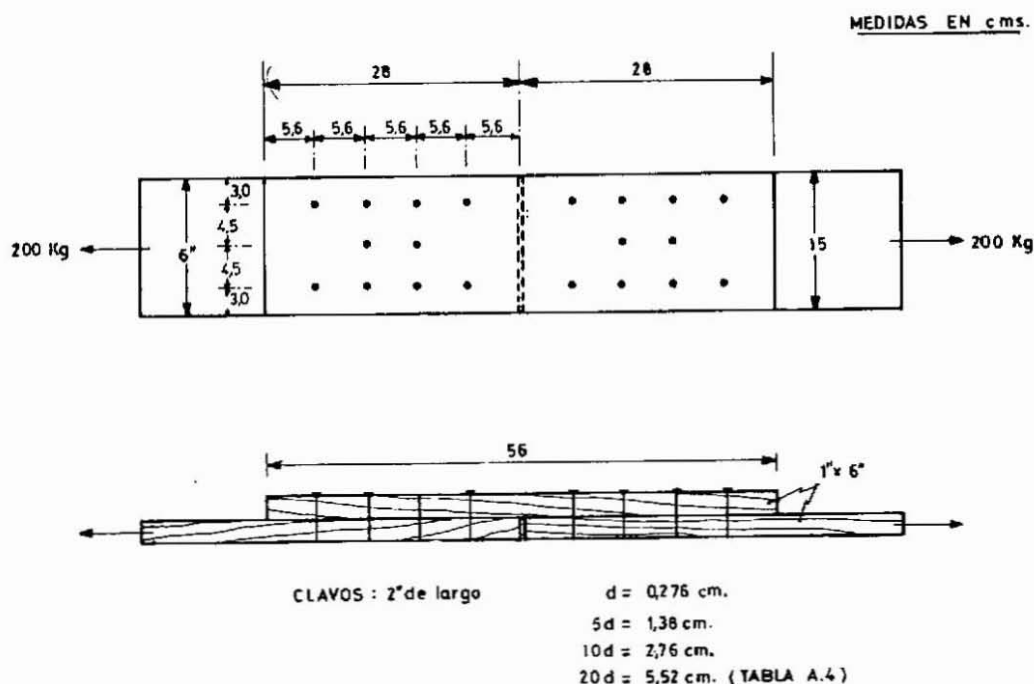
Datos:

$$\sigma_{R\text{mín}} \text{ (pino insigne)} = 213 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Tabla A.3.})$$

$$\begin{aligned} \text{Clavo : largo} &= 2'' \\ d &\approx 0,276 \text{ cm.} \\ d^2 &= 0,0762 \text{ cm}^2 \\ &(\text{Tabla A.1.}) \\ R_{czs} &= 1,228 \times 213 \times 0,0762 \\ &= 19,9 \text{ kg.} \\ n &= \text{números de clavos} \\ &= 200/19,9 = 10 \text{ clavos.} \end{aligned}$$

La distribución de estos clavos será la que indica la figura B.4.

FIGURA B.4. DISEÑO DEL EMPALME DEL EJEMPLO 2



B.3. Ejemplo 3 de aplicación. Extracción lateral.

Diseñar la misma unión con clavos sometidos a cizalle doble.

Para el empalme se elegirán dos piezas de 1" de espesor y clavos de 3" de largo.

De acuerdo a párrafo A.3.1., la carga admisible queda dada por:

$$R_{czd} = 2,456 \cdot \sigma_{Rmín} \cdot d2$$

Datos:

$$\sigma_{Rmín.} \text{ (pino insignie)} = 213 \text{ kg/cm}^2$$

(Tabla A.3.)

Clavo: largo = 3"

$$d = 0,340 \text{ cm.}$$

$$d2 = 0,1156 \text{ cm}^2$$

(Tabla A.1.)

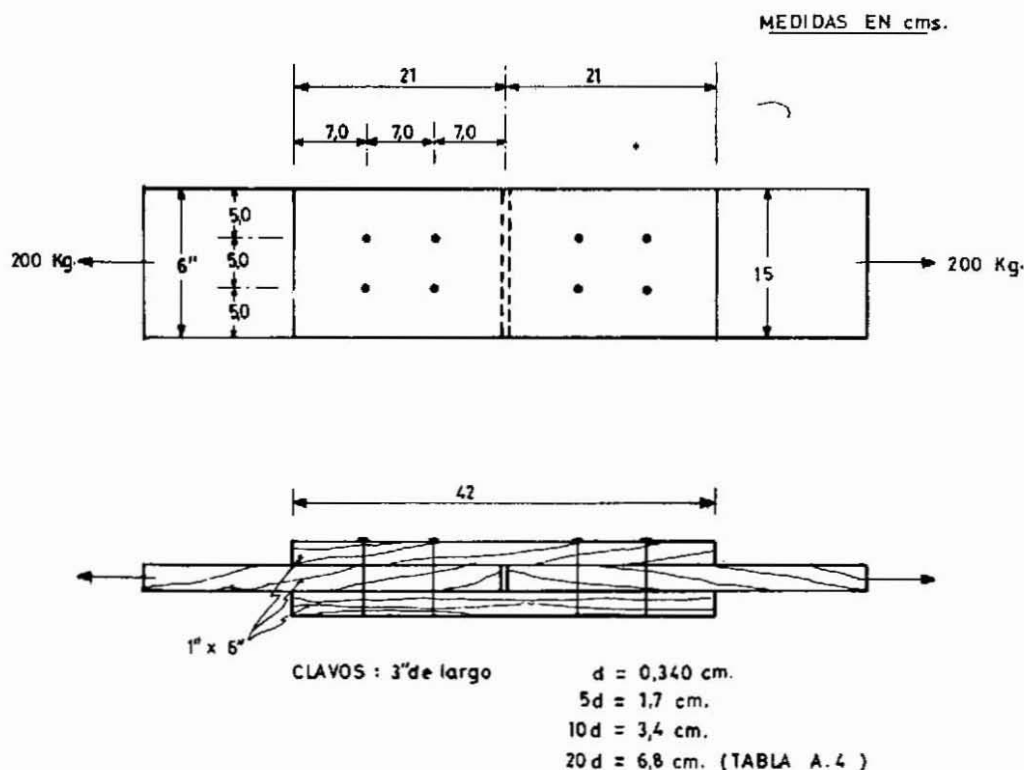
$$R_{czd} = 2,456 \times 213 \times 0,1156 = 60,5 \text{ kg.}$$

$$n = \text{número de clavos} = \frac{200}{60,5} = 3,3$$

Se tomarán 4 clavos:

El diseño de la unión se indica en la figura B.5.

FIGURA B.5. DISEÑO DEL EMPALME DEL EJEMPLO 3.

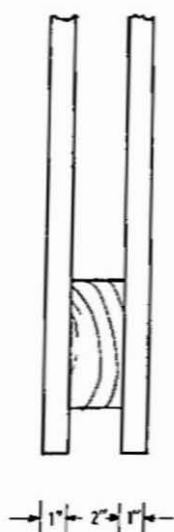
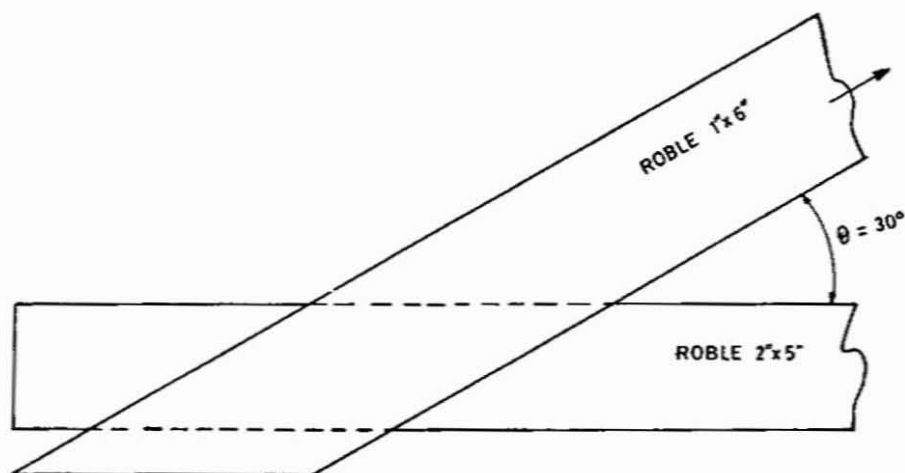


B.4. Ejemplo 4 de aplicación. Extracción lateral.

Se desea efectuar la unión en el nudo extremo de una cercha confeccionada con roble verde y sometida sólo a carga permanente. Los clavos se co-

locarán en una perforación guía inicial de diámetro igual al 70 % del diámetro del clavo. Las solicitudes, forma y escuadría de los elementos de la cercha se indican en la figura B.6.

FIGURA B.6. UNION A DISEÑAR EN EJEMPLO 4.



Datos:

Especie : Roble

$\sigma_{R\text{mín.}} = 253 \text{ kg/cm}^2$ (tabla A.3)

Clavos : largo = 4"

d = 0,419 cm.

d2 = 0,1756 cm2. (tabla A.1)

$R_{\text{czdadm}} = 2,456 \times 253 \times 0,1756 = 109 \text{ kg.}$

$$R_{\text{czd}}^{\text{diseño}} = R_{\text{czdadm}} \times F_{m1} \times F_{m2}$$

NOTA: La carga de diseño ($R_{\text{czd}}^{\text{diseño}}$) es igual al producto de la carga admisible (R_{czdadm}) por los factores de modificación (F_{m1}) que correspondan)

$$R_{\text{czd}}^{\text{diseño}} = 109 \times 1,0 \times 0,75 = 81,8 \text{ kg.}$$

$$n = 350/81,8 = 4,3$$

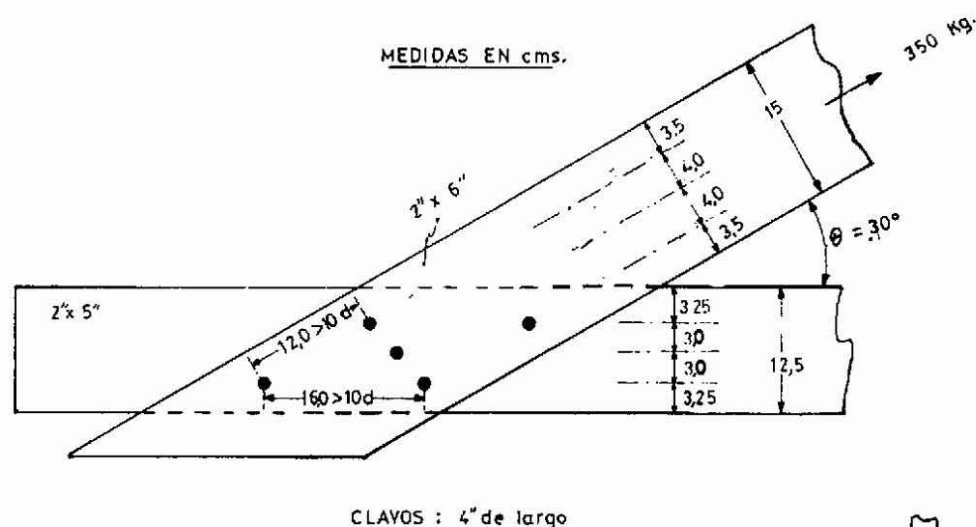
Factores de Modificación.

Madera verde : $F_{m1} = 0,75$ (Párrafo A.3.4.)

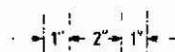
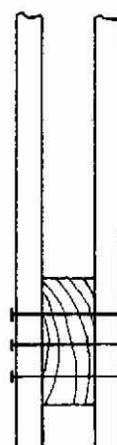
Perforación guía inicial $\phi = 0,70 \text{ d}$, $F_{m2} = 1,0$

Se tomarán 5 clavos de 4". El diseño de la unión queda indicado en la figura B.7.

FIGURA B.7. DISEÑO DE LA UNION DEL EJEMPLO 4.



d = 0,419 cm.
 3d = 1,26 cm.
 5d = 2,1 cm.
 10d = 4,2 cm. (TABLA A. 4)



BIBLIOGRAFIA

1. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS.** Testing metal fasteners employed in Wood construction, USA., ASTM D 1761 - 60T Philadelphia, Pa, 1968.
2. **BOOTH, L.G of REECE, P.O.** The structural use of timber. A comentary on the British Standard Code of Practice CP 112, 1967, SPON 287 p.
3. **BROCK, G.R.** The behaviour of nailed joints under longterm and short-duration loading. London, Forest Products Research Laboratory, 1965, 11 p. (Paper).
4. **BROCK, G.R.** The strength of nailed joints. London, Her Mayesty's Stationers Office. Departament of Scientific and Industrial Research, 1957, 31 p. (Bulletin N° 41).
5. **DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS.** Construcciones de madera. Cálculo y ejecución. DIN 1052. Bilbao, España, Balzola, 1959. 29 p.
6. **DONOSO, J. y NAVARRETE, R.** Determinación de las propiedades mecánicas de algunas maderas de importancia comercial. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal, 1969. Tesis.
7. **HANSEN, HOWARD J.** Diseño moderno de estructuras de madera, Manual de la colina trad., México, D.D., CECSA. 1961. 349 p.
8. **JORQUERA, L. y BONHOMME, F.** La norma japonesa para estructuras de madera. Santiago, Chile, Centro de la Vivienda y Construcción, 1964, 65 p. (Informe N° 17).
9. **MACK, J.J.** The strength of nailed timber joints. II. Radiata Pine. Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Forest Products Technological, 1962, 12p. (Paper N° 21).
10. **MATEUS, J. E., TOMAS.** Bases para o dimensionamiento de estructuras de madera. Lisboa, Ministerio de Obras Públicas, Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, 1961, 306 p. Memoria N° 179.
11. **NATIONAL LUMBER MANUFACTURERS ASSOCIATION.** National Design Specification for Stress-Grade lumber and its fastenings, USA, 1960 Edition, 69 p.
12. **NEWLING, J.A. and GAHAGAN, J.M.,** Lag-Screw joints: Their behaviour and design. Madison, Wisconsin, U.S. Departament Of Agriculture, Forest Products Laboratory.

13. **PETIT V. JOSE A.** Las uniones en la madera estructural. Clavos y Tornillos. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela de Ingeniería, 1971. Tesis.
14. **SHOLTEN J.A. and DOYLE,D.V.** Performance of Round and Fluted Nails in Wood joints, Madison, Wisconsin, U.S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory,1966. 3 p. (Technical Article)
15. **STERN G.E** Load transmission by nails in double shear. Blacksburg , Virginia, Virginia Polytechnic Institute, Wood Research Laboratory,1964, 11 p. (Reports N° 55).
16. **STERN G.E.** Moisture content of lumber influences nailholding power. Blacksburg, Virginia, USA., Virginia Polytechnic Institute. Wood Research Laboratory 1964, 2p. (Reports N° 53).
17. **SUNLEY, J.G. of BROCK, G.R.** Joints in timber, methods of test and determination of working loads. International symposium on joints in timber structures. Timber Research and Development Association, London, 1965. 2p.
18. **WOOD, LYMAN W.** Factor of safety in design of timber structures. New York. American Society of Civil Engineers, 1958, 20 p.

