

# I N D I C E

Páginas

0. INTRODUCCION .....	1
1. CURVADO DE MADERA MACIZA .....	9
1.1. Selección y preparación del material para curvar .....	9
1.2. Tratamientos para reblandecer .....	11
1.3. Curvado manual .....	14
1.4. Curvado con máquinas .....	32
1.5. Consolidación de las curvas .....	40
2. CURVADO DE MADERA LAMINADA .....	45
2.1. Proceso de curvado de madera laminada .....	45
2.2. Prensado .....	47
2.3. Elementos estructurales de madera laminada curvada .....	64
2.4. Movimiento y distorsión de las piezas laminadas curvadas .....	75
3. CURVADO DE MADERA CONTRACHAPADA .....	83
3.1. Factores que afectan al curvado de madera contrachapada .....	83
3.2. Producción de piezas curvas de contrachapado .....	86
APENDICES	
1. CONSIDERACIONES TEORICAS .....	97
2. TABLAS .....	107

\*\*\*\*\*

## INTRODUCCION

El curvado de la madera se remonta a los tiempos en que el hombre aprendió a fabricar cestos de mimbre. La madera en su estado natural tiene propiedades elásticas muy marcadas. Por ello, una curva hecha con este material conservará su forma si se la mantiene bien sujeta. Por otra parte, es muy difícil, si no imposible, doblar piezas muy gruesas con radios de curvatura pequeños. Por esta razón, las piezas curvas para la construcción de embarcaciones se hacían en tiempos remotos con ramas que presentaban naturalmente la forma deseada. Este método de obtener piezas curvadas tiene evidentes limitaciones. Por tanto, en la producción de muebles, barcos, artículos deportivos, etc., la madera aserrada se curva o se asierra para darle la forma que se necesite. Si el grosor de la pieza es pequeño comparado con el radio de curvatura deseado, y se sujeta firmemente entre las partes adyacentes de la estructura en que esté incluida, puede emplearse la madera en su estado natural o seca.

Teóricamente no hay límite para la producción de piezas curvas mediante aserrado, pero este método tiene dos inconvenientes importantes.

Cuando se asierra una pieza de radio de curvatura muy pequeño, gran parte de ella tendrá que ser transversal a la fibra, con la consecuente reducción de resistencias. Además la producción de desperdicios es muy grande, ya que la parte de madera separada por el aserrado tiene mal aprovechamiento. Para evitar esto hay otros métodos que permiten curvar la madera de modo permanente sin necesidad de que la pieza sea sostenida por miembros adyacentes. El primer procedimiento para conseguirlo consiste en ablandar y doblar la pieza completa. El segundo consiste en doblar y encolar juntas varias piezas delgadas que formarán otra de las medidas deseadas.

En la práctica industrial los costes de producción, la maquinaria disponible, la calidad y el precio de la madera utilizada influirán para elegir un método u otro.

## PRINCIPIOS DEL CURVADO DE LA MADERA

En el curvado de la madera, como en el de otros materiales elásticos, se supone que las secciones planas transversales permanecen planas y perpendiculares a las fibras longitudinales. Por ello, las longitudes de las caras cóncava y convexa dejan de ser iguales. La diferencia es producida por tensiones de compresión, que acortan las fibras en la cara cóncava y tensiones de tracción que las alargan en la convexa.

La madera en estado natural presenta propiedades elásticas en cierto intervalo. Den-

tro del mismo la deformación es proporcional a la tensión. Cuando la fuerza que origina la tensión desaparece, la deformación también se anula y la pieza recupera sus medidas iniciales. Sin embargo, cuando el valor de la tensión es mayor que el límite superior del intervalo, la deformación deja de ser proporcional a ella. Al desaparecer la tensión quedará una deformación permanente. Si la tensión sigue creciendo, la pieza llegará a romperse, empezando la rotura por la cara convexa. Las máximas tensiones se producirán en los extremos de la pieza y se incrementarán al disminuir el radio de curvatura. Se deduce que el radio límite depende de la magnitud de las tensiones que pueden producirse sin causar roturas.

La mayoría de las maderas en estado natural no pueden doblarse con radio relativamente pequeño sin que aparezcan roturas o sin que recuperen pronto su forma primitiva al quitar la fuerza de curvado. Sin embargo, algunas especies al someterlas al calor en presencia de vapor (vaporizado o hervido) se vuelven semi-plásticas aumentando considerablemente su compresibilidad. En este estado, tensiones relativamente pequeñas pueden producir deformaciones apreciables sin rotura.

Este tratamiento tiene poca influencia en la resistencia a la tracción, por lo que el radio de curvatura dependerá de las tensiones admisibles a tracción y de la deformación de las fibras en la cara convexa. A pesar de esto, el radio de curvatura puede ser mucho menor que antes de aplicar el tratamiento. En una pieza sin tratar curvada, la línea neutra, en la que no hay variación de longitud, se encuentra aproximadamente equidistante de las caras cóncava y convexa. En la madera tratada hay una tendencia muy pronunciada a que la línea neutra se aproxime a la cara convexa. De este modo, la parte de madera sometida a tracción se reduce considerablemente. (Fig. 1).

Otro factor debido al tratamiento es la fuerte tendencia de la madera semiplástica a retener su forma después del curvado, especialmente si se seca mientras la pieza está sujeta y se deja enfriar posteriormente en las mismas condiciones.

El fenómeno de la deformación plástica de la madera tratada con calor no está completamente explicado, ni se ha podido aclarar con certeza porque algunas especies son mucho más susceptibles de plastificado que otras. En general la mayoría de las especies frondosas de las zonas templadas responden favorablemente al tratamiento, pero muchas frondosas tropicales y la mayoría de las coníferas son refractarias a él.

La reacción al tratamiento de una especie fácilmente curvable, como el fresno, se refleja en las figuras 2 y 3, que muestran las relaciones tensión-deformación antes y después del vaporizado. De ellas se deduce claramente que las consecuencias del tratamiento son:

1. La deformación por compresión se incrementa rápidamente con la tensión por encima de cierto valor.
2. La deformación máxima por compresión se incrementa considerablemente.

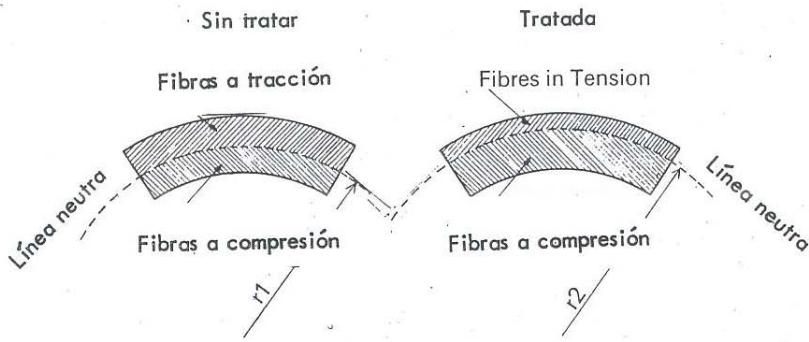


Figura 1 :

Efecto del vaporizado en la posición de la línea

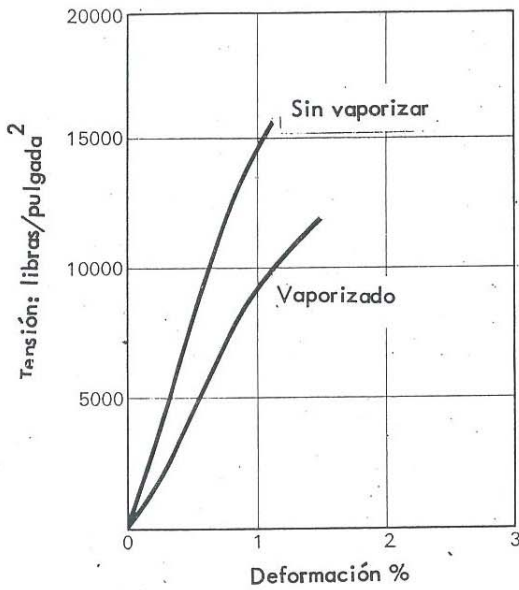


Figura 2 :

Efecto del vaporizado en la relación - tracción deformación correspondiente al fresno

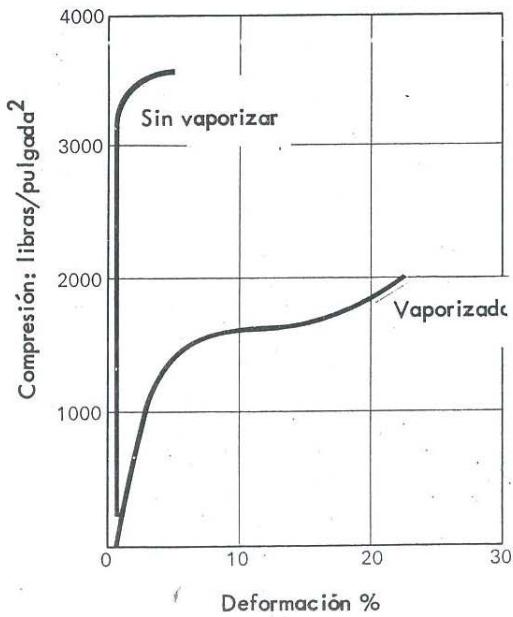


Figura 3 :

Efecto del vaporizado en la relación compresión-deformación correspondiente al fresno

3. Los cambios en la resistencia a la tracción son comparativamente muy pequeños.

Se ha indicado ya que la tensión admisible a tracción limita el radio de curvatura, ya que la rotura se inicia en la cara convexa, que es donde se encuentran las fibras sometidas a tracción. Si fuera posible aplicar la compresión en la cara cóncava, sin inducir tales tensiones en la convexa, se podría reducir aún más el radio de curvatura. Esto es lo que se pretende con el método de curvado mediante el empleo de bandas de apoyo.

En el desarrollo normal de este método, la cara convexa se sujeta mediante una banda de acero o de otro material adecuado, de manera que la deformación se limita mediante sujeción mecánica.

El tipo más sencillo consiste en una tira estrecha de acero con topes en los extremos que se ajusten perfectamente a las testas de la pieza. Despreciando el alargamiento del acero y suponiendo que los topes están bien colocados desde el principio, se deduce que durante el curvado no puede haber alargamiento de las fibras, por lo que el radio de curvatura dependerá sólo de la resistencia a la compresión.

En la práctica, la tracción no es nula y hay que utilizar diversos dispositivos para regularla. Naturalmente la tensión de rotura no debe alcanzarse en ningún caso. Una rotura típica se produce por falta del apoyo adecuado (Lámina 2).

En la Lámina 3 se ve una rotura por exceso de compresión. El menor radio de curvatura posible se alcanza cuando ambas caras alcanzan la tensión de rotura.

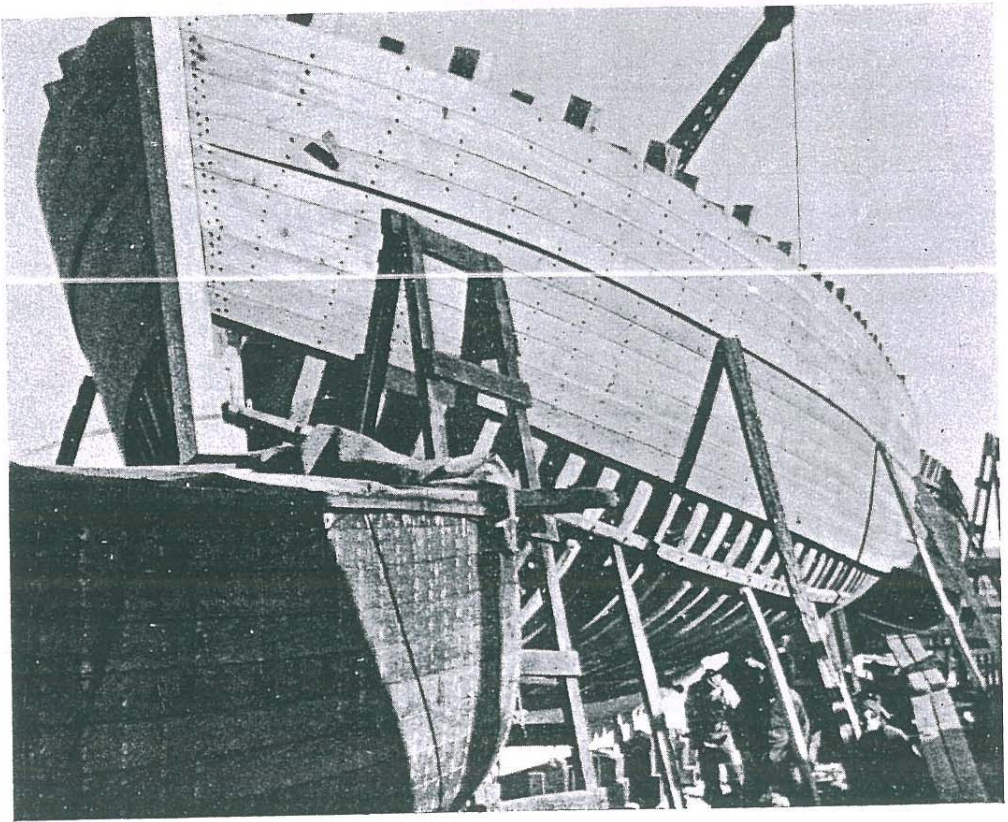


Lámina 1. Ejemplos de madera maciza curvada.

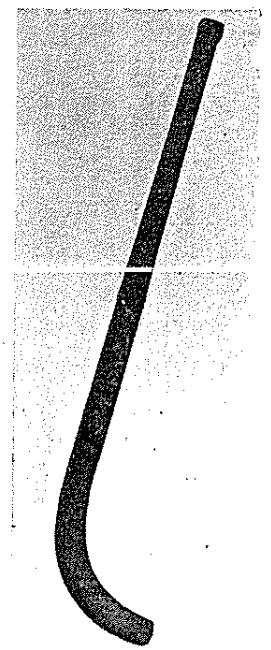
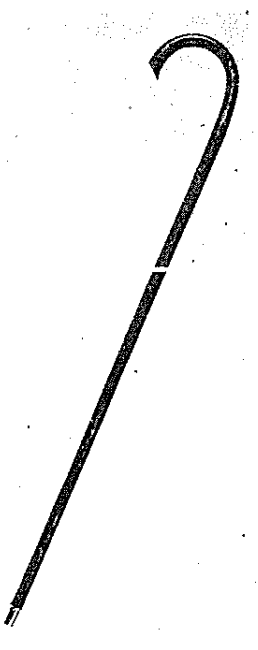
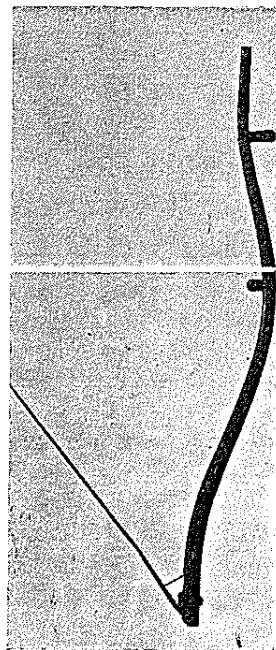
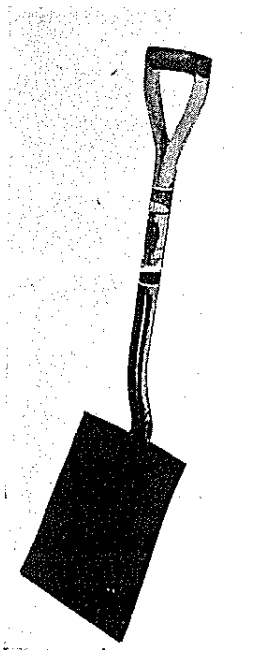
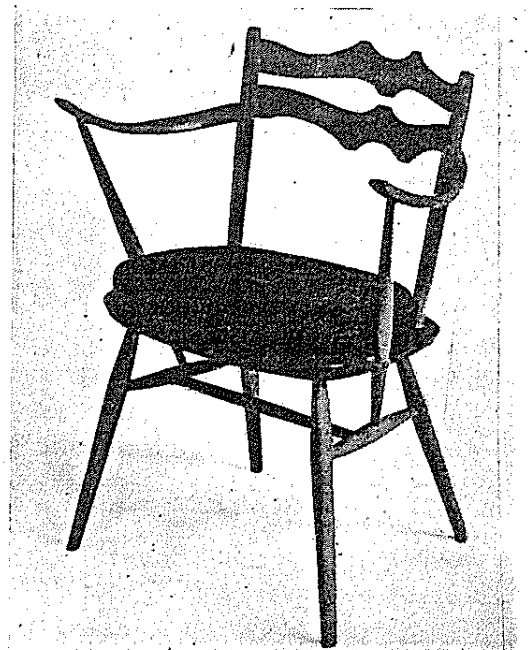


Lámina 1: Ejemplos de madera maciza curvada.

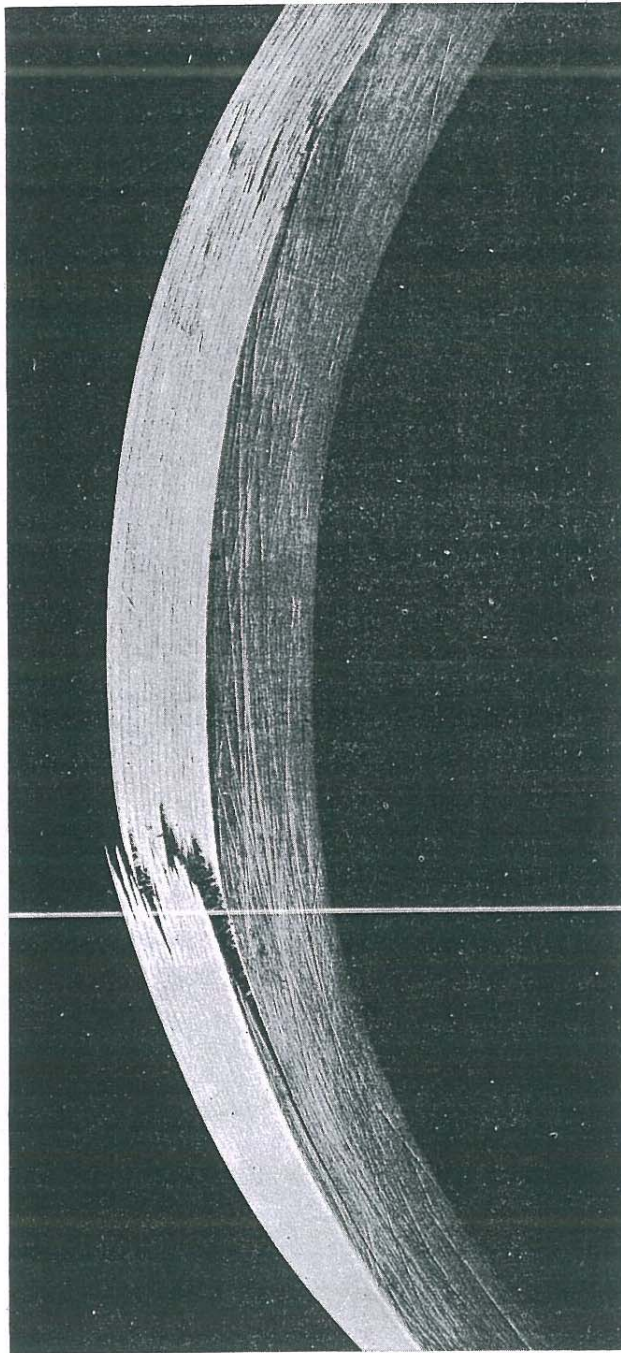


Lámina 2. Rotura típica por apoyo inadecuado de la cara convexa.



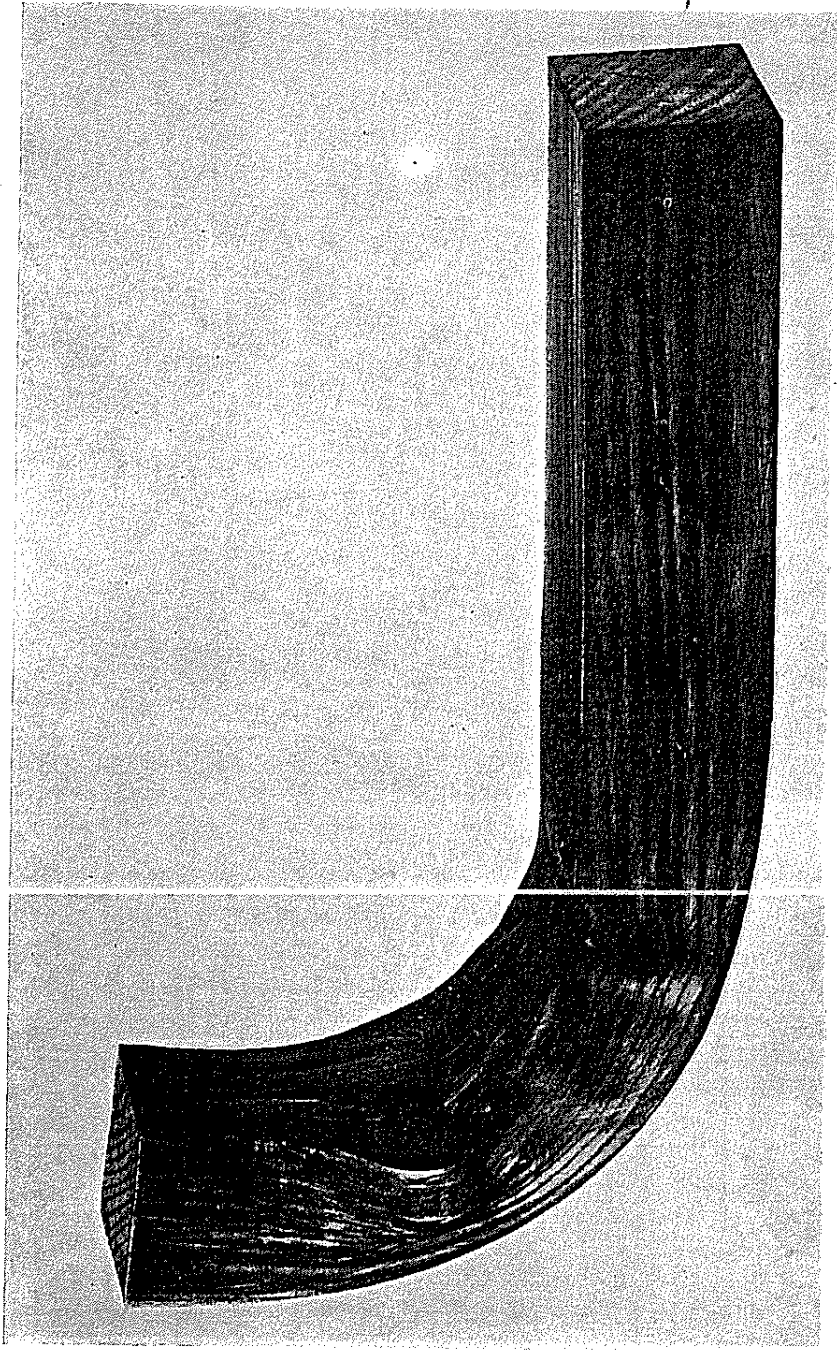


Lámina 3. Rotura típica por exceso de compresión en la cara cóncava.