

Causas de las deformaciones en madera estructural de *Pinus nigra*

M.R. Díez *, J.I. Fernández-Golfín, E. Hermoso

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA). Apdo. 8111, 28080 Madrid (España)

diez@inia.es

RESUMEN

Sobre un total de 948 piezas de madera aserrada de *Pinus nigra*, de dimensiones en seco de 150 × 50 × 3.000 mm, procedentes todas ellas de 22 árboles en turno, apeados en 4 localizaciones distintas del Parque Nacional de Cazorla y Segura (Jaén), se estudia la influencia de la calidad de estación, de los individuos y de la posición de los tablones dentro de cada árbol, sobre las deformaciones de cara, canto, alabeo y atejado presentes en la madera y medidas según describe la norma española UNE 56.544.

Se analiza la concordancia entre el porcentaje de piezas rechazadas y el alabeo medio por troza, así como la influencia del sitio, árbol y troza sobre el alabeo medio de las piezas.

Se discute sobre la influencia relativa de cada factor en el nivel de rechazo de tablones, concluyéndose que el factor más decisivo es la variabilidad intratroza (> 50 %), seguido de la variabilidad interárbol (> 40 %). El factor localización apenas si llega a explicar algo más del 2 % de la variabilidad observada en el porcentaje de rechazos por deformaciones excesivas.

Se apunta la posibilidad de perfeccionar los métodos de clasificación en rollo de la madera disponible antes de proceder a su aserrado y secado para permitir aumentar el rendimiento industrial.

PALABRAS CLAVE: *Pinus nigra*
Deformación
Factores de calidad

INTRODUCCIÓN

Durante los procesos de primera transformación de la madera y con posterioridad a su aserrado se producen pérdidas de material debidas a deformación excesiva. Tales deformaciones se ponen de manifiesto, sobre todo, durante el secado del material.

El material deformado puede ser reciclado redimensionando a escuadrías menores o utilizado como base de productos de segunda transformación (tableros, papel, etc.) pero,

* Autor para correspondencia
Recibido: 7-9-00
Aceptado para su publicación: 21-6-01

en ambos supuestos, se produce un incremento de costos de producción y una indeseable disminución de beneficios.

Según Panshin y de Zeeuw (1984) se consideran como causas del mayor número de piezas deformadas en los lotes de madera al tipo (mayor deformación en frondosas que en coníferas), la especie y la variedad, así como la calidad de estación (mayores deformaciones en calidades bajas), etc.

Diversos autores, revisados por Sierra de Grado *et al.* (1997, 1999), coinciden en que las deformaciones son debidas a la marcada anisotropía del material y sus singularidades tales como: nudos, desviaciones de fibras, presencia de maderas de reacción o juvenil, etc., pero no determinan una causa con influencia clara en la deformación de las piezas aserradas.

Beard *et al.* (1993) en un estudio sobre 438 tablones de pinos amarillos del sur enfatizan sobre los millones de dólares de pérdidas que se producen en USA por las deformaciones, analizando sus posibles causas pero observando que solamente la madera de reacción y las gemas parecen tener una influencia significativa en la curvatura de cara. La madera juvenil, el número y tamaño de los nudos y las desviaciones de la fibra no parecen presentar en este estudio una influencia decisiva en la deformación de las piezas estudiadas.

Álvarez Noves (1986) alude como causas posibles de la deformación de la madera aserrada durante y con posterioridad al secado al reparto desigual de la humedad en el interior de la madera a la presencia de tensiones de secado, a la posición dentro del tronco (las tablas más centrales al presentar anillos más curvados se abarquillan más), a la presencia de madera juvenil y de reacción, la desviación de fibras provocada por la presencia de fibra revirada, constatando que en cualquier caso las deformaciones son cuantitativamente más importantes cuando se aserran árboles de pequeño diámetro que cuando se aserran árboles de gran grosor.

En Pino radiata, Cown *et al.* (1996) y trabajando con 9.000 tablones procedentes de 1.000 trozas, apuntan la positiva influencia del diámetro de la troza en la disminución del porcentaje de tablones no aptos y el efecto negativo de la presencia de madera juvenil y la desviación de fibra en el aumento de la deformación de la madera aserrada.

En uno de los artículos citados, Sierra de Grado *et al.* (1999), se pone de manifiesto las grandes diferencias que para rectitud del fuste presentan diversas procedencias españolas de *Pinus pinaster* Ait. Pero no es menos cierto que la misma autora, Sierra de Grado (1993), enfatiza sobre el hecho de que la principal fuente de variación para algunos caracteres de crecimiento es debida a los árboles dentro de un transecto.

Para otros caracteres (morfología de acículas, piñas y piñones) más alejados de la madera estructural pero, presumiblemente, próximos a la eficacia biológica Galera (1993) manifiesta haber encontrado diferencias (en *Pinus silvestris* L.) atribuibles a las diferencias entre procedencias pero reconociendo igualmente que la mayor fuente de variación es debida a diferencias entre árboles dentro de la procedencia.

Parece, pues, bastante evidente que las diferencias para casi cualquier carácter son atribuibles en parte a causas genéticas, parte a ambientales y, siguiendo las teorías clásicas, las causas ambientales tendrán mayor importancia cuanto más se relacione el carácter con la eficacia biológica.

En cualquier caso, el conocimiento de los factores que producen deformaciones dentro de una partida de madera de la misma especie y procedencia puede ayudar a una selección adecuada del material antes de su aserrado y secado para optimizar la utilización de cada troza recibida en serrería.

En el presente trabajo y tomando como base madera aserrada de pino laricio, se analiza la influencia del sitio, árbol y posición de la troza en las deformaciones de piezas de *Pinus nigra*.

MATERIAL Y MÉTODOS

La muestra utilizada es de 22 árboles de *P. nigra* procedentes del parque nacional de Cazorla-Segura, apeados en 4 localizaciones con una edad media superior a los 150 años, un diámetro normal medio mayor de 40 cm y alturas maderables entre 12 y 24 m.

Tras el apeo, el proceso de elaboración consistió en la preparación de trozas de 3 m. Cada troza fue señalada desde la base a la punta delgada según su posición (A: 0 a 3m, B: 3 a 6 m, C: 6 a 9 m, etc.). En el aserradero se prepararon tablones de sección 16 × 6 cm (en verde) y longitud 3 m, obteniéndose un total de 948 piezas.

En la Tabla 1 se indica el tamaño de la muestra y la calidad de estación de los lugares de muestreo.

Tabla 1
Características de la muestra

Zona de apeo	Calidad de estación	N.º de árboles	N.º de piezas
Meseta	2. ^a -3. ^a	7	317
Parque	1. ^a	4	234
Riomadera	2. ^a -3. ^a	7	211
Umbría	1. ^a	4	186
TOTAL	–	22	948

Recibidas las piezas en el laboratorio, se efectuó inicialmente un presecado al aire hasta alcanzar una humedad media del 30 % y, posteriormente, se llevó a cabo un secado industrial haciendo uso de un programa suave, con temperatura seca final de 60 °C. Alcanzado este punto, la madera fue acondicionada en el propio secadero, apilada en macizo y almacenada bajo cubierta durante un tiempo no inferior a un mes.

Una vez seca la madera y liberadas las posibles tensiones de secado, se midieron las deformaciones de cara y de canto, así como el alabeo y el atejado presentes en la madera, según la metodología descrita en la norma española UNE 56.544.

La citada norma de clasificación de madera de uso estructural evalúa el material de acuerdo con la presencia de defectos en las piezas que influyan en la resistencia mecánica del material y en la posibilidad de su puesta en obra. En función de las deformaciones presentes y de los límites máximos establecidos al respecto para la madera estructural en la norma UNE 56.544, se procedió a calificar a cada pieza como apta o no apta (rechazos) para el trabajo resistente.

De acuerdo con lo anteriormente señalado, de cada pieza se conocía el valor de sus cuatro tipos de deformación, su clasificación resistente, así como su troza y árbol de procedencia.

Para cada conjunto de piezas procedentes de un árbol y una troza determinada, se disponía del porcentaje de piezas inservibles, y de la media de deformaciones por alabeo del grupo de tablas procedentes de cada troza.

La relación entre el porcentaje de piezas rechazadas y el alabeo medio de las piezas de cada troza se ha establecido por medio de una regresión lineal tal que:

$$\text{Arcsen}(\sqrt{\% \text{ rechazo}}) = a + b \times \text{alabeo medio}$$

y con un test de contingencia entre ambas variables.

La influencia del sitio de apeo, árbol y posición de la troza sobre la variabilidad de las deformaciones se ha realizado mediante un análisis de varianza según el siguiente modelo jerárquico:

$$\text{Deformación}_{(\text{tabla})} = \text{Media} + \text{Sitio} + \text{Arbol}_{(\text{sitio})} + \text{Troza}_{(\text{árbol})} + \text{Error}$$

Este modelo jerárquico será triple para el conjunto de la muestra y doble cuando se analizan las tablas procedentes de un tipo de troza (A, B....).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan las medias de alabeo del conjunto de las piezas y el porcentaje de piezas de rechazo de cada uno de los árboles agrupados por localización. En la primera línea de la tabla se escriben el nombre del paraje y calidad de estación de los lugares de muestreo. En la segunda línea el número de identificación del árbol, porcentaje de piezas de rechazo (%R) y alabeo medio de las piezas del árbol.

Tabla 2

Alabeo medio y porcentaje de piezas de rechazo para cada árbol y localización

Meseta 2. ^a -3. ^a			Parque 1. ^a			Riomadera 2. ^a -3. ^a			Umbría 1. ^a		
N.º Arb.	% R	Alab	N.º Arb.	% R	Alab	N.º Arb	% R	Alab	N.º Arb.	% R	Alab
54	57	13,4	64	19	9,6	76	67	13,6	88	24	9,4
46	27	7,9	62	19	8,3	80	21	7,5	82	5	3,2
52	20	7,9	60	9	5,8	78	15	9,1	86	2	4,7
58	18	6,8	66	5	3,7	74	13	5,9	84	0	5,6
48	15	5,9				72	12	4,8			
50	15	3,9				70	12	4,0			
56	9	5,2				68	4	6,8			
MEDIA	24	7,4	MEDIA	12	6,7	MEDIA	22	7,2	MEDIA	8	5,8

En negrita se presentan los valores del porcentaje de alabeo de los árboles que discrepan en el orden decreciente establecido para el porcentaje de deformaciones.

De la observación de los datos de la Tabla 2, puede deducirse que la estación parece tener influencia en el porcentaje de madera rechazable puesto que los árboles localizados en lugares de gran crecimiento (calidad primera) tienen un rechazo entre el 8-12 % frente a los de peor crecimiento (calidad segunda y tercera) que presentan valores del 22-24 %.

La variación de rendimiento entre árboles de la misma zona es muy notoria tanto si se considera el porcentaje de piezas rechazadas como el alabeo medio por árbol.

Esto sugiere que el árbol (su genotipo y sus características fenotípicas) tiene influencia en el aprovechamiento de su madera. Esta visión es concordante con las conclusiones de algunos de los autores citados en la introducción. Por otra parte, Alía (1989) y Salvador (1997) señalan, para caracteres no relacionados con la eficacia biológica, que el 80 % de la variabilidad es atribuible al árbol y el 20 % a otros factores como la localización.

En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de piezas rechazadas y los valores medios de alabeo según la altura del fuste donde fueron obtenidas las trozas, mostrándose la tendencia, en principio conocida, de que los rendimientos en madera clasificada (no rechazada por deformaciones excesivas) empeoran conforme la troza de procedencia está más alejada del suelo.

Tabla 3
Piezas de rechazo y alabeo medio por troza

Trozadas	N.º de tablas (N.)	Piezas rechazadas (%)	Alabeo medio (%)
A	240	9,2	6,6
B	184	4,9	6,2
C	177	10,2	6,0
D	151	15,2	7,6
E	103	20,4	7,9
>=F	93	24,7	8,6
TOTAL	948	12,0	6,9

Los valores de rechazo y alabeo medio por troza muestran tendencia al empeoramiento a medida que ascendemos a lo largo del fuste siendo mayor el ritmo de aumento del porcentaje de piezas rechazadas que el aumento del alabeo medio de dichas piezas.

Esta regla general se invierte en la troza A por la influencia negativa que en la rectitud de la fibra en la zona baja del árbol impone la proximidad de las raíces. Ésta es la razón por la cual los valores de las trozas A y B parecen estar invertidos.

La relación entre el porcentaje de rechazos y el alabeo medio es:

$$\%Rechazo = -1,23 + 3,49 * \text{alabeo}$$

con un valor de la t de Student de 6,54 y $R^2 = 68,2$ %. El coeficiente de contingencia es de 0,91 con un valor de la R de Pearson de 0,87. En ambos cálculos se obtiene una relación significativa entre las variables con probabilidad mejor del 5 %.

Establecida la relación entre el alabeo medio y el porcentaje de piezas rechazables se buscan las causas de la variabilidad del alabeo de la muestra por medio de los análisis de varian-za citados en el apartado anterior, presentándose en la Tabla 4 los resultados obtenidos.

Tabla 4
Porcentaje de la variabilidad del alabeo atribuible a cada causa

Causas de variación	Universo del análisis (n.º de piezas)		
	Total (948)	Trozas A (240)	Trozas B (184)
Sitio	0,0	0,0	2,0
Árbol (sitio)	21,8	40,5	44,1
Troza (árbol)	16,5	—	—
Error/Tablón (troza)	61,7	59,5	53,8

Los resultados observados en la Tabla 4 son concluyentes dado que más de la mitad de la variabilidad debe atribuirse a diferencias entre tablas de la misma troza. Esta variabilidad dentro de troza ha sido detectada con anterioridad por estos mismos autores (Díez y Fdez.-Golfín, 1998) en otras variables, tales como la resistencia a flexión, para la cual se ha llegado a conclusiones similares. De este hecho se puede intuir que el efecto que tiene la forma de realizar el aserrado sobre el porcentaje de madera rechazada debe ser muy alto, lo que lleva a sugerir la necesidad de llevar a cabo trabajos específicos para cuantificar de forma real su influencia.

El hecho de que el efecto sitio sea responsable de una variabilidad testimonial nos indica que cualquier calidad de estación permite obtener un porcentaje similar de madera útil para uso estructural, tanto desde el punto de vista de su aspecto exterior como de su comportamiento mecánico.

La componente árbol es responsable de una parte importante de la variabilidad. Los datos de la Tabla 4 ratifican que hay árboles más adecuados que otros para el aserrado, siendo seguramente esta cualidad heredable. Por tanto el conocimiento de los árboles más adecuados para el aserrado puede ser una vía de mejora eficaz y poco costosa para la mejora de la competitividad de nuestras empresas.

Análogamente, de los datos de las Tablas 3 y 4 debe destacarse la importancia que tiene para el incremento de la productividad el que los aserraderos, como fase previa al proceso de aserrado, efectúen una adecuada clasificación de las trozas en función de su aspecto exterior (de acuerdo con la norma europea EN 1927-2) y de su procedencia dentro del árbol.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio presentan un paralelismo con los obtenidos en *Pinus silvestris* L. (procedencia Valsain) para rendimientos y propiedades físico-mecánicas (Díez *et al.*, 1998).

La calidad de estación silvícola del lugar de apeo explica en el mejor de los casos el 2 % de la variabilidad total del porcentaje de piezas rechazadas. No parece, pues, necesario tener en cuenta esta variable en los procesos de mejora de la calidad de la madera.

El factor árbol, al explicar algo más que el 40 % de la variabilidad total nos lleva a la necesidad de establecer indicadores indirectos de la calidad maderera del fuste, lo cual lleva a la necesidad de desarrollar y aplicar normas de clasificación en rollo.

Teniendo en cuenta que los caracteres estudiados no parecen estar ligados a la eficacia biológica, se recomienda que las características del fuste (rectitud, poca nudosidad y fibra recta) sean tenidos en cuenta en los programas de mejora genética forestal.

El factor troza, es decir, la procedencia del material dentro del propio árbol, al explicar hasta el 16,5 % de la variabilidad total, no debe ser desdeñado a la hora de mejorar la producción. Esto sugiere el destinar cada troza a procesos distintos (trozas bajas a madera de calidad y altas a palets, tableros, etc.).

Para poder efectuar adecuadamente la manufactura de la madera disponible se recomienda la clasificación de las trozas de aserrío antes del aserrado y secado.

Debe cuestionarse la utilización para madera estructural de trozas por encima de los 12 m (por encima de la troza D) dado que se producen rechazos medios superiores al 20 %. Por encima de esta altura, y para árboles de las características citadas, deberían considerarse otros usos complementarios, tales como embalajes, madera de trituración o de leña, etc.

La variabilidad dentro de cada troza es el factor más decisivo al explicar siempre más del 50 % de la variabilidad total. Un análisis de las causas que inciden en esta variabilidad intratroza lleva necesariamente al método de aserrado aunque, sin duda, existen otras posibles causas que expliquen esta variabilidad.

De acuerdo con esto, el perfeccionamiento de los métodos de aserrado mejoraría, sin duda, el rendimiento en madera clasificada aunque para llegar a la cuantificación exacta de su influencia sería necesario llevar a cabo estudios que incorporaran esta variable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al ingeniero H. Álvarez que fue el impulsor de la idea inicial de este trabajo, a R. Alía por las severísimas (y acertadas) críticas a las versiones iniciales del manuscrito y a todos los forestales que apearon, acarrearón, aserraron, secaron y midieron los árboles objeto de este estudio.

SUMMARY

Warp in structural timber. Causes and control

Over a sample of 948 boards with dried dimensions of 150 × 50 × 3,000 mm, coming from 22 trees felled in 4 different areas of the National Park of «Cazorla y Segura» (Jaen, Spain), was studied the influence of site,

tree and position of boards within the tree on bow, spring, twist and cupping of timber, measured according to the methodology of the Spanish standard UNE 56.544.

The relationship between the percentage of rejected timber and the average twist in every log along the stem was studied, analysing the influence of site, tree and log on such a relation.

The influence of every factor is studied, concluding that the main sources of variability are the intralog variability (> 50 %) and the intertree variability (>40 %). Site factor explain not more than the 2 % of the total observed variability in the percentage of rejected timber for excessive warp.

Possible methods of control to increase industrial yield are discussed, concluding that an improvement of sawing and log grading methods are needed.

KEY WORDS: *Pinus nigra*
Warp
Quality factors

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÍA R., 1989. Mejora genética de *P. pinaster* Ait. Estudio de procedencias. Tesis doctoral ETSIM-UPM Madrid, 186 pp.
- ÁLVAREZ NOVES H., 1986. Deformaciones de la madera aserrada producidas durante y despues del secado. Hojas divulgadoras Núm 8/86HD, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion.
- BEARD J., WAGNER F., TAYLOR F., SEALE R., 1993. The influence of growth characteristics on warp in two structural grades of southern pine lumber. *Forest Prod. Journal.* 43 (6): 51-56.
- COWN DJ., HHASLETT AN., KIMBERLEY MO., MCCONCHIE DL., 1996. The influence of wood quality on lumber drying distortion. *Ann. Sci. For.* 53: 1177-1188.
- DÍEZ M.R., FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.I., 1998. Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de *P. sylvestris* L. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 7(1y2):41-51.
- EN-1927-2. 1996. Qualitative clasification of softwood round timber. Part 2- Pines.
- GALERA R., 1993. Variación morfológica de *Pinus silvestris* L. En España: Caracteres de acículas, piñas y piñones. Tesis doctoral. ETSIM-UPM Madrid 154 pp + anex.
- PANSHIN A.J., DE ZEEUW C., 1980. *Textbook of Wood Technology.* 4.ª Ed. McGraw-Hill. New York.
- SALVADOR L., 1997. Variabilidad genética de *P. pinaster* Ait. en España. Análisis mediante marcadores proteicos e isoenzimáticos. Tesis doctoral. ETSIM-UPM. Madrid. 138 pp + anexos.
- SIERRA de GRADO R., 1993. Mejora genética de *Pinus pinaster* Ait. De la procedencia «Sierra de Gredos». Caracteres de crecimiento y forma. Tesis doctoral. ETSIM-UPM. Madrid. 191 pp.
- SIERRA de GRADO R., MOULIA B., FOURNIER M., ALÍA R., DÍEZ-BARRA R., 1997. Genetics control of stem form in *Pinus pinaster* Ait. Seedlings exposed to lateral light. *Trees.* 11:455-461.
- SIERRA de GRADO R., DÍEZ R., ALÍA R., 1999. Evaluación de la rectitud del fuste en seis procedencias de *Pinus pinaster* Ait. *Investigación Agraria: Sist. Recur. For.* 8 (2), 263-278.
- UNE 56.544, 2000. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.