

Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural, clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544

Mechanical characterization of sawn timber for structural use, graded visually in accordance with spanish standard UNE 56544

J. I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, M. R. DÍEZ BARRA y A. GUTIÉRREZ OLIVA

Centro de Investigación Forestal (CIFOR), INIA

Fecha de recepción: 20-X-97

Fecha de aceptación: 4-II-98

ESPAÑA

RESUMEN

El empleo de la madera en la construcción en España adolecía de la inexistencia de procedimientos de cálculo normalizados. La reciente adopción y publicación del Eurocódigo 5 obliga al empleo de los valores característicos del material en el cálculo estructural de la madera por el método de los elementos finitos.

Se presentan los resultados de la caracterización mecánica de la madera aserrada de tamaño (150x50x3.000 mm) y usos estructurales de "Pinus sylvestris, P. radiata y P. pinaster" de diferentes procedencias, llevada a cabo en el Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del INIA. Se aportan los valores característicos y clases de resistencia que corresponden a las clases de calidad definidas en la norma UNE 56544.

Se efectúa una comparación y análisis de los resultados obtenidos, extrayendo conclusiones respecto del diferente comportamiento observado para las cuatro especies.

Se analiza la adecuación de la norma de clasificación visual de la madera aserrada UNE 56.544 para las tres especies.

SUMMARY

The employment of timber in structures in Spain was hurting of the nonexistence of accepted calculation procedures. The recent adoption and publication of the Eurocode 5 compels to the employment of the characteristic values of the material in the structural calculation by the method of the finite elements.

This report sets forth the results of the experiments carried out at INIA's Forest Research Centre (CIFOR-INIA) regarding the mechanical characterization of sawn timber of size 150x50x3.000 mm and the structural uses of "Pinus sylvestris, P. radiata and P. pinaster" from different Spanish provenances. The characteristic values and strength classes corresponding with the grades stated in the Spanish standard UNE 56544 are also provided.

The report compares and analyses the results of these experiments, and presents the conclusions drawn from the different behaviour shown by the four species.

An analysis of the Spanish standard for the visual grading of structural timber is carried out on the three species.

INTRODUCCIÓN

Hasta recientes fechas, el cálculo de las estructuras de madera se efectuaba considerando las tensiones básicas del material, calculadas mediante ensayos con probetas ideales, de pequeño tamaño y libres de defectos, a las que, posteriormente, se afectaban coeficientes correctores por los defectos presentes en las piezas de tamaño real. Esta forma de proceder, mucho más lógica en el pasado, cuando era posible disponer de cantidades apreciables de madera casi totalmente limpia, sin estar totalmente eliminada en la actualidad como posible sistema de cálculo, ha sido relegada a un segundo término con la aparición del Eurocódigo 5 y del método en él propugnado: el de los elementos finitos.

Los detractores del empleo constructivo de la madera, aparte de una serie de ideas más o menos veraces sobre el comportamiento de este material en servicio, que el tiempo y la actual tecnología han permitido confirmar su no vigencia en el tiempo presente, siempre han aducido, y con razón, que el empleo de la madera en construcción adolecía de falta de normas que dieran seguridad al calculista, al prescriptor y al usuario.

Próximamente se asistirá a un relanzamiento de este material en construcción en España, ya que, por un lado, una Norma Básica de la Edificación (NBE) sobre estructuras de madera está en avanzada fase de elaboración, lo que ha de dar seguridad al prescriptor y, por otro, durante los últimos 12 años se han finalizado una serie de trabajos y proyectos de investigación que han permitido conocer, con gran precisión, los valores característicos de resistencia y rigidez aplicables para el cálculo de estructuras con maderas españolas, lo que no era posible hasta el momento.

Por otra parte, hay que citar el trabajo normativo a nivel europeo del Comité CEN TC 124 "Estructuras de madera", que abarca desde la normalización de los métodos de ensayo de estructuras de madera y madera laminada, de postes, de tabiques, de uniones, etc. hasta la especificación de los requisitos de fabricación de la madera laminada o los de comprobación de las dimensiones de la madera a su recepción en obra. A nivel español, es necesario citar la reciente aparición de la norma UNE 56544 sobre "Clasificación visual de la madera aserrada con destino estructural", que permitirá establecer las combinaciones de especie y calidad y las especificaciones cualitativas y de propiedades aplicables a cada una de ellas.

Estamos, pues, en la fase final de un ambicioso proceso normativo, cuya finalidad es dar seguridad al usuario, al prescriptor y al calculista y que impulsará el interés por un material injustamente olvidado y, frecuentemente, muy maltratado.

INTRODUCTION

Until recent dates the calculation of wood structures was done considering the basic tensions of the material, calculated through laboratory tests carried out on small size samples free of defects, and correcting them by means of coefficients based on the presence of different singularities on the real size pieces. This procedure was much more logic in the past when it was possible to have of considerable amounts of timber almost totally free of defects. Even though it is still a possible calculation system, it has been relegated to a second term with the publication of Eurocode 5 and the method there considered that of the finite elements.

The detractors of the constructive use of the wood, aside from a series of ideas more or less veracious on the behaviour of this material in service (that the time and the present technology have permitted to confirm its inconsistency in the present situation), always have considered, with some kind of reason, that the employment of the wood in construction was lacking of standards giving safety to the calculator, to the architect and to the end-user.

An increase in the use of this material in the building sector in Spain is expected due to, on the one hand, the fact that a Building Code (NBE) on wood structures is in advanced elaboration phase (what will give safety to the architects), and, on the other, the fact that during the last 12 years have been ended a series of works and research projects that they have permitted to know with great precision the characteristic values of Spanish timbers to be used for the structures calculation, what was not possible until this moment.

On the other hand, it must be considered the standardisation procedure at European level of the CEN TC 124 "Timber structures" committee. This procedure includes not only the standardisation of lab testing of solid and glue laminated timber structures (also of posts, of walls and joints, etc.) but the specification of the manufactures requirements of the glue laminated timber or those of checking of the dimensions of timber. At Spanish level is necessary to cite the recent appearance of the UNE 56544 standard on "Visual grading of structural sawn timber", that will permit to stablish the combinations of species and grades and the qualitative specifications and properties applicable to each one group.

We are, then, in the final phase of an ambitious standardisation process whose purpose is to give safety to the end-user, to the builder and to the calculator that will increase the interest by a forgotten and frequently mistreated material.

Es necesario destacar que la adopción en España del método de cálculo conocido como “Eurocodigo 5”, del comité CEN TC 250 “Eurocodigos”, basado en el sistema de los elementos finitos, obligaba a la determinación de los valores característicos de resistencia de las maderas españolas.

Tal determinación del valor característico ha de hacerse por especies y para lotes de calidad asimilable, empleando métodos de ensayo y cálculo normalizados, definidos por las normas de CEN TC 124.

Los valores característicos obtenidos de este modo serán de aplicación, pues, para una madera y una calidad dadas, por lo que es necesario definir previamente un método clasificatorio de la calidad, bien visual o mecánico.

En España, el método de determinación de la calidad visual de una madera para usos resistentes está contemplado en la norma UNE 56544, que, en su versión definitiva (noviembre, 1996), distingue dos clases de calidad (ME1 y ME2), en función de la presencia y características de ciertas singularidades de la madera, que tienen una incidencia comprobada en su resistencia, como son: nudos de cara y canto, inclinación de la fibra, madera juvenil y de compresión, fendas de diverso tipo, ataques por agentes bióticos, etc.

La necesidad de determinar valores característicos, definidos éstos como los valores que garantizan que el 95% de las piezas del lote tengan una resistencia superior o igual al considerado (5º percentil), obliga al ensayo de un número elevado de piezas (siempre superior a 40, para cada variable y calidad analizadas), que se incrementa notablemente conforme el número de variables consideradas (procedencias, clases de calidad, etc.) aumenta.

La norma UNE-EN 384 establece el método de cálculo a seguir para la determinación de los valores característicos, los cuales, de acuerdo con esta norma, se referirán siempre a una anchura de cara de la pieza de 150 mm. Esta es la razón por la que la mayoría de los estudios de caracterización de la madera estructural consideran a esta dimensión como la más habitual.

Un trabajo de esta naturaleza debe dar contestación a distintas cuestiones como son:

- Rendimiento total de madera clasificada en cada una de las clases de calidad consideradas en la norma de clasificación.
- Existencia o no de diferencias significativas en los valores estudiados, dentro de la misma especie para las distintas procedencias, comprobando si se deben

It is necessary to emphasise that the recent publication in Spain of the calculation method included in the “Eurocode 5”, based on the finite elements system, makes the defining of the characteristic values of the strength of Spanish timbers obligatory.

The defining of characteristic value must be carried out species by species and by quality groups, through the application of standardized experiments and calculations, laid down by CEN TC 124 standards.

The characteristic values will be applied on specified timber and qualities, so that it is therefore necessary to define beforehand the classifying methods used for grading quality, be it visually or mechanically.

In Spain, standard UNE 56544 (november 1996) lays down the method to be used in the visual grading of timber for strength purposes, in which it distinguishes between two quality grades (ME1 and ME2), depending on whether the timber has certain characteristics such as face and edge knots, juvenile and compression wood, fungi attacks, slope of grain, etc.

The need to define characteristic values, these being the values that guarantee that 95% of the pieces in a batch reflect a strength higher or equal to that considered (5 percentile), means that a high number of sample pieces must be tested (always more than 40 per variable and quality under analysis) which increases significantly depending on the number of variables being considered (provenance, visual grading, etc.).

Standard UNE-EN 384 states the calculation method to be used in order to define the characteristic values, which, in accordance with this standard, will always be referred to a face width of 150 mm. This is the reason why the majority of studies carried out regarding the characterization of structural timber use this measurement.

This type of study should cover the following questions:

- *The total yield of the timber classified in each of the visual grades included in the grading standard.*
- *The existence or not of significant differences in the values studied, within the same species but with different provenances, demonstrating if “zones of*

establecer “zonas de origen” para la madera por sus especiales características.

- Existencia de posibles agrupamientos de especies, basados en su comportamiento similar.

- Necesidad de definir normas específicas de clasificación visual para cada especie.

- Establecimiento de relaciones de tipo estadístico entre las distintas variables resistentes de la madera. Estas relaciones serán la base de métodos no destructivos para la determinación de la resistencia y/o rigidez del material.

Los resultados que se exponen son un resumen de los trabajos de caracterización efectuados en el CIFOR-INIA a lo largo de más de 12 años sobre tres especies de pino (silvestre, pinaster y radiata), entre los que cabe reseñar los realizados sobre procedencias españolas de “Pinus pinaster” (gallego y de la meseta) y “Pinus radiata” (Ortiz et al., 1990; Ortiz y Martínez, 1991, López de Roma et al., 1991, Fernández-Golfín y Díez Barra, 1996ayb), así como sobre “Pinus sylvestris” (proyecto INIA SC-93-165, Fernández-Golfín y Díez Barra, 1996c). Un proyecto similar sobre “Pinus nigra” (4 procedencias españolas) está, actualmente, en ejecución.

MATERIAL Y MÉTODOS

La madera se caracteriza por poseer elevados coeficientes de variación en sus propiedades elastomecánicas, que alcanzan, con frecuencia, valores del 25%. Por esta razón, la norma UNE-EN 384 penaliza fuertemente las muestras constituidas por pocas piezas y pocas zonas de muestreo. Para evitar estas penalizaciones y conseguir que los valores característicos que se asignen a cada clase de calidad para cada especie en particular sean realmente representativos, es necesario efectuar intensos muestreos, basados en un profundo conocimiento de la distribución territorial de la especie forestal, de las clases de calidad de estación selvícola en las que se ubica y de cualquier otra variable que se presuma pueda tener influencia en las propiedades de la madera (selvicultura aplicada, subespecie, variedades, etc.)

Es por esto que para cada una de las especies de madera estudiadas se diseñó un muestreo similar en el que se tuvo en cuenta la dispersión de las masas forestales, sus zonas de calidad de estación selvícola y las posibles regiones de procedencia, así como el peso relativo de cada una de ellas respecto de la superficie total ocupada por la especie. Por razones de capacidad máxima de trabajo del laboratorio, en pino silvestre sólo se consideraron tres regiones de procedencia (Sistema

origen” can be established depending on the timber’s specific characteristics.

-The possible existence of groups of species, based on similar behaviour.

-The need to define specific standards for the visual grading of each species.

-The establishing of statistic connections among the timber’s different strength variables. These connections should be the basis for non-destructive methods for the defining of the strength and/or rigidity of the timber.

The results presented in this report are a summary of the characterization tests carried out at CIFOR-INIA on three different species of pines (Scots, maritime and radiata), over more than twelve years. The experiments carried out on timber of Spanish provenance should be underlined, these being Pinus pinaster (Galicean and the plateau area) and Pinus radiata (Ortiz et al., 1990; Ortiz y Martínez, 1991, López de Roma et al., 1991, Fernández-Golfín y Díez Barra, 1996 a y b), and also Pinus sylvestris (INIA SC 93-165 project, Fernández-Golfín y Díez Barra, 1996 c). A similar project is also currently underway on Pinus nigra (4 Spanish provenances).

MATERIAL AND METHODS

The timber is characterized by the high variation coefficient of its elastomechanical properties, which frequently reach values of 25%. This explains why the UNE-EN 384 standard penalizes samples made up of only a few pieces and from only a few areas of provenance. In order to avoid this penalization and to achieve that the characteristic values assigned to the visual grading of each species is really representative, extensive sampling must be carried out based on the in-depth knowledge of the territorial distribution of the species, the visual grading of the woodland in which this species is found and any other variable that could influence the properties of the timber (applied silviculture, sub-species, varieties, etc.).

Therefore, for each of the species studied, a similar sampling was created in which its woodland dispersion, the quality of the woodland and the possible regions of provenance were taken into account, along with the relative weight of each sample with respect to the total surface area covered by the species. Due to the laboratory’s maximum work capacity, only three regions of provenance were considered for the pinus sylvestris (the Central System, the Iberian System and

Central, Sistema Ibérico y Álava), quedando pendiente la caracterización de las masas pirenaicas.

Este tipo de trabajos se pueden efectuar muestreando tanto en aserradero como en monte (ver Tabla 1). El segundo sistema se considera que aporta mucha más información, por lo cual, en nuestro caso, ha sido elegido.

En cada región de procedencia (zona de origen), la selección de las parcelas de donde se extrajo la madera se hizo con el criterio de que estuvieran señaladas para corta y de que fueran representativas de las diferentes calidades de estación. La selección de los árboles, dentro de cada parcela, se efectuó, aleatoriamente, entre los señalados para corta y de forma que fueran representativos de las distintas clases diamétricas existentes. Se trató de evitar efectos de borde, de proximidad de corrientes de agua, así como cualquier otro que pudiera sesgar la muestra.

Señaladas las parcelas y los árboles, se procedió a su corta, despiezándolos en trozas de tres metros, que fueron trasladadas a aserraderos de la zona, obteniéndose piezas de 160x60x3.000 mm (dimensiones en verde). Todas las piezas fueron marcadas con el número del árbol, la troza de procedencia y el número ordinal, dentro de las obtenidas en una misma troza, obteniéndose un algoritmo de ocho caracteres. Todas las piezas que incorporaban errores de aserrado fueron eliminadas, aunque tomadas en consideración para el cálculo de los rendimientos globales de madera clasificada. El resto de las piezas correctamente aserradas fueron trasladadas a los laboratorios del CIFOR, donde fueron secadas al aire hasta una humedad final del 10-12%.

En el caso del pino radiata se efectuó un segundo muestreo directamente en aserradero, como medio de comprobar los datos obtenidos en el efectuado en monte.

En la tabla 1 quedan recogidos todos los datos referentes a la muestra ensayada, indicándose las procedencias del material, sus edades (en caso de muestras de árboles), el tamaño de las submuestras y algunos otros comentarios de interés para la correcta interpretación del muestreo efectuado.

Alcanzada la humedad final del 10-12%, fueron desechadas visualmente todas aquellas piezas deformadas durante el secado e inadecuadas para el posterior ensayo mecánico. Las piezas seleccionadas fueron cepilladas por sus cuatro caras, hasta lograr dimensiones homogéneas (150x50 mm), facilitando, con ello, el posterior manejo y clasificación visual de la madera. Posteriormente, se procedió a inventariar en

Álava), therefore not including the pyrenean woodlands.

The sampling for this type of study can be carried out in sawmills or woodland (see Table 1). The second system provides considerably more information, and was therefore chosen for this study.

In each region of provenance, the land from which the timber was taken was an area marked for felling and also represented the different site qualities. Within each plot of land the timber was chosen at random among those trees marked for felling and in such a way that they represented the different diametric classes to be found in the plot. We tried to avoid border trees, those growing near water, and any that could bias the sample.

Having marked the plots and the trees to be used, these were then felled and cut into three-metre logs, and then taken to sawmills, to be sawn into pieces measuring 160x60x3.000mm (green dimensions). All the pieces were marked with the tree's number, the plot it came from and the ordinal number within those obtained from the same log, therefore making an eight-digit algorithm. Any pieces with sawing errors were discarded, although they were taken into account when calculating the global yield of classified timber. The remaining correctly sawn pieces were taken to the CIFOR laboratory, where they were air-dried to a final moisture level of 10-12%.

In the case of pinus radiata a second sampling took place in the sawmill, as a means of checking the information obtained from the woodland sampling.

Table 1 shows the information relevant to the testing material, stating its provenance, age (in the case of tree samples), the sizes of the sub-samples and other comments of interest in order to correctly interpret the sampling carried out.

Once a final moisture level of 10-12% had been reached, any pieces deformed or deemed useless by the drying process were visually discarded from the subsequent mechanical testing. The selected pieces were planed on all four sides until they all measured 150x50 mm, as this made the handling and visual grading of the timber easier. Each piece was then listed describing any outstanding defects and the position of

cada una de ellas los defectos más sobresalientes y la ubicación de las secciones críticas. Toda esta información, junto con alguna otra accesoria como la presencia de médula, madera juvenil o de compresión, etc., fue recogida en una ficha por pieza, de forma que, en el futuro, cada pieza individual pudiera ser reclasificada por cualquier otra norma visual que se plantease.

Secas, medidas y cepilladas las piezas e inventariados los defectos, se procedió a efectuar los ensayos de determinación del módulo de elasticidad longitudinal por ensayo de cara (hasta una carga máxima de 500 kg), identificado en la tabla 2 como MOET. El ensayo se efectuó en todas las secciones críticas de cada pieza (donde se presentaban defectos de relevancia), anotándose el valor mínimo de cada pieza.

Una vez determinados los módulos de elasticidad en cara, e identificado el valor mínimo de cada pieza (normalmente asociado a la sección más crítica), se procedió a realizar el ensayo hasta la rotura, según UNE-EN 408. Este ensayo se efectuó en dos etapas, obteniéndose, en la primera, el valor del módulo de elasticidad en flexión (MOE) y, en la segunda, el módulo de rotura en flexión (MOR).

La determinación del valor mínimo del MOET en cada pieza tiene gran interés práctico, ya que existe una fuerte relación estadística entre este valor y el MOR y el MOE de la pieza (en ensayo de canto), de forma que para cada especie es posible poner a punto un sistema no destructivo de clasificación automática por el valor estimado de la resistencia (MOR) y rigidez (MOE) de cada pieza. El análisis de estas relaciones y de los rendimientos de esta clasificación automática no es objeto del presente trabajo, que se centra en la caracterización mecánica de la madera clasificada visualmente, de acuerdo con UNE 56544

Sobre las piezas rotas se procedió a la valoración de las secciones de rotura y al corte de las probetas transversales, en las que se determinaron la anchura media de los anillos y la densidad. Las secciones de rotura fueron clasificadas de acuerdo con la norma UNE 56544, la cual, considera dos únicas clases de calidad, denominadas como ME1 y ME2, respectivamente. Esta norma denomina a la madera rechazada, no apta para el uso estructural, como MER.

El cálculo de los valores de resistencia (MOR), rigidez (MOE) y de densidad de cada pieza y de los característicos y medios de la población se efectuó de acuerdo con la norma europea UNE-EN 384.

La norma UNE-EN 338 (Tabla 6), establece los valores medios y característicos considerados como mínimos para cada clase de resistencia.

their critical sections. All this information, along with any other relevant data such as the presence of pith, juvenile or compression wood, etc. was noted in a report on each piece, in such a way as to permit future individual visual reclassifying of any piece.

Once the pieces had been dried, measured, planed and their defects listed, testing was carried out to determine their flatwise modulus of elasticity (up to a maximum load of 500 kg), set out in table 2 as MOET. The testing was carried out on all the critical sections of each piece (where obvious defects could be seen), and the minimum value was made note of.

Having determined the flatwise modulus of elasticity and also the minimum value of each piece (normally associated with the most critical section), rupture testing was carried out, in accordance with standard UNE-EN 408. This experiment took place in two stages. In the first stage the value of the modulus of elasticity was found (MOE), and in the second, the modulus of rupture (MOR).

The determining of the minimum MOET value of each piece is of great practical interest, as there is a strong statistic link between this value and that of the piece's MOR and MOE (in edge testing), so that a non-destructive automatic classifying system can be used for each species to find the estimated strength value (MOR) and rigidity (MOE) of each piece. The analysis of this connection and the yield of this automatic classification do not form part of this current project, which focuses on the mechanical characterization of visually graded timber as stated in UNE 56544.

Regarding the ruptured pieces, the valuation of the ruptured sections was made and the transversal samples were cut in order to determine the width of the rings and density. The ruptured sections were classified in accordance with spanish standard UNE 56544, which recognizes two single visual grades, namely ME1 and ME2 respectively. This standard classifies rejected timber (not apt for structural use) as MER.

The calculating of the strength (MOR), rigidity (MOE) and density of each piece, along with its characteristics and population means were carried out in accordance with the European standard UNE-EN 384.

Standard UNE-EN 338 (Table 6) states the average values and characteristics considered as the minimum for each strength class.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayadas las piezas y con todos los datos obtenidos de cada una de ellas (Densidad, MOR, MOE, MOET), se procedió a la evaluación estadística de los resultados.

En la tabla 1 figura el número de piezas válidamente ensayadas (denominadas piezas útiles) por especie y

RESULTS AND DISCUSSION

Once all the pieces had been tested and with the data obtained from each one (density, MOR, MOE, MOET) the next step was to make a statistic valuation of the results.

Table 1 registers the number of pieces considered valid in the testing process (called "useful pieces") by species and

TABLA 1 (TABLE 1)

Material de ensayos
(Testing material)

Muestra (Sample)	Edad media (años) (Age(years))	Diámetro normal (cm) (DBH(cm))	Nº árboles/ probetas (Trees/samples)	Comentarios (Comments)
Navaleno	124	36	5/92	Masa natural (Natural mass)
Rascafría	134	44	12/144	Masa natural (Natural mass)
Quintanar	165	43	10/146	Masa Natural (Natural mass)
Alava	109	52	6/119	Reforestación (Reforestation)
Valsain (*)	119	42	62/360	Masa natural (Natural mass)
Total Silvestre	---	---	95/861	662 útiles (662 usable)
Aserraderos	---	---	/360	252 útiles (252 usable)
Monte	29	38	70/631	320 útiles (320 usable)
Total radiata	---	---	/991	572 útiles (572 usable)
P. gallego	42	41	72/872	12 puntos muestreo (12 sample points)
P. meseta	57	26	48/336	8 puntos muestreo (8 sample points)
Total Pinaster	---	---	129/1.208	545 útiles (545 usable)

(*) Muestreo y ensayos no efectuados por INIA (AITIM, 1994) (Samples and test not made by INIA)

procedencia, así como el total de piezas ensayadas, que fue superior al arriba mencionado ya que, de acuerdo con UNE-EN 384, deben despreciarse los valores de todas aquellas piezas que rompieron fuera del tercio central. En este cómputo no figuran todas aquellas piezas que, aun siendo ensayadas, sus secciones de rotura fueron posteriormente clasificadas como de rechazo.

En la tabla 2 figuran los valores medios y característicos obtenidos globalmente para cada especie, así como los rendimientos de clasificación (% de piezas pertenecientes a cada clase de calidad definida en la norma UNE 56544) y la asignación de las clases resistentes que son de aplicación, de acuerdo con la norma de cálculo UNE-EN 384.

Debe indicarse que los datos de los valores característicos han sido calculados según la metodología de la norma UNE-EN 384, con la que, en principio, no estamos de acuerdo, ya que penaliza fuertemente a las especies de ámbito geográfico reducido (por ejemplo, al pino radiata). Este hecho puede traer consigo que los datos que aquí se exponen sean ligeramente distintos (inferiores) a los aportados por nosotros mismos en otros trabajos.

Del análisis de los datos de dicha tabla pueden extraerse algunas conclusiones previas, que seguidamente pasamos a discutir:

1ª Los valores de resistencia de los pinos españoles están en línea con los aportados en las normas europeas para las procedencias europeas de las mismas o similares especies. La tabla 5 aporta una comparación interesante entre especies, a nivel europeo, considerando como base la norma EN 1912. En las tablas 3 y 4 se hace lo mismo, pero a nivel nacional.

2ª Con respecto a las maderas nacionales, se observa una gran similitud entre las propiedades de los pinos silvestre y pinaster, aunque este último suele presentar una significativa mayor densidad, quizá debida a su mayor contenido en resina y menores módulos de elasticidad medios. Estas similares propiedades son evidentes, tanto desde el punto de vista de sus valores medios como característicos.

No obstante, la asignación de las clases resistentes de la norma UNE-EN 338 a las clases de calidad definidas por la norma UNE 56544 no es idéntica en ambos casos, ya que, en el pino pinaster, el valor del MOE de la clase ME1 (11462) queda por debajo del valor mínimo permitido (12.000) para la clase resistente C30 en la norma UNE-EN 338 (Tabla 6), lo que obliga a clasificarla en la clase C24.

provenance, along with the total number of pieces tested, which was higher than the number mentioned above, due to the fact that UNE-EN 384 states that the values of all those pieces that rupture in the outside the central third should be rejected. This table does not include those pieces that whilst being tested their rupture sections were later classified as rejects.

Table 2 registers the overall average and characteristics values obtained for each species, along with the grading yield (the % of pieces belonging to each visual grading stated in UNE 56544) and the assignation of strength classes to be applied, in accordance with the calculation standard UNE-EN 384.

It should be underlined that the characteristic values have been calculated in accordance with the methodology specified in UNE-EN 384, with which we do not agree as it strongly penalizes the species, such as Pinus radiata, which are only found in a limited number of geographic areas. This could mean that the data to be found in this study varies slightly (lower) with that given by us in other studies.

Having analysed table 2, certain conclusions can be drawn which will be outlined below:

1ª The strength values of spanish pines are in line with those included in the European standards for this or similar species of European provenance. Table 5 provides an interesting comparison of the different species, at a European level, based on standard EN 1912. Table 3 and 4 do the same thing but at a national level.

2ª Regarding national timber, great similarity is found to exist between the properties of the Scot and Pinaster (Maritime) pines, although the latter is usually found in much greater density, possibly due to its higher resin content, and lower average modulus of elasticity. These similarities are found in both their average values and characteristics.

Nevertheless, the assignation of standard UNE-EN 338 strength classes to the visual grades ascribed by standard UNE 56544 is not the same in the two cases, as in the case of Pinus pinaster the MOE value of class ME1 (11462) is below the minimum permitted (12.000) for the C30 strength class under standard UNE-EN 338 (Table 6), which therefore means that it must be classified in class C24.

TABLA 2 (TABLE 2)

Resumen de resultados, por especies (Summary of results, per species)

Especie (Specie)	Propiedad (Property)	Valor (Value)	Clases de calidad (Visual grades)		Total	
			ME1	ME2		
P s i l v e s t r e	Densidad (Density) (kg/m ³)	Medio (Mean)	534	503	509	
		Característico (Characteristic)	449	433	429	
	MOR (MPa)	Medio (Mean)	61	38	43	
		Característico (Characteristic)	31	20,5	17	
	MOE (MPa)	Medio (Mean)	13.139	10.975	11.337	
	MOET (MPa)	Medio (Mean)	8.941	7.156	7.533	
	Tamaño medio del anillo (Annual ring size) (mm)					2,0
	Clase resistente (Strength class)			C30	C18	C14
	Rendimiento clasificatorio (Grading yield)			29%	48%	100%
P r a d i a t a	Densidad (Density) (kg/m ³)	Medio (Mean)	519	487	508	
		Características (Characteristic)	432	411	414	
	MOR (MPa)	Medio (Mean)	48,6	34,7	37	
		Características (Characteristic)	27	18	17	
	MOE (MPa)	Medio (Mean)	12.610	11.080	11.293	
	MOET (MPa)	Medio (Mean)	10.585	8.566	8.575	
	Tamaño medio del anillo (Annual ring size) (mm)					7,0
	Clase resistente (Strength class)			C24	C18	C14
	Rendimiento clasificatorio (Grading yield)			26%	46%	100%
P p i n a s t e r	Densidad (Density) (kg/m ₃)	Medio (Mean)	557	503	535	
		Características (Characteristic)	469	424	435	
	MOR (MPa)	Medio (Mean)	57	39,4	42	
		Características (Characteristic)	30	18	16	
	MOE (MPa)	Medio (Mean)	11.462	9.657	10.445	
	MOET (MPa)	Medio (Mean)	s/dato (without datum)	s/dato (without datum)	s/dato (without datum)	
	Tamaño medio del anillo (Annual ring size) (mm)					4,1
	Clase resistente (Strength class)			C24	C18	C14
	Rendimiento clasificatorio (Grading yield)			34%	47%	100%

TABLA 3 (TABLE 3)

Rendimiento por clases de resistencia en función de la resistencia real de las piezas
(Yield per strength class according to real values of MOR)

Clase de resistencia (Strength class)	P. silvestre	P. radiata	P. pinaster
≥ 30 MPa	49%	53%	72%
18-30 MPa	40%	35%	22%
< 18 MPa	11%	12%	6%

TABLA 4 (TABLE 4)

Comparación entre especies nacionales por clases de resistencia (En paréntesis, rendimiento)
(Comparison per strength classes. Spanish species (Yield))

Clases resistentes (Strength classes)			
C30	C24	C18	C14
P. silvestre-ME1 (27%)	P. pinaster-ME1 (26%) P. radiata ME1 (22%)	P. silvestre-ME2 (46%) P. pinaster-ME2 (43%) P. radiata-ME2 (42%)	P. silvestre-Total P. pinaster-Total P. radiata-Total

TABLA 5 (TABLE 5)

Comparación con otras maderas estructurales europeas
(Assignment of grades of different european conifers to strength classes)

Clases resistentes (Strength classes)	Clase de calidad (Visual grades)	Norma de clasificación (Grading standard)	Procedencia de la madera (Source of timber)	Especie de madera (Species)
C30	CF30 T3 ME1	NFB (Francia) INSTA (Nórdicos) UNE	Francia Norte Europa ESPAÑA	Abeto & Abeto Douglas Pino Silvestre Pino silvestre
C24	CF22 T2 ME1	NFB INSTA UNE	Francia Norte Europa ESPAÑA	Abeto & Abeto Douglas Pino silvestre Pinos pinaster y radiata
C22	CF18	NFB	Abeto	Abeto & Abeto Douglas
C18	T1 & LT20 ME2	INSTA UNE	Francia ESPAÑA	Pino silvestre Pinos silvestre, radiata y pinaster

TABLA 6 (TABLE 6)

Clases resistentes (coníferas y chopo únicamente), de acuerdo con UNE-EN 338
(Strength classes according to EN 338. Conifers and populus only)

Clases resistentes (Strength classes)		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Propiedades resistentes (valores característicos dados en N/mm ²) (Strength properties (characteristic values in N/mm ²))										
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
Tracción paralela (Paralled traction)	$f_{t,o,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
Tracción perpendicular (Perpendicular traction)	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela (Paralled compression)	$f_{c,o,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Compresión perpendicular (Perpendicular compression)	$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
Cortante (Shear)	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
Propiedades de rigidez (valores medios y característicos dados en N/mm ²) (Rigidity properties (mean and charateristic values in N/mm ²))										
Módulo de elasticidad paralelo medio (Elasticity module mean parallel)	$E_{0,medio}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
Módulo de elasticidad paralelo 5°p. (Elasticity module 5° p. parallel)	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4
Módulo de elasticidad perpendicular medio (mean perpend. mean perpend.)	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
Módulo de cortante medio (Mean shear module)	G	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
Densidad (kg/m ³) (Density (kg/m ³))										
Densidad característica (Characteristic density)	ρ_k	290	310	320	350	350	370	380	400	420
Densidad media (Mean density)	ρ_{medio}	350	370	380	410	420	450	460	480	500

Esta tabla es aplicable en ambos sentidos. Sirve para comprobar si los valores elastomecánicos de una clase visual cumplen los requisitos de una clase de resistencia o para conocer los valores de resistencia, rigidez y densidad aplicables a cada clase de resistencia. (This table is applicable both ways. It can be used to check if elastomechanic values of a visual class comply with requirements of a resistance class or to know values of resistance, rigidity and density applicable to each resistance class).

3ª El pino radiata presenta valores del MOR y de la densidad significativamente más bajos, especialmente en la calidad ME1, lo que se hace evidente, no sólo desde el punto de vista de los valores medios sino de los característicos. Los valores del MOE son intermedios entre las restantes especies.

Los valores característicos, especialmente los del MOR, en esta especie, están fuertemente penalizados debido al inaceptable nivel de sobrestima (tanto por ciento de piezas consideradas en una clase y pertenecientes realmente a una inferior) que se produce en las clases ME1 y ME2. Este hecho significa -en la práctica- que, considerando la tabla de clasificación de la norma UNE 56544 (común para todas las especies), quedan clasificadas como ME1 piezas cuyo comportamiento mecánico posterior se corresponde con la clase ME2 o, incluso, con la MER (rechazo). Se considera que esta estima es inaceptable cuando el porcentaje de sobrestima supera el 5%, valor, a partir del cual, el valor característico del lote cae por debajo del marcado idealmente para la clase considerada (30 MPa para la clase ME1 y 18 MPa para la ME2).

La causa de este proceder ha de ser atribuida a particularidades no contempladas en la norma de clasificación UNE 56544, no pudiendo tampoco considerarse como agentes causales ni al número de cantos y caras afectados por nudos (en la sección crítica) ni a la presencia de médula, pues, su influencia, fue evaluada, comprobándose su nula o no significativa incidencia en la resistencia a flexión de las piezas.

En la práctica se comprueba que la norma de clasificación UNE 56544 parece adaptarse mejor a las particularidades de la madera de los pinos silvestre y pinaster y peor a las del pino radiata, lo que hace aventurar la conveniencia de desarrollar un sistema de clasificación específico para este pino. A este respecto, cabe destacar que es el método descrito por la norma Neozelandesa NZS 3631 el que aporta mejores valores mecánicos y de rendimiento por clases de calidad, entre todas las normas analizadas (NFB 52-001-5, INSTA 142, DIN 4074, BS 4978, ECE) para el pino radiata. Este hecho se puso de manifiesto en el trabajo de López de Roma et al. (1991).

Todo lo comentado anteriormente se refiere al caso en el que la madera haya sido previamente clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544. Queda la duda de saber qué pasaría si el análisis de resultados se hiciera sabiendo la resistencia real de cada pieza (que en un futuro, no muy lejano, podrá ser deducida de una forma eficaz por métodos no destructivos). En este sentido, en la tabla 3 se aporta una interesante evaluación del comportamiento mecánico real de las piezas de las tres especies, presentándose el

3ª *Pinus radiata reflects lower MOR and density values, especially in ME1 grade, which becomes apparent not only from the viewpoint of average values, but also in its characteristics. The MOE values are intermediate among the remaining species.*

The characteristic values (especially those of MOR) of this species are highly penalized due to being unacceptably overestimated (a certain percentage of the pieces are considered to pertain to one grade when they really belong to a lower class) as occurs in grades ME1 and ME2. This means that in the UNE 56544 classification table common to all species, pieces classified as ME1 reflect mechanical behaviour that should classify them as ME2 or even MER (reject). This valuation is believed to be unacceptable when the percentage of overestimation is higher than 5%, as any value below this means that the value of the batch falls below that considered ideal (30 MPa for the ME1 class and 18 MPa for the ME2 class).

The reason of this behaviour can not be attributed neither to the presence of pith nor to the number of edges and faces affected by knots because their influence was evaluated (the evaluation of these variables is not included in the present work due to the shortage of space) and found not significant. So the reason of this behaviour should be attributed to some particularities (still not well known) of the standard UNE 56544.

In practice it has been seen that the UNE 56544 standard seems best adapted to the characteristics of the timber from the Scot and Pinaster pines and least adapted to the Radiata pine, which could suggest that a specific classification system should be created for this pine. It is worth mentioning that among all the standards analysed for the Pinus Radiata (NFB 52-001-5, INSTA 142, DIN 4074, BS 4978, ECE) the one that gives the best mechanical values and yield per visual grade is the New Zealand standard NZS 3631. This fact emerged in the project carried out by López de Roma et al. (1991).

All the above mentioned is applicable when the timber has been previously visually classified in accordance with standard UNE 56544. The doubt remains as to what would happen if the analysis of the results were carried out with previous knowledge of the real strength of each piece (it will be possible to efficiently calculate this using non-destructive methods in the not too distant future). With this in mind, table 3 provides an interesting evaluation of the real mechanical behaviour of the pieces from the three species, giving the percentage of pieces that can be

porcentaje de piezas que pueden encuadrarse dentro de cada clase de resistencia en función del valor del MOR obtenido en los ensayos. Por simplificación se consideraron sólo tres clases de resistencia, la 1ª con MOR de 30 MPa, la 2ª con MOR estrictamente menor que 30 MPa y mayor o igual que 18 MPa y la 3ª con MOR estrictamente menor que 18 MPa.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 3), se observa que el pino pinaster es el que presenta un porcentaje más elevado de piezas, con MOR superior a 30 MPa (72%) y que este incremento del porcentaje se realiza a costa de las dos clases restantes de resistencia (22% para la clase de 18 a 30 MPa y 6% para la clase inferior a 18MPa). Esto quiere decir que esta madera, con independencia de los criterios de la norma de clasificación UNE 56544, es la que puede considerarse como más apta para el uso resistente, al dar más piezas altamente resistentes (>30 MPa).

Este hecho, junto con la similitud que presentan los valores medios del MOR para los pinos silvestre y pinaster (Tabla 2), llevan a concluir que el pino pinaster es más homogéneo (menor variabilidad) y resistente que los dos restantes evaluados de esta manera (pino silvestre y radiata).

Con respecto al pino radiata, debe concluirse que, aunque el número de piezas altamente resistentes es mayor que para el pino silvestre (53% frente a 49%), sus valores globales, tanto medio como característico, son menores (Tabla 2), lo cual se explica por el hecho de que los valores extremos en esta especie (máximo y mínimo) son menores y la diferencia entre ambos más elevada (baste recordar aquí que, por definición, la variabilidad penaliza fuertemente a los valores característicos, al ser éstos el 5º percentil de la distribución).

De acuerdo con lo anterior, puede decirse que el pino radiata presenta un elevado potencial de mejora si, tras un exhaustivo trabajo de investigación, se determina la causa que justifica esta alta variabilidad y se puede incorporar a la definición de la clase ME1 de la norma UNE 56544 algún sistema de evaluación visual que evite el fuerte valor de sobrestima que actualmente presenta.

Otro hecho que parece deducirse de todo lo anterior es la escasa eficacia de la norma UNE de clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural, que parece adaptarse, sólo medianamente, al caso del pino silvestre, poco al del pino pinaster y muy poco al del radiata.

Con este análisis de la resistencia real de la madera se pone de manifiesto, una vez más, que los pinos de

included in each strength class in accordance with the MOR value obtained in the testing. In order to simplify the process, only three strength classes are taken into account, the first being the MOR of 30 MPa, the second when MOR is strictly below 30 MPa and greater or equal to 18 MPa, and the third when MOR is strictly below 18 MPa.

According to the results obtained (Table 3), it is seen that the pinaster (maritime) pine gives the highest percentage of pieces with MOR higher than 30 MPa (72%), and that this percentage increase occurs at the cost of the two remaining strength classes (22% for the grade from 18 to 30 MPa and 6% for the grade below 18 MPa). This means that this timber, aside from the classification criteria used in standard UNE 56544, can be considered to be the most apt for strength use as it provides the strongest pieces (>30 MPa).

This fact, combined with the similarity of the average MOR values for the scot and pinaster pines (Table 2), leads us to conclude that the pinaster pine is the most homogeneous (lower variability) and the strongest of the two remaining species evaluated in this way (scot and radiata pines).

Regarding the radiata pine it is found that despite the a higher number of strength pieces derived from the scot pine (53% compared with 49%), its overall values, both average and characteristic, are lower (Table 2), which is due to this species's extreme values (maximum and minimum) being lower and the difference between the two is greater (it should be remembered that variability strongly penalizes characteristic values, as this is 5 percentil of the distribution).

In accordance with this, it can be said that the radiata pine presents high potential for improvement if the reasons for its high degree of variability can be found and some kind of visual grading can be included in class ME1 of standard UNE 56544 which avoids the highly overestimated value currently used.

Another conclusion that can be drawn from the above mentioned is the inefficiency of the UNE standard for the visual grading of sawn timber for structural use, as it is moderately applicable to scot pine, can be applied to a certain extent with Pinaster pine and almost not at all to radiata pine.

Once again, this analysis of the real strength of timber has reflected that fast growth pines (radiata and

crecimiento rápido (radiata y pinaster) dan madera perfectamente apta para el trabajo mecánico y que su resistencia puede llegar a ser, al menos, igual que la de otras maderas comúnmente aceptadas como el pino silvestre.

CONCLUSIONES

Como conclusiones finales, resumen de los resultados antes citados, puede decirse:

1ª) Que la clase de resistencia C30 sólo puede ser obtenida con la madera de la clase ME1 de pino silvestre. La clase C24 se puede obtener con la ME1 de pino pinaster y radiata. La clase C18 puede ser obtenida con la madera del tipo ME2 de cualquiera de los pinos silvestre, radiata o pinaster.

2ª) Que los pinos silvestre y pinaster son muy similares mecánicamente, aunque el primero es algo más rígido (lo que hace que sus primeras sean C30 y no C24 como en pino pinaster) y ligero que el segundo. Se observa que el pino pinaster tiene una ligera mayor variabilidad, que se nota en los valores característicos, no imputable a la madera en sí sino al método de clasificación.

3ª) Que el pino radiata proporciona una madera muy adecuada para el trabajo resistente (especialmente si se consideran los valores de resistencia real determinados en laboratorio) y que posee un potencial de mejora (selvícola, genética y de métodos de clasificación) enorme, ya que, reduciendo su mayor variabilidad, puede proporcionar madera de las mismas clases resistentes que para los otros dos pinos.

4ª) Que, aunque por razones del espacio disponible no se han aportado los datos (consultables en Fernández-Golfin y Díez Barra, 1996 a), puede afirmarse que el tamaño del anillo tiene una incidencia no significativa (coeficientes de determinación inferiores al 10% para regresiones de tipo lineal) en la resistencia y que la presencia de médula o de madera juvenil no afecta, de manera significativa, a la resistencia, aunque sí al nivel de deformaciones en servicio (motivo por lo cual la norma UNE 56544 excluye su presencia en la clase alta, la ME1).

5ª) Que dado que el porcentaje de madera rechazable para el trabajo mecánico, por razón de la deformación ocurrida durante el secado (y que con posterioridad a este nunca se vuelve a producir), no es despreciable (hasta el 15%), debe evitarse poner en obra madera húmeda (>20%), siendo aconsejable que la madera tenga una humedad próxima (inferior) a la de servicio.

pinaster) offer timber which is perfectly apt for mechanical work and that its strength reaches a level that is at least equal to that of other timbers commonly accepted, such as scot pine.

CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from the above mentioned results:

1ª) Strength class C30 can only be obtained from class ME1 timber of Scot pine. Class C24 can be obtained from class ME1 of pinaster and radiata pines. Class C18 can be obtained from the ME2 timber of any of the scot, radiata or pinaster pines.

2ª) Scot and pinaster pines are mechanically very similar, although the first is somewhat more rigid (making its ME1 grade C30 and not C24 as in Pinaster) and lighter than the second. The Pinaster pine has slightly greater variability (reflected in its characteristic values) which is not attributable to the timber itself but to the classification method.

3ª) The radiata pine provides a timber that is extremely appropriate for strength work (especially if the real strength values found in the laboratory experiments are considered) and also possesses enormous improvement potential (woodland, genetic and classification methods), for if its greater variability is reduced it can provide timber of the same strength classes as the other two pine species.

4ª) Due to a shortage of space the corresponding figures have not been given (these can be found in the study Fernández-Golfin y Díez Barra 1996 a), it can be confirmed that the ring size has no significant effect on (coefficients lower than 10% for lineal regressions) the timber's strength, neither does the presence of pith or juvenile wood, although this does effect the degree of deformation in service (this being the reason why standard UNE 56544 excludes this timber from the high class, ME1).

5ª) As the percentage of timber rejected for mechanical work due to the deformations which occurred during drying (and following this do not recur) is worth considering (up to 15%), moist timber should not be used (>20%), as the timber should have a moisture level similar (lower) to that of service timber.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) AITIM: (1994). Propiedades mecánicas de la madera de pino silvestre de Valsain. 5 volúmenes. Informe interno.
- (2) FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DíEZ BARRA, M.R.: (1996a). Growth rate as a predictor of density and mechanical quality of sawn timber from fast growing species. *Holz als Roh-und Werkstoff* 54(3):171-175.
- (3) FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DíEZ BARRA, M.R.: (1996b). Caracterización de la madera estructural de pino radiata. Análisis de la norma UNE 56544 y propuestas para su mejora. Memoria interna pendiente de publicación.
- (4) FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DíEZ BARRA, M.R.: (1996c). Caracterización mecánica de la madera aserrada de pino silvestre de los Sistemas Central e Ibérico mediante probetas de tamaño estructural. *Revista de Investigación Agraria, Serie Sistemas y Recursos Forestales* 6 (1 y 2): 1-32.
- (5) LÓPEZ DE ROMA ET AL.: (1991). Propiedades y Tecnología de la madera de pino radiata del País Vasco. Monografías INIA nº 80. ISBN 84-7498-387-8. MAPA.241 pp.
- (6) ORTIZ, J.; CRUZ, H.; BLANCHON, J.L.: (1990). Informe final del proyecto MA1B-0129 Standard Quality of Pinus pinaster (informe interno).
- (7) ORTIZ, J.; MARTÍNEZ, J.J.: (1991). Características mecánicas de la madera de pino gallego, obtenidas a partir de ensayos con piezas de tamaño estructural. *AITIM* 150:95-101.
- (8) UNE 56544: (1996). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. AENOR (pendiente de publicación).
- (9) UNE-EN 338. Madera estructural. Clases de resistencia.
- (10) UNE-EN 384: (1996). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. AENOR
- (11) UNE-EN 408: (1995) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- (12) UNE-EN 1912: (1994). Madera estructural. Clases de resistencia. Asignación de clases visuales de calidad y especies.

* * *