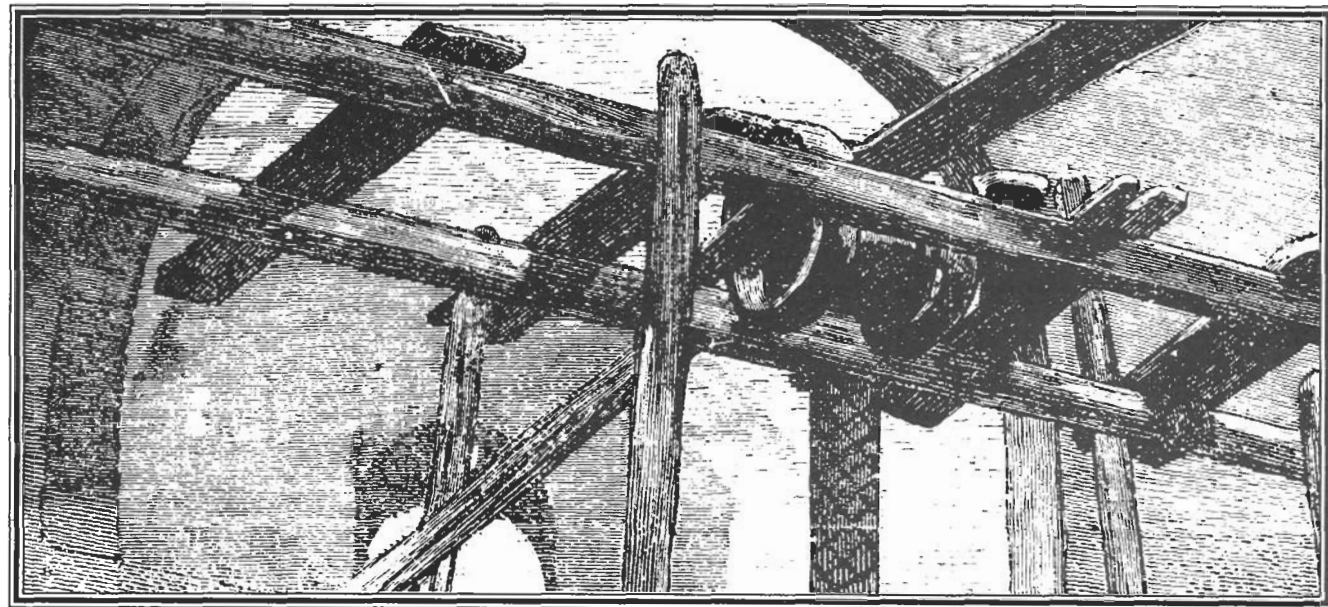


Estudio sobre la madera de Mina.

¿Cuánto tiempo puede permanecer la madera almacenada sin merma de sus propiedades mecánicas?, ¿Cómo influye la humedad en la resistencia de la madera?, ¿Cuál es la evolución de las propiedades de la madera en función del tiempo de almacenamiento? Estas y otras cuestiones se tratan en este trabajo. Las especies estudiadas fueron el *Pinus radiata* Don (pino insignis), *Pinus pinaster* Aiton (pino gallego) y el *Eucaliptus globulus* Labill, (eucalipto Blanco).

Por *Ignacio Martínez Fernández* y *Enrique García*,
Ingenieros Técnicos de Minas.

Resumen: *Antonio Camacho Atalaya.*



La madera.

La madera es un material anisótropo e higroscópico. Es anisótropo porque sus propiedades físicas y en particular sus características mecánicas dependen de la dirección del esfuerzo con relación a sus fibras; es higroscópico porque aparte del agua que contiene por su propia constitución; su grado de humedad varía con el ambiente que le rodea.

Debido a su anisotropía, desde el punto de vista físico y mecánico en el estudio de una probeta, debe considerarse tres direcciones principales:

Axial: paralelo al eje del árbol.

Radial: perpendicular a la anterior y cortando el eje del árbol.

Tangencial: normal a las dos anteriores.

Ensayos. (Normas aplicadas).

Propiedades físicas

- Contenido de humedad de la madera: UNE 56.529-77.
- Contracción: UNE 56.533-77.
- Peso específico: UNE 56.531-77.
- Dureza: UNE 56.534-77.

Propiedades mecánicas

- Resistencia a la compresión axial: UNE 56.535-77.
- Resistencia a la flexión estática: UNE 56.537-79.
- Hienda: UNE 56.539-78.

Variaciones de las propiedades de la madera.

Los factores que condicionan las propiedades de la madera, son múltiples. En nuestro trabajo original, los estructuramos del modo siguiente:

- **Condicionados por el árbol** (Condiciones de crecimiento).
- **Factores edáficos** (hidrología y geología).
- **Factores climáticos** (Pluviómetro, servimetría).
- Factores de situación (Pendiente, orientación y altitud).
- **Factores de poblamiento** (Temperamento, métodos de explotación).
- **Factores intrínsecos** (parte del árbol, edad, época de apeo). Condicionados por la madera.
- **Planos de referencia** (axial, radial, tangencial)
- **Estructura** (Corteza, leño, médula, textura, anillos de crecimiento).
- **Defectos**
- Formales

curvatura
entrecasco
ahorquillado
oquedad

(los tres últimos invalidan a una madera para su empleo en mina).

Estructurales

Irregularidades en los anillos
Excentricidad del corazón
Madera revirada
Bolsas de resina
Lunulados
Doble albura
Aludes
Fendas
Acebolladuras
Colapso
Pata de gallo
Heridas

Alteraciones:

Hongos

Pudrición parda
Pudrición blanca
Pudrición azul
Pudrición roja
Pudrición verde
Bacterias
Insectos
Otros seres

(Contra todas las alteraciones existen medidas preventivas o curativas).

La madera de mina.

Diversas especies arbóreas son empleadas con el fin de obtener madera de mina. Podemos citar entre las coníferas a varios pinos: *Pinus pinaster*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *P. nigra*, y entre las frondosas *Quercus robur*, *Q. pyrenaica*, *Q. pubescens* (roble), *Castanea sativa* (castaño), *Fagus sylvatica* (haya), *Ulmus minor*, *U. glabra* (olmos), *Populus nigra* (álamo/chopo), *Alnus glutinosa* (aliso), *Betula pendula* (abedul), y *Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis* (eucaliptos).

El usar unas u otras depende básicamente de las disponibilidades locales, y también de los métodos de explotación o de las costumbres mineras.

Hoy en día, más del 90 % de la madera consumida por HUNOSA (aproximadamente el 95 %) lo constituyen pinos y eucaliptos. El resto se divide en partes iguales entre las denominadas "maderas del país": *Castanea sativa* (castaño), *Betula pendula* (abedul), y en menor medida otras como *Alnus glutinosa* (aliso), y el roble, ya elaborado como traviesas de ferrocarril.

Es por ello por lo que el presente estudio se dedica a esas maderas mayoritariamente empleadas: las correspondientes a las especies *E. globulus*, *P. radiata*, y *P. pinaster* (así como ocasionalmente *E. camaldulensis* y *P. sylvestris*).

Terminología

Es intención de este apartado repasar los vocablos usuales empleados al referirse a la madera de la mina. En primer lugar, la unidad de medida, la pulgada, no es como pudiera parecer la medida anglosajona equivalente a 25,4 mm. Se trata de la duodécima parte del pie de Castilla -que era a su vez la tercera parte de la vara (835'9 mm)- el cual equivale a 278'6 mm. En consecuencia, la pulgada equivale a algo más de 23 mm (a todos los efectos de cálculo: 23,2 mm = 1").

A la recepción de la madera en el Parque, esta se puede clasificar de modo general y según sus dimensiones, en:

- | | |
|---------------------|-----------|
| A) Piquetes | Aprox. 2" |
| B) Puntos | 3 - 4" |
| C) Explotación | 4 - 6" |
| D) Galería | 6 - 9" |
| E) Rolla | > 9" |
| F) Tablas/Traviesas | Prismas |

Una vez elaborada, se originan variados productos, cuyas características resumimos en una tabla a continuación (v. tabla 1).

TABLA I.- Cuadro de los tipos de madera de mina

TIPO	ESPECIES	LOG. USUALES	SECCION TRANSV.	SECCION	EMPL. EDO	OBSERVACIONES
MAMPUESTA	E/P	0,5-0,6-0,8-1-1,2-1,5-1,8-2-2,5-3-3,5-4	Circular	4,5 - 1 m → 4" 1 - 1,5 m → 5" 1,8 - 3,5 m → 6" 3,5 - 4 m → 7" 4,5 - 5 m → 7 7/8"	Entibación en taller de arranque	
BASTIDOR	E	2,5-3	Semicircular	(3" - 4" - 5" - 6"	Idem	
TIJERA	E	Solamente 2,5	Seguete circular	(4" - 5" - 6"	Idem	
LLAVE	E/P	1,25-1,5-2-2,5	Aproximadamente rectangular, pero sólo en las dos caras paralelas	1 1/2 cm ancho 2 cm alto	Sustituye al rollo	
TRACHA	E (Exclusivamente)	1,25	Aproximadamente rectangular	7/8 cm ancho	Explotación (Al techo)	• Madera flexible • Secciones extremas no normales al eje longitudinal • Racho menos exigentes
CABRETON	E	2,5	Rectangular	10/11 cm ancho 3 cm alto	Explotación igual que tracha, excepto en falso techo o niveladuras falsas	
TABLA COSTERA	E/P	1,25-2,5	Aproximadamente rectangular, con dos caras paralelas	1 1/2 cm ancho 2 cm alto	Explotación, igual que cabreton, pero para menos responsabilidad	
RACHO		1-1,25-1,4-1,5-1,6-1,8	Aproximadamente rectangular	7/8 cm ancho	Galerías	• Secciones extremas normales al eje longitudinal • Bastidor tracha exigente
PUNTO	E/P	1-1,2-1,25-1,4-1,5-1,6-1,8	Circular	3" - 4"	Entibación auxiliar (galerías)	• Secciones extremas normales al eje longitudinal
FORRO	P/E	0,7 a 1,25	Circular Rectangular	<5"	Entibación auxiliar (galerías (relleno))	Leñas bruto
PIQUETE	E	2,5-3	Circular	2"	En explotación en vez de tabla. En galerías en vez de puntos	

Descripción de las maderas de Eucaliptos y Pinos.

Maderas de eucaliptos

Suelen ser homogéneas, pesadas, duras, y resistentes, de coloración variable del blanco claro al pardo-rojizo oscuro. Abundan las fibras reviradas, malas para el trabajo y propensas a hendirse y alabearse. Muchas especies suministran maderas de construcción, otras leñas, apeas, postes y traviesas. Las de fibra larga y resistente, de crecimiento rápido, son objeto de aprovechamiento industrial para la fabricación de pasta de celulosa. Otras se emplean para fabricar tableros de fibras o partículas. Algunas especies dan carbón de buena calidad. Al destilar la madera se obtiene carbón y pirolefoso.

Madera de *E. globulus*

Madera de duramen pardo-amarillento o amarillo claro, rodeado de una corona de 3-4 cm de albura blanquecina; vasos muy grandes, parénquima difuso y fibras trabadas, por lo que hiende fácilmente; anillos anuales apenas diferenciados. El peso específico en verde oscila entre 0,90 y 1,15 T/m³. La contracción tangencial es casi doble de la radial y la contracción volumétrica total es del orden del 35 %. Es madera dura, de calidad mediana en general; poco duradera, se deteriora pronto enterrada. Seleccionada y tratada con vapor se curva fácilmente.

Es producto comercial de variados aprovechamientos. Como madera de sierra se emplea en carpintería de construcción, para cerchas, en escuadra o redonda, y para parquet en bloques de cortas dimensiones. Para estructuras tiene la ventaja de suministrar en pocos años piezas de grandes dimensiones y escasa nudosidad. En ebanistería se usa para fabricación de diversos muebles, con el inconveniente del peso, y decorados interiores. Se emplea también en la fabricación de carrocerías y embalajes de todos los calibres. Sirve para tonelería de sólidos o líquidos; en Portugal se fabrican con esta madera barriles para envase y transporte de vino, parafinando el interior. Se emplea también en construcción naval de bajura y pesquería, siendo clásica su utilización para mástiles de trañas en el sur portugués. Con ella se fabrican mangos de herramientas y objetos diversos, como hormas de calzado. Puede dar tableros contrachapados resistentes y maderas laminadas y contralaminadas muy buenas; el desenrollado se efectúa después de cocer las trozas en autoclave. Los rollos de pequeño diámetro proporcionan estacas, pilotes, postes y apeas de mina, empleos en los que presenta gran duración. En las minas es buena por su elasticidad, mejor que *E. camaldulensis*. Para traviesas tiene el inconveniente del agrietado, que se evita zunchando las cabezas o si el despiezo se efectúa de forma que el eje del rollo quede en una cara. Es buena para la construcción de puentes y se empleó años atrás en carretería.

Maderas de *E. camaldulensis*.

Madera de textura compacta, con pocos vasos y mucho parénquima de fibras sinuosas y entrecruzadas; albura amarillenta y duramen rojo caoba. Los anillos anuales no se ven o se perciben confusamente. En verde, es blanda y pesada, con un peso específico

de 1'10-1'22 T/m³; seca es dura, muy resistente a esfuerzos paralelos a las fibras. La contracción tangencial es casi el doble de la radial, por lo que hiende en grandes grietas al secarse directamente. Muy duradera, aún enterrada, poco atacable por insectos y con gran resistencia a la pudrición. Presenta muchas células con gomorresinas, pudiendo contener en conjunto del 2 al 14 % de tanino; su kino ataca al hierro; difícilmente podrán extraerse clavos hincados en esta madera durante algún tiempo. Fácil de trabajar, toma un buen pulimento. Es muy buena la de comarcas donde la especie presenta crecimientos lentos; en España crece rápidamente, dando leño de peor calidad, que se alabea e hiende mucho.

Importante comercialmente como madera de sierra, en Australia se trabaja mucho en verde, pero aquí debe someterse previamente a desecación artificial. En carpintería se destina algo a construcción de edificios, principalmente parquet con las ventajas de su dureza y colorido grato, no siendo buena para estructuras de cobiertas, por su baja resistencia a la flexión, ni para carpintería de puertas y ventanas, por su movilidad y fácil alabeo. Se usa bastante para la fabricación de muebles ordinarios, con el inconveniente de su peso elevado, y no sirve para curvas; en pequeña proporción se emplea en decorados interiores, construcción de carrocerías de camiones y embalajes medianos. Sirve para fabricar tableros corrientes y de gran resistencia y maderas laminadas o contralaminadas. Da también tableros de fibra y de partículas y en Argentina se fabrican tableros de partículas mezcladas de *Eucalipto camaldulensis* y *Arundo donax* (cañavera).

Del eucalipto rojo se obtienen apeas de mina, en especial en Suráfrica y región mediterránea. Es mala para vigas y los postes tratados (con cloruro de cinc y nitrofenoles) tienen empleo en líneas telefónicas en Israel y Marruecos. En el Sur de Australia, los estacados hechos con postes de duramen de pies de más de 40

años de edad duran unos 40 años. También se ha empleado para traviesas de ferrocarril, zunchando convenientemente las cabezas, con la ventaja de la íntima adhesión a los tirafondos de hierro.

Maderas de pinos

Son más o menos resinosas. Las maderas con más resinas suelen ser más duras. Las maderas poco resinosas y blandas proporcionan materia prima para la obtención de celulosas y pastas.

Madera de *P. pinaster*.

Madera de grano basto y anillos anuales muy aparentes, de albura blanco-amarillenta y duramen rojizo, con médula de color rojo vivo o marrón, es una de las más resinosas del género. Su peso específico en verde oscila entre 0'9 y 1'1 T/m³. Es regular para construcción y se emplea mucho en carpintería, traviesas de ferrocarril, apeas de mina, embalajes y cajerío.

Tiene bolsas de resina muy localizadas, que pueden llegar a ser importantes.

Madera de *P. radiata*.

Madera blanco-amarillenta, ligera, esponjosa y blanda, con dureza y contenido en resina inferiores a los

de todos los pinos españoles. Su peso específico en verde oscila entre 0'65 y 0'85 T/m³.

Madera de *P. sylvestris*.

Madera compacta, resinosa, con duramen grueso, rojo intenso y albura blanco-amarillenta. Es la mejor de los pinos españoles, al lado de la de *Pinus nigra*, por su calidad y limpieza y por la rectitud de los fustes. La poda natural da lugar a la escasez de nudos que hace esta madera más preciada. Se usa en carpintería, construcción, ebanistería y serrería. Su resina dificulta la obtención de pasta, empleándose en la fabricación de cartones. Se ha utilizado para traviesas, apeas y otros usos menores. Los árboles de alta montaña dan madera de tipo "melis", de buena calidad para entarimados, mostradores y carpintería vista de lujo. Los mejores mástiles de marina de una pieza natural son los de pino silvestre de Rusia y Prusia. Los troncos altos son particularmente buscados para diversas aplicaciones, siendo más estimados los de Pomerania, renombrados desde hace siglos. En Noruega se encuentran aún casas y templos de más de 800 años, construidos con rollos de esta especie, atestiguando su durabilidad.

Metodología de ensayos.

Propiedades estudiadas. Justificación.

El núcleo del presente estudio se basa en el análisis de la humedad de la madera por ser ésta una propiedad física elemental que repercute por un lado tanto en el resto de las propiedades físicas (contracción, peso específico, dureza...), como en las propiedades mecánicas y de madera fundamental en la resistencia a la compresión, así como también en la dureza.

Para ello se diseñó un proceso similar al establecido por la normativa con el fin de determinar el contenido de humedad por desecación al estado anhidro. No se estudió la contracción como tal porque ésta sólo causa efectos, aunque muy acusados, en los eucaliptos.

Se realizaron unos análisis indicativos con respecto al peso específico.

Con respecto a las propiedades mecánicas, de las tres mencionadas (resistencia a compresión axial, resistencia a flexión estática, hienda) sólo se estudió la primera por tres tipos de razones:

1) la evidente dificultad que supone la realización tanto de los ensayos de flexión como los de hienda los cuales requieren una compleja maquinaria de la cual no se dispuso.

2) dado el uso más importante de la madera de mina es su empleo en los talleres de arranque y en estos es básicamente la resistencia a compresión axial de las mampostas, junto con la resistencia a flexión de los bastidores y tijeras el valor fundamental de la misma.

3) el hecho de que aproximadamente el 60 % (en peso) de la madera que elabora el Parque resulte mampostería.

Por último intentando medir el grado de dificultad que supondría para el minero o picador el trabajo de la madera se estudió la dureza (propiedad tanto física como mecánica) aunque de un modo no normalizado (al igual que la compresión) intentando sustituir el ensayo de hienda que sería el más procedente en este caso.

Realización de ensayos.

Este estudio se llevó a cabo en el Parque de Maderas del Caudal situado al sur de la villa de Mieres, colindante con el Pozo Barredo, ambos pertenecientes a la empresa Hunosa. El Parque se dispone según un eje longitudinal aproximadamente en una dirección norte-sur.

Para llevar a cabo un seguimiento controlado en la evolución de las propiedades de la madera con respecto al tiempo de almacenamiento se acotó una parcela de 12,5 por 7,5 metros en la cual con una periodicidad mensual se acopiaban tanto una partida de *Eucaliptus globulus* como otra de *Pinus radiata*. Las partidas inicialmente constaban de 20 piezas de 2,5 m y de 5/6" y más tarde de 10 piezas, siendo recibidas en los primeros días de cada mes. Su proce-



encia se pretendió en principio que fuese del mismo monte para que los factores no sesgasen los resultados. Al encargar a un mismo maderista el suministro se consiguió una notable regularidad en el origen geográfico de las partidas. Así, el pino procedió de la zona limítrofe entre los concejos de Valdés (Luarca) y Salas, más concretamente del entorno de las poblaciones de Castaño (Valdés) y Maecina (Salas). Mientras que el eucalipto venía en su mayor parte del concejo de las Regueras (5 partidas), o de Larena, Pravia e Illas (1 partida de cada uno), concejos estos últimos colindantes a las Regueras (salvo Pravia, cercano de todos modos). Las piezas se disponían agrupadas por especies en pilas separadas por meses dispuestas según la orientación norte-sur como la mayoría de las pilas de madera del parque; así mismo estaban aisladas del contacto directo del suelo.

La madera almacenada en la parcela suministró aproximadamente la mitad de las piezas empleadas para los ensayos. Con el fin de realizar estudios diversos otras tantas piezas del parque fueron empleadas.

Humedad

Se estableció un procedimiento para determinar el grado de humedad por desecación al estado anhidro inspirado en la norma UNE 56.529-77. También se emplearon dos xilohigrómetros para la medida de la humedad en la madera por registro de su resistencia eléctrica.

Compresión

Se emplearon probetas cilíndricas de 150 mm de longitud y 50 mm de diámetro.

Dureza

Se aplicó un cilindro de acero de 30 mm de diámetro, cuya geometría, era normal a la de la probeta, hasta 600 Kg, tras lo cual se descargaba y se hacía una recarga significativa a los diez segundos. El captador registraba la flecha (1) y la dureza se toma como $D < 1/f$, mientras que con ocasión de la recarga, al determinar el captador el punto de contacto con la probeta deformada, se tiene una idea de la capacidad de recuperación de la madera.

Pesos específicos.

Relacionando los pesos específicos y las humedades indicados en VII.3 se puede determinar el supuesto y teórico peso específico anhidro para a partir de él, y considerando la humedad media encontrada para cada especie ofrecer un valor de peso específico promedio. Los resultados son:

Eucaliptus globulus: Peso específico medio:
1 T/m³. (W media 87 %).
Pinus pinaster: Peso específico medio:
1,1 T/m³. (W media 119 %)
Pinus radiata: Peso específico medio:
0,65 T/m³ (W media 89 %)

Se debe observar que este es un cálculo sobre la madera, excluyendo la corteza, abundante en algunos casos.

Influencia de la humedad en las propiedades mecánicas.

Analizando las distribuciones que presenta la resistencia a compresión para las distintas especies o clases se encuentra que:

- El Eucaliptus globulus presenta bastante homogeneidad de resultados con una media ciertamente elevada (392 Kg/cm²).
- El Pinus pinaster presenta una distribución más variada y una media (268 Kg/cm²) inferior a la de Eucaliptus globulus pero superior a su vez a la del Pinus radiata.
- El Pinus radiata es en este campo más homogéneo que en lo que respecta a su humedad. Su promedio de resistencia a compresión (208 kg/cm²), es un 30 % inferior al del Pinus pinaster. Curiosamente los valores máximos son inferiores a los valores mínimos del Eucaliptus globulus.

Observando las distribuciones de durezas tanto para el Eucaliptus globulus como para el Pino radiata se ve como el primero es notablemente más duro que el segundo el cual presenta una distribución muy concentrada para valores de dureza muy bajos. Las relaciones entre la humedad y la resistencia a compresión presentan como característica la falta de conexión entre ambas medidas. Esta es evidente tanto para el Eucaliptus globulus como para el Pinus radiata y no tanto para el Pinus pinaster. De todos modos en este último caso la escasa serie de datos y el hecho que en general su comportamiento sea similar al del Pinus radiata nos hace descartar una hipótesis en tal sentido.

Se debe hacer constar la imprecisión de la norma UNE 56.535-77: Determinación de la resistencia a la compresión axial, la cual en su apartado 5.1 no establece entre qué márgenes se cumple la expresión que relaciona una disminución del grado de humedad con un aumento de la resistencia a compresión. Aunque como se ve esto no se cumple en la gama de humedades que presenta la madera de mina, se cita (ARGÜELLES ALVAREZ & ARRIAGA MARTITEGUI, 1988) la existencia de una relación inversa entre la humedad y la resistencia a compresión para valores inferiores al punto de saturación de fibras (aproximadamente el 30 %). Si la humedad es superior, se cita asimismo (op.cit.) una constancia en el valor de la resistencia. Las relaciones entre la humedad y la dureza, tal como en el caso anterior, no muestran dependencia alguna entre ambas medidas. Así, para un valor de una de ellas se encuentra una amplia gama de valores de la otra.

Relación entre propiedades mecánicas.

En este campo sí que se observa claramente que la resistencia a compresión y la dureza son directamente proporcionales, no en una especie, pero si contrastando distintas especies.

Evolución de la humedad y la resistencia a compresión en el tiempo.

Las tablas que hicimos muestran lo que es requisito previo con el fin de poder estudiar el comportamiento de la madera en función del tiempo: comprobar hasta que punto una pieza es representativa de su partida o pila, siempre suponiendo un origen homogéneo en ésta.

Las pilas de *Eucalyptus globulus* poseen una alta homogeneidad, que se contrasta con los valores del coeficiente de Pearson:

W.- a) $v = 0'06$ b) $v = 0'03$ c) $v = 0'06$
c.- a) $v = 0'05$ b) $v = 0'01$ c) $v = 0'06$

W = % de humedad al estado anhidro
C = Compresión

Las pilas de *Pinus radiata* son menos homogéneas, pero de todos modos presentan dispersiones aceptables:

W.- a) $v = 0'17$ b) $v = 0'12$ c) $v = 0'16$
c.- a) $v = 0'04$ b) $v = 0'14$ c) $v = 0'14$

Es decir, podemos ir estudiando la variación de los caracteres generales de una pila a través del análisis periódico de una de sus piezas.

Aunque ya se vió que no existe relación W-C, se observan varios hechos interesantes:

· Para el *Eucalytus globulus*, no se pudo continuar el estudio más allá de 3/4 meses, pues tras ese periodo, la mayoría de las piezas presentaba fendas de secado en tal cantidad y/o de tal magnitud que se convertían en rechazables y por lo tanto no procedía realizar ensayo alguno (madera inutilizable). Curiosamente, alguna vez, cuando una pila ofrecía dudas sobre su rechazo y se intentaba analizar una pieza, nos encontramos con la imposibilidad de realizar probetas mecánicas ya que a pesar de tomar la muestra en zonas con buen aspecto, la probeta se rompía durante su elaboración debido a fisuras variadas que impedían el trabajo del torno (ensayo frustrado).

Se ve como el mes anterior al rechazo de la madera, la humedad ronda el 60/70 %.

· Para el *Pinus radiata* se pudo estimar la serie completa, con lo cual se aprecia para las primeras partidas, las cuales fueron seguidas durante más tiempo, que al cabo de cinco o seis meses de almacenamiento la tendencia al descenso del grado de humedad se invierte, lo que acaba ocasionando un descenso, más o menos acusado y con algún retraso, en la resistencia a compresión. Tal y como se comprobó en el último mes de prueba (Diciembre) alguna de las primeras partidas ya presentaban síntomas de pudrición (iniciados sobre todo en las zonas de contacto entre las piezas, como coloraciones varias, malos olores, organismos varios, etc). Se debe considerar este anómalo incremento de la humedad como un adelanto de alteraciones.

Al contrastar el comportamiento del *Pinus radiata* apeado en Agosto, uno pelado y otro no se aprecia como el pino pelado se seca muy rápidamente y estabiliza su humedad (a la baja) y su resistencia a compresión (al alza) con relación al pino no pelado. Con respecto al seguimiento de humedad hecho sobre una sola pieza se ve que ésta apenas disminuye, a pesar de no registrarse precipitaciones significativas en ese periodo, lo cual encaja con la evolución de la partida apeada en Noviembre.

Pandeo

Acerca de la influencia del fenómeno de pandeo sobre la resistencia a compresión de la madera se encuentran en la bibliografía varias expresiones o fórmulas que conducen a resultados divergentes. Una de ellas destaca especialmente (ARGÜELLES & ARRIAGA MARTITEGUI, 1988) aunque resulte demasiado teórica y compleja para nuestros fines.

Ante ello se intentó estudiar el efecto de modo experimental, más:

- la escasa capacidad de carga de la prensa impedía ensayar piezas a sección completa.

- la realización, por lo tanto, de probetas de gran longitud resultaba delicada en el torno disponible y sólo era factible para algunas piezas sensiblemente rectas de *Eucalyptus globulus*.

En consecuencia nos limitamos a precisar que no se aprecia disminución decisiva de los valores de resistencia a compresión si $L/d < 20$.

Elasticidad

Frente a los valores del módulo de elasticidad de la madera -siendo el esfuerzo paralelo a las fibras, en la dirección axial- citados como usuales en la bibliografía, del orden de 80000 a 120000 k/cm², los encontrados (39000 k/cm² para el *Eucalyptus globulus* y 15000 k/cm² para el *Pinus radiata*) resultan muy disminuidos, debido sin duda al grado de humedad. Pero incluso un texto (VIGNOTE PEÑA, PERAZA SANCHEZ & PEREZAGUA LOPEZ, 1983) cita para la madera en verde (W = 35 %) *Pinus radiata* como valor mínimo 15000 k/cm², el valor promedio antes mencionado.

Aplicaciones prácticas.

No es posible determinar de modo operativo la humedad de la madera de mina, ni con los xilohigrómetros ni midiendo directamente la resistencia de la madera, por no haber relación entre ésta y la humedad a más del 40 % de humedad.

El determinar la humedad por desecación al estado anhidro no aporta conocimientos sobre la resistencia a compresión o la dureza puesto que ambas propiedades son independientes con respecto a la humedad, para la gama de valores que ésta presenta en la madera de mina.

Ya que tanto la dureza (o dificultad para el trabajo de la madera) como la resistencia a compresión (valor básico de la madera) no dependen de la humedad, es conveniente que ésta disminuya para facilitar su empleo en la mina -al reducir su peso específico. Pero esto considerando que:

En lo que respecta al *Eucalyptus globulus*, si la humedad alcanza un 60 %, se inutiliza la madera, para lo cual no ha de permanecer almacenado más de dos meses.

En lo que respecta al *Pinus radiata* -y al *Pinus pinaster*-, un almacenamiento de más de cinco meses puede originar alteraciones en la madera.

No parece que el pelado del pino mejore significativamente sus propiedades mecánicas, aunque puede aumentar en algún tiempo su período de almacenamiento.

El *Pinus pinaster* presenta mejores características resistentes que el *Pinus radiata*, el cual además es más propenso a alterarse y posee más irregularidades. Es recomendable emplear primero, tras secado, en trabajos de responsabilidad (como mampostería) y reservar el segundo a misiones secundarias (p.e. puntos)