

PROYECTO FINAL DE CARRERA DE INGENIERÍA DE MONTES. ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRARIA DE LLEIDA. UNIVERSIDAD DE  
LLEIDA.

**Caracterización mecánica de rollizos de  
sabina (*Juniperus thurifera* L.) de Castilla y  
León. Prueba de clasificación visual y  
evaluación mediante resonancia.**

ALUMNO: JOSÉ LUIS VILLANUEVA HERNÁNDEZ

TUTOR: ANTONIO VILLASANTE PLÁGARO

COTUTOR: DOLORES GARCÍA GONZÁLEZ

**Noviembre de 2009**

## INDICE:

1 INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 ANTECEDENTES.....	5
3.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y ECOLÓGICA.....	5
3.2. PROCESO DE NORMALIZACIÓN DE PRODUCTOS ESTRUCTURALES DE MADERA.....	10
3.3. DIFERENTES PRODUCTOS DE MADERA ESTRUCTURAL.....	12
3.4. MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS DE DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.....	13
3.5. MÉTODOS ACÚSTICOS (ONDA DE CHOQUE).....	13
4. MATERIALES Y METODOS.....	15
4.1. MUESTRO Y DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL.....	15
4.2. APEO, TRANSPORTE Y ACONDICIONADO.....	17
4.3. DIMENSIONADO, PESADO, CUBICADO Y CALCULO DE DENSIDAD REAL DE LOS ROLLIZOS:.....	18
4.4. ENSAYO DE ONDA DE CHOQUE.....	21
4.5. CLASIFICACIÓN VISUAL DEL ROLLIZO.....	22
4.6. DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES CLASES VISUALES DE CALIDAD.....	24
4.7. ENSAYO MECÁNICO DE FLEXIÓN:.....	25
4.7.1. Módulo de elasticidad global:.....	26
4.7.2. Módulo de rotura a flexión:.....	31
4.8. ANÁLISIS VISUAL DE LA SECCIÓN DE ROTURA.....	32
4.9. EXTRACCIÓN DE RODAJA, DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD.....	32
4.10. ASIGNACIÓN DE CLASES RESISTENTES.....	33
4.11. MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	34
5. ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO.....	35
5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:.....	35
5.2. CLASIFICACIÓN VISUAL.....	38
5.3. DIFERENCIAS ENTRE LAS DIFERENTES REGIONES ECOFISIOLÓGICAS DE PROCEDENCIA.....	40
5.4. TÉCNICA DE FRECUENCIA DE RESONANCIA.....	44
6. CONCLUSIONES.....	49
7. BIBLIOGRAFIA.....	50
8.- ANEXOS.....	54
8.1. ANEXO I: ESTADILLO DE TOMA DE DATOS.....	54
8.2. ANEXO II: EJEMPLO DE DATOS DE ENSAYO.....	55
8.3. ANEXO III: MÓDULOS DE ELASTICIDAD CALCULADOS MEDIANTE EL TEOREMA DE VIGA CONJUGADA...	58

## INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y FOTOS:

FOTO 1: CONO FLORÍFERO MASCULINO	FOTO 2: GÁLBULO DE JUNIPERUS THURIFERA.....	6
FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE JUNIPERUS THURIFERA .....		8
FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN DE JUNIPERUS THURIFERA L. EN CASTILLA Y LEÓN (FUENTE: MAPA FORESTAL DE ESPAÑA). .....		15
FOTO 3: MATERIAL DE ENSAYO RASTRELADO PARA SU SECADO Y ACONDICIONADO .....		16
FIGURA 3: ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES MEDIDAS EN CADA ROLLIZO.....		18
FOTO 4: PESADA DE UNO DE LOS ROLLIZOS.....		19
FIGURA 4. ECUACIÓN DE PERFIL DE UN ROLLIZO.....		20
FIGURA 5: EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA. ....		22
FIGURA 6: SECCIÓN CON LOBULACIÓN Y MEDICIÓN DE LA MISMA. ....		23
TABLA 1: CLASES VISUALES DE ROLLIZOS SEGÚN DIN 4074.....		24
TABLA 2: CLASES VISUALES PROPUESTAS. ....		24
FOTO 5: CUÑAS DE REBOLLO ADAPTADAS AL PERFIL DEL ROLLIZO.....		25
FOTO 6: ENSAYO MECÁNICO A FLEXIÓN .....		26
FIGURA 7: ESQUEMA DE ENSAYO MECÁNICO A FLEXIÓN.....		27
FIGURA 8: DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE CARGAS EN LA VIGA CONJUGADA.....		28
FIGURA 9: DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA VIGA CONJUGADA DEL ROLLIZO SO-363-04.....		29
FIGURA 10: DIVISIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN POLÍGONOS. ....		30
FOTO 7: EXTRACCIÓN DE RODAJA EN UNO DE LOS ROLLIZOS. ....		33
TABLA 3: ESTADÍSTICOS DE CENTRALIDAD Y DISPERSIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS DE LA MUESTRA. ...		35
FIGURA 11: HISTOGRAMA Y FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN PARA LA VARIABLE PERÍMETRO EN EL CENTRO DEL ROLLIZO. ....		36
FIGURA 12: HISTOGRAMA Y FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN PARA LA VARIABLE CONICIDAD.....		36
FIGURA 13: HISTOGRAMA Y FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN PARA LA VARIABLE DENSIDAD.....		37
FIGURA 14: HISTOGRAMA Y FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN PARA LA VARIABLE TAMAÑO DEL NUDO EN RELACIÓN AL PERÍMETRO .....		37
TABLA 4: VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA TODA LA MUESTRA DE ROLLIZOS DE SABINA.....		38
TABLA 5: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA LAS CLASES OBTENIDAS SIGUIENDO LA NORMA DIN 4074 .38		
TABLA 6: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA LAS CLASES VISUALES PROPUESTAS. ....		39
TABLA 7: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA LAS DIFERENTES REGIONES DE PROCEDENCIA.....		40
TABLA 8: VALORES DE RESISTENCIA A FLEXIÓN N/MM <sup>2</sup> SEGÚN LAS REGIONES DE PROCEDENCIA. ....		40
FIGURA 15: GRÁFICO DE CAJAS-BIGOTE Y DE DISPERSIÓN DE LOS MORS DE LAS DIFERENTES REGIONES ECOFISIGRÁFICAS. ....		41
TABLA 9: VALORES DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD N/MM <sup>2</sup> SEGÚN REGIONES DE PROCEDENCIA. ....		41
FIGURA 16: GRÁFICO DE CAJAS-BIGOTE Y DE DISPERSIÓN DE LOS MOE ESTÁTICOS DE LAS DIFERENTES REGIONES ECOFISIGRÁFICAS.....		42

TABLA 10: VALORES DE DENSIDADES DE LA MADERA DE ROLLIZO, SEGÚN REGIONES DE PROCEDENCIA .....	42
FIGURA 17: GRAFICO DE CAJAS-BIGOTE Y DE DISPERSIÓN DE LAS DENSIDADES DE LOS ROLLIZOS SEGÚN REGIONES ECOFISIGRÁFICAS DE PROCEDENCIA.....	43
TABLA 11: COMPARACIÓN DEL MOE ESTÁTICO Y DINÁMICO.....	44
FIGURA 18: HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO .....	44
FIGURA 19: HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO .....	45
FIGURA 20: REGRESIÓN ENTRE LOS MOES DINÁMICO Y ESTÁTICO .....	45
FIGURA 21: GRAFICO DE VALORES OBSERVADOS FRENTE A PREDICHOS POR EL MODELO PROPUESTO..	46
FIGURA 22: GRAFICO DE RESIDUOS PARA EL MODELO PROPUESTO .....	47
FIGURA 23: GRAFICO DE VALORES OBSERVADOS FRENTE A PREDICHOS DEL MODELO PROPUESTO .....	48
FIGURA 24: GRAFICO DE RESIDUOS PARA EL MODELO PROPUESTO .....	48

Dedicado a mi abuelo Ángel.

### **AGRADECMIENTOS.**

Deseo agradecer a los directores del proyecto final de carrera Antonio y Loli el tiempo y la ayuda que me ha prestado para la realización de este trabajo. De una forma especial quiero agradecer a Rafa Díez toda la ayuda prestada guiándome en la realización de los ensayos, así como todos los conocimientos que me ha transmitido del mundo de la madera.

## 1 INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

La especie humana lleva desde la prehistoria utilizando la piedra, la tierra y la madera para sus construcciones. Las nuevas tecnologías que utilizan el acero y el hormigón han dejado relegados a los materiales “antiguos” a un segundo plano sin pararse a pensar en los aspectos de complementariedad entre todos ellos.

La brillantez de los resultados de los nuevos materiales, la falta de normativa escrita y la inadecuada utilización de la madera en habitáculos reconstruidos tras la guerra civil ocasionaron que este material cayera en desuso también en España.

Sin embargo la madera ha seguido disfrutando de algunos aliados fieles. De una parte los usos tradicionales de zonas rurales deprimidas y aisladas, en algunas de las cuales la sabina está muy presente, sobre todo el mantenimiento de la madera como solución constructiva habitual en las casas familiares del centro y norte de Europa.

Una de las variadas zonas rurales deprimidas podemos encontrarla tomando como centro geográfico la unión de las cuencas del Duero, Ebro y Tajo. Trazando un círculo de unos 100 km, encontramos comarcas de Segovia, Burgos, Soria, Zaragoza, Teruel, Cuenca y Guadalajara. Son territorios con una altitud que supera habitualmente los 1000 m de clima continental extremado, con fuerte sequía estival y terrenos predominantemente calizos. En estas comarcas se ha hecho un aprovechamiento exhaustivo de la sabina (*Juniperus thurifera* L.), de ella se obtenía: camas para el ganado, cobertura de tejados, combustible y material para estructuras.

Aunque la sabina ha sido empleada tradicionalmente en estructuras es necesario adecuar este producto a la normativa vigente. En el caso de la construcción está en vigor el Código Técnico de la Edificación, basado principalmente en el Eurocódigo 5. En el Código Técnico de la Edificación se da bastante importancia a la madera, ya que este material consta por sus particularidades de un documento propio dentro del Código: DB-SE-M (documento básico de seguridad estructural para madera).

Muy unido a estas nuevas normativas hay un concepto fundamental que es el de **calidad**, entendida ésta, en el caso de madera como la capacidad del material de satisfacer las garantías de seguridad y durabilidad. El Código Técnico de la Edificación obliga a comercializar productos que cumplan las normas exigidas en el mercado.

La clasificación de madera estructural según las cualidades visuales de lotes homogéneos, (que se desarrolla parcialmente en este trabajo), es una de las herramientas

que se utiliza para solventar la discrepancia existente entre la variabilidad de los productos naturales (madera) y la uniformidad que el mercado demanda. Más aun, este tipo de trabajos es una exigencia de la UE a través del Código Técnico de la Edificación.

La determinación de las propiedades estructurales de las diferentes especies y productos forestales de Europa se definen siguiendo los protocolos de trabajo definidos por el Comité Técnico CEN TC 124, el competente en materia normalizadora de productos destinados al mercado estructural incluido entre los del Comité Europeo de Normalización.

Teniendo en cuenta todos estos conceptos y sabiendo además que la sabina *Juniperus thurifera* L., carece de cualquier estudio que garantice sus características estructurales trabajando como rollizo, se justifica la necesidad de realizar este trabajo para poder adecuar este producto a los requerimientos tanto de normativa como de mercado.

Actualmente en nuestro país no existe ninguna norma de clasificación de rollizo estructural de madera, de ahí también la importancia de trabajos como este.

Por otro lado las técnicas no destructivas de evaluación de las propiedades mecánicas de la madera están experimentando un creciente desarrollo. En España estas técnicas han sido evaluadas para algunas especies de pinos y siempre en madera escuadrada, pero no se ha realizado ningún estudio de estas técnicas sobre rollizo de sabina.

Este trabajo pretende, ensayar la técnica de *onda de choque* en rollizo de sabina, para comprobar su fiabilidad y queda justificado desde los siguientes puntos de vista:

- Necesidad de caracterizar mecánicamente la madera de sabina con el fin de dar un valor añadido a esta madera, que permita a arquitectos e ingenieros poder disponer de una información técnica para el uso de esta madera, lo que a su vez potenciaría el aprovechamiento de sabinares y permita cierto desarrollo de algunas comarcas.
  
- Aportar un trabajo realizado sobre rollizo que sirva de base para poder completar el Código Técnico de la Edificación en lo referente al apartado 4 de DB-SE-M, (materiales de madera) pudiendo incluir el rollizo de madera como producto estructural.

- Aportar un conocimiento base del comportamiento estructural de la madera trabajando como rollizo y analizar el efecto de las diferentes particularidades mecánicas del mismo.
- Ampliar el conocimiento sobre una técnica no destructiva “Resonancia por onda de choque”, no probada para rollizo de sabina y ver sus posibles aplicaciones en el mundo real.

Además de lo expuesto en los puntos anteriores, el presente trabajo de investigación se considera también oportuno, ya que se está realizando actualmente el proceso de implantación de toda la normativa de construcción en madera, especialmente del mercado CE para madera estructural de obligatorio cumplimiento.



## 2 OBJETIVOS.

La finalidad fundamental de este trabajo es caracterizar mecánicamente la madera de rollizo de sabina, tal como se ha utilizado este producto en las estructuras tradicionales. Esta finalidad la podemos sintetizar en los siguientes objetivos específicos:

- Obtener una caracterización mecánica del material.
- Buscar y definir una clasificación visual sencilla para este material.
- Establecer la validez del método de *onda de choque* como estimador de los parámetros mecánicos.

### 3 ANTECEDENTES.

#### 3.1. Descripción botánica y ecológica.

*Juniperus thurifera* L. se encuadra dentro de la división *Gymnosperma*, clase *Coniferopsida*, orden *Coniferales*, familia *Cupresaceae*, tribu *Cupresinas*, en la subfamilia *Juniperoideae*. Forma la sección Sabina del género *Juniperus* con *Juniperus sabina* L. y *Juniperus phoenicea* L. Tiene varios sinónimos, *Juniperus hispánica* Lamk, *Juniperus hispánica* Mill y *Juniperus sabinoides* Endl, y en parte *Sabina thurifera* Ant.

En gran parte de España (Soria, Burgos, Segovia, Valladolid, Palencia, León, Madrid, Norte de Guadalajara y Aragón hasta Teruel) se denomina con el nombre de enebro y esta es la acepción que queda recogida en el primer Diccionario de la Real Academia Española. El término sabina, nombre común aceptado actualmente es muy posterior al de enebro y de origen puntual (Serranía de Cuenca) (ORIA DE RUEDA, 1996). Otros muchos nombres que recibe son los siguientes: sabina roma, enebro de España, cedro de España, trabina, jabino, sabina blanca, sabina albarra, tejo y nebreda.

La sabina es un árbol resinoso siempre verde, de mediana talla, generalmente bajo y recio, con altura de 5 a 10 metros llegando alcanzar 20 metros cuando es respetado desde su juventud. Su sistema radical es muy poderoso y desarrollado en profundidad y en proyección horizontal. Posee un tronco grueso, de hasta 1 metro de diámetro, excepcionalmente de hasta 5 metros, muy cónico en los pies añosos, cilíndrico cuando vive mezclado en masas espesas de pinos o cedros o en algún rodal puro; corteza pardusca o grisácea, de poco grosor, que se desprende en tiras delgadas. Copa verde muy oscura o glauca, muy ramificada y densa, cónica en los jóvenes, regularmente redondeada en los árboles viejos, piramidal en espesura; muy irregular, baja y ancha cuando ha sido mutilada y desmochada, tomando en conjunto la forma de una gran seta. (CEBALLOS y RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Sus ramas principales son muy gruesas y patentes. Ramillas erectas, con los ramillos ojerosos dispuestos en plano, lo que da al árbol una fisonomía característica. (CEBALLOS y RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Las hojas adultas son escuamiformes de 1,3 a 2 centímetros de longitud, con el ápice sutilmente divergente del eje de la rama. Los conos floríferos masculinos son de color amarillo (Foto 1). Los femeninos verdes y poco aparentes, asemejan una rosetilla de escamas algo más alargadas de las hojas. Los árcectides tienen color azulado en la madurez y son más o menos pruinosos; llevan dos a cuatro semillas (GALAN [et al.], 1.998). Florece en primavera y los gálbulos están maduros en el otoño o invierno siguiente. (CEBALLOS y RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Los gálbulos (foto 2) se disponen solitarios, erectos u horizontales sobre ramillos cortos. La forma es redonda o algo ovalada, globosa y subglobosa, midiendo de 8 a 10 mm (LAGUNA, 1983). Al principio los gálbulos son de color verde-glaucoso y al madurar van tornando a azul oscuro, pardo azulado, pardo negruzco, oscuro-rojizo y púrpura oscuro, según el grado de maduración, la peculiaridad individual del ejemplar y la apreciación personal del observador. Están recubiertos de una sustancia pruinosa, especialmente cuando se encuentra en proceso de maduración, que le da un matiz peculiar, algo glauco (CHARCO, 2001). Está formado por 4-6 escamas soldadas, opuestas en aspa, con pulpa carnososa, sin fibras (RUIZ DE LA TORRE, 1979). Estas escamas provienen de las escamas seminíferas que contienen los rudimentos seminales (COSTA [et al.], 1.998).



*Foto 1: Cono florífero masculino de Juniperus thurifera. (Fuente Cesefor).*



*Foto 2: Gábululo de Juniperus thurifera (Fuente Cesefor).*

La sabina es una especie de gran rusticidad y temperamento austero que extiende su área de distribución a zonas afectadas por una acentuada continentalidad, por lo que es una especie bien adaptada a los intensos fríos invernales, a las altas temperaturas estivales e incluso a heladas esporádicas en primavera y otoño. El intervalo térmico anual es muy amplio, soportando mínimas de  $-25^{\circ}\text{C}$  en invierno a máximas de  $40^{\circ}\text{C}$  en los calurosos veranos. Aprovecha las escasas precipitaciones que se distribuyen irregularmente durante todo al año, pudiendo soportar largos periodos de sequía (en Soria, por ejemplo, no alcanzan los 200 mm de mayo a agosto). Como afirma OROZCO (1999) en su tesis doctoral: *la sabina albar es una de las especies arbóreas más singulares de España. El valor ecológico de sus masas es muy elevado: singularidad biogeográfica, estructura abierta de sus deformaciones, ocupan lugares que suelen ser hostiles para la vegetación arbórea, con crecimientos muy lentos, la germinación de las semillas es dificultosa y su regeneración natural presenta problemas.*

Presenta un marcado carácter heliófilo, manifestado, tanto en estados juveniles o adultos. Es verdad, sin embargo, que en estado de plántula puede resistir cierta sombra pero el sol le es imprescindible para seguir medrando. Esta heliofilia es la causante de la retirada de la sabina cuando entra en competencia con diferentes frondosas, por el contrario el sistema radical de *Juniperus thurifera* penetra con vigor en los sustratos más variados y es especialmente llamativo ver como ahonda sus raíces en litosuelos calizos, calizas karstificadas, roquedos, donde muy pocas especies arbóreas (o ninguna lo hacen). Resiste los incendios pero es difícil que rebrote de cepa. (GÓMEZ MANZANEQUE, 1991).

El sabinar es uno de los bosques más genuinos de la Península Ibérica, pudiéndose encontrar únicamente fuera de ella formaciones en noroeste de África (Argelia y especialmente en Marruecos, con extensas e importantes masas en el Gran Atlas y Atlas Medio), los Alpes, Pirineos franceses y en Córcega (ver figura 1).

En la península habita fundamentalmente en las altas mesetas y páramos pudiendo decirse que su área de distribución es un arco que se extiende desde la montaña leonesa a la Sierra de la Sagra, pasando por el Sistema Ibérico (donde se encuentran los mejores enebrales), llegando por levante hasta el Rincón de Ademuz y la

Sierra de Javalambre. En Venialbo (Zamora) se encuentra la masa más occidental de la Península Ibérica (ESCUADERO, DEL ARCO, 1986).

La encontramos salpicada formando rodales puros o mixtos (mezclado especialmente con *Quercus* y *Pinus*) en Soria, Burgos, Palencia, Guadalajara, Teruel y Cuenca y de forma menos importante en Navarra, Valencia, Albacete, Zaragoza, Segovia y León (Figura 2). Los sabinares puros más importantes, Calatañazor, Iruécha, Judes (de Soria) se encuentran con condiciones climáticas no tan severas y suelos relativamente más profundos, pero la sabina forma masas puras generalmente en lugares donde la dureza de la estación elimina la competencia de otras especies (generalmente se encuentra en los páramos). Al descender en altura esta dureza disminuye: es allí donde la sabina se mezcla con pinos y encinas. Se entremezcla más frecuentemente con *Quercus ilex* ssp. *rotundifolia* Schwarz ex T. Morais (encina), seguido de *Quercus faginea* ssp. *faginea* (quejigo), *Pinus pinaster* Aiton (pino resinero) y *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco. En menor medida puede también encontrarse íntimamente mezclado con otros pinos, ya sea silvestre (*Pinus sylvestris* L.), carrasco (*Pinus halepensis* Miller) o piñonero (*Pinus pinea* L.) y también con el roble melojo (*Quercus pyrenaica* Willd.).

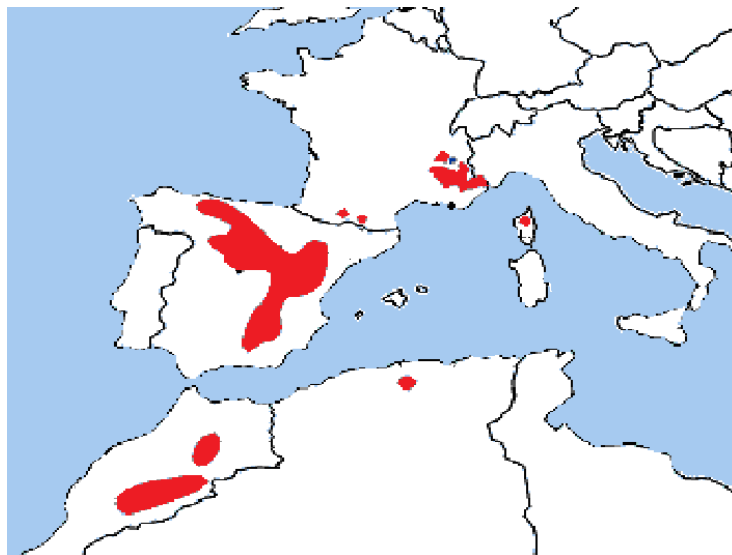


Figura 1: Distribución mundial de *Juniperus thurifera*. (Fuente: elaboración propia).

El catálogo florístico de los sabinares está compuesto por 762 táxones de plantas vasculares (363 géneros distintos) que pertenecen a 75 familias distintas. Podemos destacar *Juniperus communis* L., *Juniperus phoenicea* L., *Rosa canina* L., *Lavandula latifolia* Medic., *Prunus spinosa* L. y *Thymus zygis* Loeffl. ex L. (MARGARITA COSTA [et al.], 1993).

Entre la fauna más destacada cabe citar las perdices, las liebres y los conejos, el águila real, el buitre leonado y el zorzal charlo. En las copas más densas de las grandes sabinas crían verdecillos, reyezuelos, currucas, palomas torcaces, cuervos, picarazas o urracas y rabilargos, así como ratoneros y azores (ORIA DE RUEDA, 1996).

La mayoría de los sabinares sorianos están asentados sobre calizas cretácicas, en suelos de poco espesor, mal estructurados, con horizonte superior de acumulación de restos vegetales sin transformar y proporciones de materia orgánica elevadas. La reacción es alcalina y la relación C/N indica una buena humificación en los suelos no antropizados. Sin embargo, esto no implica una preferencia de la especie por este tipo de sustrato sino que la coincidencia de dicha litología y las condiciones climáticas anteriormente expuestas bajo las que vive, condicionan esta preponderancia de los sabinares calizos (PÉREZ, 1999).

Son variadas las utilidades que desde siempre se ha dado a la madera de sabina entre las cuales están su utilización como postes en cerramientos, porches de decoración rústica, decoración, frisos, aperos de labranza, apeas para minas, parquet, escultura, ebanistería fina, tornería, lapiceros. Otros subproductos del sabinar son pastos, hongos, recursos cinegéticos y plantas aromáticas. Por último el fruto, además de alimento para el ganado, antiguamente se usaba para la destilación de ginebra (LUCAS, 1997).

Hay que destacar las sustancias de impregnación que contiene y a las que debe su nombre (portadora de incienso) las cuales confieren su carácter de imputrescible e inatacable por los insectos, hasta el punto de que en Soria y Cuenca los armarios roperos son chapados interiormente para repeler el ataque de polillas y otros insectos. Su propiedad de imputrescible la hace utilizable en carpintería exterior aunque no tiene un carácter industrial. Al arder desprende un olor enervante, muy intenso (GARCÍA Y GUINDEO, 1988).

### ***3.2. Proceso de normalización de productos estructurales de madera.***

El concepto de calidad cada vez más presente en el mundo de la madera estructural, especialmente en la normativa, obliga a la normalización y caracterización de los productos. Las normas que marcan el proceso a seguir para caracterizar una madera son la UNE-EN 384 “Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad.” y UNE-EN 408 “Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas” redactadas por el comité CEN TC 124.

Se entiende por caracterización mecánica, la determinación de una serie de propiedades del material relacionadas con su comportamiento estructural. Debido a la gran variabilidad de la madera en sus propiedades, para caracterizar el material se utiliza la agrupación en clases resistentes. Para poder asignar una clase resistente a un grupo es necesario determinar estas tres propiedades mecánicas mediante ensayo:

- Resistencia a flexión.
- Módulo de elasticidad longitudinal en flexión.
- Densidad.

A partir de estas tres propiedades y asignada una clase resistente al grupo se pueden determinar las siguientes propiedades mecánicas para ese grupo, empleando formulas establecidas en la normativa UNE-EN 384:

- Resistencia a tracción en dirección paralela a la fibra.
- Resistencia a tracción en dirección perpendicular a la fibra.
- Resistencia a compresión en dirección paralela a la fibra.
- Resistencia a compresión en dirección perpendicular a la fibra.
- Resistencia al esfuerzo cortante en dirección paralela a la fibra.
- Módulo de elasticidad transversal.

Todas estas propiedades son determinadas de forma directa o indirecta en el proceso de caracterización y vienen recogidas en la norma UNE-EN 338 “Madera estructural. Clases resistentes.”

El proceso de caracterización estructural consta de las siguientes fases:

- Un estado miembro de la UE (o con relaciones comerciales con ella) encarga a sus investigadores que se ocupen de la caracterización de una determinada especie, bien para todos los productos estructurales posibles, bien para los de mayor importancia comercial.
- A día de hoy, el Estado Español ha presentado ante la UE datos oficiales de las siguientes especies: *Pinus sylvestris* (HERMOSO, 2003), *P. nigra* (CONDE, 2003), *P. pinaster* (MARTINEZ,1992), *P. radiata* (CON03-001) y *Eucalyptus globulus* (CON02-035). Los productos “avalados por la UE” dentro de este conjunto de especies, son vigas de sección comprendidas entre 10x4 cm y 20x7 cm. En estos momentos diversos equipos de investigación trabajan en la caracterización de vigas de grandes escuadrías.
- Tomada la decisión de efectuar una caracterización, se procede a hacer un reconocimiento de las diversas regiones de procedencia de la especie. El TC 124 exige efectuar un número mínimo de muestreos (representativos e insesgados) que deben incluir un número mínimo de piezas del material en estudio o sufrir penalizaciones severas EN 384.
- Una vez apeados los árboles a partir de los cuales se obtiene las piezas de ensayo, se ejecuta el habitual procesamiento (desrame, transporte a aserradero, tronzado y aserrado) poniendo especial cuidado en emplear los métodos habituales de trabajo. Es importante esta normalidad en la forma de trabajar ya que se pretende estudiar el material tal y como se comercializa en los mercados.
- Una vez finalizados los procesos en el aserradero, el material de ensayo es transportado a un laboratorio de ensayos estructurales, donde se efectúan las siguientes operaciones:
  - o Clasificación visual del material. Esta fase es necesaria para poder hacer grupos según las características visuales homogéneas y necesario también para poder elaborar normas de clasificación visual.
  - o Estimación de la densidad media y característica del material.
  - o Estimación de los módulos de elasticidad (MOE) y de rotura (MOR), utilizando habitualmente los protocolos de la EN 408 para vigas paralelepípedas y EN 14251 para rollizos torneados o no.



- Utilizando el valor medio del MOE, el valor característico de la densidad y el percentil quinto del MOR se establece la caracterización para el conjunto del material según lo establecido en las normas EN 384 y EN 338.

### ***3.3. Diferentes productos de madera estructural.***

Los siguientes productos estructurales que actualmente encontramos en el mercado de menor a mayor elaboración son los siguientes:

- 1- Rollizos descortezados o sin descortezar: se obtienen de diámetros normalmente menores de 20 centímetros como aprovechamiento de madera de escaso valor inicial. Son piezas procedentes normalmente de claras o puntas delgadas de pies cortados en el turno de corta. Ejemplos de su utilización son: sabina para construcción típica ibicenca, construcciones ganaderas clásicas y postes.
- 2- Rollizos torneados normalmente impregnados: al igual que los anteriores se obtienen de trozas de escaso valor comercial procedente de claras y puntas delgadas. Se emplean principalmente en construcción de viviendas, realización de parques infantiles y cercas.
- 3- Madera de sierra (vigas, tablones, tabla): son piezas paralelepípedas de longitudes y secciones variables, pero constantes dentro de cada partida. Sus dimensiones van desde (2x10x100 al 60x40x1000) cm, dependiendo del uso de la especie. Podemos distinguir:
  - a. Frisos y tarimas para suelos y revestimientos.
  - b. Tabla empleada en cubiertas y forjados.
  - c. Tablón para estructuras cuando tienen cierta calidad.
  - d. Vigas para decoración y estructuras.
- 4- Tablero contrachapado: se fabrica a partir de láminas de madera de muy buena calidad encoladas. Se emplea en cubiertas y en estructuras para arriostrar.
- 5- Madera laminada encolada: fabricada a partir de madera de sierra con nudos de tamaño pequeño, sin gema ni fendas. Las láminas se unen mediante cola para asegurar su unión. Se emplea en estructuras de construcciones tales como puentes, naves, viseras de estadios deportivos, piscinas, pabellones, y viviendas.

- 6- Vigas mixtas: son vigas que se fabrican con la utilización simultánea de madera con aluminio, acero, tableros, hormigón, etc. Se emplea en la construcción de estructuras.

### ***3.4. Métodos no destructivos de determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.***

En los últimos años se han desarrollado varios métodos no destructivos para estimar alguna o varias propiedades mecánicas de la madera. Podemos clasificar los métodos no destructivos en función de la naturaleza de la técnica en la que se basa, considerando los siguientes:

- Métodos mecánicos: se basan en medir la deformación de una pieza, para una carga determinada, sin llegar en ningún caso a la rotura. También son mecánicos el método que mide la fuerza de arranque de un tornillo, o el que mide la penetración de una punta para una determinada fuerza.
- Métodos acústicos: basados en el estudio de la velocidad de propagación del sonido dentro del material, tenemos diferentes métodos en función de la longitud de onda (ultrasonidos, Onda de choque). Se detallan en el punto 3.5.
- Métodos electromagnéticos: basados en el empleo de campos magnéticos o corrientes eléctricas, (xilohigrometros de resistencia eléctrica, microondas, termografía).
- Métodos nucleares: emplean rayos X, rayos Gamma y resonancias magnéticas.
- Clasificación visual: consiste en asignar una clase resistente a una pieza de madera en función de sus características visuales, como se explica en 3.2.

### ***3.5. Métodos acústicos (Onda de choque).***

Los métodos acústicos pueden ser diferentes en función de la fuente del impulso, la configuración del ensayo, características de respuesta de medida o en la forma de procesar la señal recibida. A continuación se explica los fundamentos básicos para entender este tipo de metodologías.

En cualquier medio sólido y elástico que es perturbado por una carga dinámica o vibratoria se producen tres tipos de ondas:

- Ondas longitudinales o de compresión también llamadas ondas P.
- Ondas transversales o de cortante llamadas S.
- Ondas de superficie llamadas Rayleigh.

Las P y S se caracterizan por la dirección del movimiento de las partículas del medio, siendo en las P, paralela a la dirección de propagación y en las S perpendicular. Las Ondas P se asocian a tensiones normales y las S a tensiones tangenciales. Por su parte las Onda Rayleigh se propagan a lo largo de un medio sólido y el movimiento de las partículas es elíptico (MALHORTA [et al.], 2003).

Los frentes de onda de cada uno de los tipos descritos son diferentes y, a la vez, dependen de la fuente utilizada para generar el impulso. La velocidad de propagación también es diferente, siendo las ondas P las más rápidas y las Rayleigh las más lentas. La velocidad particular de cada onda depende de las propiedades elásticas y de densidad del medio.

La velocidad de propagación de las ondas P en medios sólidos infinitos y elásticos se calcula a partir de la siguiente expresión (GRAFF, 1991):

$$V_p = \sqrt{\frac{E \times (1 - \nu)}{\rho \times (1 + \nu) \times (1 - 2\nu)}}$$

$V_p$  – Velocidad de propagación (m/s).

$E$  – Módulo de elasticidad longitudinal dinámico.

$\nu$  – Es el coeficiente de Poisson.

$\rho$  - Densidad.

## 4. MATERIALES Y METODOS.

### 4.1. Muestro y descripción del material.

La población que se pretende estudiar es la de *Juniperus thurifera* de Castilla y León, para establecer un muestreo representativo se establecieron 17 parcelas. Estas se eligieron tomando como base la distribución de la especie en Castilla y León según el mapa forestal de España (RUIZ DE LA TORRE, 1990), la tipificación de los sabinares en castilla y león (CABRERIZO, [et al.], 2006), el segundo inventario forestal nacional (MAPA, 1994) y la estratificación ecológica de los sabinares castellano-leoneses (ALONSO PONCE, 2001). En esta fase se ha contado con el apoyo del DIF Valonsadero y de las distintas secciones territoriales de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Castilla y León) implicadas en la gestión forestal.

Según la estratificación ecológica de la especie existen 5 estratos diferentes (ALONSO PONCE, 2001). Como criterio se decidió establecer al menos tres parcelas por estrato. El resto de parcelas se eligieron para completar los diferentes tipos estructurales de Castilla y León (CABRERIZO, [et al.], 2006). Dentro de los criterios comentados el reparto de parcelas fue homogéneo en su distribución.

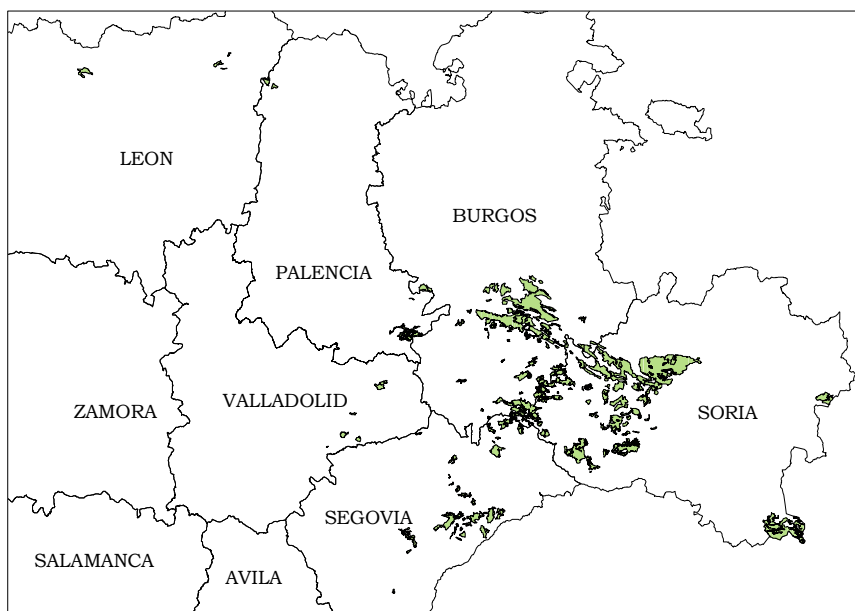


Figura 2: Distribución de *Juniperus thurifera* L. en Castilla y León (Fuente: mapa forestal de España).

La Norma UNE-EN 384 prevé coeficientes de penalización para los valores característicos de resistencia y elasticidad cuando las muestras son pequeñas y poco numerosas. La causa de que nuestra muestra no llegue al tamaño necesario para evitar la penalización, se debe a que el desarrollo de este trabajo, se considera un estudio parcial a nivel nacional, el cual se deberá completar con muestras procedentes de Aragón y Castilla la Mancha.

Una vez establecidas las parcelas, había que marcar los árboles a extraer para el estudio, únicamente interesaban para tal fin, aquellos susceptibles de ser utilizados en estructuras, por lo tanto a la hora de marcar se realizó una selección atendiendo fundamentalmente al siguiente criterio: fustes rectos, no bifurcados, con diámetros normales comprendidos entre 15 y 30 centímetros, evitando los ramificados desde la base.



*Foto 3: Material de ensayo rastrelado para su secado y acondicionado.*

*(Fuente: elaboración propia).*

#### ***4.2. Apeo, transporte y acondicionado.***

Una vez señalados los pies se contrato el apeo desramado y transporte de los rollizos con la empresa Sociedad Cooperativa Resineros de Soria.

Las trozas se marcaron siguiendo la siguiente sistemática. XX-YYY-ZZ. Donde:

XX- Son las iniciales de la provincia de procedencia, ejemplo: SO (Soria)

YYY- Es el número del monte donde se encuentra la parcela, ejemplo: 097.

ZZ- Es el número árbol apeado dentro de esa parcela, ejemplo: 07

Una vez identificados y marcados se clasificaron en función de su diámetro medio, haciéndose dos clases: fustes cuyo diámetro medio es inferior a 17,5 centímetros y fustes cuyo diámetro medio es superior o igual a 17,5 centímetros. Los de diámetros medios inferiores a 17,5 centímetros se cortaron para dejar una longitud final de rollizo de 300 centímetros, por su parte los que tenían diámetros superiores a 17,5 centímetros se cortaron con una longitud final de 400 centímetros. Estas longitudes se determinan teniendo en cuenta las condiciones de ensayo que marca la Norma UNE-EN 408.

Una vez las trozas quedaron dimensionadas, se procedió a su transporte hasta el Centro de Investigaciones Forestales de Valonsadero, donde se apilaron utilizando rastreles gruesos que favorecían el tránsito de aire y el secado. Las pilas quedaron almacenadas dentro del invernadero que hay en el centro de investigaciones forestales de Valonsadero y periódicamente mediante xilohigrometro de resistencia eléctrica se comprobó la humedad de los rollizos. Se utilizaron puntas de 5 centímetros de longitud para intentar determinar la humedad de la madera lo más profundo posible.

Una vez los rollizos marcaban humedades inferiores al 20% se transportaron al Laboratorio de Cesefor, donde se procedió a los ensayos para determinar las propiedades mecánicas.

#### 4.3. Dimensionado, pesado, cubicado y calculo de densidad real de los rollizos:

DIMENSIONADO: Una vez se encuentran los rollizos en el laboratorio de Cesefor, lo primero que se hizo fue dimensionarlos y pesarlos. Las dimensiones que se mide a cada rollizo son las siguientes, como se puede observar en el croquis:

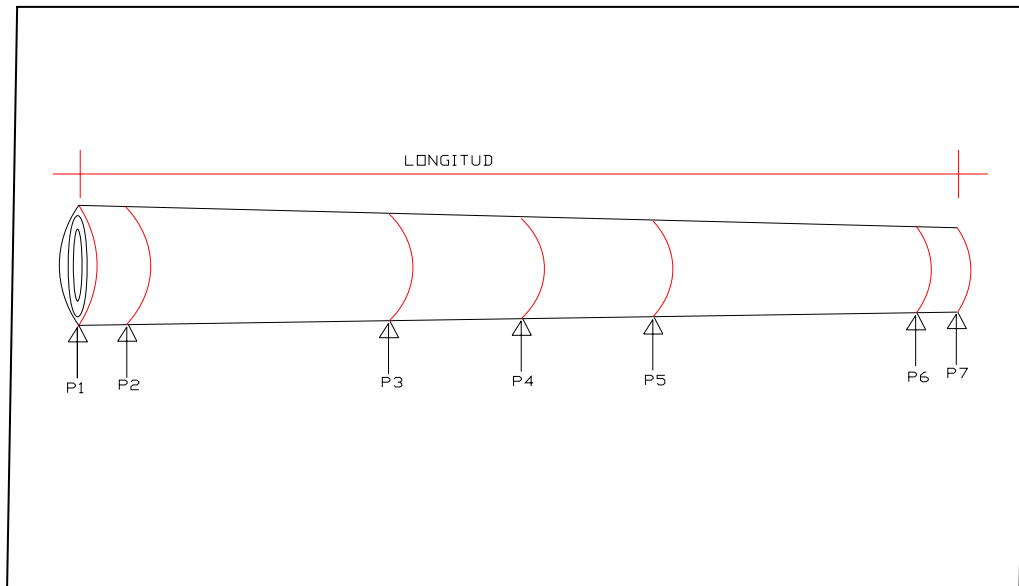


Figura 3: Esquema de las dimensiones medidas en cada rollizo.

- Longitud del rollizo en centímetros.
- P1. Perímetro correspondiente a la punta gruesa del rollizo.
- P2. Perímetro correspondiente al apoyo grueso donde apoyará el rollizo para el ensayo a flexión estática según EN 408
- P3. Perímetro correspondiente a uno de los puntos carga que se realizará en el ensayo de flexión estática según EN 408
- P4. Perímetro correspondiente al centro del rollizo.
- P5. Perímetro correspondiente al otro punto de carga según EN 408
- P6. Perímetro correspondiente al otro punto de apoyo según EN 408
- P7. Perímetro correspondiente a la punta delgada del rollizo.

Para cada dato de perímetro podemos estimar un diámetro aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Diámetro} = \text{Perímetro} / \pi$$

**PESADO:** Se pesaron los rollizos en báscula de 150 kg de capacidad y 100 g de precisión, para ello se coloca el rollizo en su parte central sobre la báscula, asegurando que el único punto de apoyo del rollizo se encuentre encima de la balanza.



*Foto 4: Pesada de uno de los rollizos*

Todos los datos de dimensiones y peso quedan recogidos en estadillo, según ANEXO I.

**CUBICACIÓN:** La cubicación de los rollizos se realizó mediante integración del polinomio, siguiendo la siguiente metodología:

Como se ha visto en el punto anterior se midieron siete perímetros a lo largo de la longitud de cada rollizo, con estos datos se crea una columna en Excel para alturas y otra para radios correspondientes a cada una de esas alturas. A continuación se crea un gráfico de dispersión en el que el **eje x** es la altura del árbol; y el **eje y** corresponde al radio. Una vez se tiene el gráfico de dispersión se agrega una curva de tipo polinómico, Excel da la opción de hacerla hasta de sexto grado, para este estudio solo se ha empleado de 4° grado.



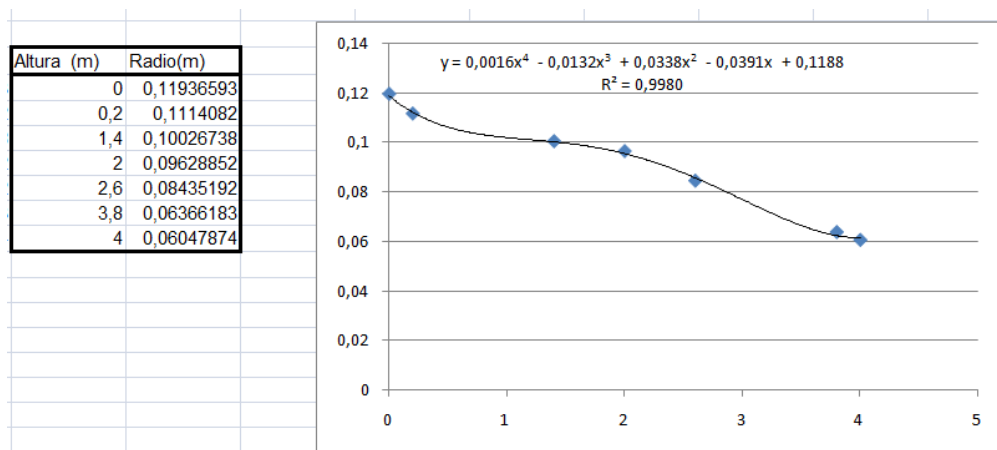


Figura 4. Ecuación de perfil de un rollizo.

El cálculo del volumen de un sólido en revolución es igual a la integral desde cero hasta la altura del fuste de  $2 \cdot \pi \cdot dr^2$  siendo “dr” la ecuación polinómica diferencial.

Sabiendo esto para facilitar el cálculo del volumen en una hoja de Excel, se desarrolló la ecuación polinómica, del siguiente modo:

Para el polinomio:  $Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E$

Su cuadrado es:

$$A^2x^8 + B^2x^6 + C^2x^4 + D^2x^2 + E^2 + 2ABx^7 + 2ACx^6 + 2ADx^5 + 2AEx^4 + 2BCx^5 + 2BDx^4 + 2BEx^3 + 2CDx^3 + 2CEx^2 + 2DEx.$$

Integrando queda:

$$(A^2x^9)/9 + (B^2x^7)/7 + (C^2x^5)/5 + (D^2x^3)/3 + E^2x + (2ABx^8)/8 + (2ACx^7)/7 + (2ADx^6)/6 + (2AEx^5)/5 + (2BCx^6)/6 + (2BDx^5)/5 + (2BEx^4)/4 + (2CDx^4)/4 + (2CEx^3)/3 + (2DEx^2)/2.$$

Por último esta ecuación se automatizó en Excel Para facilitar los cálculos.

Se eligió esta metodología por que fue empleada para cubicar los árboles tipo en el proyecto de ordenación del monte de utilidad pública número 363 “El Enebral” de la provincia de Soria. (FERNANDEZ LANDA, [et al.], 2005). En esa ordenación se

comprobó que la integración del polinomio ofrecía mejores resultados que otras formas de cubicación.

Se eligió un polinomio de cuarto grado por que en todos rollizos la regresión cuartica se ajustaba al perfil del tronco con coeficientes de determinación mayor de 0,95. Se considero que este ajuste era suficientemente bueno para la cubicación de los rollizos.

**CÁLCULO DE LA DENSIDAD:** Se dividió el peso del rollizo por el volumen obtenido integrando el perfil del rollizo.

La densidad se corrige para obtenerla a una referencia del 12% de humedad. La corrección es la descrita en la Norma UNE-EN 384:2004, según la cual se reduce el valor en un 0,5% por cada 1% de disminución del contenido de humedad de la madera.

#### ***4.4. Ensayo de onda de choque.***

Una vez dimensionado el rollizo se coloca sobre dos apoyos rígidos situados en los extremos, estos apoyos en su parte superior tienen unas bandas de vinilo las cuales aseguran la vibración libre del mismo.

A la vez se coloca un micrófono en uno de los extremos. Para este trabajo se ha tomado como criterio colocarlo siempre en el extremo más delgado del rollizo.

Una vez situado el rollizo en su posición se procede al ensayo y se golpea tres veces con un martillo en el extremo opuesto al del micrófono, cada golpeo nos da una lectura de frecuencia en hercios, estas tres frecuencias se apuntan en el estadillo y se calcula una media, que, de igual manera, se registra en el estadillo.

Conocida la frecuencia de vibración longitudinal ( $f$ , en Hz) y la longitud de la pieza ( $L$ , en m) se puede determinar la velocidad de propagación, como:

$$V = 2 \times L \times f \quad (\text{m/s}).$$

#### 4.5. Clasificación visual del rollizo.

En la siguiente etapa se caracteriza visualmente el rollizo de sabina midiendo los siguientes parámetros:

- Porcentaje de duramen: se estima visualmente como la media de los porcentajes de duramen observados tanto en la testa gruesa, como en la testa fina.

$$\% \text{ duramen} = ((\% \text{ Testa gruesa}) + (\% \text{ Testa delgada})) / 2$$

- Dirección general de la fibra: se mide utilizando para ello una regla de un metro y se mide cuantos centímetros se desvía la fibra en 100 centímetros. No es necesario utilizar trazadores ya que el hecho de que la corteza esté presente nos permite identificar la dirección de la fibra. Se toma como referencia una de las tiras de corteza y en ella se mide la desviación en 100 centímetros. Solo se estimó la desviación de la fibra cuando era evidente y estaba claro que no era producida por desviaciones locales, en ocasiones debido a la gran presencia de defectos a lo largo de todo el rollizo, fue imposible determinar cual era la desviación de la fibra general.

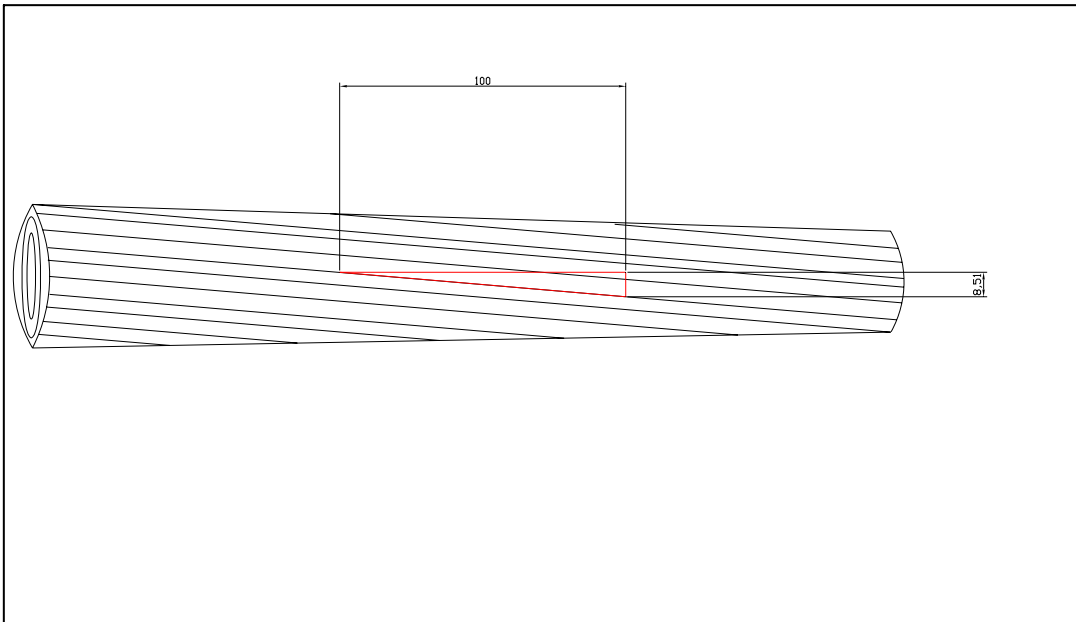
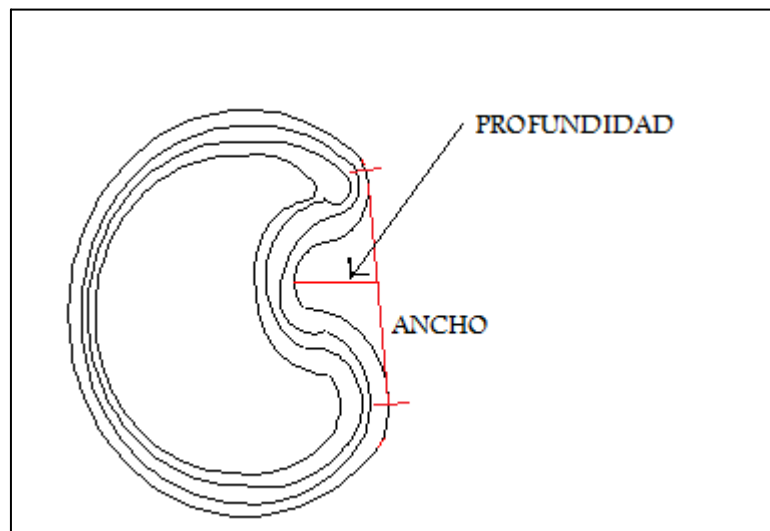


Figura 5: Ejemplo de determinación de la desviación de la fibra.

- Peor sección del tercio central: se estimó visualmente la peor sección del tercio central. Se consideró aquella con mayor número de nudos en su perímetro. En ella se midieron los siguiente parámetros:
  - o Perímetro. se midió con cinta métrica.
  - o Nudos. Se midieron los perímetros correspondiente a los nudos en esa sección. Cuando era necesario se agruparon los nudos, para ello se tomo el criterio de considerar como nudos agrupados, aquellos cuya distancia de centros en sentido longitudinal, era menor que el diámetro correspondiente a esa sección. Se midieron y sumaron todos los diámetros de nudos encontrados en el perímetro de la peor sección estimada. A continuación se calculó la relación entre los nudos y el perímetro de la sección:

$$\text{Relación Nudos} = (\text{Suma nudos}) / (\text{perímetro sección})$$

- o Lobulaciones. La sabina es una especie que genera deformaciones llamadas lobulaciones debido a la salida de ramas, por efecto de heridas o como causa de otras patologías. Estas deformaciones afectan mucho a la forma de la sección. Se midió la anchura y profundidad de las mismas, según figura 6.



*Figura 6: Sección con lobulación y medición de la misma.*

#### 4.6. Determinación de las diferentes clases visuales de calidad.

Cada rollizo se puede incluir en una u otra clase visual en función de sus singularidades visuales. Las clases visuales que se han tenido en cuenta en este proyecto son 4, dos de ellas basadas en la Norma DIN 4074 y otras dos de propuesta propia. Se ha considerado la Norma alemana ya que es la única normativa encontrada que contiene una clasificación estructural visual para rollizo.

Las clases visuales de la Norma DIN 40 74 son las siguientes con sus criterios de clasificación correspondientes:

Características	Clase visual 1	Clase visual 2
Diámetro nudos aislados/perímetro troza	$\leq 0,25$	$> 0,25$
Diámetro nudos agrupados/perímetro troza	$\leq 0,33$	$> 0,33$

*Tabla 1: Clases visuales de rollizos según DIN 4074.*

Las clases visuales que se proponen en este proyecto son las siguientes. Con sus respectivos criterios de clasificación:

CLASE 1:

Nudos peor sección	% Duramen
$< 30\%$	$> 40\%$

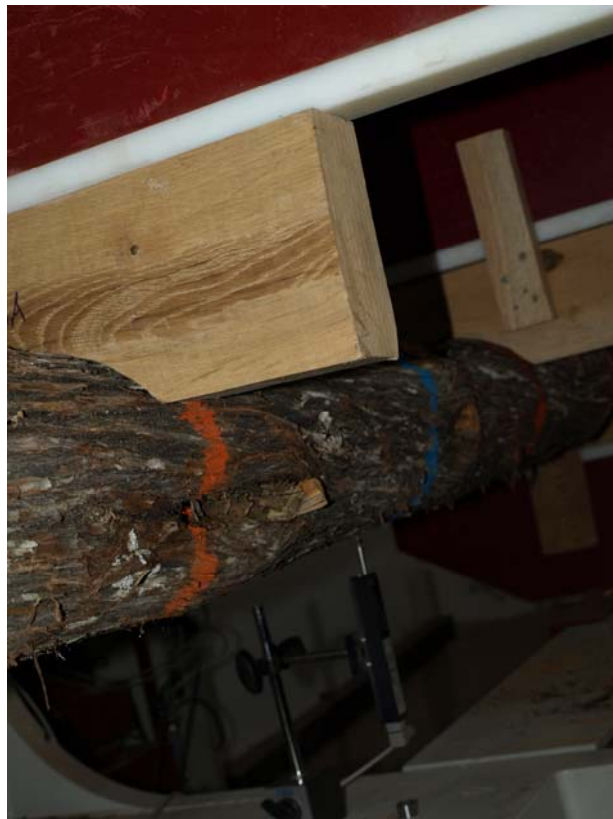
CLASE 2:

Nudos peor sección	% Duramen
$> 30\%$	$< 40\%$

*Tabla 2: Clases visuales propuestas.*

#### ***4.7. Ensayo mecánico de flexión:***

Previamente al ensayo se prepararon cuatro cuñas semicirculares con madera de rebollo, con el fin de que estas cuñas se adapten al perfil de rollizo y se eviten fallos por penetración en puntos de carga y de apoyo. Así mismo, bajo estas cuñas, se pueden introducir tantas tablitas de rebollo como se quiera, lo cual permite solventar el problema de conicidad del rollizo.



*Foto 5: Cuñas de rebollo adaptadas al perfil del rollizo.*

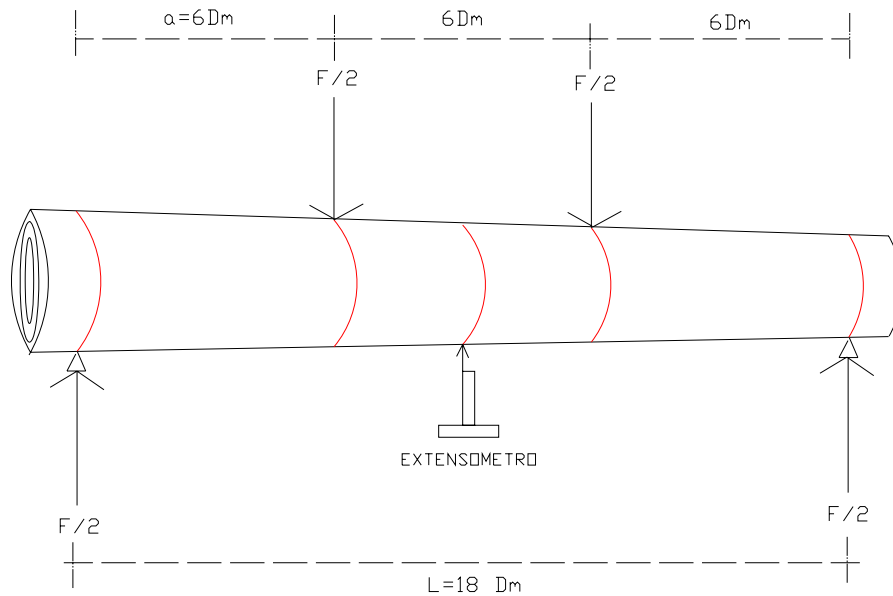
El protocolo de ensayo se realiza según la Norma UNE-EN 408:2004. Los ensayos mecánicos tuvieron por objeto determinar los siguientes parámetros: módulo de elasticidad global en flexión estática y módulo de rotura en flexión, que junto con la densidad sirven para asignar la clase resistente.



*Foto 6: Ensayo mecánico a flexión*

#### *4.7.1. Módulo de elasticidad global:*

El procedimiento de ensayo para la estimación del módulo de elasticidad global consiste en colocar el rollizo simplemente apoyado con una luz igual a 18 veces el diámetro medio del mismo y someterlo a dos cargas puntuales, simétricamente colocadas en los tercios de la luz. Durante el ensayo con un extensómetro se mide la deformación producida en el centro del rollizo y en la parte inferior del mismo (zona mas traccionada). Cada 0,25 segundos de ensayo se guarda un punto con la fuerza que registra la célula de carga y la deformación que se ha producido en el extensómetro. Al final se obtienen una serie de registros fuerza-deformación, los cuales posteriormente permitirán determinar el módulo de elasticidad del rollizo.



*Figura 7: Esquema de ensayo mecánico a flexión.*

Teniendo en cuenta que esta metodología de ensayo está diseñada para vigas de sección constante y rectangular, para el cálculo del módulo de elasticidad se han realizado varias opciones:

**a.1)** Calculado tal como indica la fórmula de la UNE 408, cambiando la inercia de sección rectangular, por inercia de la sección circular del centro del rollizo, quedando esta fórmula:

$$E_{glo} = 100 \times \frac{4 \cdot K \cdot a \cdot (3L^2 - 4a^2)}{3 \cdot \pi \cdot D^4}$$

K.- Pendiente de la gráfica fuerza-deformación para el tramo emprendido entre el 10% y el 40% de la fuerza de rotura. Se expresa en N/mm.

a.- Distancia entre el punto de carga y punto de apoyo en mm.

L.- Distancia entre los puntos de apoyo en mm.

D.- Diámetro correspondiente al centro de la troza en mm.



a.2) Método de la viga conjugada. Este método está basado en el teorema de la viga conjugada en el cual consta: “Se puede definir la viga conjugada de una viga de sección variable, como una viga de sección constante con momento de inercia ficticio  $I$ , sometida a una ley de cargas igual a la ley de momentos flectores equivalentes de la viga real, dividido por la rigidez  $E \times I$ ” [...] “La ley de flechas  $y(x)$  de la viga real coincide con la ley de momentos flectores  $M(x)$  de la viga conjugada”

Teniendo en cuenta esto se puede calcular la elasticidad, teniendo la viga conjugada y la flecha medida en cualquier sección de la viga real.

Para ver los pasos seguidos, en el cálculo del módulo de elasticidad empleando esta metodología, se presenta el siguiente ejemplo:

La viga SO-363-04. Tiene las siguientes características:

Luz de ensayo = 2,7 m

Tercio 0,9 m

Perímetro punto apoyo grueso = 64 cm

Perímetro punto carga grueso = 62 cm

Perímetro en el centro = 52,5 cm

Perímetro en punto de carga pequeño = 48 cm

Perímetro en punto apoyo pequeño = 42,5 cm

Carga de referencia = 500 kg

Deformación de referencia = 14,44 mm

La viga conjugada tendría la siguiente distribución de cargas:

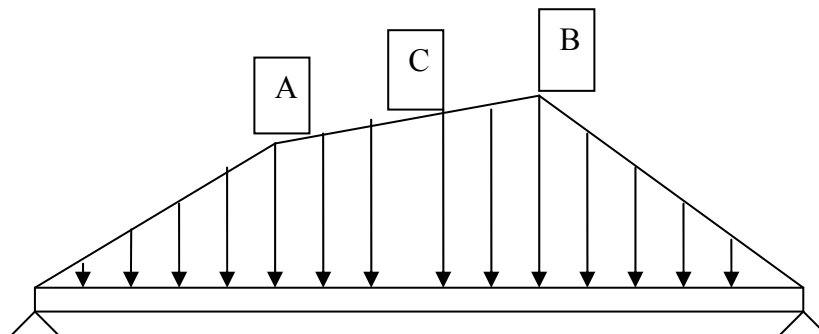


Figura 8: Distribución aproximada de cargas en la viga conjugada.

Primero se calcula el valor de la carga en los puntos A, C y B (figura 8), expresadas en tonelada y metro.

En el punto A: la carga valdrá  $\frac{M_{f,a}}{E \times I_a}$

$M_f$ - Momento flector de la viga real en el punto a.

$E$ - Elasticidad del material.

$I_a$ - Momento de inercia de la sección del rollizo en el punto a.

$$\text{Carga} = \frac{\frac{0,5 \times 2,7}{6}}{\left[ 3,1416 \times \left( \frac{0,62 \times 3,1416}{2} \right)^4 \right] \times E} = 3021,6/E$$

Realizando el mismo proceso en el punto C el resultado obtenido es 5877,2/E

Realizando el mismo proceso en el punto B el resultado obtenido es 8410,9/E

El resultado final de la distribución queda reflejado en la figura 9:

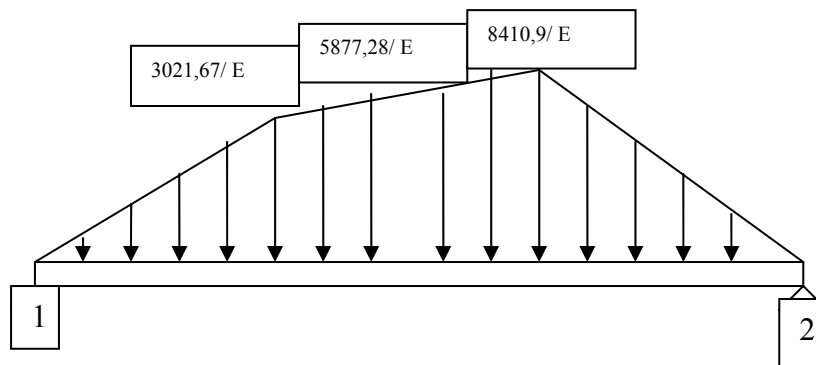
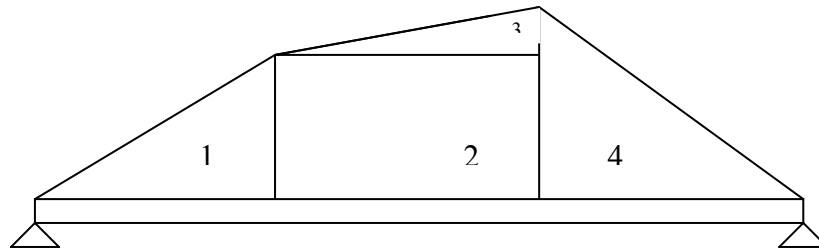


Figura 9: Distribución de cargas en la viga conjugada del rollizo SO-363-04.

Una vez obtenida la distribución de cargas aproximada (figura 9), el siguiente paso es calcular el flector en el medio. Para ello necesitamos conocer la reacción en uno de los dos puntos de apoyo. Elegido el punto 1, el sumatorio de momentos en 2 es 0.

$$\sum M_2 = 0$$

Para ello utilizamos la geometría de la distribución de cargas y la dividimos en los cuatro polígonos de la figura 10.



*Figura 10: División de la distribución de cargas en polígonos.*

Lógicamente cada polígono tiene su carga equivalente igual a la superficie del mismo y estas cargas equivalentes se aplican en el centro de masas de cada uno de ellos.

Tras realizar los cálculos: la reacción en 1 =  $5998/E$  (toneladas).

Una vez que conocemos la reacción en el punto 1, se puede calcular el momento flector en el centro de la viga. Se hace exactamente igual que en el caso anterior mediante polígonos y centros de masa, quedándonos al final lo siguiente:

$$M \text{ Flector en el centro} = 6675,4935/E \quad (\text{t}\cdot\text{m})$$

Finalmente como conocemos la flecha en el centro de la viga real para una carga de 500 kg, que es igual 0,01444 m, podemos determinar el módulo de elasticidad del material:

$$E = 6675,4935 / 0,01444 = 462291,79 \text{ t/m}^2$$

Pasando a  $\text{N/mm}^2$  nos queda **4535,08  $\text{N/mm}^2$**

Corrección por humedad: todos los valores obtenidos de módulo de elasticidad se corrigen a una referencia del 12% de humedad según Norma UNE-EN 384. “Para el módulo de elasticidad la corrección será del 2% por cada variación del 1% del contenido de humedad”.

La corrección por humedad se ha efectuado en las dos metodologías empleadas para el cálculo del módulo de elasticidad.

#### 4.7.2. *Módulo de rotura a flexión:*

La metodología de ensayo es la misma que se utiliza para el ensayo de módulo de elasticidad, es decir se ensaya el rollizo con una luz de 18 veces el diámetro medio del mismo y dos puntos de carga tal como se observa en la figura 7.

Se carga el rollizo hasta que se produce la rotura, el dato de carga máxima o carga de rotura que permitirá posteriormente calcular el módulo de rotura a flexión, queda guardado en el ordenador.

El módulo de rotura se define en la Norma UNE-EN 408:2004, como:

$$MOR = \frac{a \times F \max}{2 \times W}$$

$F_{max}$ .-Fuerza alcanzada en la rotura del rollizo.

a.-Distancia entre el punto de carga y el apoyo.

W.-sección resistente de la pieza  $W = \frac{I}{z/2}$

z.- Altura de la sección de la pieza.

Y para una sección circular:

$$MOR = \frac{a \times F \max \times 2}{\pi \times r^3}$$

r.- Radio del rollizo e n el centro.

Esta misma fórmula es la que aparece en la norma Europea EN 14251

#### ***4.8. Análisis visual de la sección de rotura.***

Una vez roto el rollizo se analizó visualmente la sección de rotura, midiendo en ella los siguientes parámetros:

- Perímetro de la sección de rotura.
- Nudos
- Ancho lobulaciones
- Perímetro lobulaciones.

#### ***4.9. Extracción de rodaja, determinación de humedad y densidad.***

Una vez rota la pieza, con motosierra eléctrica se extrae una rodaja de 7 centímetros de espesor lo más cerca posible del lugar de rotura, tratando de evitar que la rodaja tenga nudos y otros defectos. A continuación se descortezza la rodaja con un formón. Una vez descortezada, se mide:

- El espesor de la rodaja con exactitud.
- El perímetro de la rodaja.
- El peso húmedo.

Apuntados estos datos en el estadillo, se introduce la rodaja en estufa a 100 °C de temperatura. Cada día se vuelve a realizar una pesada, hasta que la probeta esta seca siguiendo el procedimiento establecido en la Norma EN 13183-1. Con estos parámetros medidos, en la fase de tratamiento de datos se obtendrá la densidad de la rodaja y la humedad de la misma.

La densidad se corregirá a una referencia del 12% de humedad, reduciendo el valor en un 0,5% por cada 1% de disminución en el contenido de humedad.



*Foto 7: Extracción de rodaja en uno de los rollizos.*

#### ***4.10. Asignación de clases resistentes.***

Para asignar clase resistente a la muestra se empleó la norma UNE-EN 384. En esta Norma se marcan los parámetros para poder asignar clase resistente, así los criterios para asignar clase resistente de una muestra son los siguientes:

- Módulo de rotura a flexión. Se debe utilizar el quinto percentil de la muestra.
- Módulo de elasticidad en flexión. Se debe utilizar la media de la muestra.
- Densidad. Se utiliza el quinto percentil.

La norma UNE-EN 338. “Madera estructural. Clases resistentes”, da una clase resistente para cada uno de estos tres parámetros.

Finalmente se asigna a la muestra la clase resistente menor de entre las tres de estos parámetros. Así para una muestra cuyo valor sea C-24 según MOR, C-30 según densidad y C-18 según el MOE, habrá que asignarle una clase resistente de C-18.

Este proceso se realizó con el total de la muestra y con las submuestras obtenidas empleando las clasificaciones visuales explicadas en 4.1.6.

#### 4.11. Métodos estadísticos

A continuación se describen las herramientas estadísticas empleadas para la obtención de los resultados de este trabajo. Se ha utilizado el paquete de software Statgraphics, 5.0.

Los métodos descriptivos utilizados son: media aritmética, varianza, coeficiente de variación, coeficiente de simetría, curtosis, quinto percentil y pruebas de normalidad de Durbin-Watson y Kolmogorov. También se ha empleado la prueba ANOVA para la comparación entre valores obtenidos en diferentes regiones de procedencia.

Análisis de regresión lineal:

El objeto de un análisis de regresión lineal es investigar la relación estadística que existe entre una variable dependiente (y) y una o más variables independientes (X1, X2, X3,...) a través del ajuste de ecuaciones. Si en el modelo solo interviene una variable independiente se denomina regresión lineal simple y si intervienen varias variables independientes, regresión lineal múltiple.

En aquellos modelos en los que la variable independiente determina totalmente el valor de la variable dependiente, se dice que existe una relación exacta o determinista, mientras que en aquellos que predicen en mayor o menor grado, la relación es estadística o estocástica.

Para la estimación de la “calidad” del modelo se ha utilizado el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que no es más que la correlación elevada al cuadrado.

En el análisis de la regresión lineal simple el coeficiente de correlación múltiple establece una medida del grado de asociación lineal entre la variable respuesta y la variable predictora, concretamente entre la variable respuesta y la recta de regresión estimada.

Se define mediante los n pares de observaciones, mediante :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

## 5. ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADO.

### 5.1. Características de la muestra:

A continuación se presentan las características de la muestra, centrándonos en las variables físicas que definen la población utilizada. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los estadísticos de centralidad y dispersión de esas variables:

Variable	N	M	V	Asimetría	Curtosis	Kolmog	Watson
Perímetro M.	99	52,55	58,83	1,40	0,80	0,625	0,424
Conicidad	99	9,98%	7,09	1,43	0,38	0,484	0,376
Densidad	99	524,32	1916	-1,63	1,09	0,941	0,832
Nudos/Perímetro	99	32,82	172,25	0,77	-0,17	0,547	0,126

Tabla 3: Estadísticos de centralidad y dispersión de las variables físicas de la muestra.

N.- Numero de observaciones.

M.- Media.

V.- Varianza.

Kolmog.- (P-Valor) obtenido en la prueba de normalidad de Kolmogorov.

Watsón.- (P-Valor) obtenido en la prueba de normalidad de Durbin-Watson.

Perímetro M.- Perímetro medido en el centro de la troza.

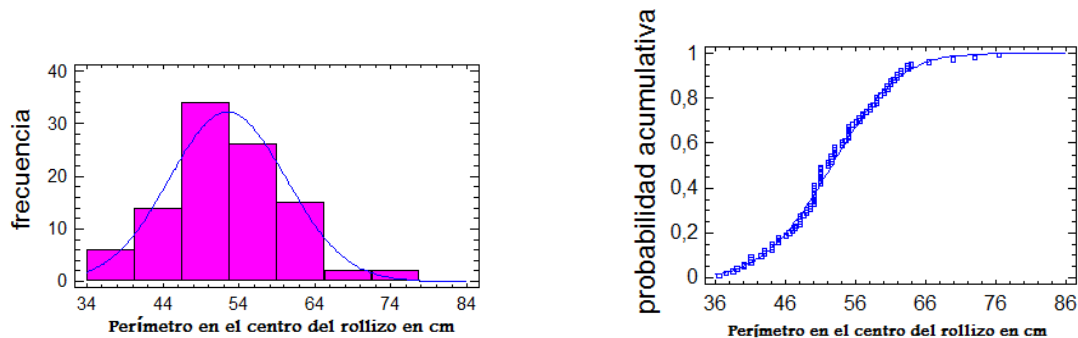
Nudos/Perímetro.- Cociente entre la suma de diámetros de los nudos de la peor sección del rollizo y el perímetro de esa sección.

Como se observa en la tabla 3, todos los coeficientes de asimetría y curtosis tipificada están dentro del rango comprendido entre más dos y menos dos. Esto es importante ya que si algún valor hubiera estado fuera de este intervalo tendería a invalidar cualquier prueba de normalidad efectuada.

También se observa que los P-Valor obtenidos para las pruebas de normalidad son mayores que 0,10 lo que indica también normalidad en las variables.

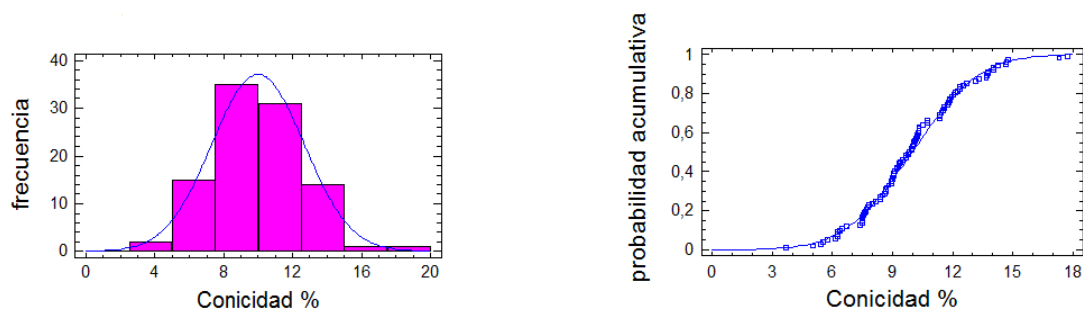


El perímetro medido en el centro del rollizo nos indica que nuestra muestra se encuentra dentro de los valores definidos por el producto, ya que los diámetros para rollizo estructural de sabina suelen variar entre los 10 y los 20 centímetros, siendo diámetros menores inviables para construcción destinados a leñas. Es difícil encontrar diámetros mayores, pero los pocos que hay se destinan a la industria de sierra. Los siguientes gráficos muestran la distribución de la variable perímetro en el centro del rollizo:



*Figura 11: Histograma y función de distribución para la variable perímetro en el centro del rollizo.*

En cuanto a la conicidad, presenta una varianza importante debido a que todos los rollizos proceden de masas sin ningún tipo de selvicultura, dificultando la obtención de productos homogéneos. En cualquier caso este es el material disponible y que se encuentra en el mercado. Los gráficos de distribución para la variable conicidad son los siguientes:



*Figura 12: Histograma y función de distribución para la variable conicidad.*

La densidad presenta también una variabilidad elevada. Este hecho supone que la representatividad de la muestra corresponde con el producto comercial. Las graficas de dispersión de la variable densidad son las siguientes:

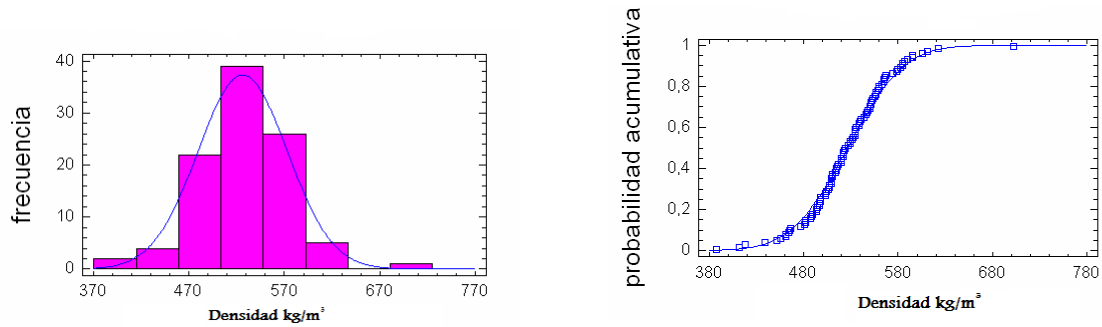


Figura 13: Histograma y función de distribución para la variable densidad,  $\text{kg/m}^3$

En cuanto al análisis de los nudos se observa que la media de los mismos es importante suponiendo un tercio del perímetro y la variabilidad también es elevada. Esto de nuevo, se debe a la procedencia de masas sin ningún tipo de selvicultura y muy variables en cuanto a su composición, lo cual afianza la representabilidad de la muestra, quedando subrayado que no existe ningún tipo de sesgo y el material esta estudiado tal como se presenta en la naturaleza.

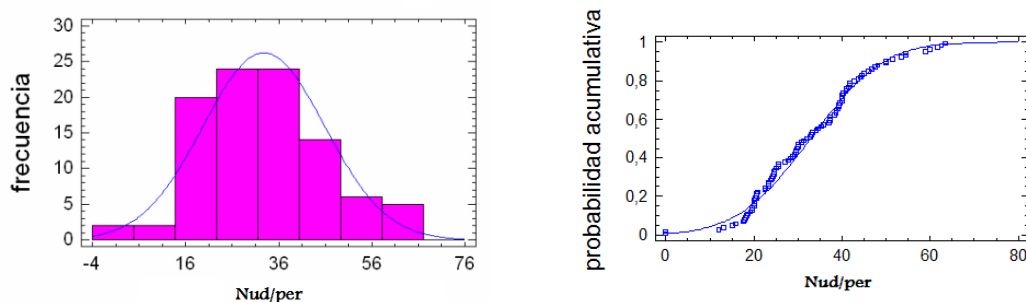


Figura 14: Histograma y función de distribución para la variable tamaño del nudo en relación al perímetro (  $\text{Nud/per}$ .- Cociente entre la suma de diámetros de los nudos de la peor sección del rollizo y el perímetro de esa sección).

## 5.2. Clasificación visual.

Para la clasificación visual de la muestra se estudian tres opciones, que se describen en materiales y métodos, los resultados para cada una de esas opciones son los siguientes:

- 1- Datos de toda la muestra sin clasificar. Se ensayaron 99 rollizos cuyas propiedades mecánicas son las siguientes:

	Nº rollizos	MOR	Densidad	MOE <sub>estático</sub>
Valor	99	18,56	453,9	6560
Clase resistente	-----	C-18	C-45	<b>C-12</b>

Tabla 4: Valores característicos de las propiedades mecánicas para toda la muestra de rollizos de sabina.

MOR.- Valor característico de la resistencia a flexión estática N/mm<sup>2</sup> según UNE-EN 384

Densidad.- Valor característico de la densidad en kg/m<sup>3</sup> según UNE-EN 384

MOE<sub>estático</sub>.-Valor característico del módulo de elasticidad en flexión en N/mm<sup>2</sup> según UNE-EN 384

Para el total de la muestra el percentil quinto del módulo de resistencia a flexión corresponde a una C-18, el percentil quinto de la densidad corresponde a una C-45 y la media del módulo de elasticidad corresponde a una clase resistente de C-12.

- 2.- Clases visuales según la Norma alemana DIN 4074, esta norma establece dos clases diferentes. Clase 1 y clase 2. Aplicando esta Norma los resultados obtenidos son los siguientes:

Clase Visual		Nº rollizos	MOR	Densidad	MOE <sub>estático</sub>
Clase 1	Valor	52	21,30	424,6	6753
	Clase Re	-----	C-20	C-40	<b>C-12</b>
Clase 2	Valor	47	15,65	457,3	6342
	Clase RE	-----	C-14	C-45	<b>C-12</b>

Tabla 5: Valores característicos para las clases obtenidas siguiendo la Norma DIN

MOR.- Valor característico de la resistencia a flexión estática  $N/mm^2$  según UNE-EN 384

Densidad.- Valor característico de la densidad en  $kg/m^3$  según UNE-EN 384

$MOE_{statico}$ .-Valor característico del módulo de elasticidad en flexión en  $N/mm^2$  según UNE-EN 384

Clase Re.- Clase resistente según UNE-EN 338.

3.- Clases visuales según propuesta propia. Los resultados han sido los siguientes:

Clase Visual		Nº rollizos	MOR	Densidad	$MOE_{statico}$
Clase 1	Valor	28	22,0	424,6	7126
	Clase Re	-----	C-22	C-40	<b>C-14</b>
Clase 2	Valor	71	17,23	446,0	6327
	Clase RE	-----	C-16	C-45	<b>C-12</b>

*Tabla 6: Valores característicos para las clases visuales propuestas.*

MOR.- Valor característico de la resistencia a flexión estática  $N/mm^2$  según UNE-EN 384

Densidad.- Valor característico de la densidad en  $kg/m^3$  según UNE-EN 384

$MOE_{statico}$ .-Valor característico del módulo de elasticidad en flexión en  $N/mm^2$  según UNE-EN 384

Clase Re.- Clase resistente según UNE-EN 338.

Observando las tres opciones llegamos a la conclusión de que una única clase resistente optimiza el producto, ya que los dos intentos de hacer clases no mejora apenas el resultado. Esto puede deberse principalmente a las características propias del material, ya que como se ha comentado las masas de sabina carecen totalmente de selvicultura, por lo tanto se puede sospechar a tenor de los resultados que no existe material en calidad ni en cantidad que permita hacer una clase visual con mayor resistencia.

### 5.3. Diferencias entre las diferentes regiones ecofisiográficas de procedencia.

A continuación se presentan los resultados de los parámetros mecánicos según las diferentes regiones ecofisiográficas de procedencia:

Región	Nº rollizos	MOR	Densidad	MOE <sub>estático</sub>
1	17	20,60	501,69	7076,94
2	20	24,75	534,71	6273,84
3	19	16,40	511,79	6662,54
4	19	18,29	506,58	6929,15
5	24	21,30	514,52	6085,56

Tabla 7: Valores característicos para las diferentes regiones de procedencia.

MOR.- Valor característico de la resistencia a flexión estática N/mm<sup>2</sup> según UNE-EN 384

Densidad.- Valor característico de la densidad en kg/m<sup>3</sup> según UNE-EN 384

MOE<sub>estático</sub>.-Valor característico del módulo de elasticidad en flexión en N/mm<sup>2</sup> según UNE-EN 384

#### COMPARACIÓN DEL MOR.

REGIÓN	MEDIA	VARIANZA	DESV. TIPICA
MOR región 1	34,12	248,4	15,7
MOR región 2	33,31	90,09	9,49
MOR región 3	29,93	97,93	9,89
MOR región 4	27,92	38,02	6,16
MOR región 5	32,82	71,71	8,46

Tabla 8: Valores de resistencia a flexión N/mm<sup>2</sup> según las regiones de procedencia.

El F-ratio para la prueba ANOVA tiene un valor de 1,23. Siendo el P-valor correspondiente a esta prueba igual a 0,30 el cual al ser mayor de 0,05 indica que no existen diferencias significativas entre las medias de las resistencias a flexión obtenidas para cada región de procedencia.

A continuación se presenta dos gráficos que comparan las distribuciones de las muestras, para la variable resistencia a flexión:

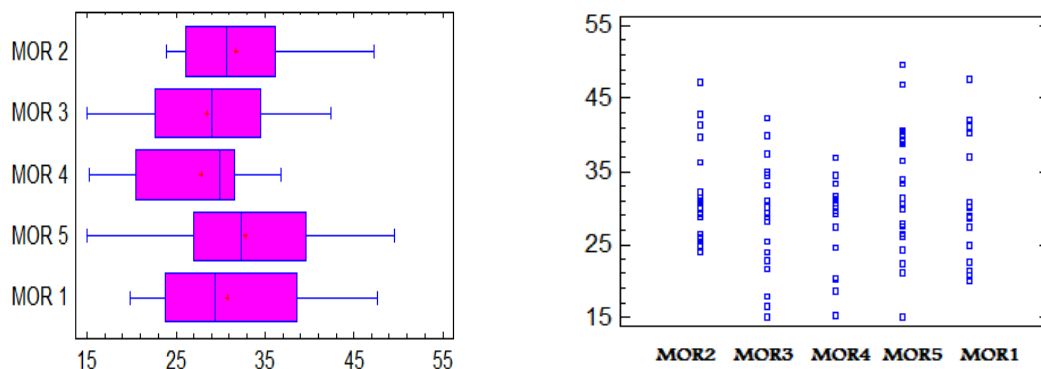


Figura 15: Gráfico de cajas-bigote y de dispersión de los MORs ( $N/mm^2$ ) de las diferentes regiones ecofisiográficas.

- MOR 1.- Resistencias a flexión estática de los rollizos procedente de la región ecofisiográfica numero uno.
- MOR 2.- Resistencias a flexión estática de los rollizos procedente de la región ecofisiográfica numero dos.
- MOR 3.- Resistencias a flexión estática de los rollizos procedente de la región ecofisiográfica numero tres.
- MOR 4.- Resistencias a flexión estática de los rollizos procedente de la región ecofisiográfica numero cuatro.
- MOR 5.- Resistencias a flexión estática de los rollizos procedente de la región ecofisiográfica numero cinco.

#### COMPARACIÓN DEL MOE.

REGIÓN	MEDIA	VARIANZA	DESV. TIPICA
MOE región 1	7076,9	9028830	3004,8
MOE región 2	6273,8	5020250	2240,5
MOE región 3	6662,5	1787270	1336,8
MOE región 4	6929,1	1222000	1105,4
MOE región 5	6085,1	2193530	1481,0

Tabla 9: Valores de módulos de elasticidad  $N/mm^2$  según regiones de procedencia.

El F-ratio de la prueba ANOVA en este caso es 0,95. Siendo el P-valor correspondiente a esta prueba igual a 0,43 que al ser mayor de 0,05 indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los módulos de elasticidad procedentes de las diferentes regiones ecofisiográficas.

En la figura 16, se puede observar una comparación gráfica en la distribución de los módulos de elasticidad de los rollizos, según su región ecofisiográfica de procedencia.

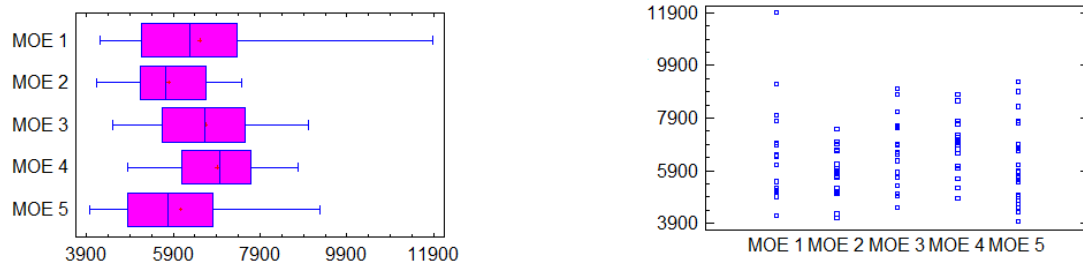


Figura 16: Gráfico de cajas-bigote y de dispersión de los MOE estáticos  $N/mm^2$  de las diferentes regiones ecofisiográficas.

- MOE 1.- Módulo de elasticidad estático de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica uno
- MOE 2.- Módulo de elasticidad estático de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica dos
- MOE 3.- Módulo de elasticidad estático de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica tres
- MOE 4.- Módulo de elasticidad estático de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica cuatro
- MOE 5.- Módulo de elasticidad estático de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica cinco

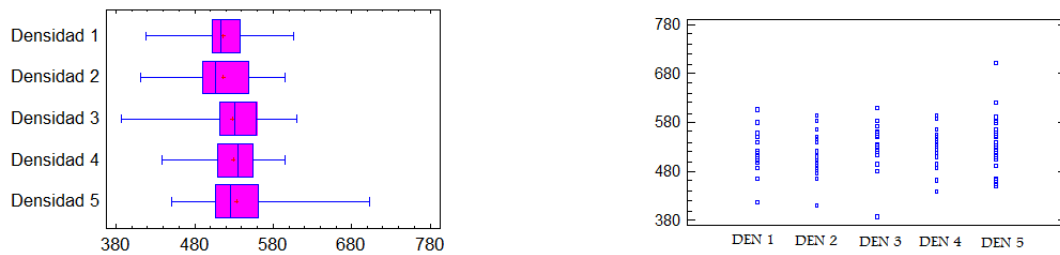
#### COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD:

REGIÓN	MEDIA	VARIANZA	DESV. TIPICA
Densidad región 1	516,8	1838,0	42,87
Densidad región 2	516,6	2040,7	45,17
Densidad región 3	528,6	2278,5	47,73
Densidad región 4	530,0	1551,4	39,38
Densidad región 5	533,0	3260,8	57,10

Tabla 10: Valores de densidades de la madera de rollizo,  $kg/m^3$ , según regiones de procedencia

La prueba ANOVA en este caso nos da como resultado un F-ratio de 0,566. Siendo el P-valor de esta prueba igual a 0,68. Al ser este P-valor mayor de 0,05 indica que no existen diferencias significativas entre las medias de las densidades procedentes de diferentes regiones ecofisiográficas

En la figura 17 se puede observar la distribución gráfica para la variable densidad de los rollizos, en función de su región ecofisiográfica de procedencia.



*Figura 17: Grafico de cajas-bigote y de dispersión de las densidades en  $\text{kg/m}^3$  de los rollizos según regiones ecofisiográficas de procedencia.*

DEN 1.- Densidad de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica uno

DEN 2.- Densidad de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica dos

DEN 3.- Densidad de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica tres

DEN 4.- Densidad de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica cuatro

DEN 5.- Densidad de los rollizos procedentes de la región ecofisiográfica cinco

Como se observa en cuanto a procedencia ecológica de los rollizos, los resultados afirman que no existen diferencias significativas entre las 5 regiones. En este trabajo solo se han estudiado las variables mecánicas (MOR, MOE y Densidad). Estas variables se ven normalmente mas influenciadas por singularidades de la madera relacionadas con la selvicultura de la que la masa origen haya sido objeto, tales como nudos, nudos agrupados y desviación de la fibra.



#### 5.4. Técnica de frecuencia de resonancia.

##### 1.- Comparación MOE dinámico y MOE estático.

El módulo de elasticidad dinámico es utilizado como uno de los mejores estimadores no destructivos del módulo de elasticidad estático, habiéndose alcanzado coeficientes de determinación, del orden de 0,90 a 0,96, para probetas libres de defectos (IÑIGUEZ, 2007).

El módulo de elasticidad dinámico para madera se calcula como el producto de la velocidad de propagación elevada al cuadrado por la densidad.

En el presente estudio aplicando esta fórmula a los datos obtenidos mediante la técnica de frecuencia de resonancia y comparándolo con los datos obtenidos mediante ensayo a flexión de módulo de elasticidad estático, resulta la siguiente tabla:

Rollizos de	MOE dinámico		MOE estático	
	Media (N/mm <sup>2</sup> )	C.V (%)	Media (N/mm <sup>2</sup> )	C.V (%)
<i>J. thurifera</i>	5817	19,38	6560	31,7

Tabla 11: Comparación del MOE estático y dinámico.

MOE dinámico.- Modulo de elasticidad obtenido mediante frecuencia de resonancia en N/mm<sup>2</sup>

MOE estático.- Modulo de elasticidad obtenido según UNE-EN 408 en N/mm<sup>2</sup>

C.V.- Coeficiente de variación.

Asemejándose la distribución de probabilidad en ambos casos a una lognormal, tal y como se aprecia en las figuras 18 y 19.

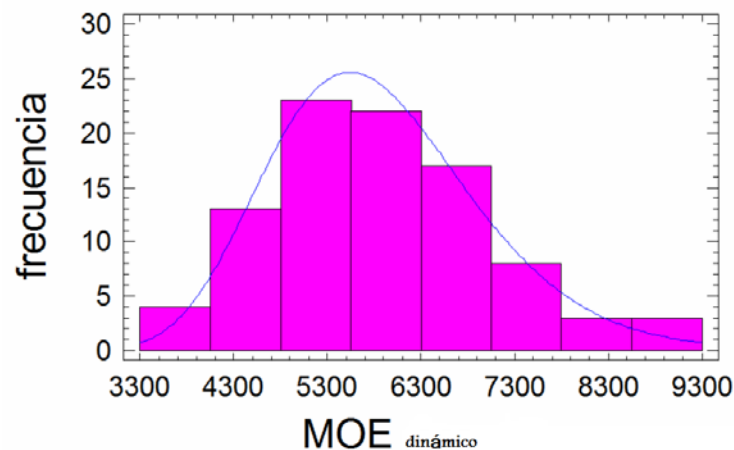


Figura 18: Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad dinámico N/mm<sup>2</sup>

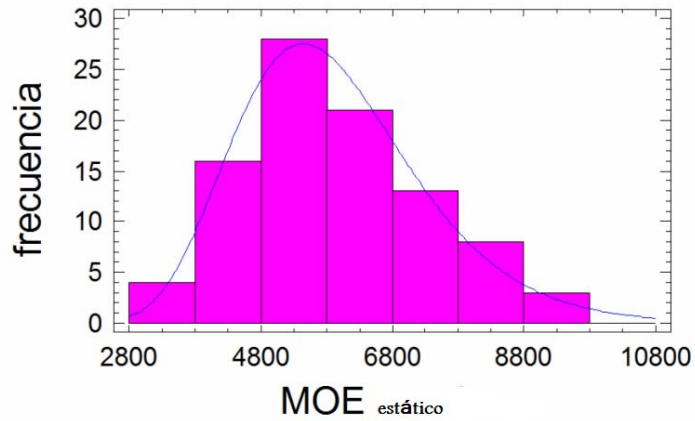


Figura 19: Histograma de frecuencias para el módulo de elasticidad Estático  $N/mm^2$

Comparando ambas distribuciones parece que el módulo dinámico podría ser un buen estimador del módulo estático.

Sin embargo el coeficiente de determinación, entre ambas variables da un resultado excesivamente bajo, figura 20. Siendo la ecuación de regresión la siguiente:

$$MOE_{estático} = 0,3998 \times MOE_{dinámico} + 4010,2$$

$$\text{Con } R^2 = 0,1227$$

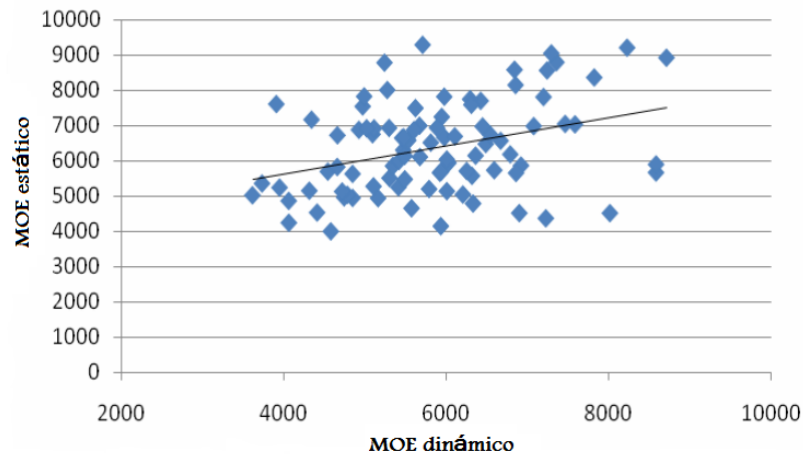


Figura 20: Regresión entre los MOEs dinámico y estático en  $N/mm^2$

Se puede pensar que la causa sea la característica específica del material ensayado, ya que los rollizos de sabina además de presentar una sección variable importante a lo largo del fuste, están excesivamente poblados de defectos como nudos o lobulaciones.

## 2.- Estimación del MOE estático en función de la frecuencia de resonancia.

Dado el bajo valor de correlación obtenido en la comparación de los módulos de elasticidad estático y dinámico, se probó elaborar modelos de predicción con las diferentes variables, encontrándose el siguiente modelo, el cual intenta explicar el módulo de elasticidad en función de tres variables: conicidad del rollizo, frecuencia de resonancia y densidad. El modelo de predicción es el siguiente:

$$MOE_{estatico} = -489,556 + 11,0967D - 262,717C + 6,77018F$$

Con una  $R^2 = 0,43$

*MOEestatico*.- Módulo de elasticidad obtenido según UNE-EN 408 en  $N/mm^2$

*D*.- Densidad del rollizo en  $kg/m^3$

*C*.- Conicidad del rollizo expresada en porcentaje.

*F*.- Frecuencia de resonancia del rollizo expresada en hercios.

La grafica de valores observados frente a valores predichos es la siguiente:

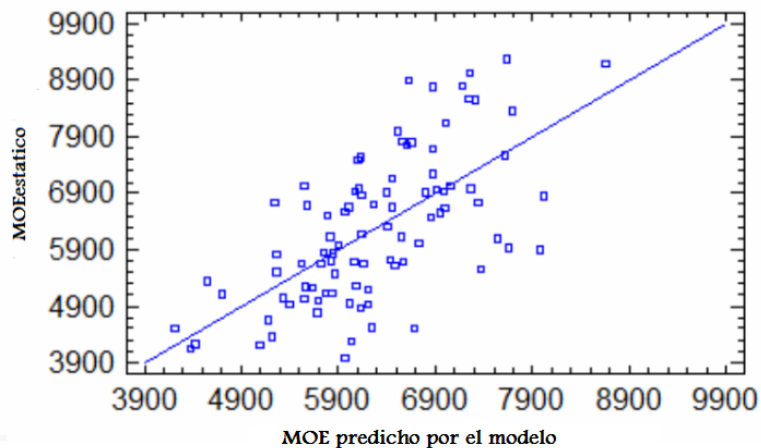


Figura 21: Grafico de valores observados frente a predichos por el modelo propuesto,  $N/mm^2$

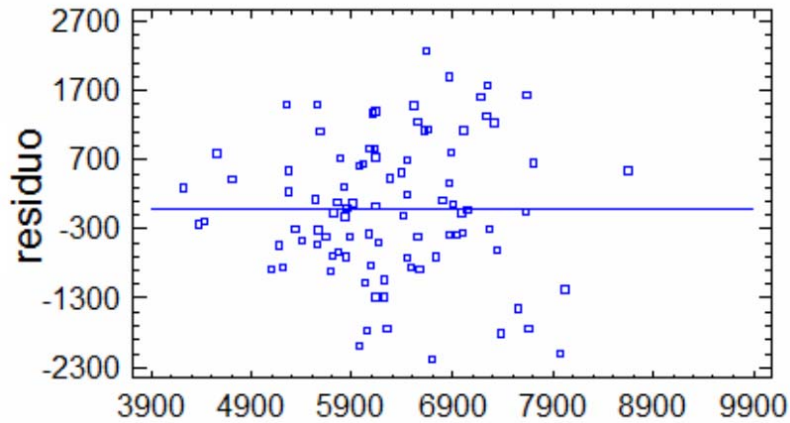


Figura 22: Grafico de residuos para el modelo propuesto N/mm<sup>2</sup>

Los residuos no aumentan al aumentar la variable predicha ni tampoco tienen ningún tipo de tendencia ascendente o descendente, lo cual indica que el modelo cumple las hipótesis de linealidad, normalidad y homocedasticidad.

### 3. Modelo de predicción del MOR.

Se han realizado varios ensayos con diversos modelos de predicción eligiéndose el siguiente por presentar el mayor coeficiente de determinación.

$$MOR = 27,5844 - 0,832082P_{med} + 0,780584P_{min} + 0,0414527D$$

$$R^2 = 0,42$$

*MOR*.- Resistencia a flexión según UNE-EN 408 en N/mm<sup>2</sup>

*P<sub>med</sub>*.-Perímetro medido en el centro del rollizo en cm

*P<sub>min</sub>*.- Perímetro más delgado del rollizo en cm

*D*.- Densidad del rollizo en kg/m<sup>3</sup>

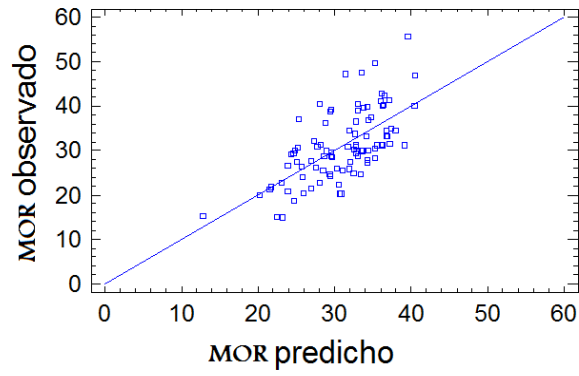


Figura 23: Grafico de valores observados frente a predichos del modelo propuesto,  $N/mm^2$

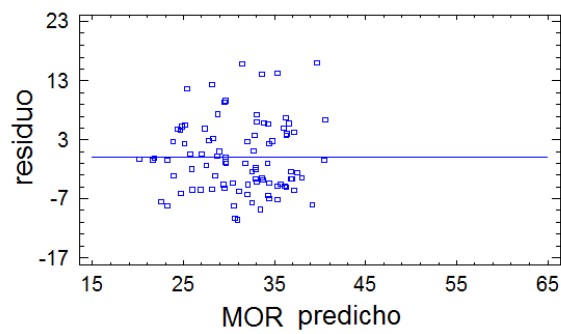


Figura 24: Grafico de residuos para el modelo propuesto,  $N/mm^2$

Los residuos no aumentan al aumentar la variable predicha ni tampoco tienen ningún tipo de tendencia ascendente o descendente, lo cual indica que el modelo cumple las hipótesis de linealidad, normalidad y homocedasticidad.

## 6. CONCLUSIONES.

### 1. Rollizo de Sabina como material estructural:

Al producto rollizo de sabina le corresponde una clase resistente C-12. El parámetro mecánico más limitante y causante de la clase resistente final es el módulo de elasticidad. La densidad característica obtenida corresponde a una clase resistente C-45, mientras que el valor característico de resistencia a flexión corresponde con una clase resiste C-18.

### 2.- Clasificación visual:

No se considera interesante la realización de clases visuales para el producto rollizo de sabina. Los resultados obtenidos con las diferentes clases visuales probadas en este trabajo no mejoran los resultados mecánicos del producto y suponen un mayor esfuerzo.

Por ello se recomienda una única clase visual para todo el material ensayado, cuya clase resistente sería una C-12.

### 3.- Diferencias entre los parámetros mecánicos según la región ecológica de procedencia:

No se han detectado diferencias estadísticas significativas según la procedencia ecológica, esto puede ser debido a que en estas variables mecánicas influyen más las singularidades presentes en la madera que los parámetros ecológicos. Estas singularidades a su vez dependen de la selvicultura desarrollada sobre la masa, en este caso la selvicultura es totalmente inexistente en todas las regiones de procedencia.

### 4- Técnica de frecuencia de resonancia como predictor:

La relación entre el módulo de elasticidad dinámico obtenido por frecuencia de resonancia y el módulo de elasticidad estático es cercana al 12%. La baja relación puede ser debida a que la fórmula empleada tradicionalmente está diseñada para madera cuadrada de sección constante.

La predicción del módulo de elasticidad estático a partir de las variables conicidad, frecuencia y densidad alcanza una relación de 43%.

La predicción del módulo de resistencia a flexión a partir del perímetro central, perímetro medio y densidad del rollizo alcanza una relación de 42%.

## 7. BIBLIOGRAFIA.

- ACUÑA, L et al., 2007. *La técnica de transmisión Ultrasónica aplicada la madera estructural*. Actas del XII Congreso Nacional de Ensayos No Destructivos.
- AITIM; 1994. *Guía de la Madera para la construcción el diseño y la decoración*. Asociación de investigación. ISBN: 978-84-83381-07-02.
- ALONSO PONCE, R. y SANCHEZ PALOMRES, O., 2001. *Hábitat fisiográfico-climático de Juniperus thurifera L. en Castilla y León*. Actas del III congreso forstal español. Granada.
- BÖSTROM, L., 1994. *Machine strength grading: comparison of four different systems*. Swedish National Testing and Research Institute Building Technology SP report 49:56 pp.
- BÖSTROM, L., 1997. *Assessment of dynagrade timber strength grading machine*. Swedish National Testing and Research Institute Building Technology, 96B2, 1314B.
- BUCUR, V. y ARCHER, R.R., 1984. *Relationship between grain angle of wood specimens and ultrasonic velocity*. Catgut Acoustical society Inc. 41. P.30-35.
- CABRERIZO SORIA, V.; SAN MARTÍN FERNÁNDEZ, R.; GARCÍA GONZÁLEZ, M.D.; GONZALO PÉREZ, G.; DE LA FUENTE LEÓN, J. y GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, M., 2006. *Caracterización y tipificación de los sabinares (Juniperus thurifera) de Castilla y León*. Actas III Coloquio Internacional sobre los sabinares y enebrales (genero *Juniperus*): Ecología y Gestión Forestal Sostenible. Soria. Vol II.
- CEBALLOS, L. y RUIZ DE LA TORRE, J., 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. E.T.S.I.M. Madrid.
- CHARCO, J., 2001. *Guía de los árboles y arbustos del norte de África*. Agencia española de cooperación internacional. Madrid.
- COSTA TENORIO, M., GOMEZ MANZANEQUE, E., MORLA JUARISTI, C. y SAINZ OLLERO, H., 1993. *Caracterización fitoecológica de los sabinares albares de la península ibérica*. Orsis, 8.

- COSTA TENORIO, M.; MORLA JUARISTI, C. y SAINZ OLLERO, H., 1998. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Planeta. Barcelona.
- DE VRIES, P.A. y GARD, W.F., 2008. *Determination of characteristic strength values for Dutch round timber*. Conference COST E53. Delf University of technology.
- DIEZ, M.R.; CABRERO, J.C. y GARCIA, R., 2006. *Caracterización de la Sabina Albar con piezas de tamaño casi estructural. Intentos preliminares*. Actas III Coloquio Internacional Sobre Sabinas y Enebrales.
- DIEZ, M.R., 2000. *Rendimiento de la madera estructural en función del diámetro de punta delgada de las trozas de aserrío*. Congreso Forestal Español, Granada.
- DIN 4074., 2001. *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit*. Norma DIN.
- DIVOS, F y TANAKA, T. (1997). *Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood*. Acta Silvatica et lignatia Hungarica, 1. p 105-110.
- ESCUDERO BERIAN, A. y DEL ARCO, J.M., 1986. *Quercus coccifera L. y Juniperus Thurifera L. en el sur de la provincia de Zamora*. Anales del jardín Botánico 43. Madrid.
- FERNANDEZ-GOLFIN, J.L.; MIER, R.; DIEZ, M.R. y HERMOSO, E., 2007. *Caracterización mecánica de la madera en rollo delgada de pino laricio clasificada visulamente*. Science Journal Agricultural Research.
- FERNANDEZ LANDA, A.; BROTO CARTAGENA, M. y LIZARRALDE, I., 2005. *Proyecto de ordenación del monte de U.P. "El Enebral"*. Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente.
- GALAN CELA, P.; GAMARRA GAMARRA, R. y GARCIA VIÑAS, J.I., 1998. *Árboles y arbustos de la península Ibérica e Islas Baleares*. Ediciones Jaguar, S.L.
- GARCÍA, L. y GUINDEO, A., 1988. *Anatomía e identificación de las maderas de confieras españolas*. Asociación de Investigación Técnica de las industrias dela madera y el corcho. (AITIM).



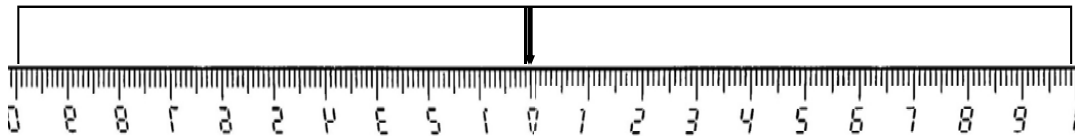
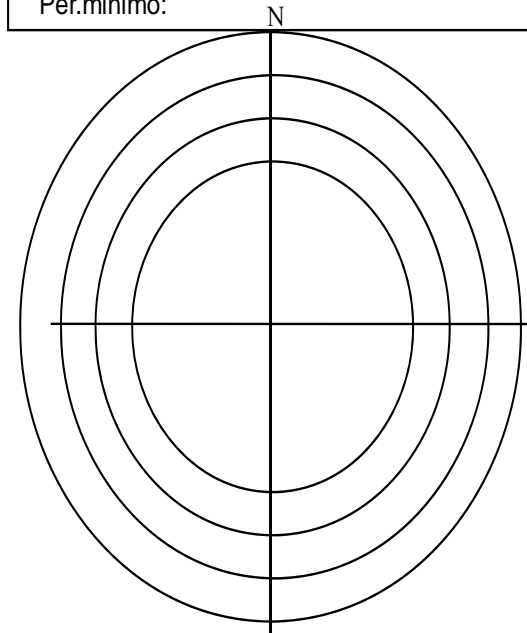
- GOMEZ MANZANEQUE, F., 1991. *Los sabinares de Juniperus thurifera de la península Ibérica: cartografía, tipificación y consideraciones biogeográficas*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- GONZALEZ, M., 2006. *Aplicación de la madera de sabina albar, como material de empleo en construcción rural*. Actas III Coloquio Internacional Sobre Sabinares y Enebrales.
- IÑIGUEZ, G., 2007. *Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la Madera aserrada de coníferas de gran escuadría para usos estructural*. Tesis doctoral ETS Montes UP Madrid.
- LAFUENTE, E., 2006. *Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de sabina albar (Juniperus thurifera) del termino municipal de Berlanga de Duero*. Actas III Coloquio Internacional Sobre Sabinares y Enebrales.
- ORIA DE RUEDA, J.A., 1996. *El enebro*. Revista de Medio Ambiente 9: P. 9-12.
- OROZCO, E., 1999. *Estudio de la capacidad regenerativa de los sabinares albares (Juniperus thurifera L.) occidentales de la provincia de Albacete*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- PEREZ PEREZ, E., 1999. *Estudio sobre la regeneración de la sabina albar (Juniperus thurifera L) en terrenos agrícolas abandonados en los terminos de Abejar, Calatañazor y Cabrejas del pinar*. Universidad de Valladolid.
- SAENZ, C. 2008. *Caracterización mecánica de rollizos descortezados de Pinus nigra para uso estructural*. Trabajo final de carrera. Universidad de Valladolid.
- SÄLL, H.; KÄLLSNER, B. y OLSSON, A., 2007. *Bending strength and stiffness of aspen sawn timber*. Conference COST E53. Växjö University, School of Thecnology and design.
- STEPHENS, R.W.B. y POLLOCK, A.A., 1974. *Waveforms and frequency spectra of acoustic emission*. Journal of the Acoustic Society of America, 50.P. 904-910.

- TANAKA, T.; NAGAO, H. y NAKAI, T., 1991. *Nondestructive evaluation of bending and tensile strength by longitudinal and transverse vibration lumber*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Vancouver, WA, USA. 23-25 sep 1991. Published by Pullman, WA, Washington State University. P.57-72.
- UNE-EN 1310; 1997. *Madera aserrada y en rollo. Método de medida de las singularidades*. CEN.
- UNE-EN 14081; 2000. *Clasificación visual de Madera Estructural. Caracterización de madera estructural de sección rectangular*. CEN.
- UNE-EN 14251. *Madera en rollo estructural. Métodos de ensayo*. CEN.
- UNE-EN 338; 2003. *Madera estructural. Clases resistentes*. CEN.
- UNE-EN 384; 2004. *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad*. CEN.
- UNE-EN 408; 2003. *Madera estructural. Madera aserrada y madera laminada encolada. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas*. CEN.
- UNE-EN 56544; 2003. *Clasificación visual de la madera aserrada de uso estructural*. CEN.
- UNE-EN 13183-1; 2002. *Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa*. CEN.
- VARIOS; 1998. *Inventario Forestal (II)*. ICONA- Serie Técnica.
- VARIOS; 2006. *Código Técnico de la Edificación*. BOE 074 de 28-03-2006.
- VARIOS; 2007. *Anuario Estadístico MAPA y MMA*.

**LABORATORIO DE CESEFOR**

FICHA DE ROLLO Nº:

**DATOS GENERALES:**  
 Ecozona:.....Provincia:.....  
 Monte:.....Lon(cm):.....  
 Dimensiones(cm):  
 Per.Maximo:  
 Per.apy.inf.G:  
 Per.apy.sup.G:  
 Per.Medio:  
 Per.apy.sup.p:  
 Perapy.inf.p:  
 Per.minimo:



**DIMENSIONES PIEZA:**

- PESO (kg).
- HUMEDAD (%):
- *VOLUMEN (M3):*
- *DENSIDAD (KG/M3):*
- *DENSIDAD 12% (KG/M3):*
- \_\_\_\_\_

• **FAKKOP:**

- FREQ (HZ): / /
- FREQ.MED (HZ):
- MOE.DINAMICO(N/MM2):
- MOE.ESTATICO(N/MM2):
- \_\_\_\_\_

• **VISUAL PIEZA (1/3)**

- DES.FIBRA (CM/M):
- % DURAMEN:
- PEOR PERIMETRO (CM):
- NUDOS PEOR (CM):
- *REL.NUDOvsTOTAL(%)*:
- ANCHO ENTRECASCO (CM):
- PROF.ENTRECASCO (CM):
- CONICIDAD:

• **OBSERVACIONES:**

**ENSAYO FLEXIÓN EN-14251**

LUZ  
 DIST.APY.INF.APY.SUP(CM):  
 CARGA.ROT(KG):  
 MOR (N/mm2) sin correg:  
 MOR (N/mm2) corregido:  
 Pendiente (Kg/mm):  
 MOEGTO sin corrg (N/mm):  
 MOEGTO corregido(N/mm):  
 -----  
 Pos.Rotura (cm): ( ).....  
 Perimetro rot.(cm):  
 Nudos rotura (cm):  
 Relación %:  
 Ancho entrecasco (cm):  
 Profundidad entrecasco(cm):  
 CLASE VISUAL:  
 \_\_\_\_\_

**DATOS RODAJA SECADO ESTUFA:**

Peso Humedo(Kg):  
 Peso Seco (kg):  
 Perim.Rodaja (cm):  
 Esp.Rodaja(cm):  
*Densidad anhidra(Kg/m3):*  
*Densidad 12% (Kg/m3):*

## 8.2. ANEXO II: Ejemplo de datos de ensayo

Codigo	Longitud (cm)	P.MAX (cm)	P.apy.Gr (cm)	ApoyoSupG	P.Med(cm)	ApySup-p	P.Apy.pq(cm)	P.min(cm)
SG-204-01	301,0	72,0	71,5	64,0	56,5	49,8	43,0	42,5
SG-204-02	300,0	67,5	67,0	93,3	52,5	45,3	38,0	32,0
SO-014-04	301,0	70,0	73,0	100,5	55,0	47,5	40,0	40,0
SO-363-04	302,0	64,0	64,0	62,0	52,5	48,0	42,5	41,0
SG-226-05	297,0	67,0	67,0	60,5	61,5	57,0	45,0	38,0
SG-097-04	299,0	53,0	54,0	49,0	44,0	39,5	33,0	30,5

P.MAX.- Perímetro del extremo mas grueso del rollizo en cm

P.apy.Gr.- Perímetro del rollizo en el punto de apoyo grueso del ensayo según UNE 408 en cm

ApoyoSupG.- Perímetro del rollizo correspondiente al punto de carga grueso según el ensayo UNE 408 en cm

P.Med.- Perímetro en el centro del rollizo en cm

ApySup-p.- Perímetro correspondiente al punto de carga fino según el ensayo UNE 408 en cm.

P.Apy.pq.- Perímetro correspondiente al punto de apoyo fino del rollizo según ensayo UNE 408 en cm

P.min.- Perímetro correspondiente al extremo mas fino del rollizo en cm

Codigo	Peso (kg)	Volumen		Densi.	
		(m3)	Vol. Polinomio	Densidad(kg/m3)	Polinomio
SG-204-01	38,1	0,0785	0,07930	485,3	480,5
SG-204-02	39,5	0,0591	0,06878	668,5	574,3
SO-014-04	38,7	0,0725	0,07934	534,1	487,8
SO-363-04	33,0	0,0662	0,07254	498,2	454,9
SG-226-05	40,1	0,0651	0,08130	615,6	493,2
SG-097-04	25,0	0,0415	0,04775	602,8	523,6

Vol. Polinomio.- Volumen obtenido mediante la integración del polinomio en m<sup>3</sup>

Densi. Polinomio.- Densidad del rollizo empleando el volumen del polinomio en kg/m<sup>3</sup>

Codigo	Frec media (hz)	MOE dinamico(N/mm2)	MOE dyn poli	MOE dyn. Dens anh(N/mm2)
SG-204-01	475,12	3970	3930	4014
SG-204-02	529,17	6739	5789	4423
SO-014-04	481,82	4494	4104	3818
SO-363-04	540,83	5316	4854	4792
SG-226-05	542,00	6380	5112	4564
SG-097-04	540,27	6292	5465	4399

*Frec media.*- Frecuencia de resonancia del rollizo en hz

*MOE dinamico.*- Módulo de elasticidad dinámico en N/mm<sup>2</sup>

*MOE dyn poli.*-Módulo de elasticidad dinámico calculado con la densidad del polinomio N/mm<sup>2</sup>

*MOE dyn. Dens anh.*- Módulo de elasticidad dinámico calculado con la densidad anhidra

Codigo	Des.Fibra (cm/m)	%Duramen	Peor-Perim	Perim- nudos	Relación	Conicidad %
SG-204-01	0	95,0	47,0	13,0	27,7	9,80066445
SG-204-02	0	70,0	51,0	11,0	21,6	11,83333333
SO-014-04	4	75,0	55,0	18,0	32,7	9,96677741
SO-363-04	0	55,0	53,0	8,0	15,1	7,61589404
SG-226-05	0	30,0	56,5	11,0	19,5	9,76430976

*Des.Fibra.*- Desviación de la fibra calculada en cm/m

*%Duramen.*- Porcentaje de duramen.

*Perim-nudos.*- Suma del diámetro de los nudos en la peor sección cm

*Relación.*- Cociente entre el perímetro de la peor sección y la suma de los diámetros de los nudos en esa sección.

*Conicidad.*- Conicidad del rollizo como porcentaje.

Codigo	Luz (cm)	a (cm)	Carga rot (kg)	MORsin corr(N/mm <sup>2</sup> )	Pendiente (kg/mm)	MOEG corr (N/mm <sup>2</sup> )
SG-204-01	270	90	2320,6	17,9	29,93	2149
SG-204-02	270	90	1715,2	16,5	30,17	3039
SO-014-04	270	90	2417,0	20,3	30,46	2472
SO-363-04	270	90	3097,2	29,8	34,62	3439
SG-226-05	270	90	4578,9	27,4	43,17	2394
SG-097-04	270	90	2438,8	39,9	18,69	3930

Luz.- Luz del ensayo UNE 408 en cm

a.- Distancia mas corta entre el punto de apoyo y punto de carga en cm

Carga rot.- Carga a la que rompió el rollizo en kg

MORsin corr.- Modulo de resistencia a flexión en N/mm<sup>2</sup>

Pendiente.- Pendiente de la recta de regresión fuerza-deformación en kg/mm

MOEG corr.- Modulo de elasticidad estático en N/mm<sup>2</sup>

Codigo	Peso humedo(kg)	Peso seco(kg)	Humedad	Per. Rodaja(cm)	Esp. Rodaja(cm)	Dens.anhida(kg/m <sup>3</sup> )
SG-204-01	0,823	0,717	14,7838215	50,5	7,2	490,698559
SG-204-02	0,668	0,57	17,1929825	49,0	6,8	438,717201
SO-014-04	0,869	0,752	15,5585106	52,0	7,7	453,869822
SO-363-04	0,588	0,505	16,4356436	44,0	7,3	449,028643
SG-226-05	0,614	0,515	19,223301	45,5	7,1	440,288119
SG-097-04	0,454	0,382	18,8481675	39,5	7,3	421,460804

Peso humedo.- Peso de rodaja recién extraída del rollizo en kg

Peso seco.- Peso de la rodaja extraída del rollizo y secada en estufa en kg

Humedad.- Humedad de la rodaja extraída del rollizo

Per. Rodaja.- Perímetro de la rodaja extraída del rollizo cm

Esp. Rodaja.- Grosor de la rodaja extraída del rollizo cm

Dens.anhida.- Densidad anhidra de la rodaja extraída del rollizo

### 8.3. ANEXO III: Módulos de elasticidad calculados mediante el teorema de viga conjugada.

Codigo	Deformación 2	Carga 2 (500)	E (Tn/m2)	E N/mm2	E corregida por humedad
SO-363-04	14,44	500	462211,171	4534,29158	4936,54161
SG-226-05	11,58	500	468995,831	4600,8491	5265,515458
SG-097-04	26,75	500	594854,152	5835,51923	6634,771501
SO-218-06	20,60	500	563510,335	5528,03638	5684,439365
SG-226-02	15,17	500	510060,962	5003,69804	5619,33455
SO-OJU-06	29,87	500	412592,807	4047,53543	4235,036649
SO-363-03	21,42	500	649300,216	6369,63512	6919,151094
SG-097-06	16,88	500	691456	6783,18336	7531,115451
SG-216-01	26,61	500	497776,864	4883,19104	5025,930469
SG-216-06	29,52	500	651602,444	6392,21998	6911,546452
SG-216-08	11,80	500	830686,833	8149,03784	9031,876847
SG-204-04	23,76	500	749284,923	7350,4851	8135,669863
SG-097-03	21,71	500	419590,323	4116,18107	4522,642013
SO-324-04	12,11	500	718118,073	7044,7383	7995,777968
SG-097-02	10,04	500	438724,159	4303,884	4951,077675
SO-OJU-05	6,32	500	810554,906	7951,54363	9194,249272
SG-216-07	13,43	500	518989,777	5091,28971	5843,385882
SG-097-08	19,43	500	449138,796	4406,05159	5345,775676
SG-097-05	21,59	500	779096,087	7642,93261	8782,972018
SO-055-01	30,83	500	551683,884	5412,0189	5926,736444
SO-362-06	30,62	500	404306,708	3966,24881	4137,687533
SO-055-02	19,85	500	590810,342	5795,84945	6653,508487
SO-228-04	18,91	500	584660,42	5735,51872	6908,113654
SO-055-07	3,24	500	513288,909	5035,3642	5679,890814
SO-OJU-03	7,79	500	460544,708	4517,94359	5238,873446
SG-097-07	39,15	500	598729,539	5873,53678	6554,99005
SG-216-05	18,46	500	659650,66	6471,17298	7576,519281
SO-228-03	3,07	500	1421325,12	13943,1994	16007,0316
SO-362-05	3,49	500	1403360,06	13766,9621	15051,87861
SO-228-01	15,12	500	562809,195	5521,15821	6465,049361
SO-362-02	20,83	500	693116,662	6799,47445	7483,363619
SO-218-05	6,21	500	549490,281	5390,49966	6026,333598
SO-218-01	25,63	500	426507,783	4184,04135	5229,512305
SO-091-06	34,58	500	764874,757	7503,42137	8549,331532
SO-01-02	19,50	500	588325,245	5771,47065	6971,223472
SO-228-02	8,95	500	1014211,73	9949,4171	11885,92164
SO-091-01	18,54	500	595389,751	5840,77346	7155,62665
SO-363-05	20,02	500	444531,008	4360,84919	5011,757147
SO-091-04	19,04	500	641304,31	6291,19528	6569,981578
SO-218-04	11,35	500	517759,877	5079,22439	6712,118433
SO-0SC-05	7,59	500	666187,785	6535,30217	7813,316819
SO-0SC02	6,57	500	689621,357	6765,18551	8770,376125
SO-055-03	7,67	500	515275,805	5054,85565	5815,491068
SO-217-07	14,26	500	474514,643	4654,98865	5119,409139
SO-362-04	8,87	500	605268,39	5937,6829	6924,413077
SO-324-01	16,87	500	475912,352	4668,70017	5189,552037
SO-0SC-01	10,98	500	627203,978	6152,87103	6963,787876
BU-222-01	9,16	500	534222,36	5240,72135	6128,403453
BU-214-07	15,00	500	631954,919	6199,47775	7805,482347

Codigo	Deformación 2	Carga 2 (500)	E (Tn/m2)		E coregida por humedad
			E (Tn/m2)	E N/mm2	
BU-214-05	26,12	500	525394,697	5154,12197	5465,908268
BU-236-05	72,37	500	451799,836	4432,15639	4780,16274
BU-214-01	25,33	500	659510,656	6469,79954	7486,61342
BU-610-05	18,17	500	515574,722	5057,78802	6730,558888
SO-0JU-07	17,81	500	454645,108	4460,06851	5130,166606
BU-236-03	76,08	500	364793,685	3578,62605	3990,168042
BU-214-09	17,53	500	417398,055	4094,67492	4646,046018
BU-214-03	19,36	500	484237,332	4750,36823	5698,096013
BU-236-02	35,74	500	417732,956	4097,96029	4505,850296
BU-214-06	21,88	500	515078,153	5052,91668	5644,053596
BU-610-03	20,45	500	497927,111	4884,66495	6096,372823
BU-214-02	15,06	500	515724,096	5059,25338	6681,828211
BU-610-01	7,31	500	717730,965	7040,94077	8568,636877
SO-091-03	48,31	500	462259,883	4534,76945	4854,738279
SO-0JU-0?	21,25	500	421477,944	4134,69863	4929,470568
BU-236-06	31,31	500	424659,904	4165,91366	4360,517178
BU-222-04	14,58	500	823213,211	8075,7216	9274,879104
SG-226-04	19,86	500	475064,76	4660,3853	5979,63283
SG-097-01	5,77	500	674969,814	6621,45387	7596,850538
BU-236-01	36,74	500	634734,345	6226,74392	6652,466681
BU-214-08	17,22	500	556047,895	5454,82985	5886,863258
SO-0JU-01	12,90	500	415946,67	4080,43684	5501,388958
BU-214-10	19,31	500	527252,879	5172,35074	6743,601255
SO-0SC-03	20,36	500	531640,011	5215,38851	6859,769827
BU-236-04	14,32	500	461728,136	4529,55301	5563,738559
SG-216-04	36,26	500	389290,241	3818,93726	5149,858842
SG-216-02	32,20	500	377880,029	3707,00308	4243,092759
BU-610-02	19,33	500	481512,23	4723,63497	5766,381422
SG-204-06	16,04	500	372069,063	3649,99751	4720,663441
BU-214-04	43,86	500	324469,741	3183,04816	3382,160638
SG-226-06	15,93	500	450430,484	4418,72305	5424,780602
SO-0JU-09	26,97	500	370013,072	3629,82824	4601,94161
SO-363-01	20,98	500	584469,167	5733,64253	6681,78705
BU-214-11	39,31	500	405493,804	3977,89422	4389,838111
SO-055-04	7,15	500	386148,556	3788,11733	4291,900393
SO-362-03	33,62	500	365293,537	3583,5296	3856,614388
SO-055-05	27,44	500	295073,605	2894,67206	3214,965646
SO-055-06	43,10	500	473859,075	4648,55753	5267,440113
SO-0SC-04	16,08	500	470366,768	4614,29799	5276,289449
SO-363-02	63,36	500	564375,839	5536,52698	6262,554025
SO-218-02	14,63	500	353398,523	3466,83951	3775,595649
SO-228-05	16,68	500	511168,096	5014,55902	5847,279727
SO-362-01	19,63	500	392675,376	3852,14544	4238,685773
SO-324-02	21,04	500	476613,658	4675,57999	5235,509199
SO-324-05	14,04	500	443221,176	4347,99974	4877,907813
SO-324-03	26,11	500	304703,903	2989,14529	3157,885345
SO-218-03	23,35	500	420144,776	4121,62026	4628,934967



